

УДК 911.2

DOI: 10.46698/VNC.2026.69.88.001

Оригинальная статья

Оценка внутригодичной динамики полупустынных ландшафтов по данным дистанционного зондирования Земли

И.А. Керимов[✉], В.В. Братков[✉], Л.Р. Бекмурзаева[✉]

Грозненский государственный нефтяной технический университет им. акад. М.Д. Миллионщикова, Россия, 364051, г. Грозный, пр. Х.А. Исаева, 100,
e-mail: eip-eco2017@yandex.ru

Статья поступила: 12.02.2026, доработана: 25.05.2026, принята к публикации: 27.05.2026

Резюме: Актуальность работы. Оценка сезонной и внутригодичной динамики ландшафтов отображает их реакцию на происходящие изменения климатических условий. Однако не всегда имеются метеорологические данные, в связи с редкой метеосетью в некоторых регионах нашей страны. В этой связи, авторами предлагается проводить оценку внутригодичной динамики ландшафтов на основе индекса NDVI. **Цель** – оценка внутригодичной динамики полупустынных ландшафтов Чеченской Республики на основе индекса NDVI. **Материалы и методы.** Для расчетов спектральных индексов и температуры земной поверхности использовались снимки Landsat 8-9 второго уровня обработки (level 2), для которых проведена радиометрическая и геометрическая коррекция. Для вычисления спектральных/вегетационных индексов использовались соответствующие инструменты, имеющиеся в таких программах, как ArcGis, Qgis, ENVI и др. Были отобраны 17 безоблачных и малооблачных снимков за 2022–2024 гг. на все месяцы года. Растровые изображения, содержащие пространственное распределение спектрального/вегетационного индекса NDVI были классифицированы с шагом 0,1, что позволило выявить абсолютные и относительные площади его распространения в указанные даты, а также проследить его динамику в течение сезонов года. **Результаты.** Анализ изменения индекса NDVI показал, что динамику индекса достаточно рассматривать по грациям, а не по месяцам. Наиболее низкие значения NDVI = 0–0,1 связаны с окончанием периода активной вегетации. Наибольшие его значения приходятся на октябрь–декабрь. Значения NDVI в интервале 0,1–0,2 изменяются в наиболее широких пределах: от 0 % в декабре до 92,5 % в сентябре, так как максимальные значения данного индекса связаны с осадками, предшествующими периоду съемки. Значения NDVI в интервале 0,2–0,3, судя по их изменению в течение года, более тесно связаны с фенологическими фазами развития растительности, в связи с чем максимальные их показатели приходятся на весну, а минимальные – на осень. **Выводы.** Индекс NDVI может быть использован в качестве вспомогательного при изучении внутригодичной или сезонной динамики ландшафтов, особенно в районах с разреженной метеорологической сетью.

Ключевые слова: индекс NDVI, данные дистанционного зондирования Земли, полупустынные ландшафты, внутригодичная динамика ландшафтов, Landsat.

Благодарности: Работа выполнена в рамках госзадания ГГНТУ им. академика М.Д. Миллионщикова FZNU-2024-0001 «Оценка влияния современных климатических изменений на природные и природно-антропогенные комплексы (на примере Чеченской Республики)».

Для цитирования: Керимов И.А., Братков В.В., Бекмурзаева Л.Р. Оценка внутригодичной динамики полупустынных ландшафтов по данным дистанционного зондирования Земли. *Геология и геофизика Юга России*. 2026. 16(2): 198–208. DOI: 10.46698/VNC.2026.69.88.001

DOI: 10.46698/VNC.2026.69.88.001

Original paper

Assessment of intraannual dynamics of semi-desert landscapes based on remote sensing data

I.A. Kerimov, V.V. Bratkov, L.R. Bekmurzaeva

Grozny State Oil Technical University named after acad. M.D. Millionshchikov,
100 H.A. Isaeva Ave., Grozny 364051, Russian Federation,
e-mail: eip-eco2017@yandex.ru

Received: 12.02.2026, revised: 25.05.2026, accepted: 27.05.2026

Abstract: Relevance. The assessment of seasonal and intraannual dynamics of landscapes reflects their reaction to the ongoing changes in climatic conditions. However, meteorological data is not always available due to the sparse meteorological network in some regions of our country. In this regard, the authors propose to evaluate the intraannual dynamics of landscapes based on the NDVI index. **The aim** is to assess of the intraannual dynamics of semi-desert landscapes of the Chechen Republic based on the NDVI index. **Materials and methods.** To calculate the spectral indices and temperature of the Earth's surface, Landsat 8-9 images of the second processing level (level 2) were used, for which radiometric and geometric corrections were performed. The programs ArcGIS, QGIS, ENVI, etc. were used to calculate spectral/vegetation indices. 17 cloudless and low-cloud images for 2022–2024 were selected for all months of the year. The bitmap images containing the spatial distribution of the NDVI spectral/vegetation index were classified in increments of 0.1, which made it possible to identify the absolute and relative areas of its distribution on the specified dates, as well as to trace its dynamics during the seasons. **Results.** An analysis of changes in the NDVI index showed that it is sufficient to consider the dynamics by gradation intervals, rather than by month. The lowest values of NDVI = 0–0.1 are associated with the end of the active growing season. Their highest values occur in October–December. NDVI values in the range of 0.1–0.2 vary most widely: from 0 % in December to 92.5 % in September, since the maximum values of this index are associated with precipitation preceding the survey period. The NDVI values in the range of 0.2–0.3, judging by their change during the year, are more closely related to the phenological phases of vegetation development, and therefore their maximum values occur in spring and their minimum values in autumn. **Conclusions.** The NDVI index can be used as an aid in studying the intraannual or seasonal dynamics of landscapes, especially in areas with a sparse meteorological network.

Keywords: NDVI index, Earth remote sensing data, semi-desert landscapes, intraannual landscape dynamics, Landsat.

Acknowledgments: *The work was carried out within the framework of the state task of the State Scientific Technical University named after. Academician M.D. Millionshchikova FZNU-2024-0001 “Assessment of the impact of modern climate change on natural and natural-anthropogenic complexes (using the example of the Chechen Republic)”.*

For citation: Kerimov I.A., Bratkov V.V., Bekmurzaeva L.R. Assessment of intraannual dynamics of semi-desert landscapes based on remote sensing data. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2026. 16(2): 198–208. DOI: 10.46698/VNC.2026.69.88.001

Введение

Под динамикой ландшафтов понимается как динамика природно-территориальных комплексов (ПТК) в течение сезонов года, так и смена состояний в течение какого-то отрезка времени. В основу сезонной динамики ландшафтов были положены работы Беручашвили [Беручашвили, 1989] о суточных состояниях ПТК – стексах. Их выделение производится на основе данных гидрометеорологической сети, при этом учитываются прежде всего термические условия, которые довольно легко связываются с тривиальными сезонами и подсезонами года (например, начало весны связано с температурами 0–5°C, конец осени – 5–0°C и т.п.). Далее при выделении состояний имеют значение условия увлажнения, которые выражаются через коэффициент увлажнения; для теплого периода он рассчитывается как отношение осадков к температуре. В зависимости от его величины спектр состояний изменяется от наиболее засушливых до наиболее влажных: аридные – семиаридные – семигумидные – гумидные. В холодное время года, помимо температуры воздуха, имеет значение снежный покров, в связи с чем выделяются либо нивальные состояния (при наличии снежного покрова, когда может происходить трансформация снежной толщи), либо криотермальные (отсутствие снежного покрова при отрицательных температурах воздуха). Еще одним критерием для выделения состояний ПТК являются тенденции изменения вертикальной структуры: она создается и разрушается в первый подсезон весны и последний подсезон осени; усложняется в разгар и окончание весны; упрощается в начале и разгаре осени. Что касается летних состояний, помимо традиционных подсезонов для изменения вертикальной структуры, большое значение имеют условия увлажнения: при гумидных условиях отмечается стабилизация структуры, а по мере проявления засухи и увеличения ее продолжительности вертикальная структура может упрощаться.

Методика оценки сезонной и внутригодичной динамики ландшафтов на основе метеорологических данных хорошо апробирована [Атаев и др., 2025; Атаев, Абдулаев, 2025; Бурым, 2012; Джандубаева, 2008; Керимов и др., 2024, 2025]. Однако не во всех типах ландшафтов имеется распространенная сеть метеорологических наблюдений. В связи с этим мы предлагаем проводить оценку внутригодичной динамики ландшафтов с использованием ГИС-технологий на основе индекса NDVI.

Применение индекса NDVI для различных территорий в пределах полупустынных ландшафтов рассматривается в ряде работ [Виноградова, Титкова, 2024; Гайсумов и др., 2023; Шинкаренко, Барталев, 2022, 2024; Юферев и др., 2022; Asam et al., 2025; Nabizada et al., 2025; Khan et al., 2026; Rousta et al., 2022; Isomov et al., 2025; Rajabov et al., 2022; Turymtayev et al., 2026].

Цель работы – оценка внутригодичной динамики полупустынных ландшафтов Чеченской Республики на основе индекса NDVI.

Методы исследования

Традиционно для оценки динамики ландшафтов посредством данных дистанционного зондирования Земли используются снимки в оптическом диапазоне, которые имеются в свободном доступе. Среди них чаще всего используются снимки среднего пространственного разрешения серии Landsat, имеющиеся на сайте Геологической службы США (<https://earthexplorer.usgs.gov>). Их достоинством является наиболее максимально длинный, по сравнению с другими спутниками, ряд наблюдений. Кроме того, территория съемки одна и та же, в отличие, например, от спутников серии Sentinel-2, имеющих более короткие сроки съемки. Недостатком снимков данного спутника является относительно длинный интервал съемки (около 14 дней) одной и той же сцены. Общим недостатком оптических снимков является невозможность их использования при наличии облачности, поэтому, несмотря на кажущийся большой массив снимков, не все они могут быть использованы для тех или иных целей.

В настоящее время также сложились определенные представления в области теории и методики обработки и дешифрирования данных дистанционного зондирования Земли. Их общая логика сводится к синтезу изображений в разных каналах для выявления тех или иных объектов. Чаще всего используется изображение в естественных цветах (RGB), которое характерно для зрительного восприятия человека. Оно является своеобразным эталоном, на основе которого возможно выделение интересных объектов (<http://gis-lab.info/qa/landsat-bandcomb.html#4-5-1>).

Вторым условным направлением обработки данных дистанционного зондирования Земли является вычисление на основе спектральных каналов различных индексов, в первую очередь вегетационных. В настоящее время наиболее широко используется нормализованный вегетационный индекс (NDVI), а также почвенный вегетационный индекс (SAVI).

Значения индекса NDVI находятся в диапазоне от -1 до 1. Общий диапазон для зеленой растительности составляет от -0,1 до 0,4.

Для оценки внутригодовой динамики ландшафтов необходимо было осуществить отбор космических снимков. Эта процедура сталкивается с тем, что не всегда изучаемая территория не покрыта облаками. Кроме того, имеется существенная разница в облачности по сезонам года: безоблачных снимков летом гораздо больше, чем в остальные сезоны года, особенно зимой и весной. Поскольку в силу изложенных причин нет возможности отобрать снимки в пределах только одного года, было отдано предпочтение снимкам за 2020–2024 гг., что позволило отобрать безоблачные или малооблачные снимки тестового полигона, адекватно отражающие изменения условий в рамках отдельных месяцев и сезонов года.

Говоря о сезонной динамике ландшафтов необходимо оговорить то обстоятельство, что съемка ведется в одно и то же время, в данном случае 07:35. Утренняя съемка не всегда полностью отражает термические условия, для которых характерен максимум после полуденного солнцестояния. Также в это время отмечается усиление испарения, что также может отражаться на спектральных отражательных свойствах компонентов ландшафтов.

Для расчетов спектральных индексов и температуры земной поверхности использовались снимки Landsat 8-9 второго уровня обработки (level 2), для которых проведена радиометрическая и геометрическая коррекция. Для вычисления спектральных/вегетационных индексов использовались соответствующие инструменты, имеющиеся в таких программах, как ArcGis, Qgis, ENVI и др.

Таким образом, для анализа внутригодовой динамики полупустынных ландшафтов были отобраны безоблачные снимки на все месяцы года за 2020–2024 гг. Согласно проведенному ранее анализу погодно-климатических условий [Керимов и др., 2024], наибольший интерес представляют весенние и ранние летние состояния, когда условия изменяются от гумидных к семигумидным и семиаридным, а также вторая половина лета, когда преобладают семиаридные и даже аридные состояния. Что касается зимних состояний, то они отличаются общей монотонностью на протяжении, как отмечалось выше, календарных зимних месяцев. Для последних практически отсутствуют безоблачные и даже малооблачные снимки.

В результате были отобраны 17 безоблачных и малооблачных снимков за 2022–2024 гг., которые позволяют адекватно оценить внутригодовую динамику ландшафтов в пределах тестового полигона на следующие даты: 01 марта 2024 г.; 23 марта 2023 г.; 18 апреля 2024 г.; 10 мая 2023 г.; 18 мая 2023 г.; 31 мая 2022 г.; 03 июня 2023 г.; 13 июня 2024 г.; 15 июля 2024 г.; 23 июля 2024 г.; 06 августа 2023 г.; 30 августа 2023 г.; 15 сентября 2023 г.; 23 сентября 2023 г.; 27 октября 2024 г.; 04 ноября 2024 г.; 14 декабря 2024 г.

Далее растровые изображения, содержащие пространственное распределение спектрального/вегетационного индекса NDVI были классифицированы с шагом 0,1,

что позволило выявить абсолютные и относительные площади его распространения в указанные даты, а также проследить его динамику в течение сезонов года.

Результаты исследования

Территория Чеченской Республики попадает в две сцены, которые не всегда можно корректно собрать в единую мозаику в связи с разным временем съемки, поэтому в пределах низменных и равнинных полупустынных и пустынных ландшафтов был выбран тестовый полигон, где отмечается минимальная антропогенная нагрузка. Здесь имеются немногочисленные мелкие населенные пункты. Кроме того, территория тестового полигона выходит за пределы Чеченской Республики в связи с тем, что там также распространены полупустынные и пустынные ландшафты с минимальным количеством населенных пунктов (рис. 1).

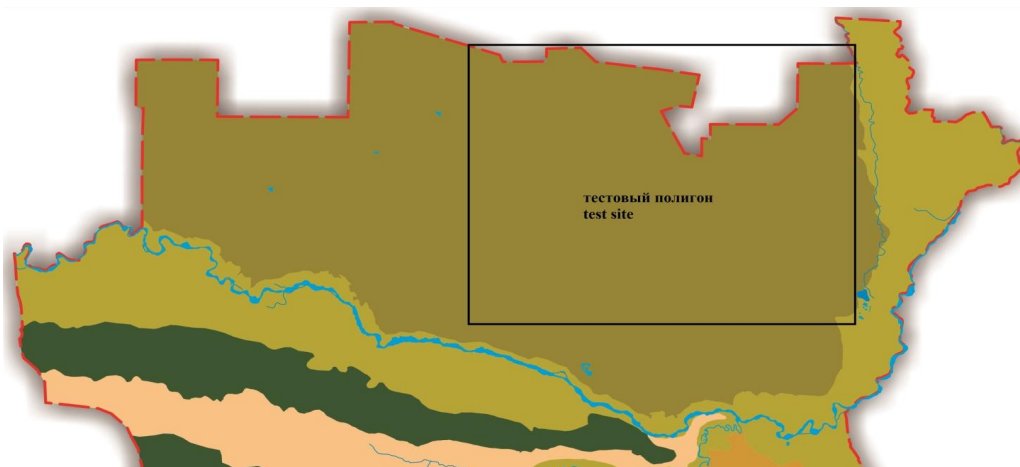


Рис. 1. Положение тестового полигона в пределах низменных и равнинных полупустынных и пустынных ландшафтов Чеченской Республики /

Fig. 1. The position of the test site within the low-lying and flat semi-desert and desert landscapes of the Chechen Republic

Рельеф в пределах данного ландшафта отличается генезисом и возрастом. Это выражается в наличии как форм, унаследованных от времен с другими условиями рельефообразования, так и современных. В настоящее время типичной формой рельефа являются грядовые пески. Чаще всего они простираются в широтном направлении в виде гряд высотой от 3–5 до 10–15 м. Гряды друг от друга разделены понижениями шириной от 100 м до 1,5 км. Эти гряды сформировались во время, когда климат был более засушливым [Рыжиков и др., 1991], то есть они являются элементами реликтового рельефа. В силу значительных современных скоростей ветра унаследованный рельеф подвергается переработке процессами перевеивания и развевания. В целом в пределах Притерского песчаного массива выделяются положительные (бугристо-грядовые и барханно-грядовые пески) и отрицательные (котловины выдувания) элементы рельефа. В целом для рельефа полупустынных ландшафтов на территории Чеченской Республики характерны высоты до 100 м и уклон в пределах 0–2°.

В связи с климатическими колебаниями, которые характерны для переходных зон, к которым относятся полупустынные ландшафты, здесь отмечаются стадии остепнения и опустынивания. Для первой характерно увеличение количества осадков, для второй – их сокращение, при этом термические условия не имеют существенного значения. Так, в 70-е годы XX века отмечалось снижение температуры воздуха при сокращении количества осадков (холодная и влажная фаза), что привело к усилению опустынивания. Наряду с климатическими факторами, в это время отмечалось уси-

ление антропогенной нагрузки в виде выпаса преимущественно мелкого рогатого скота, что усилило процесс климатического опустынивания и привело к увеличению площади песков. На рубеже веков и в первое десятилетие нынешнего века рост температуры воздуха сопровождался увеличением количества осадков, что в сочетании со снижением выпаса привело к увеличению доли степной растительности в пределах полупустынных ландшафтов: начался процесс зарастания песков. В настоящее время процесс потепления продолжается, и он сопровождается некоторым снижением количества осадков в последние 3–5 лет, что, опять же, способствует расширению ареала песков, практически лишенных растительности.

Что касается пространственного распределения растительного покрова, то здесь отмечается чередование степных ассоциаций, сформированных ксерофильными травянистыми многолетниками, с пустынными ксерофильными полукустарничками. При этом первые тяготеют к отрицательным формам рельефа, а вторые — к положительным. В результате выражено влияние микрорельефа. Даже при незначительных изменениях уровня поверхности отмечается существенная смена растительных группировок: от злаково-степных ассоциаций к полынным и солянковым.

Еще одним фактором, влияющим на распределение растительного покрова, является положение уровня грунтовых вод. Там, где они близко подходят к поверхности, формируется более плотный растительный покров.

Таким образом, с точки зрения спектральных отражательных свойств в пределах полупустынных ландшафтов выделяются прежде всего пески — как открытые, так и находящиеся в различных стадиях зарастания, — а также укоренившаяся растительность, приуроченная к относительно стабильным условиям увлажнения (подземные воды, отрицательные формы рельефа).

Изменение величины NDVI по месяцам и сезонам 2022–2024 гг. иллюстрирует таблица 1.

Таблица 1 / Table 1

**Изменение величины NDVI по месяцам и сезонам 2022–2024 гг. (в %) /
Change in the NDVI value by months and seasons 2022–2024 (in %)**

	01.03	23.03	18.04	10.05	18.05	31.05	03.06	13.06	15.07
-0,2--0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
-0,1-0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0-0,1	7,3	2,1	1,2	1,5	1,5	0,9	1,9	1,1	3,7
0,1-0,2	81,6	42,8	36,4	29,0	39,8	22,2	69,1	45,9	89,0
0,2-0,3	11,0	48,0	60,9	65,6	57,0	71,9	27,8	51,0	6,9
0,3-0,4	0,0	7,1	1,5	3,7	1,7	4,8	1,0	1,8	0,4
0,4-0,5		0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,0
0,5-0,6			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	23.07	06.08	30.08	15.09	23.09	27.10	04.11	14.12	
-0,2--0,1	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
-0,1-0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	
0-0,1	1,7	2,4	0,9	1,8	2,0	35,8	28,6	99,8	
0,1-0,2	76,5	74,2	74,7	92,5	89,0	63,8	71,1	0,0	
0,2-0,3	20,9	22,2	24,1	5,6	8,8	0,3	0,3		
0,3-0,4	0,8	1,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0		
0,4-0,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0				
0,5-0,6	0,0	0,0							

Примечание: значения «0,0» соответствуют более низким величинам; пустые клетки соответствуют отсутствию данной градации в указанную дату / Note: values of “0,0” correspond to lower values; empty cells correspond to the absence of this gradation on the specified date.

Как видно из приведённых данных, на протяжении периода вегетации, который для данных ландшафтов характерен с марта по ноябрь месяцы, представлены градации NDVI 0,1–0,2 и 0,2–0,3, которые в целом соответствуют разреженной травянистой растительности. Остальные градации NDVI отражают сезонные особенности ее развития, обусловленные условиями тепло- и влагообеспеченности.

Значение NDVI, как одного из индикаторов сезонной динамики, существенно изменяется в течение года. Холодное время года, которое обычно в полупустынных ландшафтах длится с декабря по февраль, характеризуется тем, что надземная часть растительности, или надземная фитомасса, трансформируется в мортмассу, в результате чего величина NDVI приближается к минимальным положительным значениям, что характерно для 14 декабря, когда 99,8 % территории тестового полигона соответствуют значения 0–0,1, а на остальные градации приходится 0,2 %. В эти месяцы года в отдельные даты устанавливается неустойчивый снежный покров, типичный для февраля, в связи с тем, что в этом месяце повторяемость собственно восточных ветров составляет 41 %, а юго-западных, западных и северо-западных – 24 %.

В марте температура устойчиво переходит через +5°C и начинается вегетационный период, который наиболее чувствителен не столько к величине осадков, сколько к собственно температуре воздуха. В связи с этим наблюдаются следующие соотношения величин NDVI: если 1 марта на значения 0,0–0,1 приходится 7,3 %, то 23 марта – 2,1 %; на градацию 0,1–0,2 приходится соответственно датам 81,6 и 42,8 %, тогда как градация 0,2–0,3, соответствующая травянистой растительности, изменяется от 11,0 до 48,0 %. Кроме того, 23 марта достигает годового максимума градация NDVI 0,3–0,4 (7,1 %), которая связана, очевидно, с флорой, имеющей короткий жизненный цикл (эфмеры и эфемероиды).

В апреле, в связи с переходом температуры через +10°C начинается период активной вегетации, в связи с чем 60,9 % территории соответствуют значения NDVI 0,2–0,3, за счет продолжения сокращения площади со значениями NDVI 0,1–0,2. Также отмечается снижение площадей, которым соответствуют более высокие значения NDVI.

В мае завершается период сезонного развития растительности за счет того, что температура превышает +15°C, то есть устанавливается фенологическое лето и дальнейшие фенофазы в основном становятся обусловлены не столько температурными условиями, сколько увлажнением, зависящим от осадков. В результате сокращается площадь NDVI со значениями 0,1–0,2 (22,2 % 31 мая) за счет увеличения ее в градации 0,2–0,3 (до 71,9 % 31 мая). Некоторое снижение значений NDVI 0,2–0,3 18 мая можно объяснить снижением температуры воздуха в это время, что несколько затормозило фенологические фазы.

В июне, как уже отмечалось, начинает сказываться недостаток влаги, в результате чего 3 июня вновь увеличивается площадь NDVI с низкими значениями, но, очевидно в результате выпавших осадков к 13 июня вновь достигает широкого распространения NDVI=0,2–0,3.

Дальнейшие изменения в природных комплексах обусловлены не столько ростом температуры воздуха, сколько снижением количества осадков вследствие усиления трансформации воздушных масс из-за антициклональной погоды и усиления роли восточного переноса. К 15 июля, вследствие засухи основная часть тестового полигона (89 %) занята значениями NDVI=0,1–0,2. Но увеличение осадков во второй половине месяца и в целом в августе привело к тому, что площадь, приходящаяся на NDVI=0,2–0,3, составляла 21–24 % тестового полигона. То есть в это время (июль–август) отмечается стабильность условий, что проявляется в доминировании указанных градаций NDVI.

В сентябре усиливается засуха на фоне преобладания ветров восточных направлений, в результате чего сокращается доля вегетирующей растительности до 8–9 % ($NDVI=0,2-0,3$), а на основную часть полигона приходятся значения $NDVI=0,1-0,2$ (около 90 %).

В октябре и ноябре продолжается процесс завершения жизненного цикла растительности, в результате чего постепенно снижается площадь наиболее высоких значений $NDVI$ за счет увеличения площади наиболее низких. Тем не менее, 4 ноября значения $NDVI = 0,1-0,2$, которые в целом отражают весьма низкие запасы органического вещества, соответствуют 71 % территории.

Выводы

Таким образом, $NDVI$, являясь отражением запасов органического вещества в природно-территориальных комплексах, дает представление об их изменениях в течение года. Поскольку органическое вещество является центральным звеном природных комплексов, его динамика является выражением сезонной динамики ландшафта.

Как видно из представленных данных, в течение года всегда присутствует градация $NDVI = 0,1-0,4$, а ее среднее значение за целый год составляет 55,4 %. На градацию 0,2–0,3 приходится 34,5 %, а на градацию 0,0–0,1 приходится 9,5 %. Однако они существенно изменяются в течение года, при этом есть общая корреляция с $NDVI$. В этой связи можно ограничиться рассмотрением не столько помесечной динамики, сколько динамики разных градаций данного спектрального индекса.

Наиболее низкие значения $NDVI = 0-0,1$, на долю которых приходится 9,5 %, связаны с окончанием периода активной вегетации, поскольку в октябре и ноябре на них приходится 35,8 и 28,6 % соответственно, а в декабре – 99,8 %. В последнем случае они соответствуют наличию снежного покрова на данной территории, тогда как в предыдущих случаях, скорее всего это участки, на которых имеются водные поверхности, которые сокращают свои площади в теплое и сухое время года.

Значения $NDVI$ в интервале 0,1–0,2 изменяются в наиболее широких пределах: от 0 % в декабре до 92,5 % в сентябре. В этой связи максимальные значения данного индекса связаны с осадками, предшествующими периоду съемки, из-за чего показатели данного индекса практически идентичны $NDVI$. В целом данная градация соответствует влаге в растительном покрове и почве, обусловленной не столько фенологическими фазами, сколько предшествующими осадками и временем, прошедшим от момента их выпадения.

Значения $NDVI$ в интервале 0,2–0,3, судя по их изменению в течение года, более тесно связаны с фенологическими фазами развития растительности, в связи с чем максимальные их показатели приходятся на весну, а минимальные – на осень.

Таким образом, индекс $NDVI$ может быть использован в качестве вспомогательного при изучении внутригодичной или сезонной динамики ландшафтов, особенно в районах с разреженной метеорологической сетью.

Литература

1. Атаев З.В., Абдулаев К.А. Ландшафты северного макросклона Восточного Кавказа (Северо-восточный и Юго-восточный Кавказ) // Материалы II Международной научной конференции. Грозный: ГГНТУ, 2025. – С. 16–22.
2. Атаев З.В., Гюльмагомедов А.М., Джамалдинов Д.Ш., Зангиева М.Р., Нуралиев М.Э., Фролов Д.А., Хусаинов И.М., Шерифова З.Х. Сезонные изменения ландшафтов Кавказско-Каспийского региона под влиянием климатических факторов и колебаний современного уровня Каспийского моря // Известия Дагестанского государственного педагогиче-

ского университета. Естественные и точные науки. – 2025. – Т. 19. № 4. – С. 28–44. DOI: 10.31161/1995-0675-2025-19-4-28-44.

3. Беручашвили Н.Л. Этология ландшафта и картографирование состояний природной среды. Тбилиси: Изд-во ТГУ, 1989. – 196 с.

4. Бурым Ю.В. Анализ временной структуры степных ландшафтов Центрального Предкавказья с применением ГИС-технологий // Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета. – 2012. – № 3(32). – С. 71–75.

5. Виноградова В.В., Титкова Т.Б. Климатические предпосылки изменений границ ландшафтных зон и подзон в Европейской части России и Западной Сибири // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2024. – Т. 88. № 3. – С. 281–295. DOI: 10.31857/S2587556624030027.

6. Гайсумов Р.М., Атагаева М.Р., Сатуева Л.Л. Дешифрирование растительного покрова Наурского района Чеченской Республики с использованием индекса NDVI // Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Грозный: ЧГУ, 2023. – С. 164–172. DOI: 10.36684/111-1-2023-164-171.

7. Джандубаева Т.З. Временная структура равнинно-холмистых ландшафтов Западного Предкавказья // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. – 2008. – № 1(2). – С. 87–90.

8. Керимов И.А., Братков В.В., Бекмурзаева Л.Р. Динамика агроклиматических показателей степных ландшафтов Северного Кавказа по данным наземных наблюдений // Геология и геофизика Юга России. – 2024. – Т. 14. № 2. – С. 219–230. DOI: 10.46698/VNC.2024.92.31.017.

9. Керимов И.А., Братков В.В., Бекмурзаева Л.Р. Сезонная динамика ландшафтов Предкавказья как индикатор современных климатических изменений // Карбоновые полигоны: мониторинг, геоинформационные системы, секвестрационные технологии. Коллективная монография / Под ред. С.К. Гулёва, А.В. Ольчева. – М.: Научный мир, 2025. – С. 212–223.

10. Рыжиков В.В., Анисимов П.С., Самарский Г.Г., Газарьянц С.К., Голобуцкий А.А. Природа Чечено-Ингушской республики, ее охрана и рациональное использование. Грозный: Книга, 1991. – 160 с.

11. Шинкаренко С.С., Барталев С.А. Анализ взаимосвязи структурных и спектрально-отражательных характеристик растительности аридных пастбищных ландшафтов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2024. – Т. 21. № 3. – С. 171–187. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-3-171-187.

12. Шинкаренко С.С., Барталев С.А. Многолетняя динамика NDVI аридных пастбищных ландшафтов Европейской России и сопредельных территорий // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2022. – Т. 19. № 6. – С. 108–123. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-6-108-123.

13. Юфеев В.Г., Ткаченко Н.А., Синельникова К.П. Спектральные характеристики опустыненных пастбищ Черных Земель // Аридные экосистемы. – 2022. – Т. 28. № 1(90). – С. 65–72. DOI: 10.24412/1993-3916-2022-1-65-72.

14. Asam S., Schwarzenbacher F., Marshall Ingram D., Bachmann M. Detection of land degradation risk in Azerbaijan by combining fractional cover estimates based on DESIS data with multi-decadal Landsat NDVI trends // International Journal of Remote Sensing. – 2025. – pp. 1–32. DOI: 10.1080/01431161.2025.2536884.

15. Isomov A., Khabibullaev B.Sh., Shomurodov Kh.F., Beshko N.Yu., Kosimov Z.Z., Fayziev K.O., Abulfayzov Kh.Sh., Ibragimov H.R. Long-term NDVI trends and terrain characteristics in the natural ecosystem of the Nuratau nature reserve // Advances in Science and Environment. – 2025. Vol. 01. – pp. 10–16. DOI: 10.70728/envire.v01.i10.003.

16. Khan W., Jamal M.H.B., Hamed M.M., Muhammad M.K.I., Shahid Sh. Mapping agricultural drought hotspots in Pakistan: a remote sensing-based climate–vegetation nexus // Theoretical and Applied Climatology. – 2026. – Vol. 157. – pp. 157–180. DOI: 10.1007/s00704-026-06064-7.

17. Nabizada M.J., Koylu U., Rousta I. Assessing spatiotemporal dynamics of meteorological and agricultural drought in the North Basin of Afghanistan using multiple remote sensing-based

drought indices // International Journal of River Basin Management. – 2025. – pp. 1–27. DOI: 10.1080/15715124.2025.2528137.

18. Rajabov T.F., Ramsey R.D., Mardonov B.K., Nasirov M.G., Rakhimova T., Valiev S.A. Sensitivity of Landsat 7 & 8-derived vegetation indices on semi-arid rangelands of southwestern Uzbekistan // Geocarto International. – 2022. – Vol. 37. No. 2. – pp. 510–525. DOI: 10.1080/10106049.2020.1723715.

19. Rousta I., Mansourmoghaddam M., Olafsson H., Krzyszczyk J., Baranowski P., Zhang H., Tkaczyk P. Analysis of the recent trends in vegetation dynamics and its relationship with climatological factors using remote sensing data for Caspian Sea watersheds in Iran // International Agrophysics. – 2022. – Vol. 36. No. 3. – pp. 139–153. DOI: DOI: 10.31545/intagr/150020.

20. Turymtayev Zh., Ryskeldiyeva A., Tokbergenova A., Duisenbayev S., Salmurzauly R., Taukebayev O., Ussarov U., Smanov Zh. Spatiotemporal assessment of pastureland transformation and resilience in the Moiynkum Desert, Kazakhstan. ES Food and Agroforestry. 2026. Vol. 23. DOI: 10.30919/faf2093.

References

1. Ataev Z.V., Abdulaev K.A. Landscapes of the northern macroslope of the Eastern Caucasus (Northeastern and Southeastern Caucasus). In: Proceedings of the II International Scientific Conference. Grozny. GSOTU. 2025. pp. 16–22. (In Russ.)

2. Ataev Z.V., Gulmagomedov A.M., Dzhambaldinov D.Sh., Zangieva. M.R., Nuraliev M.E., Frolov D.A., Khusainov I.M., Sherifova Z.H. Seasonal changes in the landscapes of the Caucasian-Caspian region under the influence of climatic factors and fluctuations in the current level. Dagestan State Pedagogical University. Journal. Natural and Exact Sciences. 2025. Vol. 19. No. 4. pp. 28–44. DOI: 10.31161/1995-0675-2025-19-4-28-44. (In Russ.)

3. Beruchashvili N.L. Landscape ethology and mapping of natural environment conditions. Tbilisi. TSU. 1989. 196 p. (In Russ.).

4. Buryum Yu.V. Analysis of the temporal structure of steppe landscapes of the Central Ciscaucasia using GIS technologies. Newsletter of North-Caucasus Federal University. 2012. No. 3(32). pp. 71–75. (In Russ.)

5. Vinogradova V.V., Titkova T.V. Climatic prerequisites for changes of zonal and subzonal landscape boundaries in European Russia and Western Siberia. Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya. 2024. Vol. 88. No. 3. pp. 281–295. DOI: 10.31857/S2587556624030027 (In Russ.)

6. Gaysumov R.M., Atagaeva M.R., Satueva L.L. Decrypting of Naursky district's vegetation cover of the Chechen Republic using the NDVI index. In: Collection of materials of the All-Russian scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists. Grozny. CSU. 2023. pp. 164–172. DOI: 10.36684/111-1-2023-164-171. (In Russ.)

7. Dzhandubayeva T.Z. The temporal structure of the flat-hilly landscapes of the Western Ciscaucasia. Dagestan State Pedagogical University. Journal. Natural and Exact Sciences. 2008. No. 1(2). pp. 87–90. (In Russ.)

8. Kerimov I.A., Bratkov V.V., Bekmurzaeva L.R. Dynamics of agroclimatic indicators of steppe landscapes of the North Caucasus according to ground observations. Geology and Geophysics of Russian South. 2024. Vol. 14. No. 2. pp. 219–230. DOI: 10.46698/VNC.2024.92.31.017. (In Russ.)

9. Kerimov I.A., Bratkov V.V., Bekmurzayeva L.R. Seasonal landscape dynamics in the Ciscaucasia Region as an indicator of contemporary climate change. In: Carbon polygons: monitoring, geoinformation systems, sequestration technologies. Collective monograph. Eds. S.K. Gulev, A.V. Olchev. Moscow. Scientific World. 2025. pp. 212–223. (In Russ.)

10. Ryzhikov V.V., Anisimov P.S., Samarskiy G.G., Gazaryants S.K., Golobutskiy A.A. The nature of the Chechen-Ingush Republic, its protection and rational use. Grozny. Kniga. 1991. 160 p. (In Russ.)

11. Shinkarenko S.S., Bartalev S.A. Analysis of the relationship between the structural and spectral-reflective characteristics of vegetation in arid grassland landscapes. Sovremennyye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa. 2024. Vol. 21. No. 3. pp. 171–187. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-3-171-187. (In Russ.)

12. Shinkarenko S.S., Bartalev S.A. Long-term arid pasture landscapes NDVI dynamics in European Russia and adjacent territories. *Sovremennye Problemy Distancionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*. 2022. Vol. 19. No. 6. pp. 108–123. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-6-108-123. (In Russ.)
13. Yuferev V.G., Tkachenko N.A., Sinelnikova K.P. Spectral characteristics of desertified Black-Earth pastures. *Arid Ecosystems*. 2022. Vol. 28. No. 1(90). pp. 65–72. DOI: 10.24412/1993-3916-2022-1-65-72. (In Russ.)
14. Asam S., Schwarzenbacher F., Marshall Ingram D., Bachmann M. Detection of land degradation risk in Azerbaijan by combining fractional cover estimates based on DESIS data with multi-decadal Landsat NDVI trends. *International Journal of Remote Sensing*. 2025. pp. 1–32. DOI: 10.1080/01431161.2025.2536884.
15. Isomov A., Khabibullaev B.Sh., Shomurodov Kh.F., Beshko N.Yu., Kosimov Z.Z., Fayziev K.O., Abulfayzov Kh.Sh., Ibragimov H.R. Long-term NDVI trends and terrain characteristics in the natural ecosystem of the Nuratau nature reserve. *Advances in Science and Environment*. 2025. Vol. 01. pp. 10–16. DOI: 10.70728/envire.v01.i10.003.
16. Khan W., Jamal M.H.B., Hamed M.M., Muhammad M.K.I., Shahid Sh. Mapping agricultural drought hotspots in Pakistan: a remote sensing-based climate–vegetation nexus. *Theoretical and Applied Climatology*. 2026. Vol. 157. pp. 157–180. DOI: 10.1007/s00704-026-06064-7.
17. Nabizada M.J., Koylu U., Rousta I. Assessing spatiotemporal dynamics of meteorological and agricultural drought in the North Basin of Afghanistan using multiple remote sensing-based drought indices. *International Journal of River Basin Management*. 2025. pp. 1–27. DOI: 10.1080/15715124.2025.2528137.
18. Rajabov T.F., Ramsey R.D., Mardonov B.K., Nasirov, M.G., Rakhimova T., Valiev S.A. Sensitivity of Landsat 7, 8-derived vegetation indices on semi-arid rangelands of southwestern Uzbekistan. *Geocarto International*. 2022. Vol. 37. No. 2. pp. 510–525. DOI: 10.1080/10106049.2020.1723715.
19. Rousta I., Mansourmoghaddam M., Olafsson H., Krzyszcak J., Baranowski P., Zhang H., Tkaczyk P. Analysis of the recent trends in vegetation dynamics and its relationship with climatological factors using remote sensing data for Caspian Sea watersheds in Iran. *International Agrophysics*. 2022. Vol. 36. No. 3. pp. 139–153. DOI: 10.31545/intagr/150020.
20. Turymtayev Zh., Ryskeldiyeva A., Tokbergenova A., Duisenbayev S., Salmurzauly R., Taukebayev O., Ussarov U., Smanov Zh. Spatiotemporal assessment of pastureland transformation and resilience in the Moiynkum Desert, Kazakhstan. *ES Food and Agroforestry*. 2026. Vol. 23. DOI: 10.30919/faf2093.