УДК 911.2, 504.05, 551.582

МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ИНДЕКСОВ ВЕГЕТАЦИИ В ПРЕДГОРНЫХ РАЙОНАХ СО СМЕШАННЫМ И ХВОЙНЫМ ЛЕСОМ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

MULTIYEAR VARIABILITY OF VEGETATION INDICES IN THE FOOTHILL REGIONS WITH MIXED AND CONIFEROUS FORESTS OF THE NORTH CAUCASUS

Тимченко Василий Юрьевич
соискатель отдела математического моделирования,
Южный математический институт – филиал
Владикавказского научного центра Российской академии наук,
Республика Северная Осетия, г. Владикавказ
ORCID 0000-0002-3997-0341
timchenko.vasily@mail.ru

Радионов Анатолий Анатольевич
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник отдела
математического моделирования,
Южный математический институт – филиал
Владикавказского научного центра Российской академии наук,
Республика Северная Осетия-Алания, г. Владикавказ
ORCID: 0000-0002-6934-6873
aar200772@mail.ru

Аннотация. В данной работе развивается методика статистического и картографического анализа геоэкологического состояния, оценки долговременной изменчивости многолетних трендов индекса вегетации (NDVI) для предгорных локаций Северного Кавказа на основании имеющихся в открытом доступе спутниковых данных MODIS и баз данных реанализа. Статистические параметры уклонов многолетней интегральной характеристики свидетельствуют о суммарном возрастании годовых значений индекса вегетации для предгорных ландшафтов со смешанным и хвойным лесом.

Ключевые слова: MODIS, AOT, статистические параметры, тренды, долговременные изменения, Северный Кавказ.

Timchenko Vasily Yurievich
Applicant for the Department
of Mathematical Modeling,
Southern Mathematical Institute –
the Affiliate of Vladikavkaz Scientific Center
of the Russian Academy of Sciences,
Republic of North Ossetia, Vladikavkaz
ORCID 0000-0002-3997-0341
timchenko.vasily@mail.ru

Radionoff Anatoly Anatolievich
Candidate of technical sciences,
Senior Researche of the Department
of Mathematical Modeling,
Southern Mathematical Institute –
the Affiliate of Vladikavkaz Scientific Center
of the Russian Academy of Sciences,
Republic of North Ossetia, Vladikavkaz
ORCID: 0000-0002-6934-6873
aar200772@mail.ru

Annotation. A methodology is being developed for statistical and cartographic analysis of the geoecological state, assessment of the long-term variability of long-term trends of the vegetation index (NDVI) for foothill locations, based on publicly available MODIS satellite data and reanalysis databases. The statistical parameters of the slopes of the multi-year integral characteristic indicate a cumulative increase in the annual values of the vegetation index for foothill landscapes with mixed and coniferous forests.

Keywords: MODIS, vegetation index, NDVI, statistical parameters, trends, long-term changes, North Caucasus.

Индекс NDVI является опережающим индикатором общего объема фитомассы, его экологического и фенологического состояния, их годовой изменчивости, а также характеристикой агроэкологического состояния территории [1].

Для количественных оценок статистических параметров изменения растительного покрова и фотосинтетически активной фитомассы в предгорных и горных районах исследована многолетняя изменчивость интегральных годовых характеристик рядов индекса NDVI по находящимся в открытом доступе данным дистанционного зондирования земли многоканальным спектрорадиометром MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, URL : http://modis.gsfc.nasa.gov), установленным на космических аппаратах EOS Terra и Aqua (URL : https://terra.nasa.gov) Американского аэрокосмического агентства NASA [4; 5].

Предгорные районы РСО-Алания, являющихся объектами ландшафтного физико-географического районирования, где на относительно небольшом участке поверхности, сконцентрировано множество дифференцированных ландшафтных и орографических компонентов [6], что требует отдельного изучения ввиду существенной пространственной изменчивости индекса вегетации NDVI, его зависимости от высоты над уровнем моря, удаленности от горных хребтов.

Как правило, эти районы имеют лесной и луговой ландшафт, в зависимости от высоты над уровнем моря и широты региона покрыты хвойными, смешанным и широколиственными лесами, альпийским луговым травянистым покровом, редколесьем.

Республика Северная Осетия-Алания расположена на Северных склонах Главного Кавказского хребта. Протяженность республики с севера на юг около 130 км и с запада на восток около 120 км.

Горная часть Северной Осетии–Алании состоит из пяти хребтов – Главного Кавказского, Бокового, Скалистого, Пастбищного и Лесистого. Лесистый хребет отделяет горную часть от предгорных равнин, переходящих постепенно в Осетинскую наклонную равнину. Рельеф Главного и Водораздельного хребтов высокогорный, с широким распространением ледниковых форм. Хребты, с высотами более 4000 м над ур. м., препятствуют свободному переносу воздушных масс с севера на юг и средиземноморских тёплых и влажных – на территорию республики с юга, оказывает большое влияние на распространение влаги, гидроресурсов, развитие сельского хозяйства и промышленности [7].

Климат республики в основном умеренно-континентальный, с большим разнообразием климатических условий, с резким перепадом высот над уровнем моря и определяется орографическими особенностями Большого Кавказа [8]. Летом в горах преобладают горно-долинные ветры. До высоты 2000 м над ур. м. (хребты Лесистый, Пастбищный и частично Скалистый) климат умеренно континентальный. Средняя температура июля +15 ÷ +17 °С. Осадков выпадает до 1000 мм/год. Средняя январская температура –3 ÷ –4 °С.

Для анализа данных по NDVI предгорной и лесистой части Большого Кавказа выбран участок вблизи северного склона Лесистого хребта – район между г. Владикавказ, средняя высота составляет около 640–740 метров над уровнем моря. Другой границей выбран г. Чикола, расположенный западнее на высоте 600 метров над уровнем моря.

На рисунке 1 изображены отобранные локации в предгорных районах РСО-Алания (выделены зелеными полигонами) для которых приводятся обработанные данные карт-схем NASA, центр полигона соответствует координатам исследуемой локации.

Для каждой локации вычислялся ряд годовых интегральных характеристик, проверялась модель линейного тренда за период 2000–2023 гг. и его статистические параметры – уклон и у-пересечение.

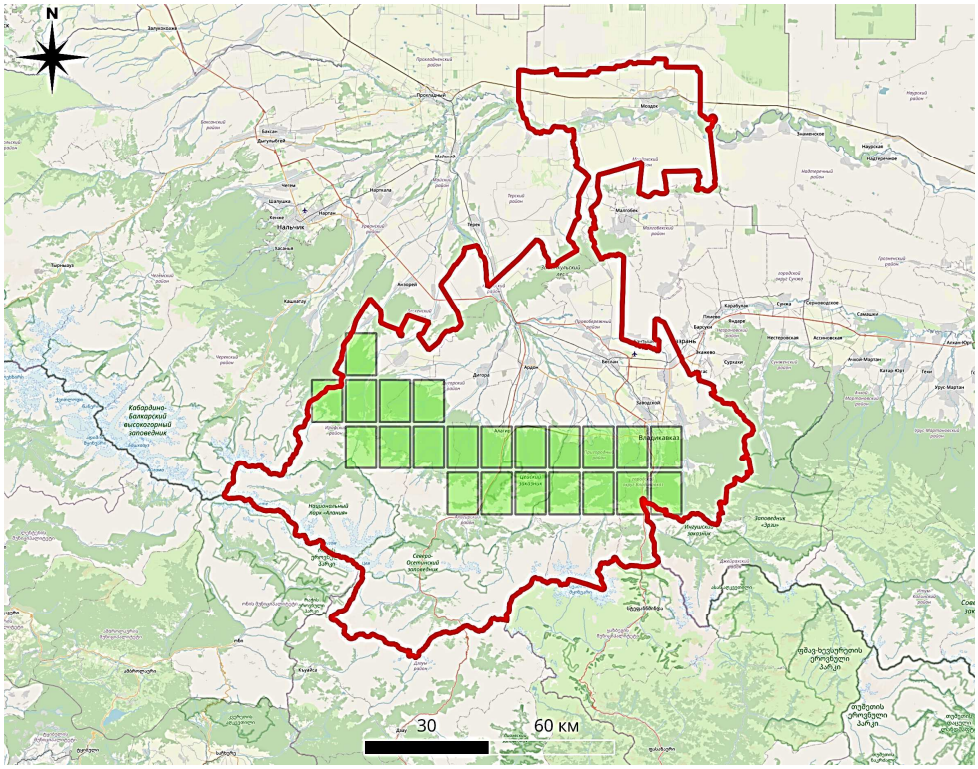

Рисунок 1 – Предгорные районы РСО-Алания с лесным ландшафтом, выделены зелеными полигонами, для которых приводятся обработанные данные карт-схем, центр полигона соответствует координатам исследуемой локации. Использована ГИС QGIS

На основе статистического анализа линейных моделей трендов многолетней изменчивости [2, 3] показано, что наибольшие значения интегральной характеристики приходятся на предгорья Северного Кавказа – на северные склоны Лесистого и Пастбищного Хребтов, где преобладают ландшафт широколиственных и смешанных лесов, много наземных крупных и мелких источников водообеспечения и практически не ведется активная хозяйственная деятельность и вырубка леса.

Для сравнения, минимальные значения интегральной характеристики приходятся на расположенные рядом высокогорные и скалистые участки Главного Кавказского и Бокового хребтов, имеющие нетающий ледниковый покров, скальные выступы высокой крутизны, не имеющие растительности.

Статистические параметры уклонов многолетней интегральной характеристики свидетельствуют о суммарном возрастании годовых значений индекса вегетации для ландшафтных локаций Лесистого и Пастбищного хребтов, как показано на рисунке 2. Наибольшее значение уклона тренда зафиксировано в локациях Национальный парк Алания, н.п. Бурон. В указанных локациях присутствует лесной ландшафт, покрытие – смешанный и хвойный лес.

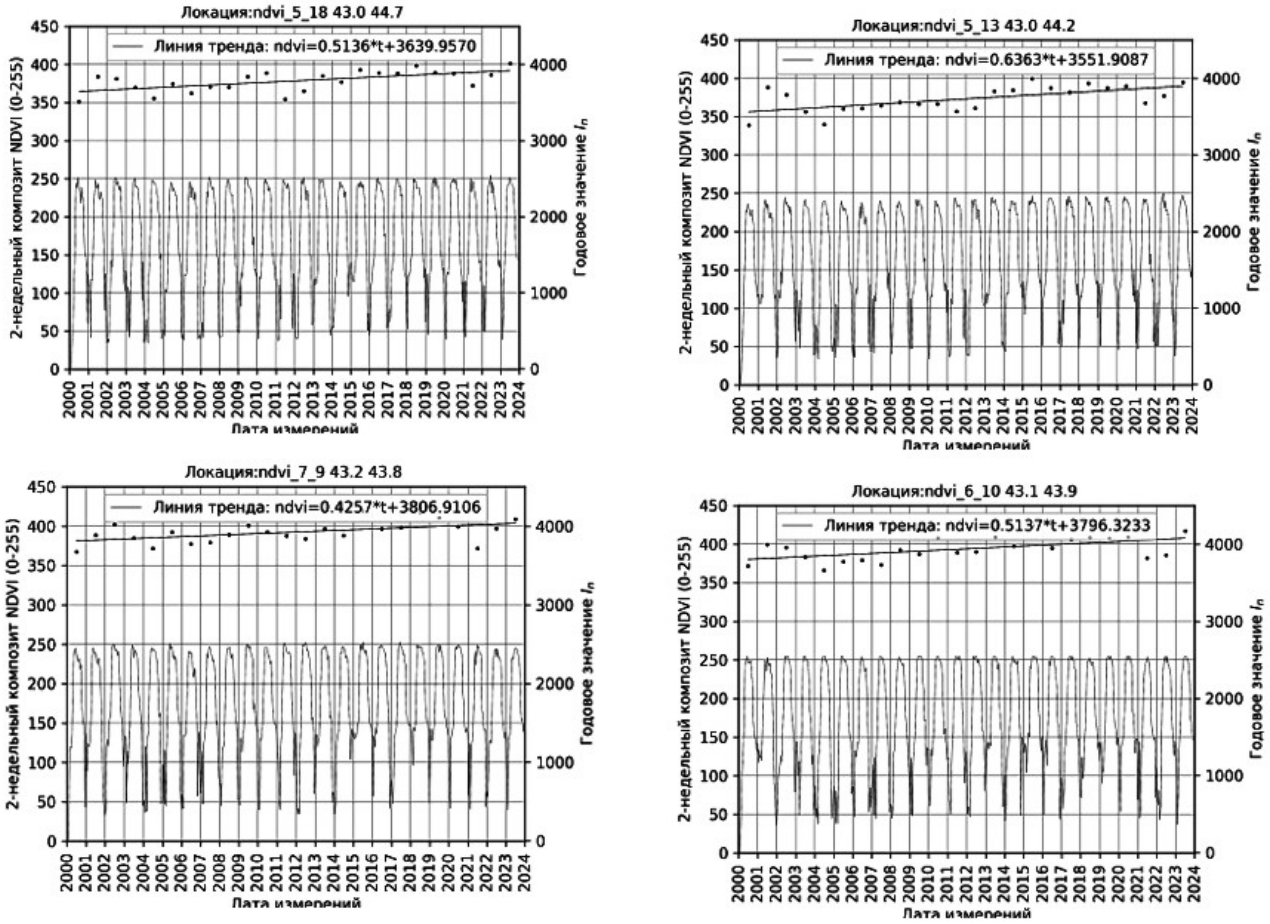

Рисунок 2 – Многолетняя изменчивость NDVI за период 2000–2023 гг.
(тонкая пунктирная линия, отсчет в диапазоне 0–255, левая шкала), годовые значения интегральной характеристики (черные кружки, отсчет по правой шкале), прямая линия – тренд многолетней изменчивости для предгорных локаций (их координаты отражены в заголовке).

Список литературы:

1. Черепанов А.С. Вегетационные индексы / А.С. Черепанов, Е.Г. Дружинина // Журнал Геоматика. – 2011. – № 2(11). – С. 98–102.

2. Изменчивость вегетационного индекса ndvi для равнинных районов предгорий Северного Кавказа в зависимости от водообеспеченности / А.А. Радионов [и др.] // Вестник Владикавказского научного центра. – 2023. – № 1. – С. 68–77.

3. Изменчивость аэрозольной оптической толщины в горных и предгорных районах Северной Осетии по данным спутниковых измерений / Е.С. Каменецкий [и др.] // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – Ростов н/Д., 2021. – № 3. – С. 51–63.

4. Remer L.A. Algorithm for remote sensing of tropospheric aerosol from MODIS: Collection 5. MODIS Algorithm Theoretical Basis Document № ATBD-MOD-02 / L.A. Remer, D. Tanre, Y. Kaufman. – 2006. – 87 p. – URL : http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod02.pdf (date of application 08.04.2020).

5. MODIS Atmosphere L2 Aerosol Product. NASA MODIS Adaptive Processing System, Goddard Space Flight Center / R. Levy [et al.]. – 2015. – URL : http://dx.doi.org/10.5067/MODIS/MOD04_L2.006

6. Будун А.С. Климат и климатические ресурсы Северной Осетии. – Орджоникидзе, 1994. – С. 254.

7. Вагин В.С. Природные ресурсы Республики Северная Осетия-Алания / В.С. Вагин; Отв. ред. В.С. Вагин; Управл. природ. рес. и охр. окруж. среды МПР России по РСО-Алания. – Владикавказ : Проект-Пресс, 2004.

8. Геккиев А.Б. Влияние рельефа на климат Республики Скверная Осетия – Алания // Современные наукоемкие технологии. – 2012. – № 1. – С. 5–7.

List of references:

1. Cherepanov A.S. Vegetation Indices / A.S. Cherepanov, E.G. Druzhinina // Geomatics Journal. – 2011. – № 2(11). – P. 98–102.
2. Variability of the NDVI Vegetation Index for Plain Areas of the Northern Caucasus Foothills Depending on Water Supply / A.A. Radionov [et al.] // Bulletin of the Vladikavkaz Scientific Center. – 2023. – № 1. – P. 68–77.
3. Variability of Aerosol Optical Thickness in Mountain and Foothill Areas of North Ossetia Based on Satellite Measurements / E.S. Kamenetsky [et al.] // Proceedings of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Natural Sciences. – Rostov-on/D., 2021. – № 3. – P. 51–63.
4. Remer L.A. Algorithm for remote sensing of tropospheric aerosol from MODIS: Collection 5. MODIS Algorithm Theoretical Basis Document № ATBD-MOD-02 / L.A. Remer, D. Tanre, Y. Kaufman. – 2006. – 87 p. – URL : http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod02.pdf (date of application 08.04.2020).
5. MODIS Atmosphere L2 Aerosol Product. NASA MODIS Adaptive Processing System, Goddard Space Flight Center / R. Levy [et al.]. – 2015. – URL : http://dx.doi.org/10.5067/MODIS/MOD04_L2.006
6. Budun A.S. Climate and Climatic Resources of North Ossetia. – Ordzhonikidze, 1994. – P. 254.
7. Vagin V.S. Natural Resources of the Republic of North Ossetia-Alania / V.S. Vagin; Ed. V.S. Vagin; Management of Natural Resources and Environmental Protection of the Ministry of Natural Resources of Russia for RSO-Alania. – Vladikavkaz : Project-Press, 2004.
8. Gekkiyev A.B. The Influence of Relief on the Climate of the Republic of North Ossetia-Alania // Modern Science-Intensive Technologies. – 2012. – № 1. – P. 5–7.