

Научная статья
УДК 528.856:630*5
DOI: 10.37482/0536-1036-2022-6-117-125

Состояние лесных массивов на насыщенных оксидами железа почвах Азербайджана

Б.Г. Алиев, иностр. чл. РАН, акад., д-р техн. наук, проф.; *ResearcherID:* [CAJ-5455-2022](https://orcid.org/0000-0001-6129-3415),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6129-3415>

В.М. Мамедалиева[✉], *канд. геогр. наук, доц.;* *ResearcherID:* [AAC-5454-2021](https://orcid.org/0000-0002-8775-8564),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8775-8564>

Институт экологии Национального аэрокосмического агентства, ул. С.С. Ахундова, д. 1, г. Баку, Азербайджанская Республика, AZ1115; bahram_aliyev@hotmail.com, valide.mamedaliyeva@mail.ru[✉]

Поступила в редакцию 16.01.21 / Одобрена после рецензирования 18.04.21 / Принята к печати 22.04.21

Аннотация. В настоящее время в Азербайджане приоритет отдается развитию нефтегазового сектора. Активно развивается горнодобывающая промышленность, призванная стать одним из его локомотивов. Это наносит ущерб экологии региона. Одной из причин деградации лесов на западе страны стала интенсивная деятельность по добыче полезных ископаемых. Исследовано взаимовлияние состояния лесных массивов и наличия в почве минералов, содержащих оксиды железа, в регионе Малого Кавказа, который охватывает два промышленно развитых района Азербайджана – Дашкесанский и Кедабекский. По материалам спутниковых съемок за значительный период времени вычислены спектральные индексы растительности. Показан процесс обработки космических снимков, включающий их предварительную обработку, спектральный, геопространственный и корреляционный анализ для нахождения количественных коэффициентов связи доли оксидов железа в почве и состояния леса. Спектральный анализ позволяет определить состояние леса путем вычисления вегетационного индекса SPI, а также наличие в почвах региона минералов, содержащих оксиды железа, – через мультиспектральный индекс Ferric oxides. Геопространственный анализ предназначен для оценки состояния леса в местах залежей указанных минералов. Корреляционный анализ – для сравнения процессов деградации в исследованных районах. Приводятся электронные карты, составленные путем наложения карт состояния лесных массивов и карт содержания оксидов железа. Отмечается динамика, подтверждающая увеличение доли разрушенных лесов в районах исследований.

Ключевые слова: лесорастительный покров, горные леса, космические снимки, спектральные индексы, состояние леса, минералы, оксиды железа

Для цитирования: Алиев Б.Г., Мамедалиева В.М. Состояние лесных массивов на насыщенных оксидами железа почвах Азербайджана // Изв. вузов. Лесн. журн. 2022. № 6. С. 117–125. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-6-117-125>

Original article

The State of Forests Growing on Iron Oxide-Saturated Soils of Azerbaijan

Bahram G. Aliyev, Foreign Member of RAS, Academician, Honored Scientist-Specialist in Land Reclamation, Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: [CAJ-5455-2022](https://orcid.org/0000-0001-6129-3415), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6129-3415>

Valida M. Mamedaliyeva , Candidate of Geography; Assoc. Prof.;

ResearcherID: [AAC-5454-2021](https://orcid.org/0000-0002-8775-8564), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8775-8564>

Azerbaijan National Aerospace Agency, Institute of Ecology, S.S. Akhundov str., 1, Baku, AZ1115, Republic of Azerbaijan; bahram_aliyev@hotmail.com, valide.mamedaliyeva@mail.ru 

Received on January 16, 2021 / Approved after reviewing on April 18, 2021 / Accepted on April 22, 2021

Abstract. Today Azerbaijan focuses on the non-oil sector development. The mining industry is actively growing, to become one of its driving forces. This is detrimental to the ecology of the region. The intensive mining activity has become one of the reasons for the mountain forests degradation in the West of the country. The article is devoted to the study of the mutual influence of the forests state and the presence of minerals containing iron oxides in the soil in the Lesser Caucasus region, which involves two industrially developed districts of Azerbaijan: Dashkesan and Gadabay. The study is based on the calculation of spectral indices of satellite imagery over a significant period of time. The paper shows the processing of satellite images, including their pretreatment, spectral, geospatial and correlation analysis aimed at finding quantitative coefficients of the relationship between the iron oxides fraction in the soil and the forest state. Spectral analysis allows determining the forest state by calculating the SIPI vegetation index, as well as the iron oxide minerals presence in the soils of the region by calculating the Ferric oxides multispectral index. Geospatial analysis is designed to assess the forest state in the areas of these mineral deposits. Correlation analysis is used to compare the degradation processes in the studied districts. There are electronic maps compiled by overlapping the forest state and the iron oxide content maps. There is a dynamics confirming an increase in the share of degraded forests in the areas of research.

Keywords: forest-vegetation cover, mountain forests, satellite images, spectral indices, forest state, minerals, iron oxide

For citation: Aliyev B.G., Mamedaliyeva V.M. The State of Forests Growing on Iron Oxide-Saturated Soils of Azerbaijan. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2022, no. 6, pp. 117–125. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-6-117-125>

Введение

В настоящее время уменьшение площади лесных массивов является основной причиной утраты глобального биоразнообразия, выбросов углерода и изменения климата [11]. Особенно чувствительными к негативным воздействиям являются горные леса. Их крайне сложно восстановить на склонах со значительными градиентами. При этом горные леса спасают местное население от стихийных бедствий, сохраняют природные ресурсы и гарантируют экологические услуги, которые дают миллиардам людей по всему миру опору для улучшения благосостояния и условий жизнедеятельности [4].



В Азербайджане вследствие несоблюдения правил рационального использования лесных массивов, из-за активно развивающейся горнодобывающей промышленности резко снижается водоохранно-почвозащитная способность растительности, что ведет к развитию эрозионных процессов, создает условия для возникновения селевых потоков [1].

Состояние лесов во многом зависит от свойств почвы, в частности от ее плодородия. На него оказывают влияние минералы в составе почвы. Одним из необходимых растительности минеральных элементов является железо. Железо входит в состав многих почвенных минеральных соединений. Нами рассмотрены минералы, содержащие оксиды железа. Это окислы и гидроокислы железа, а именно магнетит и гематит [7]. Присутствие оксидов железа в почве положительно сказывается на состоянии леса. Поэтому основной целью исследования стало сопоставить состояние лесного покрова и наличие в почве этого массива оксидов железа.

Часто проведение исследований на высокогорье затрудняется недоступностью многих участков. В этом случае наиболее эффективным становится применение методов дистанционного зондирования Земли из космоса с помощью спутников. Основной целью дистанционных наблюдений при лесопатологическом мониторинге является своевременное обнаружение опасных отклонений в санитарном состоянии лесов, а также предварительная оценка размеров повреждений [10].

Леса сталкиваются с многочисленными угрозами и стрессовыми факторами, среди которых можно выделить обезлесение, засуху, изменение климата, присутствие инвазивных видов, воздействие вредителей и патогенов, загрязнение воздуха, пожары, наводнения, ураганы, изменения в землепользовании или неустойчивое управление [15–18]. Определение болезней растительности путем наблюдения за эффектами на листьях растений делает процесс проще и дешевле. Использование методов машинного зрения позволяет проводить исследование состояния леса на основе изображений. Идентификация болезней растений визуальным путем становится все более актуальной задачей, но в то же время возможной только на ограниченных территориях [19].

Оценка лесопатологического состояния насаждений – отдельная специфическая задача в рамках лесоустройства. Наличие конкретных вредителей и болезней леса невозможно фиксировать непосредственно на аэро- и космических снимках. Однако последствия негативных влияний (повреждения лесного полога) определяются достаточно хорошо. В таких случаях основой дешифрирования являются характерные для ослабленных, поврежденных насаждений признаки: размер и форма кроны, цвет хвои или листьев и др. [2].

Объекты и методы исследования

Дашкесанский и Кедабекский районы находятся на западе Азербайджана, на средне- и высокогорье Малого Кавказа. Наибольшие высоты – 3300–3500 м над ур. м. Районы богаты полезными ископаемыми: здесь есть месторождения черного и белого мрамора, меди, золота, железной руды, кобальта, алунита, барита и др. В Дашкесанском районе находится одно из богатейших месторождений железных руд Южного Кавказа – Дашкесанское магнетитовое месторождение

[3, 5]. По данным сайта <https://www.mindat.org/>, на этом месторождении присутствует 26 различных минералов, из них 15 содержат железо [12]. Интенсивная промышленная деятельность нанесла значительный урон лесным массивам исследованных районов.

Характерным признаком растительности и показателем ее состояния является спектральная отражательная способность, различающаяся в зависимости от длин волн. Знания о связи структуры и состояния растительности с ее отражательной способностью позволяют использовать космические мультиспектральные снимки для идентификации типов растительности и их состояния. В настоящее время существует около 160 вариантов вегетационных индексов. Они подбираются экспериментально исходя из известных особенностей кривых спектральной отражательной способности растительности и почв [8, 9].

В качестве исходных данных были использованы мультиспектральные снимки спутников Landsat 5 за 1987 и 1998 гг., а также Landsat 8 за 2015 и 2019 гг. Снимки Landsat 8/OLI позволяют демонстрировать высокую производительность при обнаружении оксидов железа, в том числе на территориях, покрытых лесной растительностью [13]. Предварительно с помощью программы ENVI проведена радиометрическая и атмосферная коррекция снимков [6]. Эта коррекция необходима для сравнения данных с сенсоров спутников, настроенных по-разному: полученные с них изображения без дополнительной радиометрической коррекции не подходят для тонкого спектрального анализа. Калибровочные коэффициенты и другие метаданные представляются в одном архивном файле с изображениями сцены в различных спектральных диапазонах.

Для всех откорректированных снимков было рассчитано значение структурно-нечувствительного пигментного индекса SIPI [20]. В отличие от нормализованного дифференциального вегетационного индекса NDVI, индекс SIPI используется для мониторинга состояния растений на территории с большой вариабельностью вегетационной структуры. SIPI определяет соотношение каротиноидов и хлорофилла: высокие значения могут свидетельствовать о болезни культур, часто приводящей к снижению количества хлорофильного пигмента в растительном покрове.

Таким образом, данный индекс характеризует состояние лесной растительности, уровень ее подверженности стрессу. Индекс был рассчитан по следующей формуле:

$$\text{SIPI} = (\text{NIR} - \text{BLUE}) / (\text{NIR} - \text{RED}), \quad (1)$$

где NIR – яркость изображения в ближнем инфракрасном канале; BLUE – яркость изображения в синем видимом канале; RED – яркость изображения в красном видимом канале.

Определение этого индекса позволяет выделить 3 класса лесных участков по состоянию: здоровые, поврежденные и разрушенные.

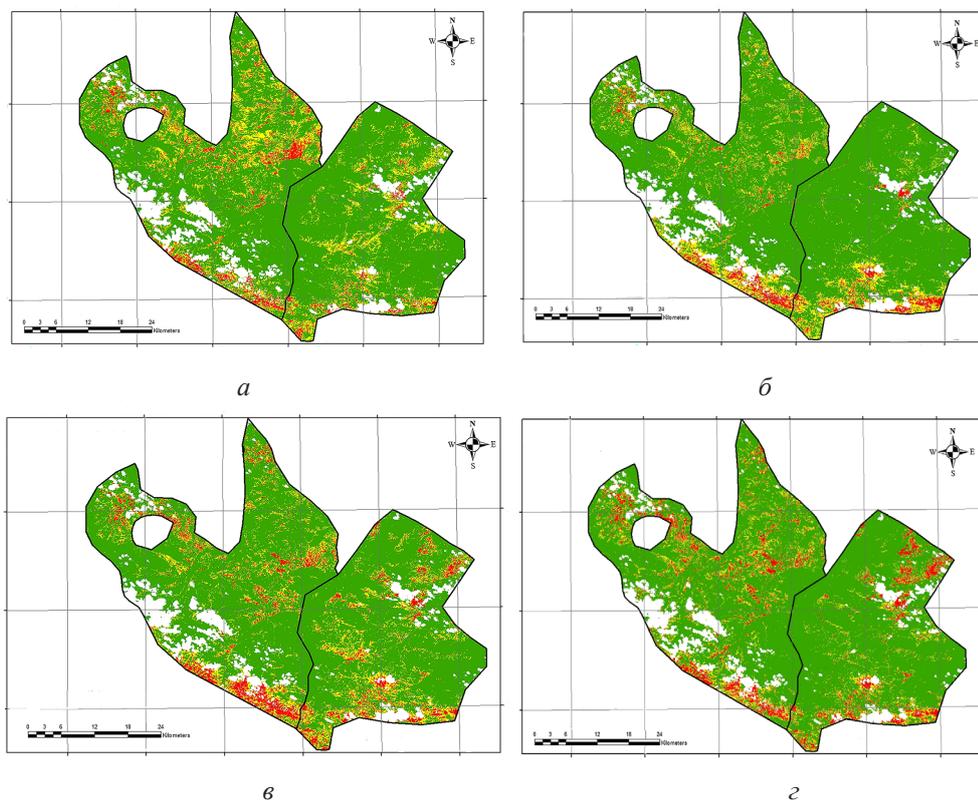
Содержание в почве оксидов железа можно найти с помощью спектрального индекса Ferric oxides, использующего соотношение коротковолнового (SWIR1) и ближнего инфракрасных каналов [14]:

$$\text{Ferric oxides} = \text{SWIR1} / \text{NIR}. \quad (2)$$

Сравнив карты, построенные на основе расчетов по формулам (1) и (2), можно определить площади содержащих оксиды железа почв, на которых находятся участки леса всех 3 классов.

Результаты исследования и их обсуждение

На 1-м этапе исследования по формуле (1) рассчитаны значения индекса SIPI для спутниковых снимков за все 4 года и лесной массив разделен на 3 класса. На рис. 1 показаны результаты обработки данных, полученных на 1-м этапе. В табл. 1 приведены площади лесного покрова 3 классов в разные годы.



■ – здоровый ■ – поврежденный ■ – разрушенный лесорастительный покров

Рис. 1. Разделение лесных массивов Дашкесанского и Кедабекского районов на классы по индексу SIPI: а – 1987; б – 1998; в – 2015; з – 2019 г.

Fig. 1. Division of the Dashkasan and Gadabay district forests into classes by the SIPI index: а – 1987; б – 1998; в – 2015; з – 2019

На 2-м этапе к использованным на 1-м этапе откорректированным изображениям было применено выражение (2) и построены карты почв с минералами, имеющими в составе оксиды железа (Ferric oxides) (рис. 2). Полученные численные данные показаны в табл. 2.

На 3-м этапе исследования проведено сравнение результатов 1-го и 2-го этапов, а именно карт залежей оксидов железа, а также карт разных классов лесорастительного покрова. Сравнение выполнено путем наложения карт для каждого года друг на друга. Результаты приведены на рис. 3.

Таблица 1

Площади, га, различных классов лесорастительного покрова в разные годы
Areas, ha, of forest-vegetation cover of different classes by years

Районы	Класс лесорастительного покрова	1987	1998	2015	2019	Динамика за 1987–2019 гг.
Дашкесанский и Кедабекский вместе	Здоровый	162 200	172 679	162 589	167 976	5776↑
	Поврежденный	33 653	25 514	29 503	22 865	10 788↓
	Разрушенный	10 238	8238	14 340	15 577	5339↑
Дашкесанский	Здоровый	77 792	80 869	73 603	78 731	939↑
	Поврежденный	12 888	9580	14 160	8624	4264↓
	Разрушенный	2715	3159	5860	6259	3544↑
Кедабекский	Здоровый	84 192	91 578	88 765	89 010	4818↑
	Поврежденный	20 695	15 873	15 293	14 199	6496↓
	Разрушенный	7498	5061	8440	9285	1787↑

Примечание: ↑ – рост; ↓ – снижение.

После наложения карт сформированы отдельные полигоны залежей оксидов железа на участках лесной растительности всех классов состояния и рассчитаны площади этих полигонов. Результаты сведены в табл. 3.

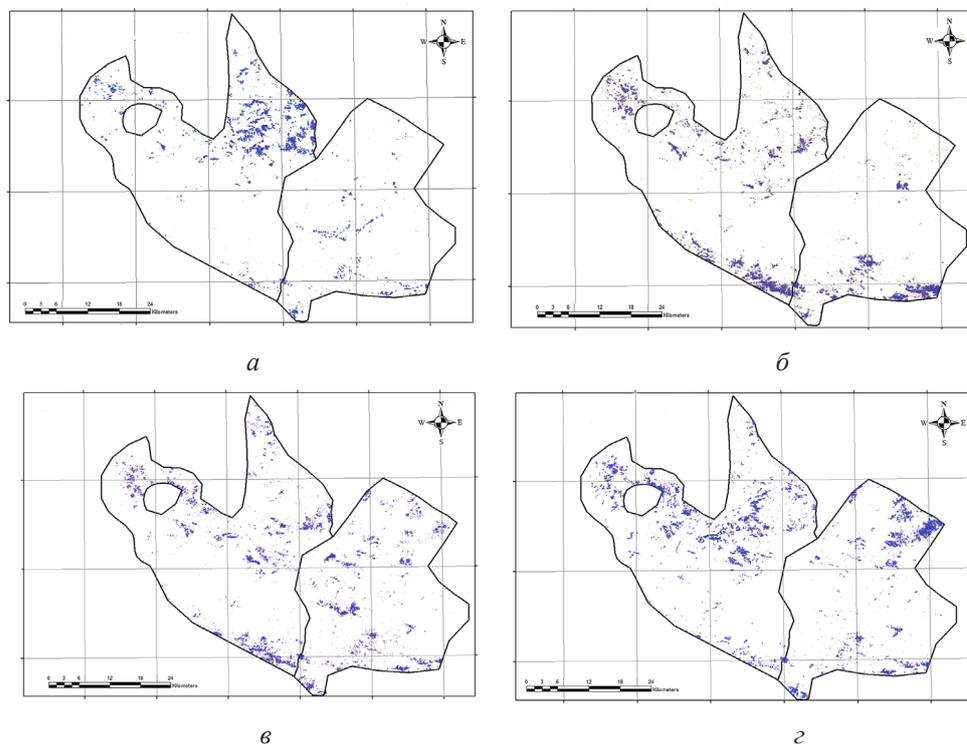


Рис. 2. Карта содержащих оксиды железа (■) почв Дашкесанского и Кедабекского районов: а – 1987; б – 1998; в – 2015; г – 2019 г.

Fig. 2. Map of soils containing iron oxides (■) of the Dashkesan and Kedabek districts by years: а – 1987; б – 1998; в – 2015; г – 2019

Таблица 2

Площади почв, га, содержащих оксиды железа, в разные годы
Areas, ha, of soils containing iron oxides by years

Районы	1987	1998	2015	2019	Динамика за 1987–2019 гг.
Дашкесанский и Кедабекский вместе	5055	8419	7250	7276	2221↑
Дашкесанский	926	3046	3133	2935	2009↑
Кедабекский	4129	5373	4117	4341	212↑

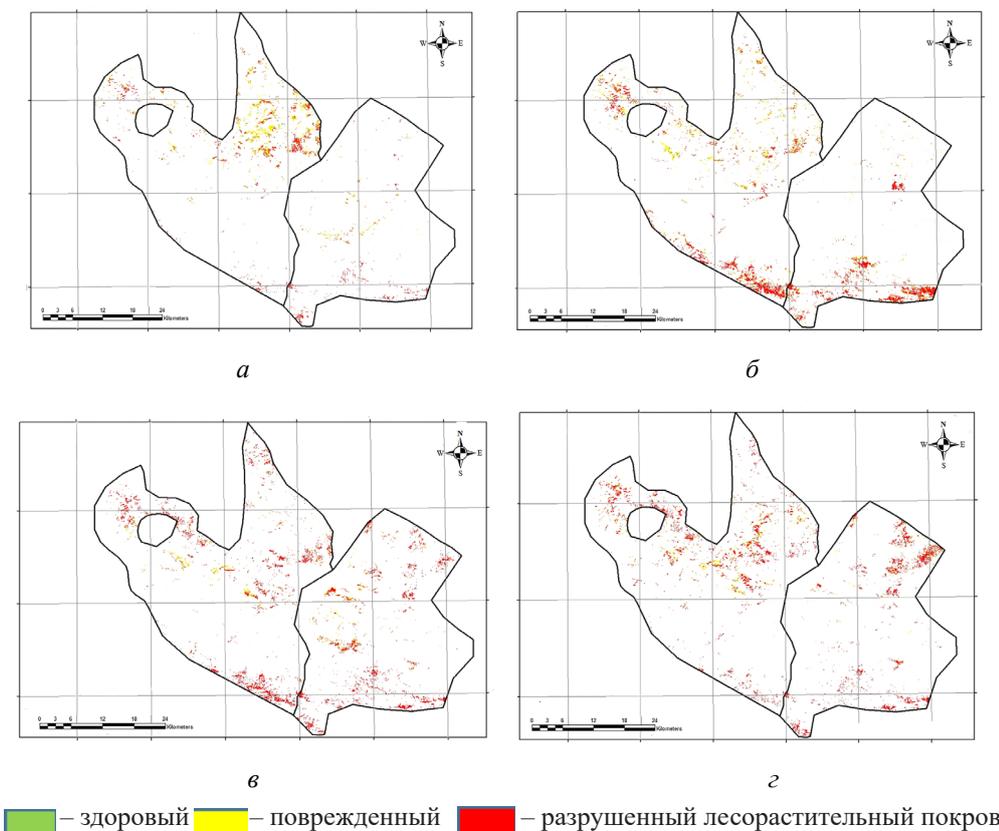


Рис. 3. Результаты наложения карт содержащих соединения оксидов железа залежей Дашкесанского и Кедабекского районов на карты индекса SIPI: *a* – 1987; *б* – 1998; *в* – 2015; *г* – 2019 г.

Fig. 3. Overlapping of the maps of deposits of the Dashkasan and Gadabay districts, containing iron oxide compounds, and the SIPI index maps by years: *a* – 1987; *б* – 1998; *в* – 2015; *г* – 2019

Найдена корреляция значений для каждого класса растительности Дашкесанского и Кедабекского районов. Корреляция рассчитывалась в программе Excel с помощью функции «Корреляция» в меню «Данные → Анализ данных». Были получены следующие значения: для здорового покрова – 0,02; для поврежденного покрова – 0,13; для разрушенного покрова – 0,99.

Таблица 3

Площади, га, залежей соединений оксидов железа на участках лесной растительности различных классов
Areas, ha, of deposits of iron oxide compounds on the forest vegetation sites of different classes

Районы	Класс лесорастительного покрова	1987	1998	2015	2019	Динамика за 1987–2019 гг.
Дашкесанский и Кедабекский вместе	Здоровый покров	37	85	14	42	5↑
	Поврежденный покров	2397	2807	1230	1407	990↓
	Разрушенный покров	2621	5527	6006	5827	3206↑
Дашкесанский	Здоровый покров	1	7	2	17	16↑
	Поврежденный покров	267	762	505	343	76↑
	Разрушенный покров	658	2277	2626	2575	1917↑
Кедабекский	Здоровый покров	36	78	12	25	11↓
	Поврежденный покров	2130	2045	725	1064	1066↓
	Разрушенный покров	1963	3250	3380	3252	1289↑

Заключение

Таким образом, оксиды железа в основном встречаются на участках поврежденного или разрушенного леса и частично на участках здоровой лесной растительности, то есть именно на тех участках, где велась интенсивная хозяйственная деятельность. С этим же связаны низкие значения корреляции между двумя районами для класса здоровой лесной растительности и высокие для класса разрушенной. В целом наблюдается незначительное увеличение количества участков со здоровым лесорастительным покровом и наличием минералов, содержащих оксиды железа, что говорит об их положительном влиянии на состояние лесной растительности на неповрежденных участках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Алиев Б.Г., Алиев И.Н. Проблемы эрозии в Азербайджане и пути ее решения. Баку: Нурлан, 2000. 122 с.
Aliyev B.G., Aliyev I.N. *Erosion Problems in Azerbaijan and Ways to Solve Them*. Baku, Nurlan Publ., 2000. 122 p. (In Russ.).
2. Бузмаков С.А., Санников П.Ю., Андреев Д.Н. Подготовка и применение материалов аэрофотосъемки для изучения лесов // Изв. Самар. НЦ РАН. 2016. Т. 18, № 2. С. 313–316.
Buzmakov S.A., Sannikov P.Yu., Andreev D.N. Preparation and Applying of Aerial Photography for the Forest Studying. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2016, vol. 18, no. 2, pp. 313–316. (In Russ.).
3. Все о геологии. Месторождение Дашкесан. Режим доступа: https://wiki.web.ru/wiki/Месторождение_Дашкесан (дата обращения: 31.10.22).
All about Geology. Dashkesan Deposit. (In Russ.).
4. Горные леса – основа нашего будущего/Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций, ФАО. Отдел по оценке, рациональному использованию и сохранению лесов. Режим доступа: <http://caresd.net/img/docs/8517.pdf> (дата обращения: 31.10.22).
Mountain Forests are the Basis of Our Future. Division for Assessment, Rational Use and Conservation of Forests, Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO. (In Russ.).

5. Дашкесан. Режим доступа: <https://portal.azertag.az/ru/node/2598> (дата обращения: 31.10.22).
Dashkesan. (In Russ.).
6. Колесникова О.Н., Черепанов А.С. Возможности ПК ENVI для обработки мультиспектральных и гиперспектральных данных // Геоматика. 2009. № 3. С. 24–27.
Kolesnikova O.N., Cherepanov A.S. New ENVI Software Opportunities for Processing Multispectral and Hiperpectral Data. *Geomatica*, 2009, no. 3, pp. 24–27. (In Russ.).
7. Химическая классификация минералов. Режим доступа: <https://bsu.by/faculties/ekspozitsii-muzeya/khimicheskaya-klassifikatsiya-mineralov.php> (дата обращения: 29.11.22).
Chemical Classification of Minerals. Belarusian State University. (In Russ.).
8. Черепанов А.С. Вегетационные индексы // Геоматика. 2011. № 2. С. 98–102.
Cherepanov A.S. Vegetation Indices. *Geomatica*, 2011, no. 2, pp. 98–102. (In Russ.).
9. Черепанов А.С., Дружинина Е.Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы // Геоматика. 2009. № 3. С. 28–32.
Cherepanov A.S., Druzhinina E.G. Spectral Properties of Vegetation and Vegetation Indices. *Geomatica*, 2009, no. 3, pp. 28–32. (In Russ.).
10. Чухланцев А.А., Саворский В.П. Задачи дистанционного зондирования лесов при изучении глобальных климатических изменений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8, № 2. С. 246–256.
Chukhlantsev A.A., Savorskiy V.P. Remote Sensing of Forests in Context of Global Change. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* = Current problems in remote sensing of the Earth from space, 2011, vol. 8, no. 2, pp. 246–256. (In Russ.).
11. Altamirano A., Aplin P., Miranda A., Cayuela L., Algar A.C., Field R. High Rates of Forest Loss and Turnover Obscured by Classical Landscape Measures. *Applied Geography*, 2013, vol. 40, pp. 199–211. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.03.003>
12. Dashkesan Co-Fe Deposit, Dashkesan, Dashkesan District, Azerbaijan. *Mindat*. Available at: <https://www.mindat.org/loc-2780.html> (accessed 22.04.21).
13. Ducart D., Silva A., Toledo C. et al. Mapping Iron Oxides with Landsat-8/OLI and EO-1/Hyperion Imagery from the Serra Norte Iron Deposits in the Carajás Mineral Province, Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, 2016, vol. 46, no. 3, pp. 331–349. <https://doi.org/10.1590/2317-4889201620160023>
14. Geology Indices Background. *L3Harris*. Available at: <https://www.l3harrisgeospatial.com/docs/backgroundgeologyindices.html> (accessed 22.04.21).
15. Lausch A., Erasmi S., King D.J., Magdon P., Heurich M. Understanding Forest Health with Remote Sensing – Part I – A Review of Spectral Traits, Processes and Remote-Sensing Characteristics. *Remote Sensing*, 2016, vol. 8, iss. 12, art. 1029. <https://doi.org/10.3390/rs8121029>
16. Lewis S.L., Edwards D.P., Galbraith D. Increasing Human Dominance of Tropical Forests. *Science*, 2015, vol. 349, iss. 6250, pp. 827–832. <https://doi.org/10.1126/science.aaa9932>
17. Mate A.R., Deshmukh R.R. Analysis of Effects of Air Pollution on Chlorophyll, Water, Carotenoid and Anthocyanin Content of Tree Leaves Using Spectral Indices. *International Journal of Engineering Science and Computing*, 2016, vol. 6, no. 8, pp. 5465–5474.
18. Nemani R.R., Keeling C.D., Hashimoto H., Jolly W.M., Piper S.C., Tucker C.J., Myneni R.B., Running S.W. Climate-Driven Increases in Global Terrestrial Net Primary Production from 1982 to 1999. *Science*, 2003, vol. 300, iss. 5625, pp. 1560–1563. <https://doi.org/10.1126/science.1082750>
19. Parashar S., Bhatia K., Bhadola S. Image Processing: A Methodology to Detect Plant Diseases. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, 2019, vol. 8, iss. 4, pp. 209–216.
20. Sergieieva K. Spectral Indices to Drive Digital Agri Solutions. *EOS Data Analytics*. Available at: <https://eos.com/blog/vegetation-indices/> (accessed 10.01.22).

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest

Вклад авторов: Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article