

Научная статья

УДК 630*18;581.54

DOI: 10.37482/0536-1036-2024-3-130-139

Влияние аэрозолей на лесорастительный покров в юго-западном регионе Азербайджана

В.М. Мамедалиева¹, канд. геогр. наук; *ResearcherID*: [AAC-5454-2021](https://orcid.org/0000-0002-8775-8564),

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

Г.С. Гейдарзаде², соискатель, ст. лаборант;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8216-0320>

¹Азербайджанское национальное аэрокосмическое агентство, Институт экологии, ул. С.С. Ахундова, д. 1, г. Баку, Азербайджанская Республика, AZ1115; valide.mamedaliyeva@mail.ru

²Бакинский государственный университет, ул. 3. Халилова, д. 23, г. Баку, Азербайджанская Республика, AZ1148; gumudlu@bsu.edu.az

Поступила в редакцию 07.07.23 / Одобрена после рецензирования 03.10.23 / Принята к печати 06.10.23

Аннотация. Загрязнение атмосферы антропогенными выбросами приводит к увеличению содержания в воздухе аэрозолей. Это вызывает искажения данных дистанционного зондирования Земли в видимых диапазонах. Таким образом, затрудняется использование вегетационных индексов, в частности нормализованного дифференциального индекса растительности NDVI. В связи с этим в последнее время возрос интерес к применению спутниковых снимков, полученных в коротковолновых инфракрасных диапазонах SWIR1 и SWIR2. В отличие от NDVI, при расчете индексов AFRI-1600 и AFRI-2100 учитываются значения этих диапазонов (вместо видимого красного). Поэтому данные индексы получили название индексов, свободных от аэрозолей. В статье рассматриваются вопросы одновременного использования индексов NDVI и AFRI. Исследования проводились в 3 районах, лежащих в юго-западной части Азербайджана. В качестве исходных данных были взяты снимки 2000 и 2021 гг., полученные с помощью спутников Landsat-5 и Landsat-8 соответственно. Сканеры этих спутников имеют диапазоны 1600 и 2100 мкм. Исследование проходило в несколько этапов. На 1-м этапе были вычислены индексы AFRI-1600 и определены территории с высоким содержанием аэрозолей для указанных годов. Путем изучения динамики количества аэрозолей выделены участки 2 типов. Участки 1-го типа – те, на которых в 2000 г. содержание аэрозолей было высоким, но в 2021 г. опустилось. На участках 2-го типа ранее не фиксировалось высокое значение показателя, но в 2021 г. оно отмечено. Для обеих категорий получено значение индекса NDVI и проведена классификация покрытия участков. Результаты наложения карт индексов друг на друга показали, что рост содержания аэрозолей соответствует сокращению густоты растительности и, наоборот, понижение – увеличению этого показателя. Таким образом, повышенное содержание аэрозолей отрицательно влияет на состояние лесного покрова. Это подтверждается картами индекса состояния растительности VCI. **Ключевые слова:** лесная растительность, аэрозоли, вегетационный индекс, AFRI-1600, NDVI, VCI, юго-западный регион Азербайджана



Для цитирования: Мамедалиева В.М., Гейдарзаде Г.С. Влияние аэрозолей на лесорастительный покров в юго-западном регионе Азербайджана // Изв. вузов. Лесн. журн. 2024. № 3. С. 130–139. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-3-130-139>

The Influence of Aerosols on Forest Vegetation Cover in the South-West of Azerbaijan

*Valida M. Mamedaliyeva*¹✉, Candidate of Geography; ResearcherID: [AAC-5454-2021](https://orcid.org/0000-0002-8775-8564),

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

*Gunel S. Heydarzade*², Aspirant, Senior Laboratory Assistant;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8216-0320>

¹Azerbaijan National Aerospace Agency, Institute of Ecology, ul. S.S. Akhundova, 1, Baku, AZ1115, Republic of Azerbaijan; valide.mamedaliyeva@mail.ru✉

²Baku State University, ul. Z. Khalilova, 23, Baku, AZ1148, Republic of Azerbaijan; gumudlu@bsu.edu.az

Received on July 7, 2023 / Approved after reviewing on October 3, 2023 / Accepted on October 6, 2023

Abstract. Atmospheric pollution by anthropogenic emissions leads to an increase in the content of aerosols in the air. This causes distortions in the Earth remote sensing data in the visible ranges. Thus, the use of vegetation indices, in particular, the normalized differential vegetation index (NDVI), is difficult. In this regard, interest in the use of satellite images obtained in the short-wave infrared bands SWIR1 and SWIR2 has recently increased. Unlike NDVI, when calculating the AFRI-1600 and AFRI-2100 indices, the values of these bands are taken into account (instead of visible red). Therefore, these indices are called aerosol-free. The article addresses the issues of the NDVI and AFRI indices. The studies have been carried out in three regions located in the south-west of Azerbaijan. The initial data has been taken from 2000 and 2021 images obtained using the Landsat-5 and Landsat-8 satellites, respectively. The scanners of these satellites have ranges of 1600 and 2100 μm . The study has taken place in several stages. At the first stage, the AFRI-1600 indices have been calculated and the areas with high aerosol content for the indicated years have been identified. By studying the dynamics of the amount of aerosols, two types of sites have been identified. Type 1 sites are those where the aerosol content was high in 2000, but dropped in 2021. In type 2 sites, a high value of this indicator was not previously recorded, but was noted in 2021. The NDVI index value has been obtained for both categories, and the classification of the site coverage has been carried out. The results of superimposing index maps on each other have shown that an increase in aerosol content corresponds to a decrease in vegetation density, and vice versa, a decrease in aerosols corresponds to an increase in this indicator. Thus, the increased aerosol content has a negative effect on the condition of forest cover. This is confirmed by the VCI (vegetation condition index) maps.

Keywords: forest vegetation, aerosols, vegetation index, AFRI-1600, NDVI, VCI, south-west of Azerbaijan

For citation: Mamedaliyeva V.M., Heydarzade G.S. The Influence of Aerosols on Forest Vegetation Cover in the South-West of Azerbaijan. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2024, no. 3, pp. 130–139. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-3-130-139>

Введение

Одним из самых серьезных вызовов человечеству в настоящее время являются климатические изменения вследствие интенсивной хозяйственной деятельности. Главным инструментом исследований в этой области остаются дистанционные измерения. Аэрокосмический мониторинг состояния отдельных компонентов природной среды позволяет выявить регионы с активизацией негативных геоэкологических процессов. Важное направление аэрокосмического мониторинга – исследование состояния лесной растительности и ее динамики, что эффективно проводится путем сравнения разновременных снимков [2].

Возросшее в значительной степени количество антропогенных выбросов углекислого газа, метана и других химически активных газов способствует образованию вторичных загрязнителей, в т. ч. аэрозольных частиц [4]. Вследствие этого наблюдается существенное изменение природных биогеохимических циклов.

Аэрозоль – это дисперсная система, состоящая из газообразной дисперсионной среды и твердой или жидкой дисперсной фазы, иначе говоря, это взвесь твердых или жидких частиц в газе [3]. Диаметр аэрозольных частиц колеблется от 1 до 100 мкм. Эти мельчайшие частицы различной формы и размеров, взвешенные в воздухе, имеют как естественное (запыленный воздух, дым, туман), так и техногенное (выбросы в атмосферу заводов и теплостанций, выхлопы автомобилей) происхождение [6].

Атмосферные аэрозоли играют важную роль в решении многих задач, связанных с физикой атмосферы, к числу которых можно отнести распространение оптической радиации, фотохимические процессы, возникновение облаков и др.

Наличие в воздухе аэрозолей снижает эффективность методов дистанционного зондирования Земли [1]. Аэрозоли вносят искажения в результаты мультиспектрального анализа, применяемого при обработке спутниковых снимков, в частности при расчете нормализованного разностного индекса растительности NDVI [16, 18]:

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

где NIR – значения пикселей в ближнем инфракрасном канале (канал 4 на Landsat-5 и канал 5 на Landsat-8); RED – значения пикселей в красном канале (канал 3 на Landsat-5 и канал 4 на Landsat-8).

Причина в том, что аэрозоль увеличивает отражательную способность в красной полосе за счет рассеяния солнечного света и снижает в ближней инфракрасной области за счет его поглощения. Это может привести к неверным результатам при вычислении различных параметров растительности, например зеленой биомассы, концентрации хлорофилла или фотосинтетической активности [9, 17, 20].

Кроме аэрозолей, на вегетационные индексы влияет чувствительность к почвенному фону, особенно влажному. Также существует ограничение значений индекса в большую сторону при плотном пологом леса.

Цель исследования – определение содержания аэрозолей в атмосфере и их влияния на лесорастительный покров 3 юго-западных районов Азербайджана: Лачинского, Губадлинского и Зангеланского.

Объекты и методы исследования

В связи с ограничениями применения вегетационных индексов часто использовались их модифицированные выражения, например индекс растительности с поправкой на почву SAVI [10].

По мере повышения спектрального разрешения спутников появляется больше инновационных возможностей [15]. Одновременно с ростом числа модификаций вегетационных индексов повышается интерес к применению коротковолновых инфракрасных каналов SWIR1 и SWIR2. Диапазон SWIR1 (1,6 мкм) наиболее чувствителен к содержанию жидкой воды в листьях [19]. Использование SWIR2 (2,1 мкм) было предложено для дистанционного зондирования аэрозолей над сушей и атмосферной коррекции изображений Земли [11]. Этот диапазон также чувствителен к содержанию жидкой воды, но характеризуется более низкой отражательной способностью и может лучше имитировать NDVI без аэрозольных помех. Диапазон SWIR2 расположен в одном из атмосферных окон и меньше подвержен влиянию атмосферных газов, таких как кислород, озон, пары воды, углекислый газ и др. Длина волны этого диапазона больше, чем размер распространенных типов аэрозолей.

Таким образом, у диапазонов SWIR1 и SWIR2 есть способность проникновения в атмосферный столб даже при наличии аэрозолей, таких как дым или сульфаты. Индексы с учетом SWIR-диапазона получили название индексов, свободных от аэрозолей (Aerosol Free Vegetation Index – AFRI). Формулы для их вычисления следующие [12, 13]:

$$\text{AFRI-1600} = (\text{NIR} - 0,66 \cdot \text{SWIR1}) / (\text{NIR} + 0,66 \cdot \text{SWIR1});$$

$$\text{AFRI-2100} = (\text{NIR} - 0,5 \cdot \text{SWIR2}) / (\text{NIR} + 0,5 \cdot \text{SWIR2}),$$

где SWIR1 и SWIR2 – значения пикселей в коротковолновых инфракрасных каналах (канал 5 на Landsat-5 и каналы 6 и 7 на Landsat-8).

В условиях отсутствия облачности данные индексы – особенно AFRI-2100 – идентичны NDVI, поэтому широко используются при оценке растительности в условиях задымления, антропогенного загрязнения или вулканических шлейфов.

Процесс исследования происходил в несколько этапов. На 1-м этапе рассчитывался индекс AFRI-1600 по спутниковым снимкам 2000 (Landsat-5) и 2021 (Landsat-8) гг. По значениям индекса территории классифицировались следующим образом: с высоким уровнем аэрозолей – $-0,7 \dots -0,3$; со средним – $-0,3 \dots -0,1$; со слабым – $-0,1 \dots 0,3$; с отсутствием аэрозолей – $0,3 \dots 0,7$.

На 2-м этапе определялись участки, где заметно изменялось содержание аэрозолей. На заключительном этапе на карты этих участков накладывались карты NDVI. Таким образом, выяснялась связь NDVI и динамики AFRI. Для наглядности добавлены карты значений индекса состояния растительности VCI. Расчет индекса осуществлялся для каждого пикселя изображения текущего значения NDVI путем его сравнения с минимальным и максимальным значениями NDVI, полученными в предыдущие годы, согласно формуле

$$\text{VCI} = 100 (\text{NDVI} - \text{NDVI}_{\min}) / (\text{NDVI}_{\max} - \text{NDVI}_{\min}).$$

Индекс может принимать значения от 0 до 100 %. Минимальное и максимальное значения обозначают наихудшее и наилучшее состояния растительности в рассматриваемом регионе соответственно. При нормальном состоянии растительного покрова индекс составляет около 50 % [14].

В качестве исходных данных использовались результаты обработки космических снимков для юго-западного региона Азербайджана – Лачинского, Губадлинского и Зангеланского районов. Снимки были получены с сайта <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Предварительная обработка изображений включала проведение радиометрической калибровки и атмосферной коррекции [5].

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 1 показаны карты со значениями индекса AFRI-1600 для изучаемых территорий. Расчет индекса был сделан в программе ArcGIS [7, 8]. Значения индекса получены автоматически и разделены на 13 диапазонов.

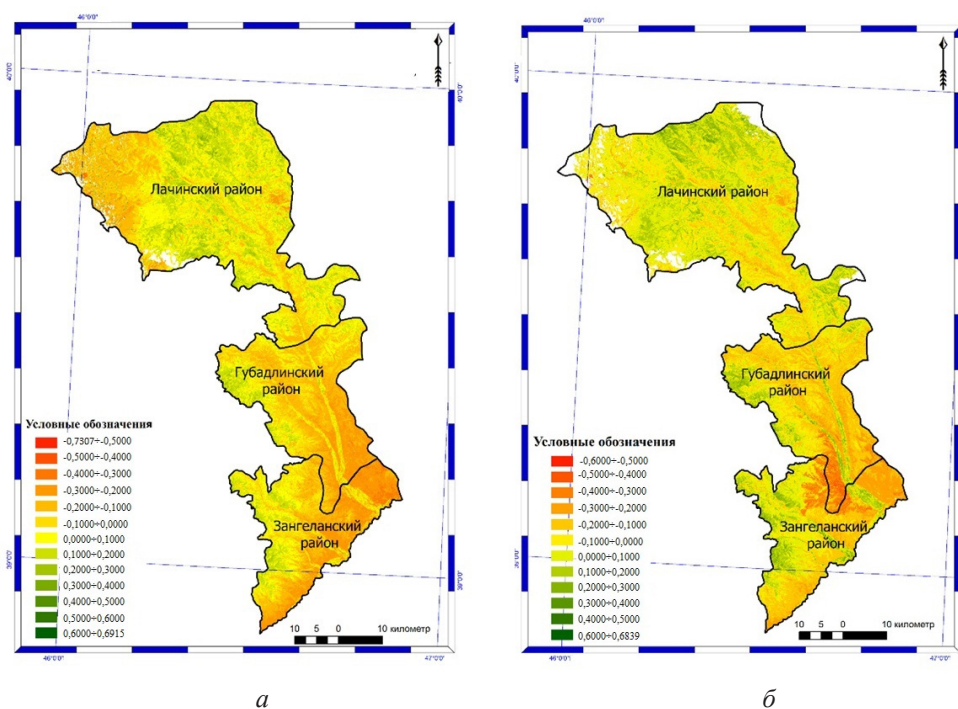


Рис. 1. Значения индекса AFRI-1600 на территории исследования по данным 2000 (а) и 2021 (б) гг.

Fig. 1. The AFRI-1600 index values in the study area according to the data from 2000 (a) and 2021 (b) гг.

Как видно из рис. 1, максимальное значение индекса AFRI-1600 составляет 0,69, а минимальное равняется $-0,7$. Весь диапазон значений был разделен на 4 класса. Результаты классификации показаны на рис. 2. В данной работе рассматриваются вопросы, связанные только с 1-м классом, т. е. с наиболее высоким содержанием аэрозолей.

Далее определялась динамика площадей для каждого из классов. Эти данные показаны в табл. 1. На рис. 3 приведены территории, на которых наблюдается понижение содержания, от высокого до более низкого уровня, увеличение до высокого и те, на которых высокий уровень остался без изменений.

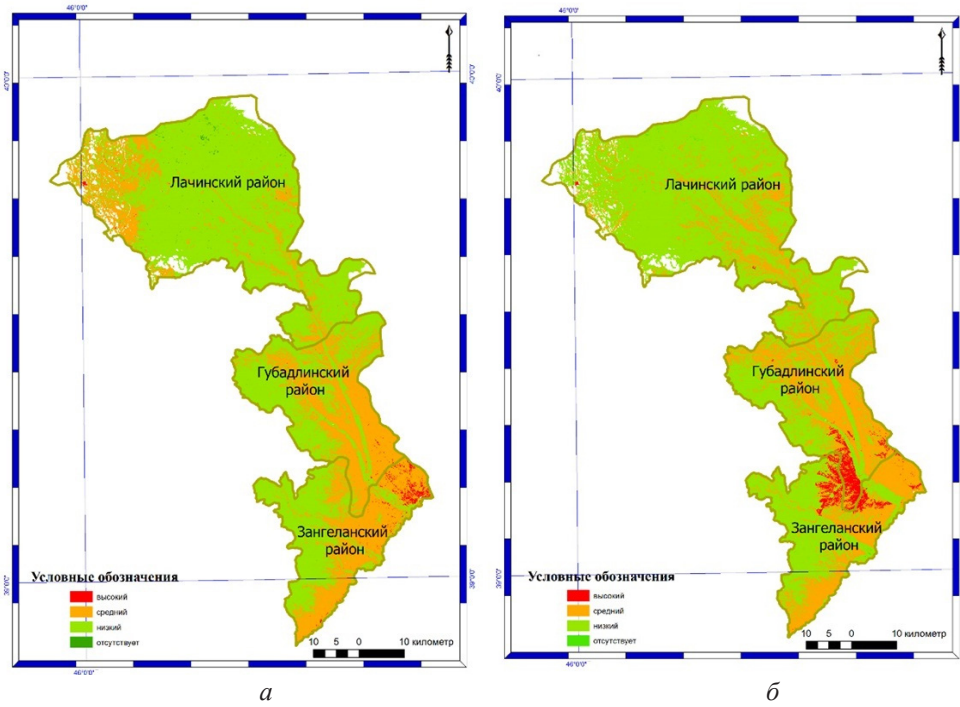


Рис. 2. Результаты классификации территорий по уровням индекса AFRI-1600 для 2000 (а) и 2021 (б) гг.

Fig. 2. The results of classification of the territories by the AFRI-1600 index levels for 2000 (a) and 2021 (b)

Таблица 1

Площади территорий с разным содержанием аэрозолей
The areas of the territories with different aerosol content

Уровень содержания аэрозолей	Площадь, га		
	2000 г.	2021 г.	Динамика
Высокий	2260	8044	5784↑
Средний	102 476	94 920	7556↓
Низкий	206 674	206 126	548↓
Отсутствие	846	447	399↓

Примечание: Здесь и в табл. 2 ↑ – рост; ↓ – снижение.

Согласно рис. 3, рост площади с высоким уровнем содержания аэрозолей в основном происходит на стыке Губадлинского и Зангеланского районов. После разделения территорий на 4 класса становится возможным с помощью индекса NDVI классифицировать их покрытие и тем самым определить влияние аэрозолей для 2 случаев: увеличения содержания аэрозолей до высокого уровня и уменьшения содержания ниже высокого уровня. Результаты исследования для обоих случаев приведены в табл. 2



Рис. 3. Динамика содержания аэрозолей для территорий с их высоким уровнем в 2000 и 2021 гг.

Fig. 3. The dynamics of aerosol content for the areas with their high levels in 2000 and 2021

Исходя из данных табл. 2, на территориях с увеличением AFRI-1600 до высокого уровня в 2000 г. большую часть площадей составляли кустарники и пастбища, а в 2021 г. наиболее увеличилась не покрытая лесом площадь. Голые и редкие деревья и кустарники и сильная густая кустарниковая растительность значительно уменьшились в 2021 г.

Исходя из данных второй части табл. 2 (территории с уменьшением AFRI-1600 ниже высокого уровня), к 2021 г. безлесная площадь ощутимо сократилась, а кустарниковая и пастбищная площади приросли больше, чем другие территории.

Таблица 2

Площади территорий с различными видами покрытия на основе индекса NDVI при разной динамике AFRI-1600

The areas of territories with different types of coverage based on the NDVI index at different dynamics of the AFRI-1600 index

Тип покрытия на основе расчета индекса NDVI	Площадь, га		
	2000 г.	2021 г.	Динамика
<i>Территории с увеличением AFRI-1600 до высокого уровня</i>			
Горные виды растительности, песок, снег	6,10	11,42	5,32 ↑
Водные объекты	0,72	7,76	7,04 ↑
Безлесные территории	388,40	3772,89	3384,49↑
Кустарники и пастбища	4292,88	3965,77	327,11 ↓
Редкие деревья и кустарники	1682,19	4,89	1677,3 ↓
Густая кустарниковая растительность	1274,04	3,18	1270,86 ↓
Густая лесная растительность	119,46	0	119,46 ↓
Очень густая лесная растительность	0,45	0	0,45 ↓

Окончание табл.2

<i>Территории с уменьшением AFRI-1600 ниже высокого уровня</i>			
Горные виды растительности, песок, снег	26,05	8,11	17,94↓
Водные объекты	3,11	110,58	107,47 ↑
Безлесные территории	1425,41	449,19	976,22 ↓
Кустарники и пастбища	506,16	1230,36	724,20 ↑
Редкие деревья и кустарники	7,57	55,26	47,69 ↑
Густая кустарниковая растительность	4,09	82,85	78,76↑
Густая лесная растительность	0,27	37,74	37,47↑
Очень густая лесная растительность	0	2,60	2,60 ↑

На основании показателей, приведенных в табл. 2, можно сделать вывод о том, что на территориях с увеличением содержания аэрозолей наблюдаются уменьшение индекса NDVI и, соответственно, ослабление лесорастительного покрова. На территориях с понижением содержания аэрозолей в воздухе ситуация обратная – растительность становится гуще. На рис. 4 даны карты, построенные на основании расчета индекса состояния растительности VCI.

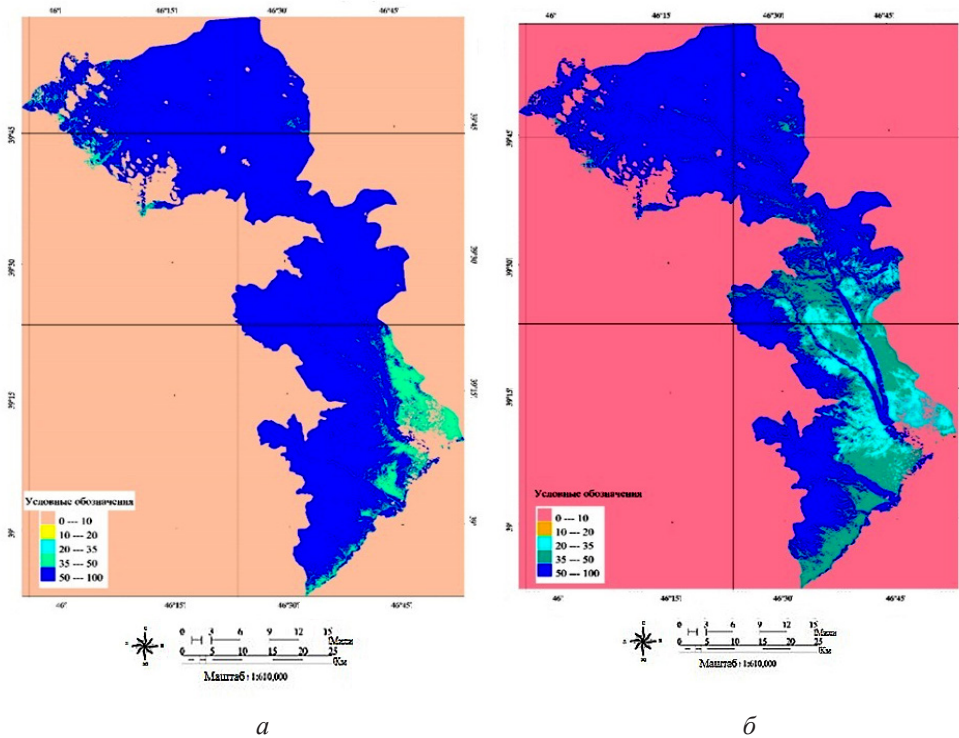


Рис. 4. Карты индекса состояния растительности в 2000 (а) и 2021 (б) гг.
 Fig. 4. The vegetation condition index maps in 2000 (a) and 2021 (b)

Заключение

Исследования в указанном регионе Азербайджана имеют широкие перспективы в связи с утвержденной программой по освоению и быстрейшему развитию этих территорий в 2025–2030 гг. Особое место занимают здесь исследования в области лесного хозяйства. Заявленная в статье тема: связывание динамик изменения двух индексов – NDVI и AFRI – не представлена в открытом сегменте Интернета, поэтому в определенной степени является пионерной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Агаев Ф.Г., Алиева Г.В. Исследование влияния аэрозоля на точность определения нормализованного дифференциального водного индекса растений // Вестн. Алтай. гос. аграр. ун-та. 2013. № 9(107). С. 27–29.
Agayev F.G., Aliyeva G.V. Study of Aerosol Effect on Determination Accuracy of Normalized Differential Water Content Index of Plants. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agrarian University, 2013, no. 9(107), pp. 27–29. (In Russ.).
2. Адамович Т.А., Ашихмина Т.Я. Аэрокосмические методы в системе геоэкологического мониторинга природно-техногенных территорий // Теорет. и приклад. экология. 2017. № 3. С. 15–24.
Adamovich T.A., Ashikhmina T.Ya. Aerospace Methods in the System of Geo-Ecological Monitoring of Natural and Anthropogenic Areas. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* = Theoretical and Applied Ecology, 2017, no. 3, pp. 15–24. (In Russ.). <https://www.doi.org/10.25750/1995-4301-2017-3-015-024>
3. Береснев С.А., Грязин В.И. Физика атмосферных аэрозолей: курс лекций. Екатеринбург: Урал. ун-т, 2008. 228 с.
Beresnev S.A., Gryazin V.I. *Physics of Atmospheric Aerosols: A Course of Lectures*. Ekaterinburg, Ural University Publ., 2008. 228 p. (In Russ.).
4. Гинзбург А.С., Губанова Д.П., Минашкин В.М. Влияние естественных и антропогенных аэрозолей на глобальный и региональный климат // Рос. хим. журн. (Журн. Рос. хим. о-ва им. Д.И. Менделеева). 2008. Т. LII, № 5. С. 112–119.
Ginzburg A.S., Gubanova D.P., Minashkin V.M. Influence of Natural and Anthropogenic Aerosols on Global and Regional Climate. *Rossijskij khimicheskij zhurnal (Zhurnal Rossijskogo khimicheskogo obshchestva im. D.I. Mendeleeva)* = Russian Journal of General Chemistry, 2008, vol. LII, no. 5, pp. 112–119. (In Russ.).
5. Горбачева Е.Н. Программный комплекс ENVI – профессиональное решение для комплексной обработки мультиспектральных, гиперспектральных и радарных данных // Геоматика. 2013. № 2. С. 50–54.
Gorbacheva E.N. ENVI Software – Professional Solution for Complex Multispectral, Hyperspectral and Radar Data Processing. *Geomatika* = Geomatics, 2013, no. 2, pp. 50–54. (In Russ.).
6. Ивлев Л.С. Механизмы образования и распада атмосферных аэрозолей и облачности и их экологическое значение // Биосфера. 2013. Т. 5, № 2. С. 182–210.
Ivlev L.S. Mechanisms of Generation and Decay of Atmospheric Aerosols and Clouds and Their Ecological Significance. *Biosphera* = Biosphere, 2013, vol. 5, no. 2, pp. 182–210. (In Russ.).
7. Семейство программных продуктов ArcGIS. Режим доступа: <https://studfile.net/preview/7154583/page:2/> (дата обращения: 18.04.24).
ArcGIS Software Product Family. <https://studfile.net/preview/7154583/page:2/> (In Russ.).

8. Чащин А.Н. Основы обработки спутниковых снимков в QGIS / Перм. гос. аграр.-технол. ун-т им. акад. Д.Н. Прянишникова. Пермь: ПрокростЪ, 2018. 47 с.
Chaschin A.N. *The Basics of Processing Satellite Images in QGIS*. Perm State Agro-Technological University. Perm, Prokrost, 2018. 47 p. (In Russ.).
9. Buschmann C., Nagel E. *In vivo Spectroscopy and Internal Optics of Leaves as Basis for Remote Sensing of Vegetation*. *International Journal of Remote Sensing*, 1993, vol. 14, pp. 711–722. <https://doi.org/10.1080/01431169308904370>
10. Huete A.R. A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). *Remote Sensing of the Environment*, 1988, vol. 25, iss. 3, pp. 295–309. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X)
11. *Index DataBase. A Database for Remote Sensing Indices*. Available at: <https://www.indexdatabase.de/db/i-single.php?id=393> (accessed: 26.02.23).
12. Karnieli A., Kaufman Y.J., Remer L., Wald A. AFRI – Aerosol Free Vegetation Index. *Remote Sensing of Environment*, 2001, no. 77, iss. 1, pp. 10–21. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00190-0](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00190-0)
13. Kaufman Y.J., Wald A.E., Remer L.A., Gao B.-C., Li R.-R., Flynn L. The MODIS 2.1- μm Channel-Correlation with Visible Reflectance for Use in Remote Sensing of Aerosol. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1997, vol. 35, iss. 5, pp. 1286–1298. <https://doi.org/10.1109/36.628795>
14. Kogan F.N. Remote Sensing of Weather Impacts on Vegetation in Non-Homogeneous Areas. *International Journal of Remote Sensing*, 1990, vol. 11, iss. 8, pp. 1405–1419. <https://doi.org/10.1080/01431169008955102>
15. Liu G.-R., Liang C.-K., Kuo T.-H. Comparison of the NDVI, ARVI and AFRI Vegetation Index, Along with Their Relations with the AOD Using SPOT 4 Vegetation Data. *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences Journal*, 2004, vol. 15, no. 1, pp. 15–31. [https://doi.org/10.3319/TAO.2004.15.1.15\(A\)](https://doi.org/10.3319/TAO.2004.15.1.15(A))
16. *NDVI: Normalized Differential Vegetation Index*. Available at: <https://eos.com/ru/make-an-analysis/ndvi> (accessed: 26.05.22).
17. Sellers P.J. Canopy Reflectance, Photosynthesis and Transpiration. *International Journal of Remote Sensing*, 1985, vol. 6, iss. 8, pp. 1335–1372. <https://doi.org/10.1080/01431168508948283>
18. *Sentinel-2 RS Indices*. Available at: <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/indexdb/> (accessed: 20.11.21).
19. Tucker C.J. A Critical Review of Remote Sensing and Other Methods for Non-Destructive Estimation of Standing Crop Biomass. *Grass and Forage Science*, 1980, vol. 35, iss. 3, pp. 177–182. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1980.tb01509.x>
20. Tucker C.J. Red and Photographic Infrared Linear Combination for Monitoring Vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 1979, vol. 8, iss. 2, pp. 127–150. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)

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