

## Мониторинг нефтезагрязненных земель с использованием дистанционного зондирования и ГИС

Амин Исмаил оглы Исмаилов<sup>1</sup>, Аршад Яшар Яшар<sup>2</sup>, Фикрат Малик Фейзиев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт почвоведения и агрохимии Национальной академии наук Азербайджана, г. Баку, Азербайджанская Республика

<sup>2</sup>Министерство сельского хозяйства Азербайджанской Республики, г. Баку, Азербайджанская Республика

e-mail: fikrat.fm@gmail.com

**Аннотация.** В статье представлены материалы по выявлению возможных изменений в нефтеносных и нефтезагрязненных землях Абшеронского полуострова с использованием спутниковых данных и ГИС-технологий. Проанализировано состояние деградированных земель, загрязненных нефтью и нефтесодержащими отходами, а также на территориях Апшеронского полуострова, на которых в 2014, 2017 и 2020 гг. проводились оздоровительные мероприятия. Для обнаружения изменений на данных территориях использованы мультиспектральные изображения спутника Landsat-8. Полученные первичные результаты нанесены на карту и сопоставительно проанализированы. На основе сопоставительного анализа через каждые 3 года проанализированы изменения, произошедшие на данной территории. С целью обнаружения произошедших изменений разработаны новые математические формулы, примененные к указанным спектрам. Полученные результаты представлены в виде соответствующих карт, таблиц и графиков.

**Ключевые слова:** Landsat-8; мультиспектральные изображения; выявление изменений; дистанционное зондирование; нефтью загрязненные; спектр.

**Для цитирования:** Исмаилов А. И.о., Яшар Ф. Я., Фейзиев Ф. М. Мониторинг нефтезагрязненных земель с использованием дистанционного зондирования и ГИС // Аграрный научный журнал. 2022. № 5. С. 81–85. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i5pp81-85>.

### AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

## Monitoring of oil-polluted soils using remote sensing and GIS

Amin I. o. Ismayilov<sup>1</sup>, Arshad Ya. Yashar<sup>2</sup>, Fikrat M. Feyziyev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Soil Science and Agrochemistry, Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

<sup>2</sup>Ministry of Agriculture of the Republic of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan

e-mail: fikrat.fm@gmail.com.

**Abstract.** The article presents materials on identifying possible changes in oil-bearing and oil-polluted soils of Apsheron peninsula using satellite data and GIS technologies. The state of degraded soils polluted with oil and oily wastes, was analyzed as well as in the territories of Apsheron peninsula where in 2014, 2017 and 2020 recreational activities were carried out. Multispectral images of the landsat-8 satellite were used to detect changes in these territories. The received primary results were mapped and comparatively analyzed. On the basis of the comparative analysis the changes occurred in this territory were analyzed every 3 years. In order to detect the changes, the new mathematical formulas have been developed and applied to the indicated spectra. The received results have been presented in the form of relevant maps, tables and graphs.

**Keywords:** landsat-8; multispectral images; detection of changes; remote sensing; oil-polluted; spectrum.

**For citation:** Ismayilov A. I. o., Yashar A. Ya., Feyziyev F. M. Monitoring of oil-polluted soils using remote sensing and GIS // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2022;(5): 81–85. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i5pp81-85>.

**Введение.** Земли Апшеронского полуострова подверглись наибольшему антропогенному воздействию, по сравнению с другими областями Азербайджана. Причины, способствующие деградации земель на Абшероне, довольно разные. Загрязнение нефтью и нефтяными отходами, в отличие от других факторов загрязнения, охватывает значительные территории [5]. Примерно 20–30 % земель Апшеронского полуострова загрязнены нефтью различной степени, а также существует более 200 прудов с естественным и антропогенным загрязнением [10]. Данные спутников для обнаружения изменений на загрязненных территориях стали более актуальными в последние годы. Дистанционное зондирование может периодически охватывать большие площади, и этот подход считается более эффективной альтернативой, чем традиционные исследования. Деградированные почвы удобнее изучать методом классификации спутниковых снимков, так как спектральное отражение оголенных почв легче различить (3, 12).

Существенные изменения со временем происходят в районах добычи полезных ископаемых, особенно на нефтяных и газовых месторождениях [15]. Изменения в основном связаны с загрязнением окружающей среды, рекультивацией загрязненных территорий или другими мерами по улучшению. Чтобы обнаружить изменения происходящих в окружающей среде, особенно на поверхности земли, необходимо сначала получить информацию о предыдущем состоянии местности. Затем следует провести оценку текущего состояния окружающей среды в этих районах, что можно сделать разными методами. Среди общих указаны: 1) влажность; 2) кислотность и щелочность; 3) окислительно-восстановительный потенциал и 4) микроэлементы, как показатели техногенного химического загрязнения почв [20]. По мнению ряда авторов, одним из наиболее удобных способов изучения изменений окружающей среды является дистанционное зондирование [9, 11, 19].

Анализируя аэрофотоснимки, можно идентифицировать возделываемые культуры (21) по спутниковым снимкам за разные годы – возраст месторождения, однако такая кропотливая работа требует времени, так как необходимо анализировать архивные снимки за последние 10–15 летим [22]. Обнаружение изменений в почвах с помощью дистанционного зондирования - это процесс, который определяет различия на поверхности почвы во времени [1, 6]. Обнаружение изменений включает в себя широкий метод, используемый для определения и количественной оценки различий между изображениями одной и той же области, сделанными в разное время [4, 16]. С помощью дистанционного зондирования (временного, пространственного, спектрального и радиометрического) обнаружение изменений успешно осуществляется с учетом атмосферных условий, почвенного покрова, яркости, и влажности почв [7, 8, 14]. Различная спектральность спутниковых изображений, точность, а также современные и архивные изображения, открыли новую эпоху в выявлении изменений [13, 17]. Дистанционное зондирование – это незаменимый метод





оценки деградации нефтезагрязненных почв на Апшеронском полуострове и мониторинга изменений деградации с течением времени. Именно поэтому мы нашли целесообразным проведение исследований именно этим методом.

**Методика исследований.** В исследовании использовали изображения спутника Landsat-8, функционирующей с 2013 г. Спутниковый снимок состоит из 13 спектров. Спектральная точность (размер пикселя) составляет 15, 30 и 100 м соответственно. Спектры, используемые в исследованиях (синий, зеленый, красный и ближний инфракрасный), представляют собой 30-метровые спектры. Снимки сделаны 12.05.2014, 04.05.2017 и 12.05.2020 г. Номенклатура изображений следующая.

LC08\_L1TP\_166032\_20140512\_20180526\_01\_T1;

LC08\_L1TP\_166032\_20170504\_20170515\_01\_T1;

LC08\_L1TP\_166032\_20200512\_20200526\_01\_T1.

Изображения состоят из 11 спектров (табл. 1). Размер одного пикселя каждого спектра составляет 16 бит.

Спектральные характеристики спутника Landsat-8. Столбец 166 и строка 032 на едином маршруте спутника Landsat-8 полностью покрывают территорию Апшеронского полуострова (рис. 1). Все три изображения, использованные в исследовании, не показали облачного покрова или других эффектов в районе исследования. Изображения полностью пригодны для исследования.

Объект исследования расположен в центральной части Апшеронского полуострова, восточнее поселка Балаханы, общей площадью в 957,6 га (рис. 2). Данный район на протяжении многих лет был зоной нефтедобычи. По этой причине земли в этом районе подверглись в различной степени загрязнению. В последнее десятилетие на территории проведены мелиоративные мероприятия, часть земель которого очищена от загрязнений. В исследовании использовались синий, зеленый, красный и ближний инфракрасный (ИК) спектры спутника Landsat-8. Точность определения данных спектров составляет 30 м. При обработке изображений использовались красный и ЗИК спектры. Для отбора образцов использовались другие спектры. Перед отбором снимков проверялась информация об атмосферных условиях исследуемой территории. Во время съемки всех трех изображений атмосфера была совершенно безоблачной и ясной. Также радиометрическая и геометрическая коррекция изображений проводилась через программу «Erdas Imagine».

Композиция изображений состоит из синего, зеленого, красного и ЗИК-спектров. Изображение pan-sharpen также было создано с использованием составных изображений и панхроматических изображений. Для обнаружения изменений использовались непосредственно составленные изображения, а для визуальных наблюдений - изображения с pan-sharpen резкости.

**Результаты исследований.** Известно, что количество солнечного луча, отраженного от объектов на поверхности Земли, варьирует в зависимости от угла падения солнечного луча. В связи с чем использовали снимки, сделанные в одно и то же время года (начало мая). В ходе исследования проанализированы характеристики отражения (значение пикселей) до и после рекультивации в видимой и ближней ИК-зоне мультиспектральных изображений территорий, загрязненных нефтяными отходами.

Изначально проведены визуальные наблюдения снимков спутника Landsat-8. Наблюдаемые участки были выбраны из типичных участков с различными изменениями. Избранные территории были сгруппированы в 5 групп: улучшенные, менее улучшенные, стабильные, менее деградированные и худшие. Проанализированы значения пикселей в спектрах для указанных областей. В ходе анализа было выявлено, что значения пикселей в ИК-спектре увеличиваются в улучшенной области и уменьшаются в деградированной области. Этот процесс происходит в красном спектре, но меньше, чем в спектре IG. Для более детального изучения спектральных характеристик местности была подготовлена карта NDVI (рис. 3). Как следует из карт NDVI, значение пикселя в исследуемой области получило больше значений около нуля, что в свою очередь свидетельствует тому, что территория не является экологически удовлетворительной, а поверхность почвы оголенная.

Различные спектры были проанализированы для выявления изменений на поверхности почвы. Было обнаружено, что чувствительность красного и IG спектров мультиспектральных изображений к изменениям в окружающей среде позволяет осуществлять процесс обнаружения изменений. Было разработано несколько математических комбинаций, основанных на чувствительности красного и IG-спектра к изменениям в окружающей среде. Карта изменения была составлена путем применения этих математических комбинаций к красному спектру и спектру IG. Из анализа карт следует, что формула (1) наиболее близка к реальности.

Ниже представлена формула для обнаружения изменения (1)

$$\frac{(YIQ_{2014} + Q_{2014}) \cdot (YIQ_{2017} - Q_{2017}) - (YIQ_{2017} + Q_{2017}) \cdot (YIQ_{2014} - Q_{2014})}{(YIQ_{2017} + Q_{2017}) \cdot (YIQ_{2014} + Q_{2014})}, \quad (1)$$

где YIQ – ближнее инфракрасное уахп; Q – пиксельные значения красных спектров, индексы и цифры по дате (год) снимков.

Упрощенная формула (1)

Таблица 1

Спектральные особенности спутника Landsat-8

№ спектрального банды	Наименование спектрального банды	Средняя длина волн, мкм	Определения m
1	Coastal aerosol	0,433-0,453	30
2	Blue (mavi)	0,450-0,515	30
3	Green (Yaşıl)	0,525-0,600	30
4	Red (qırmızı)	0,630-0,680	30
5	NIR (yaxın İQ)	0,845-0,885	30
6	SWIR 1	1,560-1,660	30
7	SWIR 2	2,100-2,300	30
8	Panxromatik	0,500-0,680	15
9	SWIR 3	1,360-1,390	30
10	Termal 1	10,30-11,30	100
11	Termal 2	11,50-12,65	100

$$2 \cdot \frac{YIQ_{2017} \cdot Q_{2014} - YIQ_{2014} \cdot Q_{2017}}{YIQ_{2017} \cdot YIQ_{2014} + YIQ_{2017} \cdot Q_{2014} + YIQ_{2014} \cdot Q_{2017} + Q_{2017} \cdot Q_{2014}} \quad (2)$$

При помощи формулы (2) выявлены и картированы изменения происходящие в 2014-2017 гг. (рис. 4). Для визуального представления результатов, произведена классификация в 5 классах.

Чтобы отслеживать динамику изменений, необходимо выявить изменения, произошедшие в 2017–2020 гг. По этой причине формула (3) была разработана с использованием формулы (2). Применяя формулу (3), было обнаружено изменение, произошедшее в следующие три года.

$$2 \cdot \frac{YIQ_{2020} \cdot Q_{2017} - YIQ_{2017} \cdot Q_{2020}}{YIQ_{2020} \cdot YIQ_{2017} + YIQ_{2020} \cdot Q_{2017} + YIQ_{2017} \cdot Q_{2020} + Q_{2020} \cdot Q_{2017}} \quad (3)$$

Таким образом были установлены и картированы изменения в 2017–2020 гг. (рис. 5).

Сопоставление 2 карт позволяет заключить, что изменения, имеющие место в 2014–2017 гг., существенно превосходят изменения 2017–2020 гг.

Поскольку динамика изменения в обоих временных интервалах разная, была разработана формула (4) на основе формулы (1) для отслеживания общей динамики с целью выявления изменения, произошедшего в 2014–2020 гг.

$$2 \cdot \frac{YIQ_{2020} \cdot Q_{2014} - YIQ_{2014} \cdot Q_{2020}}{YIQ_{2020} \cdot YIQ_{2014} + YIQ_{2020} \cdot Q_{2014} + YIQ_{2014} \cdot Q_{2020} + Q_{2020} \cdot Q_{2014}} \quad (4)$$

Изменения, произошедшие в 2014–2020 гг, выявлены и картированы при помощи формулы (4), рис. 6.

Для наглядного представления результатов они классифицированы в 5 классах. Из анализ карт следует, что изменения, произошедшие в 2014–2020 гг., превышают изменения в 2017–2020 и 2014–2020 гг. В изменениях, произошедших за этот период, преобладают небольшие улучшения и ухудшения. Причиной тому служит очистка от загрязнений нефтью и нефтепродуктами исследуемой территории, осушение нефтеносных прудов и проведение в те годы мелиоративных мероприятий.

Эти изменения также можно наглядно наблюдать со спутниковых снимков.

Проведена повторная классификация уже имеющихся классифицированных карт. На переклассифицированных картах были рассчитаны площади по количествам и площадям пикселей (табл. 2).

Цифры по годам, отмеченные в табл. 2, представлены в графической форме (рис. 7). Как видно из табл. 2 и графика, стабильная область является более распространенной. На следующей ступени размещены менее улучшенные участки. Дегradированные площади составили 1,3 % от общей площади в 2014–2017 гг. и 8,38 % в 2017–2020 гг.

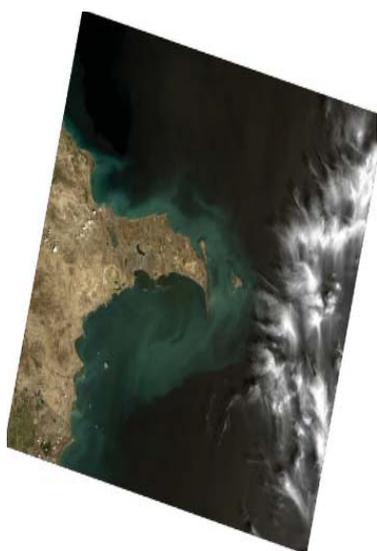


Рис. 1. Изображение спутника Landsat-8 Апшеронского полуострова



Рис. 2. Объект исследования

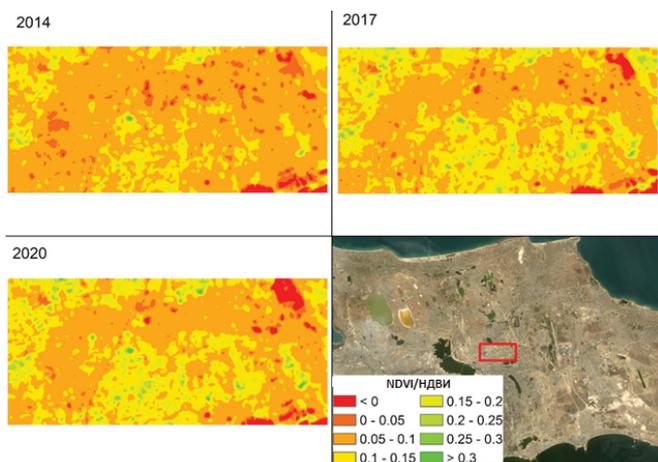


Рис. 3. Карта NDVI объекта исследования

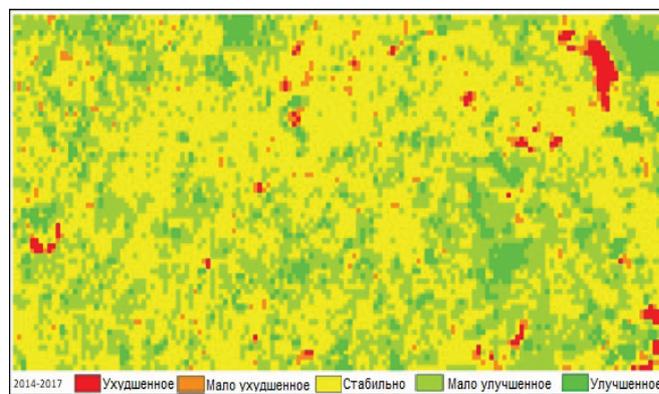


Рис. 4. Изменения, происходящие в 2014–2017 гг.



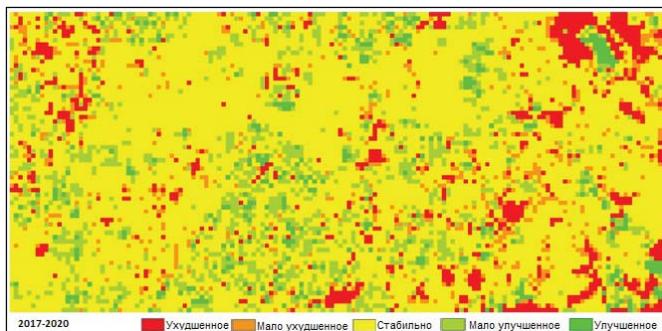


Рис. 5. Изменения, происходящие в 2017–2020 гг.

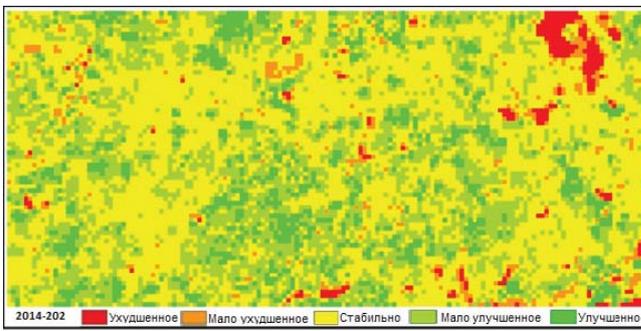


Рис. 6. Изменения, произошедшие в 2014–2020 гг.

Таблица 2

## Показатели изменений происходящих на земной поверхности по годам.

Изменения	Изменения за 2014-2017 гг., га	Изменения за 2017-2020 гг., га	Изменения за 2014-2020 гг., га
Ухудшенные	12,51	80,28	23,22
Менее ухудшенные	22,14	61,47	36,99
Стабильные	543,6	656,55	507,51
Менее улучшенные	309,51	125,1	291,15
Улучшенные	69,84	34,2	98,73
Итого:	957,6	957,6	957,6

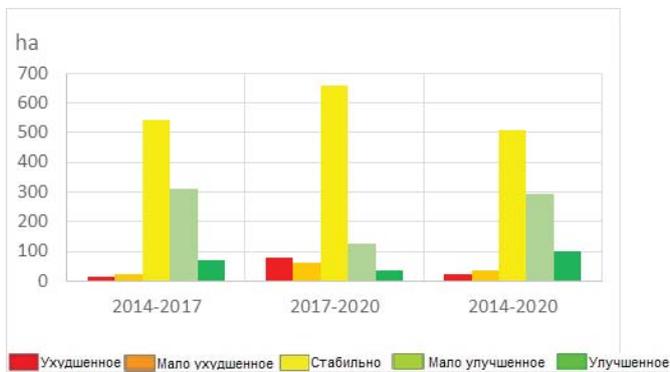


Рис. 7. Изменения в 2014–2020 гг.

Отметим, что размер пикселя спутниковых снимков, использованных в исследованиях, составляют  $30 \times 30$  м. Если есть изменение в области, покрытой одним пикселем, в области менее 50 % области пикселя, то эти изменения не наблюдаются. Чтобы обнаружить такое изменение, следует использовать спутниковые изображения с меньшими пикселями с использованием представленной нами методикой. Данная методика может применяться не только к территориям, загрязненным нефтью и нефтепродуктами, но и на других территориях.

**Заключение.** В рамках исследования проведен анализ выявления изменений за последние 6 лет (2014–2020 гг.) на территориях, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. Обнаружение изменений основано на изменении спектральных диапазонов. Данные спектры использовались, потому что вариации в спектральных

диапазонах более распространены, особенно в красном и ближнем инфракрасном диапазонах. Результаты исследования подтвердили преимущества и эффективность использования спутниковых данных и технологий ГИС для обнаружения изменений в почвах, загрязненных нефтью и нефтяными отходами.

Статья подготовлена в рамках проекта «Изучение мониторинга и деградации нефтезагрязненных земель с использованием спутниковых данных и технологий ГИС», финансируемого «Фондом науки» Государственной нефтяной компании Азербайджанской Республики (№ 21LR - НАНА. ).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Alexakis D.D., Gryllakis M.G., Koutroulis A.G., Agapiou A. et al. GIS and remote sensing techniques for the assessment of land use changes impact on flood hydrology: the case study of Yialias Basin in Cyprus. *Nat. Hazard Earth Syst. Sci. Discuss.* 2014; 14: 413-426.
2. Ismailov A., Babaev M., Feyziyev F. The correlation of Azerbaijan arid soils with WRB-2014. *Eurasian Journal of Soil Science.* 2020; 3: 202-207. DOI: 10.18393/ejss.724698
3. Raimundo Almeida-Filho, Shimabukuro Yosio E. Digital processing of a Landsat-TM time series for mapping and monitoring degraded areas caused by independent gold miners, Roraima State, Brazilian Amazon. *Remote sensing of Environment.* 2002; 79; 1: 42-50.
4. Atu J.E., Ayama O.R., Ejaş E.I. Urban sprawl effects on biodiversity in peripheral agricultural Lands in Calabar, Nigeria. *J. Environ. Earth Sci.* 2013; 3 (7): 219-231.
5. Babaev M. P., Ismailov N. M., Nadzhafova S. I., Keiserukhskaia F. S., Orudzheva N. I. Approaches to Determining Maximum Permissible Concentrations of Oil and Oil Products for Different Soil Types on the Basis of the Assimilation Potential (by the Example of Azerbaijan Soils). *Eurasian Soil Science.* 2020; 53(11): 1629-1634.
6. Bruzzone L.; Bovolo F. A Novel Framework for the Design of Change-Detection Systems for Very-High-Resolution Remote Sensing Images. *Proc. IEEE.* 2013; 101: 609–630.
7. Butt A., Shabbir R., Ahmad S. S., Aziz N. Land use change mapping and analysis using Remote Sensing and GIS: a case study of Simly watershed, Islamabad, Pakistan. *Egypt. J. Remote Sens Space Sci.* 2015; 18 (2): 251-259.
8. Hegazy M.N, Effat H.A. Monitoring some environmental impacts of oil industry on coastal zone using different remotely sensed data. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science.* 2010; 13: 63-74.
9. Huang X., Li J., Bovolo F., Wang, Q. Special Section Guest Editorial: Change Detection Using Multi-Source Remotely Sensed Imagery. 2019
10. Khalilova H. K. The impact of oil contamination on soil ecosystem. *Biological and Chemical Research.* 2015: 133–139.
11. Lim M.W., E. Von Lau, Poh P.E. A comprehensive guide of remediation technologies for oil contaminated soil present works and

future directions. *Mar. Pollut. Bull.* 2016; 109: 14-45.

12. Meneses-Tovar C.L. NDVI as indicator of degradation. FAO. 2012. URL: <http://www.fao.org/docrep/015/i2560e/i2560e07.pdf>.
13. Metternicht G. I., Zinck J. A. Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints. *Remote sensing of Environment*, 2003; 85(1): 1-20.
14. Mohamed N., Mobarak B. Change detection techniques using optical remote sensing: a survey. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)*, 2016; 17(1): 42-51.
15. Oyinloye M.A., Olamiju O.I. An assessment of the physical impact of oil spillage using GIS and Remote Sensing technologies: Empirical evidence from Jesse town, Delta State, Nigeria. *British Journal of Arts and Social Sciences*. 2013; 12 (2): 235.
16. Singh A. Review Article: Digital Change Detection Techniques Using Remotely-Sensed Data. *Int. J. Remote Sens.* 1989; 10: 989-1003.
17. Twumasi Y.A., Merem E.C. GIS and remote sensing applications in the assessment of change within a coastal environment in the Niger Delta Region of Nigeria. *International journal of environmental research and public health*. 2006; 3 (1): 98.
18. Zhang Y., Li Y., Linş H. Oil-spill pollution remote sensing by synthetic aperture radar. *Advanced Geoscience Remote Sensing*, 2014; 2: 27-50.
19. Oparin M.L., Nukhimovskaya Y.D., Konyushkova M.V. et al. Analysis of Soil and Vegetation Cover from Satellite Imagery to Assess its Relation to Lark Habitats (Alaudidae, Aves) in the Trans-Volga Semi-Desert. *Biol Bull Russ Acad Sci*. 2018; 45: 1284-1292. URL: <https://doi.org/10.1134/S1062359018100199>.
20. Панкова Е. И.. Дистанционный мониторинг засоления орошаемых почв хлопкосеющей зоны // Бюллетень Почвенного института им. ВВ Докучаева. 2014. 74.
21. Горохова Н., Панкова Е. И., Шишконова Е. А. (). Опыт использования космических снимков для составления карты землепользования орошаемых и залежных земель Светлоярской оросительной системы // Бюллетень Почвенного института им. ВВ Докучаева. 2017. 89.
22. Конюшкова М.В. Цифровое картографирование почв солонцовых комплексов Северного Прикаспия. М., 2014. 316 с.

## REFERENCES

1. Alexakis D.D., Gryllakis M.G., Koutroulis A.G., Agapiou A. et al. GIS and remote sensing techniques for the assessment of land use changes impact on flood hydrology: the case study of Yialias Basin in Cyprus. *Nat. Hazard Earth Syst. Sci. Discuss.* 2014; 14: 413-426.
2. İsmayilov A., Babaev M., Feyziyev F. The correlation of Azerbaijan arid soils with WRB-2014. *Eurasian Journal of Soil Science*. 2020; 3: 202-207. DOI: 10.18393/ejss.724698
3. Raimundo Almeida-Filho, Shimabukuro Yosio E. Digital processing of a Landsat-TM time series for mapping and monitoring degraded areas caused by independent gold miners, Roraima State, Brazilian Amazon. *Remote sensing of Environment*. 2002; 79; 1: 42-50.
4. Atu J.E., Ayama O.R., Ejaş E.I. Urban sprawl effects on biodiversity in peripheral agricultural Lands in Calabar, *Nigeria J. Environ. Earth Sci.* 2013; 3 (7): 219-231.
5. Babaev M. P., Ismailov N. M., Nadzhafova S. I., Keiserukhsкая F. S., Orudzheva N. I. Approaches to Determining Maximum Permissible Concentrations of Oil and Oil Products for Different Soil Types on the Basis of the Assimilation Potential (by the Example of Azerbaijan Soils). *Eurasian Soil Science*. 2020; 53(11): 1629-1634.
6. Bruzzone L.; Bovolo F. A Novel Framework for the Design of Change-Detection Systems for Very-High-Resolution Remote Sensing Images. *Proc. IEEE*. 2013; 101: 609-630.
7. Butt A., Shabbir R., Ahmad S. S., Aziz N. Land use change mapping and analysis using Remote Sensing and GIS: a case study of Simly watershed, Islamabad, Pakistan. *Egypt. J. Remote Sens Space Sci.* 2015; 18 (2): 251-259.
8. Hegazy M.N, Effat H.A. Monitoring some environmental impacts of oil industry on coastal zone using different remotely sensed data. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. 2010; 13: 63-74.
9. Huang X., Li J., Bovolo F., Wang, Q. Special Section Guest Editorial: Change Detection Using Multi-Source Remotely Sensed Imagery. 2019
10. Khalilova H. K. The impact of oil contamination on soil ecosystem. *Biological and Chemical Research*. 2015: 133-139.
11. Lim M.W., E. Von Lau, Poh P.E. A comprehensive guide of remediation technologies for oil contaminated soil present works and future directions. *Mar. Pollut. Bull.* 2016; 109: 14-45.
12. Meneses-Tovar C.L. NDVI as indicator of degradation. FAO. 2012. URL: <http://www.fao.org/docrep/015/i2560e/i2560e07.pdf>.
13. Metternicht G. I., Zinck J. A. Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints. *Remote sensing of Environment*, 2003; 85(1): 1-20.
14. Mohamed N., Mobarak B. Change detection techniques using optical remote sensing: a survey. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)*, 2016; 17(1): 42-51.
15. Oyinloye M.A., Olamiju O.I. An assessment of the physical impact of oil spillage using GIS and Remote Sensing technologies: Empirical evidence from Jesse town, Delta State, Nigeria. *British Journal of Arts and Social Sciences*. 2013; 12 (2): 235.
16. Singh A. Review Article: Digital Change Detection Techniques Using Remotely-Sensed Data. *Int. J. Remote Sens.* 1989; 10: 989-1003.
17. Twumasi Y.A., Merem E.C. GIS and remote sensing applications in the assessment of change within a coastal environment in the Niger Delta Region of Nigeria. *International journal of environmental research and public health*. 2006; 3 (1): 98.
18. Zhang Y., Li Y., Linş H. Oil-spill pollution remote sensing by synthetic aperture radar. *Advanced Geoscience Remote Sensing*, 2014; 2: 27-50.
19. Oparin M.L., Nukhimovskaya Y.D., Konyushkova M.V. et al. Analysis of Soil and Vegetation Cover from Satellite Imagery to Assess its Relation to Lark Habitats (Alaudidae, Aves) in the Trans-Volga Semi-Desert. *Biol Bull Russ Acad Sci*. 2018; 45: 1284-1292. URL: <https://doi.org/10.1134/S1062359018100199>.
20. Pankova E.I. Remote monitoring over the salinity of irrigated soils within the cotton-growing zone. *Bulletin of the Soil Institute named after V.V. Dokuchaev*. 2014; 74. URL: <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2014-74-20-31>. (In Russ.).
21. Gorokhova I. N., Pankova E. I., Shishkonakova E. A. The experience of application of space images for creation of the land use map of irrigated lands and laylands of Svetloyarsk irrigation system. *Bulletin of the Soil Institute named after V.V. Dokuchaev*. 2014; 89. URL: <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2017-89-68-89>. (In Russ.).
22. Konyushkova M. V. Digital mapping of soils of solonetzic complexes of the Northern Caspian region. Moscow, 2014. 316 p. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 29.07.2021; одобрена после рецензирования 12.08.2021; принята к публикации 22.08.2021.

The article was submitted 29.07.2021; approved after reviewing 12.08.2021; accepted for publication 22.08.2021.

