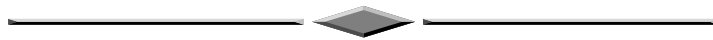


# ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ, ФОТОГРАММЕТРИЯ



УДК 528.88.041.3:632.2

DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-6-48-55

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВЫЯВЛЕНИЯ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ РАЗЛИВОВ НЕФТИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*Антонина Сергеевна Гордиенко*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (383)361-08-66, e-mail: a.s.gordienko@sgugit.ru

В статье приведены исследования возможности применения материалов ДЗЗ (снимков, полученных со спутников PlanetScope) для мониторинга территорий, загрязненных нефтепродуктами. Представлены результаты выявления разливов нефти на основе визуального анализа синтезированных снимков, расчета и анализа индексных изображений на загрязненной территории. Определено угнетение состояния растительности в зоне влияния нефтепродуктов. Полученные результаты подтверждены анализом снимков Sentinel-2, материалами их автоматизированного дешифрирования. Предложены направления дальнейших исследований по разработке методик определения степени загрязнения местности нефтепродуктами на основе комплексного подхода, использующего космические снимки различного пространственного разрешения.

**Ключевые слова:** последствия разливов нефтепродуктов, данные дистанционного зондирования, растительность, экологический ущерб, PlanetScope, Sentinel-2, индексные изображения

### *Введение*

Как известно, распознать по данным дистанционного зондирования Земли разливы нефти на суше сложнее, чем на водной поверхности. Наличие нефтепродуктов на поверхности Земли в основном можно определить по косвенным признакам, например, по состоянию растительности.

Попадая в почву, продукты нефтяной промышленности затрудняют круговорот веществ, что приводит к изменению вегетационных показателей флоры, характеризующихся индексами растительности. Чаще всего используется нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI). В большинстве работ, посвященных космическому мониторингу объектов нефтегазовой отрасли, в экспериментах используются снимки среднего пространственного разрешения со спектральными каналами,

полученными в дальней инфракрасной области электромагнитного спектра [1–9].

Снимки более высокого пространственного разрешения, как правило, имеют только четыре спектральных канала (R, G, B, NIR). В этой связи целью данного исследования поставлено выявление возможности распознавания нефтепродуктов и их влияния на состояние окружающей растительности по космическим снимкам, имеющим ограниченное число спектральных каналов, на примере снимков PlanetScope.

Для достижения указанной цели на космических снимках необходимо определить области на местности, загрязненные нефтепродуктами, и проанализировать состояние растительности на данной территории.

Выбор участка для исследований был выполнен на основе изучения открытых источников с целью нахождения информации о разливах нефти. Таким образом, была выбрана



**Методика исследования и результаты**

Экспериментально установлено, что лучшей комбинацией для выявления утечек нефтепродуктов является: R = 3, G = 4, B = 1 [9]. При данной комбинации потенциальные утечки выделяются темно-розовым цветом (рис. 3). Подтвер-

дить данное предположение можно с помощью снимков Sentinel-2. Установлено, что лучшей комбинацией каналов снимков Sentinel-2 для данной цели является: R = 12, G = 7, B = 2 [13]. Снимки Sentinel-2 на данную территорию за три года (2019, 2020, 2021 гг.) с подобранной комбинацией представлены на рис. 4.

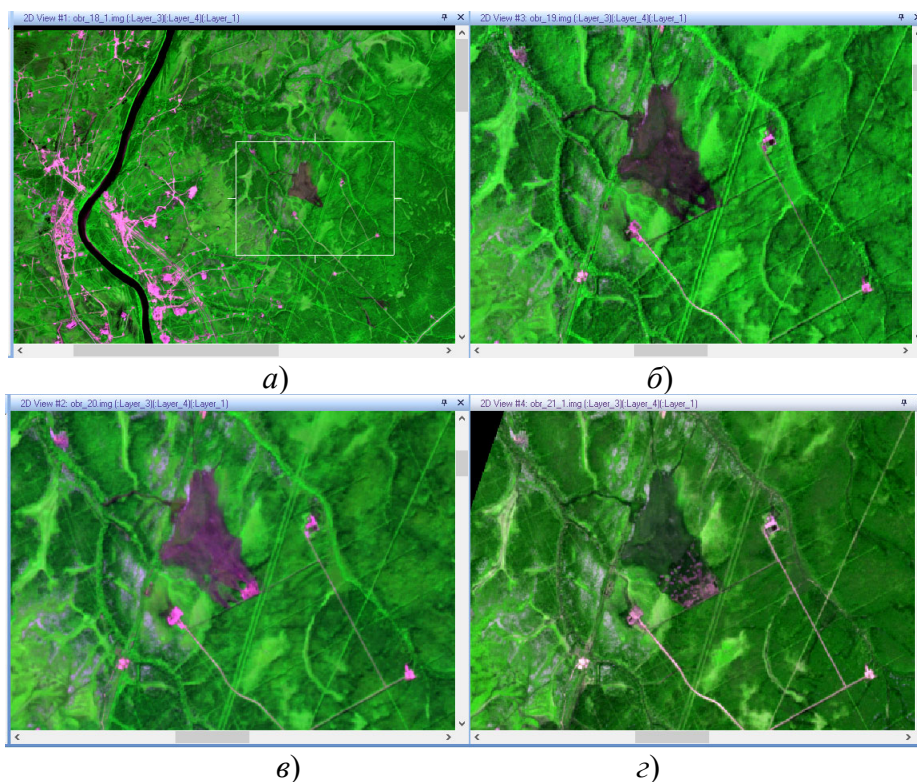


Рис. 3. Фрагменты снимков PlanetScope:  
 а) 01.08.2018; б) 13.08.2019; в) 20.08.2020; г) 14.05.2021

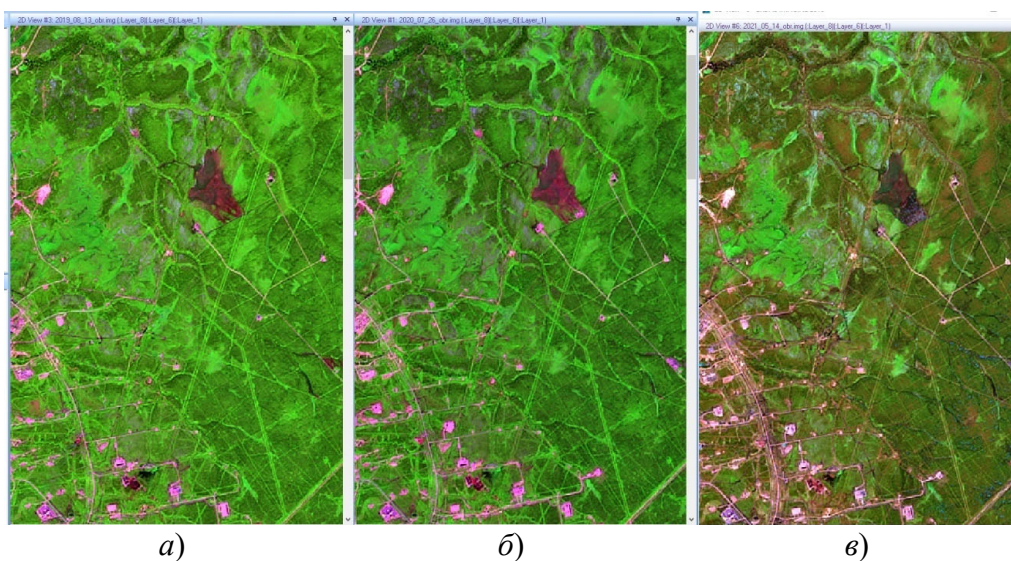


Рис. 4. Фрагменты снимков Sentinel-2:  
 а) 13.08.2019; б) 20.08.2020; в) 14.05.2021

На снимках явно выделяются ярко-зеленый, красный, ярко-сиреневый и синий цвета. Ярко-зеленым цветом обозначена растительность. Синему цвету соответствует водоем возле нефтеперерабатывающей станции, а ярко-сиреневому – антропогенные объекты. Красному цвету соответствуют нефтеразливы. Таким образом подтверждается выявленное по снимкам PlanetScore загрязнение территории нефтепродуктами.

Исследование возможности выявления негативного воздействия разливов нефти на окружающую растительность по данным дистанционного зондирования Земли выполнялось с использованием вегетационного индекса NDVI, рассчитываемого по формуле

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

где *NIR* – отражение объекта в ближней инфракрасной зоне спектра;

*RED* – отражение объекта в красной зоне спектра.

Индекс NDVI принимает значения от –1 до 1. При этом четкие границы для каждого класса земного покрова не установлены, они

подбираются экспериментально и зависят от значительного числа факторов (сезона, степени вегетации, экологической обстановки и др.).

Значения индекса от 0,2 до 1 соответствуют растительности, при этом чем ближе значение к 1, тем более здоровой и густой она является. Так, значения от 0,4 до 0,6 соответствуют растительности болотистой местности, а для темнохвойных и мелколиственных лесов значения индекса приближены к 0,8. Диапазон от –0,3 до 0,2 соотносится с песком, антропогенными объектами и открытыми почвами. Значения менее 0,25 соответствуют водным объектам [8, 9, 14]. Экспериментально установлено, что разливам нефти на почве соответствует диапазон индекса от –0,25 до 0,15 [13].

Индекс NDVI рассчитывается по исходным снимкам. По полученным изображениям визуальное сложное понятие состояния растительности на изучаемой территории, но можно проанализировать состояние растительности на участке с предполагаемым разливом.

Следующий этап – выделение экспериментально подобранных значений индекса NDVI на снимках (рис. 5).

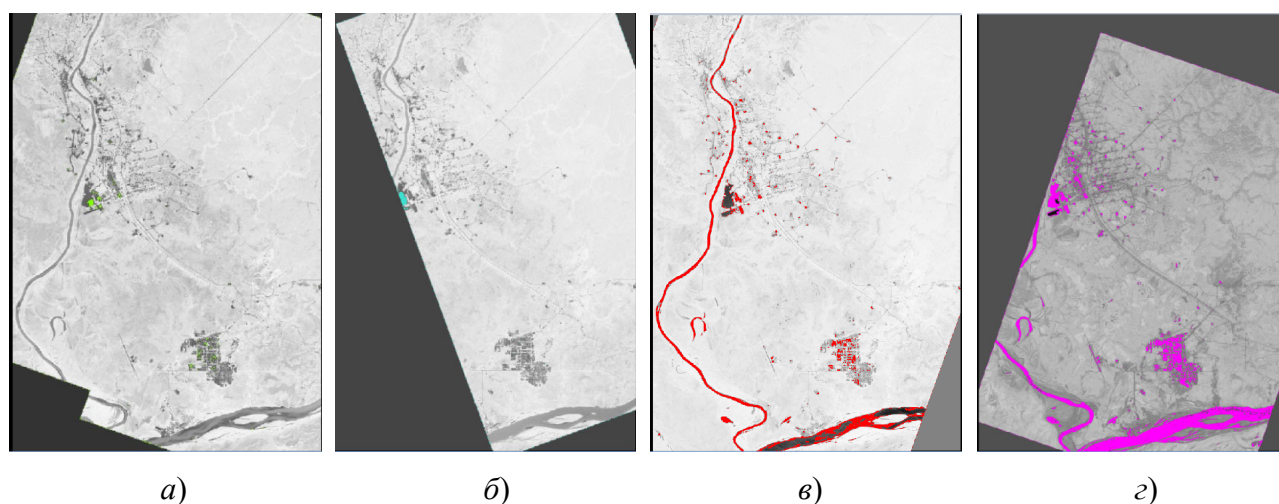


Рис. 5. Индексные изображения:

а) 01.08.2018; б) 13.08.2019; в) 20.08.2020; з) 14.05.2021

По выбранным значениям индекса NDVI создавались маски, что позволило исключить из дальнейшего анализа все области на снимке, для которых значения индекса NDVI находятся вне диапазона от –0,25 до 0,15. Таким образом, в дальнейшей работе не участ-

вовали области леса, кустарника, травы, а также крупные водоемы. Объекты, оставшиеся на снимке, представляли следующие категории: объекты антропогенного характера (строения), песчаные участки, неглубокие заболоченные водоемы и нефтеразливы.

В результате анализа полученных изображений выяснилось, что предполагаемый нефтеразлив, представленный на рис. 3, выделился в данном диапазоне только на снимках 2020 и 2021 гг., что представлено на рис. 6 в виде маски на снимке 2020 г. На индексных изображениях заметно, что растительность в пределах данного пятна угнетена (рис. 7).

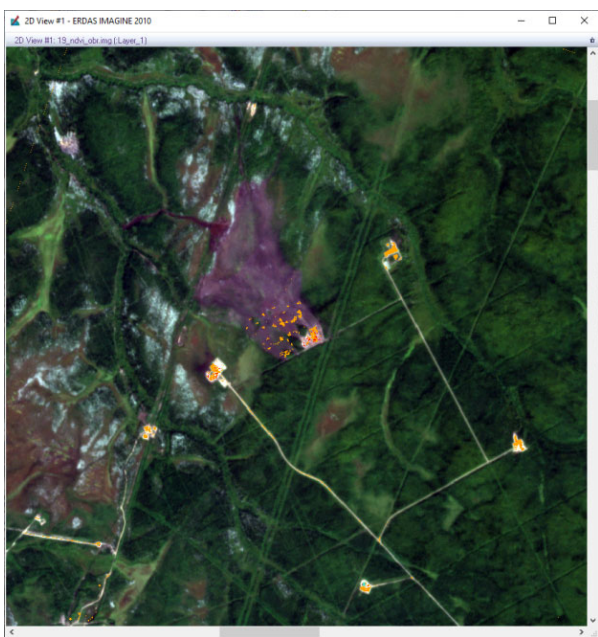


Рис. 6. Маски на снимке за 2020 г.



Рис. 7. Индексное изображение

Значения индексов NDVI в пределах участка, подверженного влиянию нефтепродуктов, значительно меньше (среднее 0,45), чем на окружающей территории (среднее 0,74).

Результаты автоматизированной классификации с обучением, где в качестве эталона нефтеразлива, выделенного красным цветом, был взят разлив, выявленный ранее (см. рис. 3), представлены на рис. 8.

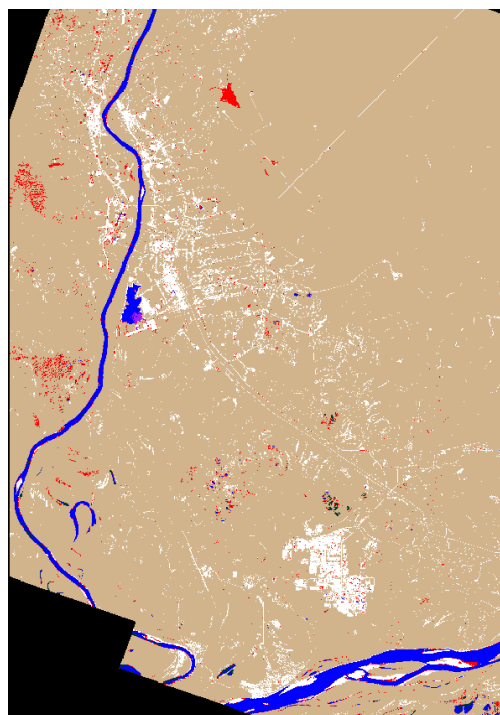


Рис. 8. Результат классификации с обучением снимка (01.08.2018)

Следует отметить, что объекты гидрографии при автоматизированном дешифрировании не были отнесены к классу объектов, загрязненных нефтепродуктами, как было получено по индексным изображениям. Кроме того, вместе с нефтеразливами выделились некоторые заболоченные участки местности, поскольку их спектральные характеристики схожи.

### Заключение

Таким образом, снимки, получаемые со спутников группировки PlanetScore и имеющие только четыре спектральных канала – синий, зеленый, красный, ближний инфракрасный, – позволяют выявлять нефтераз-

ливы и оценивать их влияние на окружающую среду. Конечно, наличие каналов, получаемых, например, в дальнем инфракрасном диапазоне спектра, позволило бы точнее определить наличие нефти на поверхности земли: отделить ее от заболоченных участков [15].

Преимущество же снимков PlanetScope состоит в том, что они имеют более высокое пространственное разрешение (около 3 м), чем, например, снимки Sentinel-2 (10 м). Это позволит распознавать объекты, существенно меньшие по размеру.

В связи с доступностью космических снимков среднего разрешения целесообразно применить комплексный подход к распознаванию нефтеразливов и их влиянию на окружающую среду. Подход заключается в предварительном поиске очагов распространения нефти по снимкам более низкого пространственного разрешения, но с наличием тепловых каналов. По снимкам высокого пространственного разрешения со стандартными спектральными каналами (R, G, B, NIR) следует уточнить и детально отобразить области, подверженные влиянию разливов нефтепродуктов.

*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. Дедкова В. В., Шляхова М. М. Мониторинг технического состояния магистральных трубопроводов методами дистанционного зондирования // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли : материалы VII Междунар. науч. конф. (Красноярск, 29 сентября – 2 октября 2020 г.). – Красноярск : СФУ, 2020. – С. 192–195.
5. 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.
6. Долгополов Д. В. Использование данных дистанционного зондирования Земли при формировании геоинформационного пространства трубопроводного транспорта // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 3. – С. 151–159.
7. 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.
8. Алексеева М. Н., Яценко И. Г. Использование космических снимков и геоданных для оценки экологических рисков при разливах нефти // СИББЕЗОПАСНОСТЬ-СПАССИВ-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.
9. Алексеева М. Н., Яценко 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.

10. Усинск. Люди. Нефть [Электронный ресурс]. – Усинск, 2017. – Режим доступа: <https://lr.7x7-journal.ru/usinskneft/>.
11. Интерактивная карта мира / Google [Электронный ресурс] // Maps-of-world.ru = Карта мира. – Режим доступа: <http://maps-of-world.ru/inter.html>.
12. Гордиенко А. С., Андриевская Е. Д. Применение снимков PlanetScope при мониторинге территорий // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли : материалы VII Междунар. науч. конф. (Красноярск, 29 сентября – 02 октября 2020 г.). – Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2020. – С. 184–187.
13. Копылов В. Н., Кочергин Г. А., Полищук Ю. М., Хамедов В. А. Использование данных ДЗЗ при решении региональных задач рационального природопользования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2009. – № 6. – С. 33–41.
14. 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 VII Междунар. науч. конф. (Красноярск, 29 сентября – 2 октября 2020 г.). – Красноярск : СФУ, 2020. – С. 244–247.
15. Современная космическая съемка для мониторинга нефтяных загрязнений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://innoter.com/articles/sovremennaya-kosmicheskaya-semka-dlya-monitoringa-neftyanykh-zagryazneniy/>.

Получено 15.09.2021

© А. С. Гордиенко, 2021

## RESEARCH OF THE POSSIBILITY OF DETECTING THE NEGATIVE IMPACT OF OIL SPILLS ON THE SURROUNDING VEGETATION BASED ON REMOTE SENSING DATA

*Antonina S. Gordienko*

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: [a.s.gordienko@sgugit.ru](mailto:a.s.gordienko@sgugit.ru)

The article presents the results of research analyzing the possibilities of images from PlanetScope satellites for monitoring areas contaminated with oil spills. The results of experiments on oil spill detection based on visual analysis of synthesized images are presented. The values of the indexes (NDVI) in the polluted area were analyzed. The suppression of the vegetation state in the zone exposed to the influence of oil products was detected. The data obtained as a result of the experiments are confirmed by comparison with the processing of Sentinel-2 images and the results of automated recognition of images. Further research on the development of methods for determining the types of oil pollution based on an integrated approach used on the space images of various spatial resolution are offered.

**Keywords:** results of oil spills, remote sensing data, vegetation, environmental damage, PlanetScope, Sentinel-2, 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, 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. Dedkova, V. V., & Shlyakhova, M. M. (2020). Monitoring of the technical condition of main pipelines using remote sensing methods. 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. 192–195). Krasnoyarsk: Siberian Federal University Publ. [in Russian].
5. Dolgopолоv, D. V., Nikonov D. V., Poluyanovа 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].
6. Dolgopолоv, 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].
7. 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 GEO-Sibir'-2010: T. 4, ch. 1 [Proceedings of GEO-Siberia-2010: International Scientific Conference: Vol. 4, Part 1]* (pp. 130–133). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
8. 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].
9. Alekseeva, M. N., & Yashchenko, I. G. (2013). Environmental monitoring of oil-producing territories on the basis of space images. In *Sbornik materialov Interexpo 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 Sensing Methods of the Earth and Photogrammetry, Environmental Monitoring, Geoecology]* (pp. 101–106). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
10. Usinsk. People. Oil. (2017). Usinsk. Retrieved from <https://lr.7x7-journal.ru/usinskneft> [in Russian].
11. Interactive world map / Google // Maps-of-world.ru = World map. Retrieved from <http://maps-of-world.ru/inter.html>. [in Russian].
12. Gordienko, A. S., & Andrievskaya, E. D. (2020). Application of PlanetScope images for monitoring territories. 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. 184–187). Krasnoyarsk: Siberian Federal University Publ. [in Russian].
13. Kopylov, V. N., Kochergin, G. A., Polishchuk, Y. M., & Hamedov, V. A. (2009). Application of remote sensing data at the decision of regional tasks of rational usage by natural resources *Sovremennye problemi distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa [Modern problems of Remote Sensing of the Earth from Space]*, 6, 33–41 [in Russian].
14. 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].
15. Modern satellite imagery for monitoring oil pollution. (n. d.). Moscow. Retrieved from <https://innoter.com/articles/sovremennaya-kosmicheskaya-semka-dlya-monitoringa-neftyanykh-zagryazneniy/> [in Russian].

Received 15.09.2021

© A. S. Gordienko, 2021