

УДК 528.8:[628.196:502.5(26)]
DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-2-60-66

Использование данных дистанционного зондирования SENTINEL-2B для мониторинга последствий разливов нефти

К. А. Зулин¹, Е. Н. Кулик^{1*}

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

* e-mail: e.n.kulik@ssga.ru

Аннотация. В статье проводится сравнительный анализ результатов расчета вегетационных индексов на основе данных дистанционного зондирования различных съемочных систем с целью определения пригодности использования космических снимков Sentinel-2B для оценки степени повреждения природных компонентов, подвергшихся негативному влиянию нефтеразливов. В качестве основных критериев оценки информативной емкости данных дистанционного зондирования рассматриваются их спектральное и пространственное разрешение. Приведены результаты экспериментальных исследований, характеризующие пространственное распределение значений вегетационных индексов NDVI и SAVI на территории нефтеразлива, на основе которых определяются достоинства и недостатки съемочных систем Landsat и PlanetScore при мониторинге состояния открытых почв, в том числе загрязненных нефтепродуктами. С целью повышения достоверности результатов исследования предлагается использование модификаций рассматриваемых вегетационных индексов.

Ключевые слова: Sentinel-2B, дистанционное зондирование, вегетационные индексы, анализ состояния почв, разливы нефтепродуктов

Введение

Объекты добычи, транспортировки и переработки нефти и нефтепродуктов являются одними из основных источников загрязняющих органических и минеральных веществ, поступающих в природную среду и оказывающих токсичное воздействие на элементы животного и растительного мира.

Высокая концентрация токсичных веществ, входящих в состав нефти, может повлечь за собой изменение морфологических, химических и физико-химических свойств почвенного покрова. Кроме того, изменяются водно-физические свойства почв, что создает опасность дальнейшего вымывания токсичных веществ из почвы и загрязнения грунтовых и поверхностных вод, что в свою очередь может вызвать повторное загрязнения площадей, значительно превышающих территорию первоначального разлива. Проникновение нефтепродуктов в подземные воды может оказать губительное воздействие на водоносные горизонты, обеспечивающие водоснабжение населенных пунктов. При этом допустимый уровень концентрации нефти и нефтепродуктов в почвах будет зависеть:

- от почвенно-климатической зоны;
- типа почв;
- химического состава нефти и нефтепродуктов [1].

Динамика растекания нефти и нефтепродуктов зависит от характеристик загрязненной поверхности, среди которых можно выделить уклон и шероховатость, из-за чего могут возникнуть сложности моделирования данного процесса в случае, если поверхность неоднородна и характеризуется наличием разнообразной растительности [2, 3].

Требования в сфере обеспечения безопасности эксплуатации нефтепроводов и оперативной оценки масштаба нефтеразлива обуславливают важность разработки современных технологий контроля за объектами нефтегазового комплекса, из которых наиболее перспективным является использование аэрокосмических методов.

Благодаря высокому пространственному и временному разрешению данные дистанционного зондирования Земли позволяют получить информацию об объектах добычи, переработки и транспортировки нефти, необходимую для решения мониторинговых задач [4–8].

Целью работы является анализ возможности применения данных дистанционного зондирования, полученных съемочной системой MSI с борта Sentinel-2B, для мониторинга загрязненных нефтепродуктами открытых почв, а также сравнение результатов использования методов автоматизированного дешифрирования на основе данных других съемочных систем.

Объектом исследования является территория ТЭЦ-3 в районе Кайеркан г. Норильска, где 29 мая 2020 г. в результате разгерметизации резервуара произошла утечка 21 000 т дизельного топлива, попавшего в почвы и местную речную сеть.

Методы и материалы

Загрязнение почв нефтью и нефтепродуктами оказывает влияние на их спектральную отражательную способность, приводя к уменьшению коэффициентов спектральной яркости в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах. Эта особенность позволяет с большой достоверностью идентифицировать участки нефтезагрязнений при проведении спектрального анализа с использованием вегетационных индексов, рассчитывающих параметры растительности в определенном пикселе изображения в результате операций с различными спектральными диапазонами [9–11].

Для определения числового показателя качества растительности используется нормализованный разностный вегетационный индекс – $NDVI$, – имеющий самый широкий ди-

намический диапазон в сравнении с другими распространенными вегетационными индексами. $NDVI$ рассчитывается по формуле

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED},$$

где RED и NIR – значения яркости в красном и ближнем инфракрасном спектральных каналах соответственно.

Помимо $NDVI$ в работе использовался почвенно скорректированный индекс растительности $SAVI$, минимизирующий влияние яркости почвы, вычисляемый по формуле

$$SAVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} \cdot (1 + L),$$

где L – коэффициент коррекции яркости почвы.

Значение коэффициента L зависит от соотношения открытых почв и покрытых растительностью областей.

Результаты

В результате псевдоцветного представления значений индекса $NDVI$, рассчитанного на основе космических снимков Landsat-8, PlanetScope и Sentinel-2B, в соответствии с дискретной шкалой [12] (рис. 1), было получено пространственное распределение индекса на исследуемой территории (рис. 2).

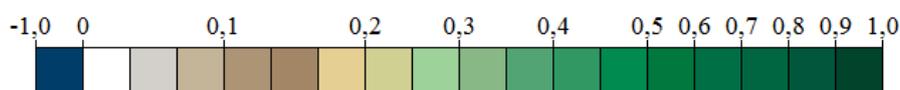


Рис. 1. Дискретная шкала $NDVI$

Результатом псевдоцветного представления индексных изображений $SAVI$ для каждой из указанных выше съемочных систем являются тематические изображения, характеризующие пространственное распределение индекса (рис. 3).

Для определения возможности использования космических снимков Sentinel-2B для мониторинга почв, подвергшихся нефтяному

загрязнению, на их основе был рассчитан почвенно скорректированный вегетационный индекс $SAVI$ на июль 2019 г., май и август 2020 г.

В результате расчета индекса $SAVI$ и его псевдоцветного представления были получены тематические изображения, характеризующие динамику изменения значений индекса на указанный период (рис. 4) [13].

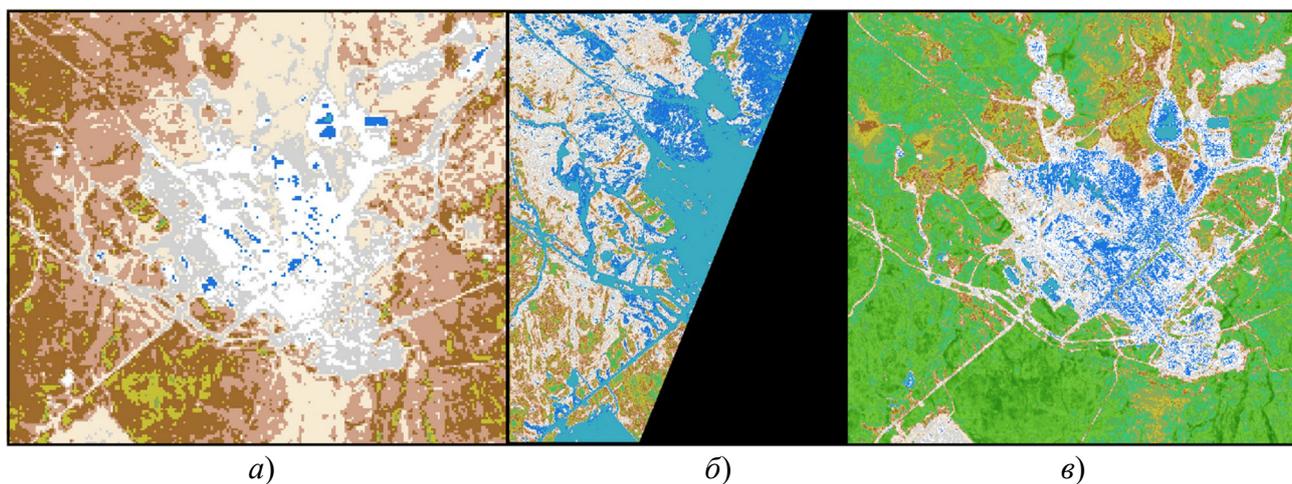


Рис. 2. Синтезированные на основе индекса *NDVI* изображения:
 а) Landsat-8; б) PlanetScope; в) Sentinel-2B

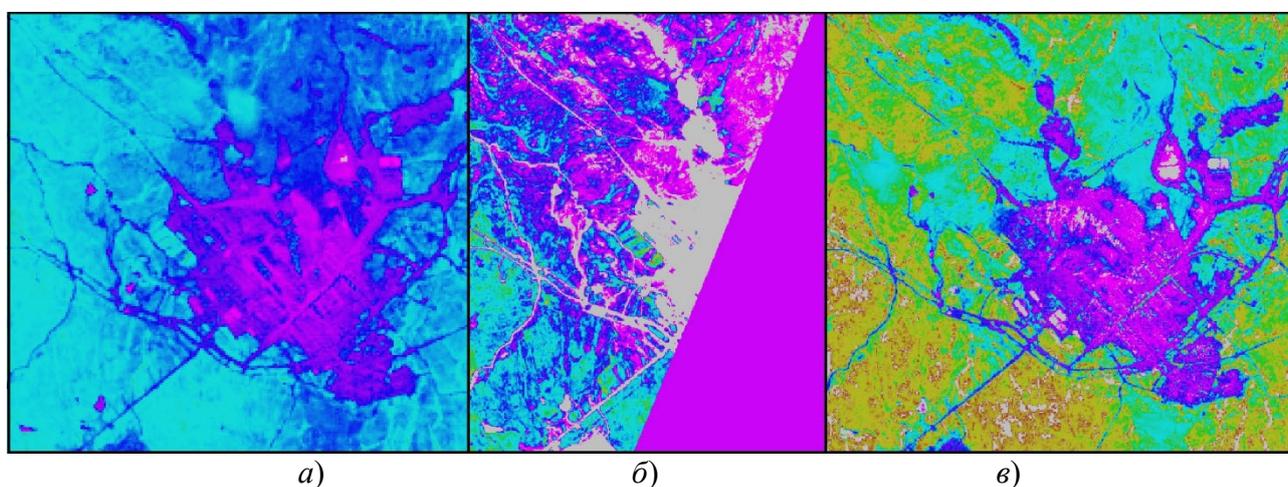


Рис. 3. Синтезированные на основе индекса *SAVI* изображения:
 а) Landsat-8; б) PlanetScope; в) Sentinel-2B

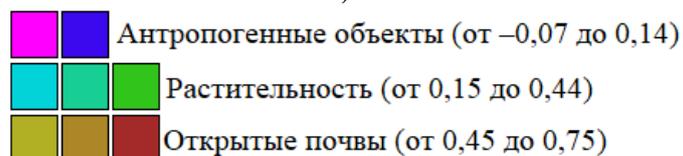
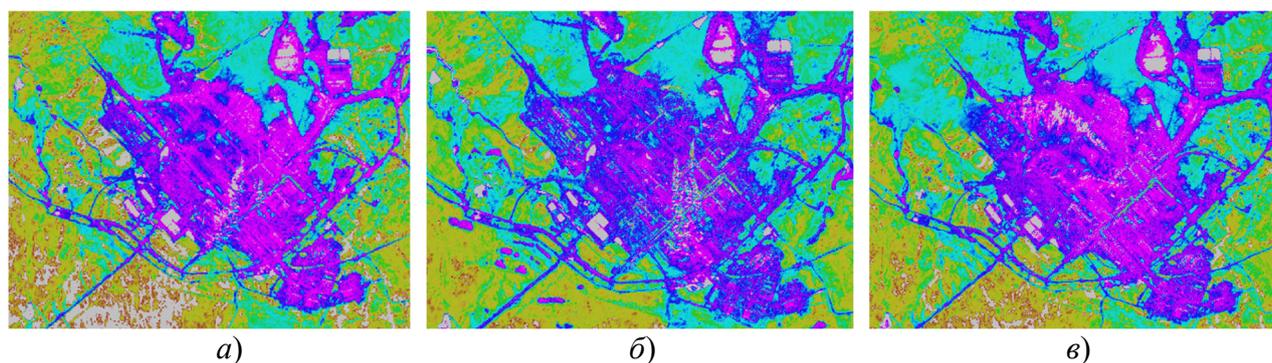


Рис. 4. Синтезированные на основе индекса *SAVI* разновременные изображения:
 а) июль 2019 г.; б) май 2020 г.; в) август 2020 г.

Обсуждение

Анализируя результаты расчетов вегетационных индексов *NDVI* и *SAVI* на основе данных рассматриваемых съемочных систем, можно прийти к выводу, что для задач, связанных с мониторингом состояния природных систем, использование данных дистанционного зондирования Sentinel-2B наиболее предпочтительно, учитывая их высокое пространственное и спектральное разрешение.

Из-за относительно узкого красного и инфракрасного спектрального диапазонов, регистрируемых съемочной системой PlanetScore, ее данные не позволили четко отделить объекты антропогенного происхождения и гидрографии, несмотря на высокое пространственное разрешение [14, 15].

При спектральном анализе нефтезагрязненных участков на основе космических снимков Landsat зачастую используются спектральные каналы в комбинации «естественные цвета». Однако при расчете вегетационных индексов *NDVI* и *SAVI* из-за невысокого пространственного разрешения (30 м) наблюдается значительное смещение различ-

ных классов объектов. По этой же причине не представляется возможным определить мелкие по площади участки, подвергшиеся нефтезагрязнению [16].

Заключение

В ходе выполнения данного исследования было установлено, что результаты расчета вегетационного индекса *SAVI* на основе космических снимков, полученных съемочной системой MSI с борта Sentinel-2B, имеют достаточно большой диапазон значений, позволяющий четко разделить объекты антропогенного происхождения и объекты, относящиеся к классу открытых почв, что при дальнейшем анализе позволит определить степень повреждения природных компонентов, подвергшихся нефтяному загрязнению.

Для повышения достоверности результатов мониторинга перспективным является использование модификаций рассмотренных вегетационных индексов, учитывающих природные и климатические особенности региона, в том числе сезонность, характер почв и особенности растительности.

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. 351–362.
2. Ерофеевская Л. А. Мониторинг загрязнений в природных экосистемах после аварийных разливов нефти // Природно-техногенные комплексы: рекультивация и устойчивое функционирование. – 2013. – № 11. – С. 293–295.
3. Алексеева М. Н., Перемитина Т. О. Оценка негативного воздействия аварийных разливов нефти на окружающую природную среду на основе космических снимков // Безопасность жизнедеятельности. – 2014. – № 2. – С. 12–17.
4. Беликов В. А., Галянин В. В. Анализ данных дистанционного зондирования Земли для обнаружения нефтяных разливов // Вестник Самарского гос. технического ун-та. – 2017. – № 2. – С. 7–12.
5. Алексеева М. Н., Перемитина Т. О. Оценка экологических рисков аварийных разливов нефти с использованием спутниковых данных // Оптика атмосферы и океана. – 2013. – № 6. – С. 525–530.
6. Ульянова Е. А., Пархоменко Н. А. Использование методов дистанционного зондирования при мониторинге земель, загрязненных нефтепродуктами // Актуальные проблемы геодезии, землеустройства и кадастра глазами молодежи. – 2019. – № 3. – С. 268–270.
7. Бондур В. Г. Аэрокосмические методы и технологии мониторинга нефтегазоносных территорий и объектов комплекса // Исследование Земли из космоса. – 2010. – № 6. – С. 395–409.
8. Филина Н. А., Мазуркин П. М. Мониторинг аварийных разливов нефти // Современные наукоемкие технологии. – 2011. – № 3. – С. 62–67.

9. Кирсанов А. А., Перцов А. В. Современное состояние применения данных дистанционного зондирования при геологических и геоэкологических исследованиях // *Обзорная информация. Общая и региональная геология, геология морей и океанов, геологическое картирование.* – 2000. – № 3. – 77 с.
10. Чистяков Д. А., Нечаева О. А. Экологический мониторинг разливов нефти и нефтепродуктов с использованием летательных аппаратов // *Новая наука: проблемы и перспективы.* – 2016. – № 3. – С. 18–23.
11. Никифоров А. С., Парфенов В. Г. Особенности миграции нефти и нефтепродуктов в грунтах // *Нефть и газ Западной Сибири : сб. материалов науч. конф. (Тюмень, 17–18 октября 2013 г.)* – Тюмень : ТИУ, 2013. – С. 117–121.
12. NDVI – теория и практика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gislab.info/qa/ndvi.html> (дата обращения: 15.04.2022).
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. Яценко И. Г., Перемитина Т. О. Мониторинг экологического состояния нефтедобывающих территорий Западной Сибири с применением данных дистанционного зондирования // *Интерэкспо ГЕОСибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.)*. – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – Т. 1. – С. 89–93.

Об авторах

Кирилл Алексеевич Зулин – магистрант кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования.

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

Получено 03.06.2022

© К. А. Зулин, Е. Н. Кулик, 2023

Oil spill monitoring using Sentinel-2B remote sensing data

K. A. Zulin¹, E. N. Kulik^{1}*

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia

* e-mail: e.n.kulik@ssga.ru

Abstract. The article provides a comparative analysis of the results of calculating vegetation indices based on remote sensing data from various survey systems in order to determine the suitability of using Sentinel-2B satellite images to assess the degree of damage to natural components affected by oil spills. As the main criteria for assessing the informative capacity of remote sensing data, their spectral and spatial resolution are considered. The results of experimental studies characterizing the spatial distribution of the values of the NDVI and SAVI vegetation indices in the oil spill area are presented, on the basis of which the advantages and disadvantages of the Landsat and PlanetScope survey systems are determined when monitoring the state of open soils, including those contaminated with oil products. In order to increase the reliability of the results of the study, it is proposed to use modifications of the considered vegetation indices.

Keywords: Sentinel-2B, remote sensing, vegetation indices, soil condition analysis, oil spills

REFERENCES

1. Bondur, V. G. (2010). Aerospace methods and technologies for monitoring oil and gas bearing territories and objects of the complex. *Issledovanie Zemli iz kosmosa [Research of the Earth from Space]*, 6, 351–362 [in Russian].
2. Erofeevskaya, L. A. (2013). Monitoring of pollution in natural ecosystems after oil spills. *Prirodno-tekhnogennyye komplekсы: rekul'tivatsiya i ustoychivoye funktsionirovaniye [Natural and Technogenic Complexes: Reclamation and Sustainable Functioning]*, 11, 293–295 [in Russian].
3. Alekseeva, M. N., & Peremitina, T. O. (2014). Estimation of the negative impact of accidental oil spills on the environment based on satellite images. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti [Life Safety]*, 2, 12–17 [in Russian].
4. Belikov, V. A., & Galyanin, V. V. (2017). Analysis of Earth remote sensing data for oil spill detection. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Vestnik of the Samara State Technical University]*, 2, 7–12 [in Russian].
5. Alekseeva, M. N., & Peremitina, T. O. (2013). Estimation of ecological risks of accidental oil spills using satellite data. *Optika atmosfery i okeana [Atmospheric and Oceanic Optics]*, 6, 525–530 [in Russian].
6. Ulyanova, E. A., & Parkhomenko, N. A. (2019). Use of remote sensing methods in monitoring lands contaminated with oil products. *Aktual'nyye problemy geodezii, zemleustroystva i kadastra glazami molodezhi [Actual Problems of Geodesy, Land Management and Cadastre through the Eyes of Youth]*, 3, 268–270 [in Russian].
7. Bondur, V. G. (2010) Aerospace methods and technologies for monitoring oil and gas bearing territories and objects of the complex. *Issledovanie Zemli iz kosmosa [Research of the Earth from Space]*, 6, 395–409 [in Russian].
8. Filina, N. A., & Mazurkin, P. M. (2011). Monitoring of emergency oil spills. *Sovremennyye nauko-yemkiye tekhnologii [Modern Science-Intensive Technologies]*, 3, 62–67 [in Russian].
9. Kirsanov, A. A., & Pertsov, A. V. (2000). The current state of the use of remote sensing data in geological and geocological studies. *Obzornaya informatsiya. Obshchaya i regional'naya geologiya, geologiya morey i okeanov, geologicheskoye kartirovaniye [Overview Information. General and Regional Geology, Geology of Seas and Oceans, Geological Mapping]*, 3, 77 p. [in Russian].
10. Chistyakov, D. A., & Nechaeva, O. A. (2016). Ecological monitoring of oil and oil products spills using aircraft. *Novaya nauka: problemy i perspektivy [New Science: Problems and Perspectives]*, 3, 18–23 [in Russian].
11. Nikiforov, A. S., & Parfenov, V. G. (2013). Peculiarities of migration of oil and oil products in soils. In *Sbornik materialov nauchnoy konferentsii: Neft' i gaz Zapadnoy Sibiri [Proceedings of the scientific conference: Oil and gas of Western Siberia]* (pp. 117–121). Tyumen: Tyumen Industrial University Publ. [in Russian].
12. NDVI – theory and practice (n. d.). Retrieved from <https://gislab.info/qa/ndvi.html> [in Russian] (accessed April 15, 2022).
13. Alekseeva, M. N., & Yashchenko, I. G. (2013). Ecological monitoring of oil-producing territories based on satellite images. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2013: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 2. Distantionnye metody zondirovaniya Zemli i fotogrammetriya, monitoring okruzhayushchey sredy, geoekologiya [Proceedings of Interekspo 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].
14. Kopylov, V. N., Kochergin, G. A., Polishchuk, Yu. M., Khamedov, V. A. (2009). Application of remote sensing data at the decision of regional tasks of rational usage by natural resources. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa [Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space]*, 6, 33–41 [in Russian].
15. 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 GEOSiberia-2010: International Scientific Conference: Vol. 4, Part 1]* (pp. 130–133). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
16. Yashchenko, I. G., & Peremitina, T. O. (2015). Monitoring of the ecological state of oil-producing territories of Western Siberia using remote sensing data. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2015: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1. Distantionnye metody zondirovaniya Zemli i fotogrammetriya,*

monitoring okruzhayushchey sredy, geokologiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2015: International Scientific Conference: Vol. 1. Remote Sensing Methods of the Earth and Photogrammetry, Environmental Monitoring, Geoecology] (pp. 89–93). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].

Author details

Kirill A. Zulin – Graduate, Department of Photogrammetry and Remote Sensing.

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

Received 03.06.2022

© *K. A. Zulin, E. N. Kulik, 2023*