 © Авторы статьи / Authors of the article

ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И БИОГЕОГРАФИЯ, ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ/PHYSICAL GEOGRAPHY AND BIOGEOGRAPHY, SOIL GEOGRAPHY AND LANDSCAPE GEOCHEMISTRY

DOI: https://doi.org/10.60797/GEO.2026.9.3 EDN: HJDFFR

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ И МОНИТОРИНГ ПРОЦЕССОВ ОПУСТЫНИВАНИЯ ЛАНДШАФТОВ АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Научная статья

Голикова В.А.[1,]*, Кобзева Е.А.[2]

[1, 2] Южный Федеральный университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (valeriya1100[at]icloud.com)

Предложена: 06.08.2026; Принята: 26.10.2026; Опубликована: 13.11.2026

Аннотация

В данной работе на примере Наримановского района Астраханской области проведён геоинформационный анализ и мониторинг процессов опустынивания полупустынных ландшафтов с использованием мультивременных спутниковых снимков Landsat 8–9 за 2020, 2023 и 2025 годы. В рамках исследования дана физико-географическая характеристика района, что позволило обосновать высокую уязвимость территории к деградационным процессам. Основным методом оценки состояния растительного покрова выбран расчёт нормализованного дифференциального вегетационного индекса NDVI, выполненный в программной среде QGIS, с последующим построением разностных изображений и классификацией по пяти пороговым уровням. Полученные количественные данные о пространственном распределении деградационных процессов выявили тенденцию к увеличению площади опустынивания, связанную с антропогенной нагрузкой и климатическими факторами, которые ускорили и усилили негативные изменения.

Ключевые слова: опустынивание земель, геоинформационный анализ, мониторинг, нормализованный дифференциальный индекс NDVI, Астраханская область.

GEOINFORMATION ANALYSIS AND MONITORING OF DESERTIFICATION PROCESSES IN ASTRAKHAN OBLAST

Research article

Golikova V.A.[1,]*, Kobzeva Y.A.[2]

[1, 2] South Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation

* Corresponding author (valeriya1100[at]icloud.com)

Suggested: 06.08.2026; Accepted: 26.10.2026; Published: 13.11.2026

Abstract

In this work, based on the example of the Narimanovsky District in Astrakhan Oblast, a geoinformation analysis and monitoring of desertification processes in semi-arid landscapes were carried out using multi-temporal Landsat-8 and -9 satellite imagery from 2020, 2023 and 2025. As part of the research, a physical and geographical characterisation of the district was provided, which helped to substantiate the area’s high vulnerability to degradation processes. The main method chosen for assessing the condition of the vegetation cover was the calculation of the Normalised Difference Vegetation Index (NDVI), carried out in the QGIS software environment, followed by the generation of difference images and classification according to five threshold levels. The quantitative data obtained on the spatial distribution of degradation processes showed a trend towards an increase in the area of desertification, linked to human impact and climatic factors, which have accelerated and exacerbated the negative changes.

Keywords: land desertification, geoinformation analysis, monitoring, Normalised Difference Vegetation Index (NDVI), Astrakhan Oblast.

Введение

В условиях современных климатический условий, характеризующиеся возрастанием аридности и частоты экстремальных метеорологических явлений, проблема деградации земель в семиаридных регионах приобретает важное значение. Повышенная актуальность процессов опустынивания характерна для ландшафтов южных регионов европейской части России, включая Астраханскую область.

Астраханская область сочетает в себе засушливый климат с минимальным годовым количеством осадков, высокой континентальностью, а также разнообразным и неоднородном почвенным покровом. Большая часть данной территории представлена засоленными, солонцеватыми и заболоченными почвами, это делает природно-территориальные комплексы в высокой степени уязвимыми к процессам опустынивания. Сложность ландшафтной структуры, обусловленная сочетанием эоловых, аллювиальных и бугристых песков, а также активное антропогенное воздействие инициируют необратимые изменения почвенно-растительного покрова.

 © Авторы статьи / Authors of the article

Объектом исследования для верификации методов дистанционного мониторинга является модельный полигон Наримановского района Астраханской области, который расположен в центральной и юго-западной части Прикаспийской низменности, в пределах сухостепной и полупустынной зон.

Существующие картографические материалы и пространственные модели процессов опустынивания на территории Наримановского района не отражают реальной ситуации. Это связано с высокой динамикой ландшафтов, процессы изменения происходят достаточно быстро, карты устаревают уже через несколько лет после составления. Имеющиеся модели построены на обобщённых данных и не учитывают локальные особенности района. В связи с этим *актуальность данной исследовательской работы* определяется необходимостью провести количественный анализ современного состояния территории с использованием объективных и оперативных методов. Для этого рассчитывается вегетационный индекс NDVI, который позволяет по спутниковым снимкам оценить плотность и состояние растительности — ключевой индикатор опустынивания. В работе анализируется динамика NDVI за три временных периода — 2020, 2023 и 2025 годы — это даёт возможность выявить направленность изменений, а также оценить скорость процессов опустынивания в Наримановском районе за последние шесть лет.

В работе был реализован комплексный подход к идентификации очагов опустынивания Наримановского района путем наложения разновременных спутниковых снимков со спутников Landsat — 8,9 с расчетом вегетационного индекса (NDVI) и их последующей кластеризацией.

Цель работы: проведение геоинформационного анализа и мониторинга процессов опустынивания ландшафтов Наримановского района Астраханской области на основе мультивременного спутникового зондирования и ГИС-технологий.

Задачи исследования:

1. Охарактеризовать ландшафты Наримановского района Астраханской области.
2. Провести обработку данных космоснимков и рассчитать вегетационные индексы NDVI.
3. Провести сравнительный анализ изменения индекса NDVI для разных лет.
4. Выявить ключевые факторы, влияющие на деградацию земель Наримановского района.

Основная часть

В качестве ключевого полигона исследований выбран Наримановский район Астраханской области. На рисунке 1 приведена карта его расположения.



Рисунок 1 - Географическое расположение Наримановского района Астраханской области за 2025 год
DOI: https://doi.org/10.60797/GEO.2026.9.3.1

Примечание: составлено автором по данным [32]

 © Авторы статьи / Authors of the article

Наримановский район расположен в юго-западной части Прикаспийской низменности с сильным выступом в юго-западную часть области и граничит на востоке с землями Харабалинского, Красноярского, Приволжского районов и г. Астраханью, на севере — с Енотаевским районом, на западе — с Республикой Калмыкия, на юге — с Лиманским и Икрянинским районами. Общая протяженность границы района свыше 400 км [17].

Рельеф района равнинный, слабонаклонный, для территории характерно широкое развитие эоловых форм рельефа-бугристых, грядовых и мелкобугристых песков, а также просадочных западин, степных блюдец и лиманных понижений [7].

Климат района резко континентальный и аридный (засушливый), среднегодовая температура воздуха составляет около +8/+10 °С, при этом средняя температура января колеблется от -6 до -8 °С, а средняя температура июля — от +26 до +34 °С. Годовая сумма осадков крайне незначительна и варьирует в пределах 200–250 мм при испаряемости, достигающей 900–1000 мм, что приводит к хроническому дефициту влаги; основное количество осадков выпадает в тёплый период (апрель–октябрь) в виде кратковременных ливней, а снежный покров маломощен и неустойчив. Вегетационный период составляет 200–210 дней [8], [9]. Такие климатические условия обусловливают высокую уязвимость ландшафтов к процессам опустынивания.

Почвенный покров характеризуется высокой неоднородностью, комплексностью и засолением, что обусловлено аридным климатом, плоским рельефом и соленосными материнскими породами [11], [14]. Основная территория занята полупустынной степью, где фоновыми видами являются полыни, злаки (ковыль, житняк) и кустарники — тамарикс. Вдоль Волги, в Волго-Ахтубинской пойме и вокруг ильменей, растительность сменяется на пойменную и водно-болотную: здесь распространены тростник, рогоз, ивы и солодка. На песчаных массивах растительность приобретает черты песчаной пустыни с подвижными песками и закрепленными их видами-псаммофитами [15], [24].

Материалы и методы

В рамках исследования, для оценки динамики деградации земель были использованы спутниковые снимки со спутников Landsat 8–9 за июль 2020, 2023, 2025 гг. (пространственное разрешение 30 м, облачность не более 2%). Выбор периода данного исследования обусловлен и выделен на основе климатических характеристик вегетационного сезона. Данные временные срезы отображают изменчивость увлажнения: согласно метеорологическим данным [31], 2020 год характеризовался минимальным уровнем осадков с 2020–2025 гг. (2 мм) 2023 год являлся максимально влажным (44 мм). 2025 год выбран в качестве крайнего доступного года с полными данными дистанционного зондирования. Для нивелирования сезонных колебаний и усиления контрастности характеристик растительного покрова был выбран месяц июль, который характеризуется наибольшей засушливостью в Наримановском районе, что позволяет отчетливо проследить динамику.

Для получения данных о нормализованном относительном индексе растительности NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) снимки исследуемой территории были обработаны с помощью программного обеспечения QGIS 3.40.7 с последующими этапами.

На первом этапе для каждого года (2020, 2023, 2025) построены растры NDVI по формуле — *NDVI= (NIR - RED) / (NIR+RED)*, где NIR — ближний инфракрасный диапазон, а RED — красный канал.

На втором этапе были вычислены разностные изображения: NDVI (2023–2020) = NDVI 2023 — NDVI 2020 и NDVI (2025–2023) = NDVI 2025 — NDVI 2023.

На третьем этапе выполнена классификация растров NDVI по пяти пороговым значениям в диапазоне от 1 до -1, где наибольшие значения интерпретируются как относительно благополучные участки с кустарниково-злаковой растительностью, а наименьшие как сильно деградированные земли с единичной растительностью и сильнозасоленные почвы без растительности [19], [30].

На четвертом этапе был проведен анализ динамики по разностным изображениям: положительная динамика (>0,70) интерпретируется как восстановление растительного покрова, стабильная динамика; от 0,7 до -0,1 — как сохранение текущего состояния; отрицательная динамика (<-0,1) — как деградация земель.

Дополнительно, были проанализированы многолетние данные о температуре воздуха и осадках на территории исследуемого района [16].

Таким образом, вычисленные значения NDVI позволяют достоверно оценить пространственно-временные закономерности деградации земель в аридных ландшафтах, дифференцируя территорию по степени разреженности растительного покрова на основе пяти пороговых значений. Анализ дает возможность не только определить направленность процессов (деградация, стабилизация или восстановление), но их интенсивность и скорость распространения.

Результаты исследования

Анализ данных полученных из индекса NDVI в сочетании с информацией о многолетних климатических изменениях, позволил отследить динамику температурного режима и состояния ландшафтов Наримановсого района. Для оценки состояния и динамики деградации земель был выбран июль, как месяц максимального вегетационного напряжения в аридных условиях, когда различия между деградированными и условно ненарушенными участками проявляются наиболее контрастно.

Наибольший показатель температур наблюдается в 2020 г. (28,3°С), а наименьший в 2023 г. (26,5 °С). Осадки, в свою очередь, существенно отличаются, и варьируются от максимальных значений в 2023 г. (44 мм) до минимальных в 2020 г. (2 мм) (рис. 2).

 © Авторы статьи / Authors of the article



Рисунок 2 - Климатические показатели за 2020, 2023 и 2025 гг. на исследуемой территории
DOI: https://doi.org/10.60797/GEO.2026.9.3.2

Примечание: составлено автором по данным [31]

Климатические показатели отражают значительные вариации минимальных и максимальных значений осадков и небольших температурных изменений.

В июле 2020 г. значения NDVI на территории Наримановского района варьировались в диапазоне от ≤ -0, 611035 до > 0,2888 (рис. 3).

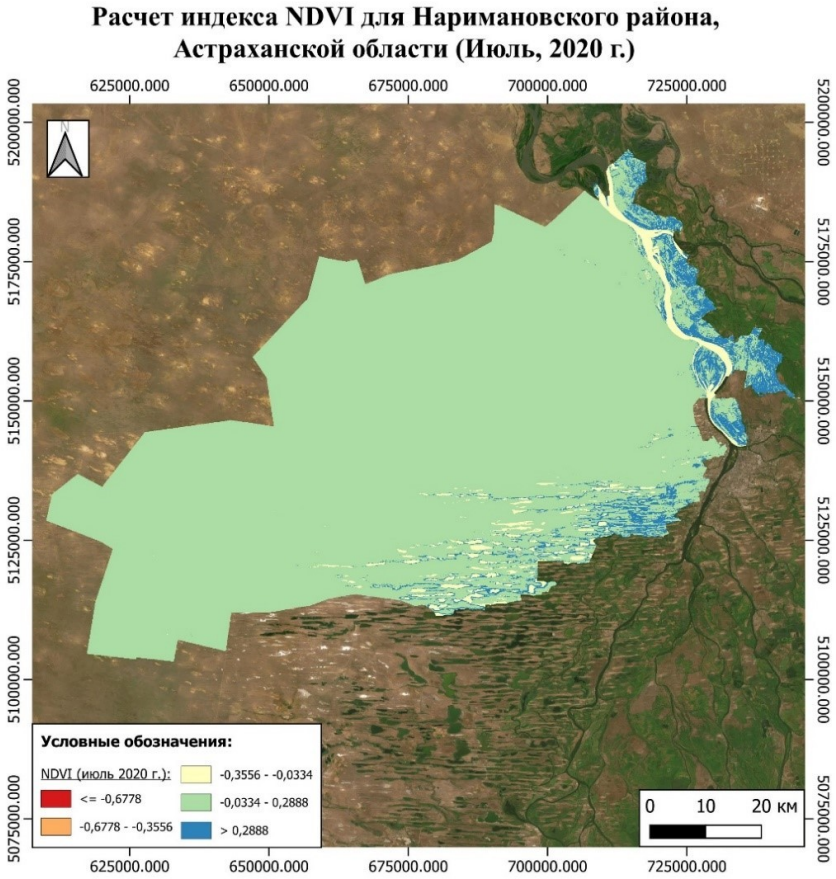


Рисунок 3 - Карта расчета значений индекса NDVI за 2020 год
DOI: https://doi.org/10.60797/GEO.2026.9.3.3

Примечание: составлено автором по данным [32]

Наибольшую часть территории занимают значения в интервале от -0,033 до 0,289, что соответствует категории разреженной пустынной растительности и условно стабильных пастбищ. Вторую по площади категорию составили

 © Авторы статьи / Authors of the article

участки со значениями NDVI более 0,289, относящихся к относительно благополучным территориям с кустарниково-злаковой и тростниковой растительностью. Третью категорию сформировали значения от -0,356 до -0, 033, что соответствует сильно деградированным землям, открытым поверхностям и водоемам. Значений ниже -0,611 на территории района не зафиксировано, что указывает на отсутствие обнаженных солончаков. Таким образом, в 2020 году структура земель характеризовалась преобладанием среднепродуктивных пастбищных угодий при заметной доле условно благополучных участков и относительно небольшом распространении сильно деградированных территорий.

В июле 2023 г. диапазон значений NDVI расширился: минимальные значения снизились до -0,0905 и ниже, максимальные увеличились >0,4428 (рис. 4).

 © Авторы статьи / Authors of the article

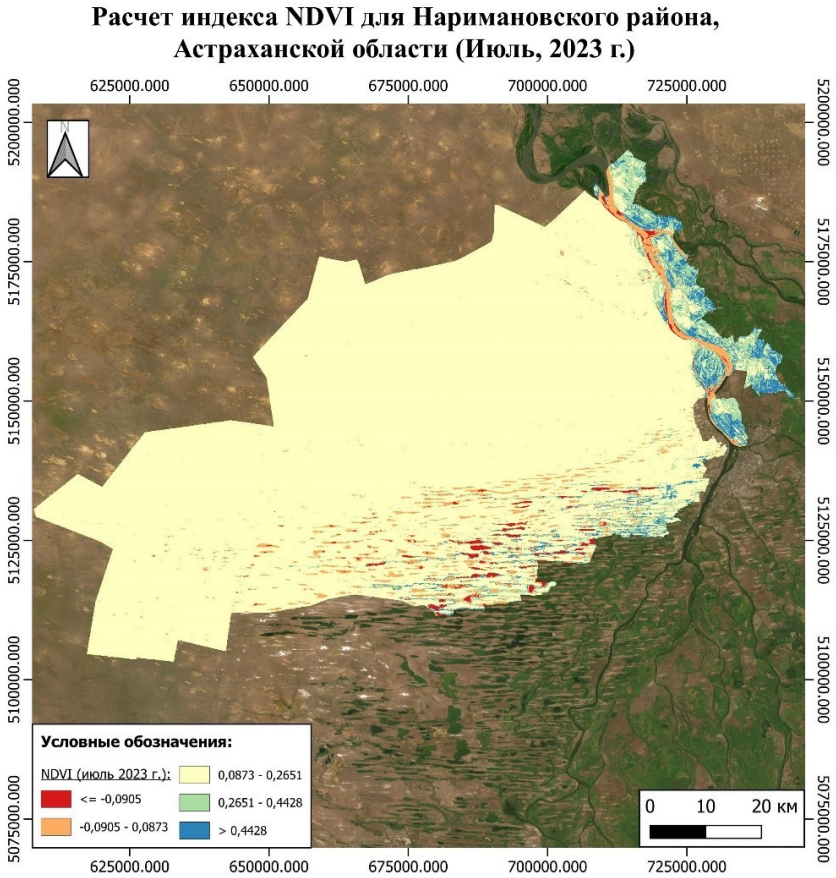


Рисунок 4 - Карта расчета значений индекса NDVI за 2023 год
DOI: https://doi.org/10.60797/GEO.2026.9.3.4

Примечание: составлено автором по данным [32]

Наибольшую часть территории занимает интервал от 0,0873 до 0,2651, соответствующий разреженной пустынной растительности и стабильным пастбищам. Вторую по площади категорию составили участки с NDVI более 0,4428 — относительно благополучные территории. Третью категорию сформировали значения от 0,2651 до 0,4428. Четвертую категорию — значения от -0,0905 до 0,0873, что соответствует появлению сильно деградированным землям и открытым поверхностям. Важной отличительной особенностью стало появление участков с NDVI ≤0,0905. Данные значения свидетельствуют о формировании очагов крайне деградированных земель, приближающихся по своим спектральным характеристикам к открытым солончакам. Также отмечено смещение максимальной границы благополучных участков с >0,289 до >0,4428, что указывает на локальное улучшение состояния растительности на отдельных территориях, однако появление экстремально низких значений NDVI сигнализирует о прогрессирующей деградации.

В июле 2025 г. значения NDVI варьировались в диапазоне от ≤ -0, 1391 до >0,4313 (рис. 5).

 © Авторы статьи / Authors of the article

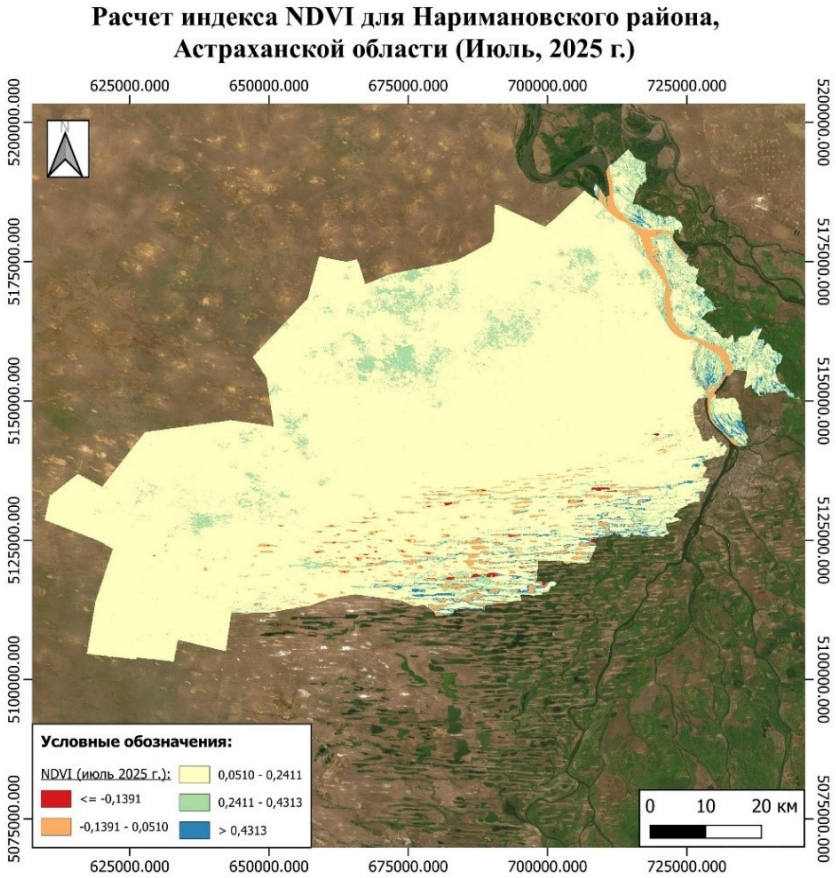


Рисунок 5 - Карта расчета значений индекса NDVI за 2025 год
DOI: https://doi.org/10.60797/GEO.2026.9.3.5

Примечание: составлено автором по данным [32]

 © Авторы статьи / Authors of the article

Наибольшую часть территории занял интервал от 0,0510 до 0, 2411, соответствующий разреженной пустынной растительности и умеренно деградированным пастбищам. Вторую по площади категорию составили значения от 0,2411 до 0,4313. Третью категорию сформировали значения от -0,1391 до 0,0510, что соответствует сильно деградированным землям и открытым поверхностям. Четвертую категорию — значения >0,4313 (условно благополучные участки), доля которых сократилась по сравнению с предыдущими годами. Минимальный диапазон (≤ -0, 1391) присутствует, однако также сократился по площади.

Исходя из полученных данных была рассчитана разница индексов NDVI между 2023 и 2020 гг. (рис. 6), а также между 2025 и 2023 гг. (рис. 7).

 © Авторы статьи / Authors of the article

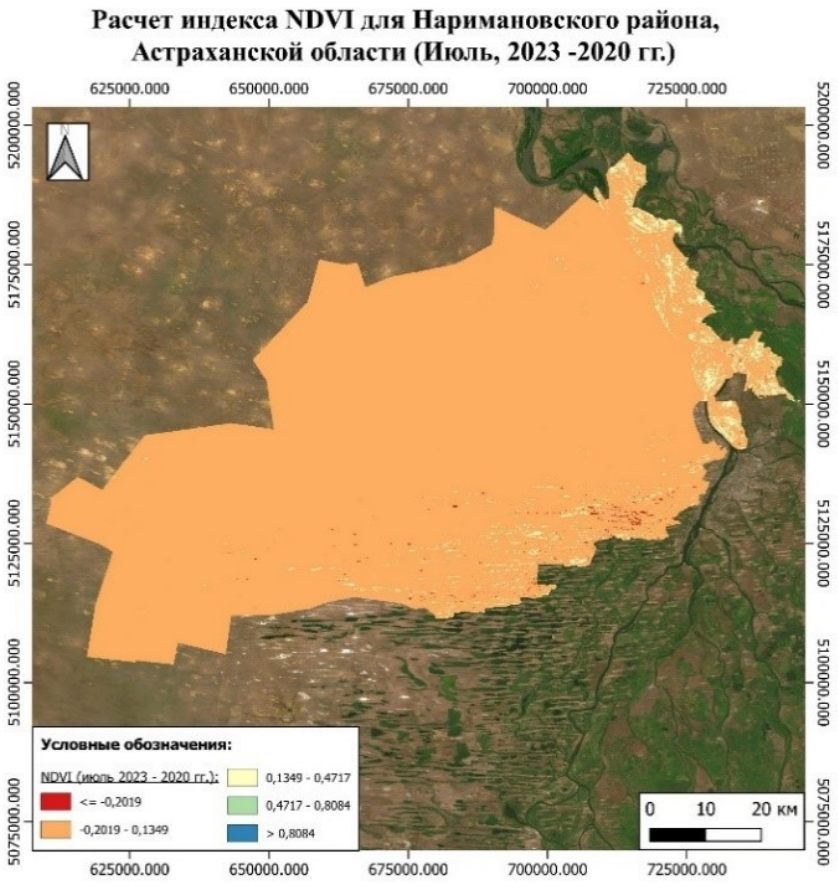


Рисунок 6 - Карта расчета разницы значений индекса NDVI за 2023 и 2020 гг.
DOI: https://doi.org/10.60797/GEO.2026.9.3.6

Примечание: составлено автором по данным [32]

 © Авторы статьи / Authors of the article

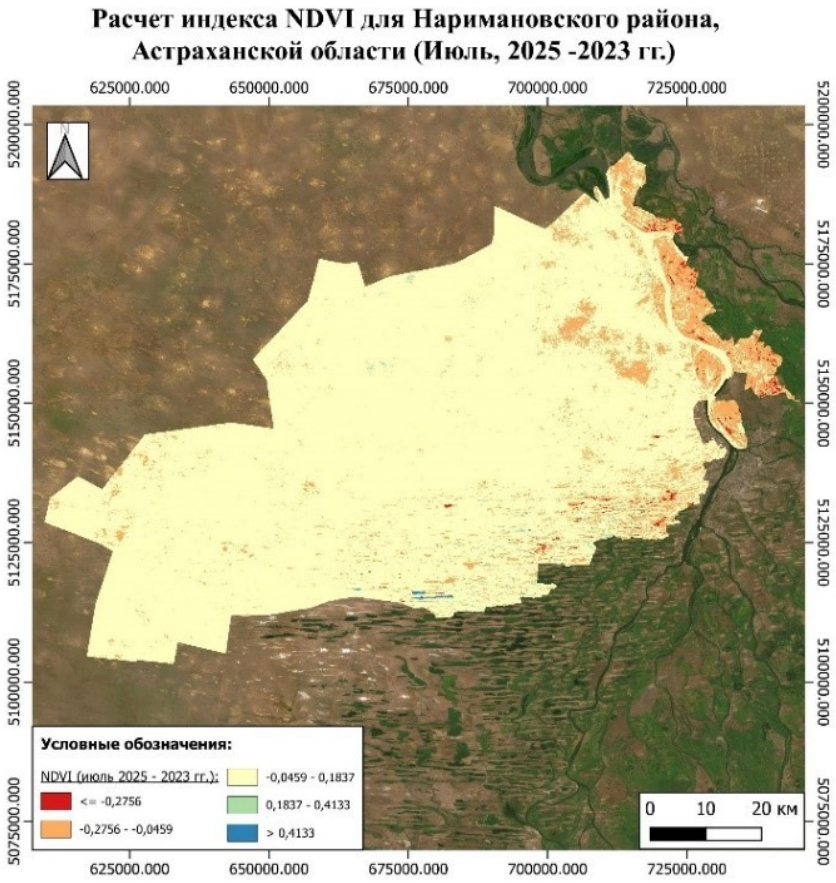


Рисунок 7 - Карта расчета разницы значений индекса NDVI за 2025 и 2023 гг.
DOI: https://doi.org/10.60797/GEO.2026.9.3.7

Примечание: составлено автором по данным [32]

В результате полученных данных индексов NDVI, можно сделать следующие выводы:

1. Карта разницы NDVI (2023 – 2020 гг.).

За данный период на территории Нариманов ского района произошли существенные перестройки в структуре растительного покрова. Диапазон значений NDVI расширился как в сторону минимальных значений (с -0,611 до -0,0905 и ниже), так и в сторону максимальных (с >0,289 до >0,4428). Это указывает на усиление контрастности ландшафта: наряду с участками улучшения состояния растительности, сформировались новые очаги интенсивной деградации.

Положительная динамика зафиксирована преимущественно в восточной, северо-восточной и юго-восточной частях района, примыкающих к Волго-Ахтубинской пойме. Данные участки характеризуются относительно лучшими условиями увлажнения, благодаря близости к пойменным экосистемам и возможности подтока грунтовых вод. Участки с NDVI >0,4428, появившиеся в 2023 г., приурочены к микропонижениям рельефа, где накапливается влага, также отмечается активное восстановление кустарниковой растительности (тамарикс) и многолетних злаков.

Наибольшие площади стабильного состояния зафиксированы в центральной части района. Данные участки приурочены к выровненным пространствам с бурыми пустынно-степными почвами. Растительность представлена типичными пустынными сообществами [7].

Отрицательная динамика наиболее выражена в удаленных частях района от Волги. Растительный покров здесь деградирует наиболее интенсивно, представляет собой открытые поверхности с единичными видами полыни и солянок. Именно здесь зафиксировано появление значений NDVI ≤ -0,0905, что соответствует спектральным характеристикам слабозакрепленных песков и солончаковых пятен.

Так, расширение диапазона NDVI в 2023 г. по сравнению с 2020 г. отражает процесс поляризации состояния земель. Улучшение общего состояния по климатическим данным связано с благоприятными условиями вегетационного сезона 2023 г. Однако эти улучшения не компенсируют процессы деградации на отдельных участках пастбищных массивов и образование очагов открытых песков.

2. Карта разницы NDVI (2025 – 2023 гг.).

 © Авторы статьи / Authors of the article

За период 2023-2025 гг. произошло дальнейшее ухудшение состояние растительного покрова на фоне жаркого и сухого июля 2025 г. Диапазон минимальных значений NDVI изменился с ≤ -0,0905 до ≤ - 0,1391, что свидетельствует об углублении деградационных процессов. Граница благополучных участков снизилась с >0,4428 до >0,4313.

Положительная динамика зафиксирована на крайне ограниченных площадях и приурочена к двум типам местоположений. Первый тип — в южной части, где сохраняется дополнительное увлажнение за счет близости грунтовых вод и периодическое подтопление в половодье. Здесь растительность представлена влаголюбивыми сообществами: тростник обыкновенный, рогоз узколистный, ива кустарниковая. Второй тип — локальные микропонижения, где аккумулируется поверхностный сток. Здесь отмечено увеличение NDVI за счет развития эфемеров, которые успевают завершить вегетацию в первой половине июля [11]. Однако площадь таких площадь таких участков незначительна, и их положительный вклад состояния земель минимален.

Стабильное состояние района, сохранилось в центральной части района. Эти участки представлены полынно-злаковой растительностью. На этих территориях деградация пока не прогрессирует, однако отсутствие положительной динамики свидетельствует о том, что естественное восстановление не происходит.

Отрицательная динамика наиболее выражена в восточной, юго-восточной и южной частях района. Здесь произошло смещение категорий: участки, относившиеся в 2023 г. к категории -0,905 – 0,0673, в 2025 г. перешли в категорию -0,1391 – 0,0510. Данная тенденция также относится и к остальным категориям. Как следствие, появились участки с наиболее выраженными экстремально низкими значениями. Так, это свидетельствует о формировании полностью лишенных растительности поверхностей с высокой отражательной способностью (слабозакрепленные пески и солевые корки). Также площадь экстремально низкой категории стала меньше, по сравнению с 2023 г. Это может объясняться незначительным закреплением части открытых поверхностей ветроустойчивыми видами. Однако значения стали более экстремальными, то есть деградация на сохранившихся очагах углубилась.

Заключение

Сравнительный анализ трех временных срезов позволил выделить два периодических ухудшения. Период 2020–2023 гг. характеризовался началом активной фазы опустынивания: появление очагов экстремально низких значений NDVI при сохранении относительно благополучного состояния на части территории. Период 2023–2025 гг. охарактеризовался дальнейшим ухудшением на фоне жаркого и сухого июля 2025 г.: произошло снижение верхней границы благополучных участков, расширение зон отрицательной динамики территории и углубление деградации на наиболее пораженных участках. Сокращение площади категории экстремально низких значений в 2025 г. по сравнению с 2023 г. при одновременном понижении их нижней границы свидетельствуют, что отдельные очаги деградации сливаются, а внутри них происходит полное уничтожение растительного покрова.

Сопоставление динамики NDVI с климатическими данными за июль каждого исследуемого года показало, что высокие температуры (29,2°C в 2025 г. против 26,1°C в 2020 г.) и дефицит осадков (3,1 мм в июле 2025 г. против 18,2 мм в 2020 г.) выступили катализатором деградационных процессов. Однако снижение NDVI фиксировалось уже в 2023 г. (при относительно благоприятных климатических условиях), что указывает на наличие долговременного антропогенного фактора — прежде всего, нерегулируемого выпаса скота по косвенным признакам (близость расположения к населенному пункту, где данный метод животноводства является одним из основной деятельности населения, а также на территории исследования есть необходимые водные объекты, что делает данный район востребованным для водопоя животным). Таким образом, деградация земель в Наримановском районе имеет комплекс факторов — антропогенная нагрузка создала предпосылки для снижения устойчивых экосистем, а климатические факторы ускорили и усилили негативные изменения.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Абакумова Е.В. Анализ темпов опустынивания Астраханской области и методы решения данной экологической проблемы / Е.В. Абакумова, В.А. Сущева // Студент года 2023 : сборник статей II Международного учебно-исследовательского конкурса. — Петрозаводск, 2023. — С. 235–245.

2. Агеев М.В. Изучение состояния земельных ресурсов Астраханской области / М.В. Агеев // Тенденции развития науки и образования. — 2024. — № 114-11. — С. 39–41.

3. Ажигалиева М.Е. Характеристика современного руслового рельефа Астраханской области / М.Е. Ажигалиева, М.С. Безуглова // Экология России: на пути к инновациям. — 2014. — № 10. — С. 4–6.

4. Быстрова И.В. Опустынивание земель южных регионов России: возможные пути решения проблемы / И.В. Быстрова, Т.С. Смирнова, Г.В. Вайчулис // Научные высказывания. — 2021. — № 2(2). — С. 29–31.

5. Вайчулис Г.В. Проблемы деградации земель на территории Астраханской области / Г.В. Вайчулис // Авангард молодежной науки 2022 : сборник статей III Международного научно-исследовательского конкурса. — Петрозаводск, 2022. — С. 121–134.

 © Авторы статьи / Authors of the article

6. Дымова Т.В. Перевыпас как одна из причин опустынивания территории Астраханской области / Т.В. Дымова, А.В. Федотова // Биоразнообразие, состояние и динамика природных и антропогенных экосистем России : материалы Всероссийской научно-практической конференции. — Комсомольск-на-Амуре, 2021. — С. 240–244.

7. Жужнева И.В. Разнообразие почв нижней зоны дельты Волги в связи с геоморфологическими особенностями ландшафтов / И.В. Жужнева, В.Г. Малов // Разнообразие почв и биоты Северной и Центральной Азии : материалы II Междунар. науч. конф. (Улан-Удэ, 20–25 июня 2011 г.). — Улан-Удэ : Изд-во БНЦ СО РАН, 2011. — Т. 1. — С. 69–70.

8. Золотокрылин А.Н. Динамика летнего увлажнения и биофизических параметров аридных пастбищ Европейской части России в 2000–2014 гг. / А.Н. Золотокрылин, Т.Б. Титкова, Е.А. Черенкова [и др.] // Аридные экосистемы. — 2016. — С. 5–10.

9. Золотокрылин А.Н. Аридизация засушливых земель Европейской части России и связь с засухами / А.Н. Золотокрылин, Е.А. Черенкова, Т.Б. Титкова // Известия Российской академии наук. Серия географическая. — 2020. — № 2. — С. 207–217.

10. Иванов В.А. Антропогенная роль в процессах опустынивания (на примере Астраханской области) / В.А. Иванов // Сборник статей международных научных конференций : сборник докладов студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава по результатам научных конференций. — 2016. — С. 101–105.

11. Калмыкова О.Г. Почвенно-растительный покров дельты Волги: структура и динамика / О.Г. Калмыкова, А.Н. Бармин, Н.В. Зайцева. — Астрахань : Изд-во АГУ, 2020. — 214 с.

12. Корнеева Е.А. Оценка экологического ущерба от опустынивания аридных территорий на юге Европейской территории России / Е.А. Корнеева // Аридные экосистемы. — 2023. — С. 70–76.

13. Кравченко А.С. Геоинформационный анализ ландшафтов Астраханского Заволжья / А.С. Кравченко, В.Г. Юферев, С.С. Шинкаренко // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. — 2017. — С. 154–163.

14. Кретинин В.М. Морфологическое строение почв правобережья, поймы и дельты Волги / В.М. Кретинин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. — 2023. — С. 72–83.

15. Кулик К.Н. Геоинформационный анализ динамики опустынивания на территории Астраханской области / К.Н. Кулик, А.С. Рулев, В.Г. Юферев // Аридные экосистемы. — 2015. — С. 23–32.

16. Кулик К.Н. Геоинформационный анализ очагов опустынивания на территории Астраханской области / К.Н. Кулик, А.С. Рулев, В.Г. Юферев // Аридные экосистемы. — 2015. — С. 87–94.

17. Мелихова А.В. Геоинформационный анализ рельефа Астраханского Заволжья / А.В. Мелихова // Природные системы и ресурсы. — 2023. — С. 39–43.

18. Новочадов В.В. Дистанционные исследования и картографирование состояния антропогенно-трансформированных территорий юга России / В.В. Новочадов, А.С. Рулев, В.Г. Юферев [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. — 2019. — С. 151–158.

19. Романов В.А. Сравнение способов классификации данных при спутниковом мониторинге процесса опустынивания / В.А. Романов // Научно-агрономический журнал. — 2022. — С. 25–29.

20. Рулев А.С. Эколого-экономические аспекты опустынивания земель / А.С. Рулев, Г.А. Рулев // Вестник Волгоградского государственного университета. Экономика. — 2019. — С. 158–169.

21. Сметанин В.И. Особенности опустынивания земель в Астраханской области / В.И. Сметанин, К. Хунас // Орошаемое земледелие. — 2025. — № 3(50). — С. 25–31.

22. Столярова Е.М. Влияние животноводства на опустынивание земель в Астраханской области / Е.М. Столярова, А.Д. Богданова, Н.А. Сызранова [и др.] // Биоразнообразие, состояние и динамика природных и антропогенных экосистем России : материалы II Всероссийской научно-практической конференции / под ред. Н.М. Чернявской. — Комсомольск-на-Амуре, 2022. — С. 217–222.

23. Тубалов А.А. Геоинформационное картографирование почв аридных пастбищных ландшафтов / А.А. Тубалов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. — 2015. — С. 81–86.

24. Тубалов А.А. Исследование особенностей почвенно-растительного покрова экотона полупустынь в Астраханской области / А.А. Тубалов, А.В. Вдовенко // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. — 2016. — С. 92–100.

25. Тютюма Н.В. Антропогенный фактор опустынивания аридных территорий Астраханской области / Н.В. Тютюма, Г.К. Булахтина // Аридные экосистемы. — 2023. — С. 53–58.

26. Тютюма Н.В. Проблема опустынивания аридной зоны Астраханской области в условиях изменения климата и повышенного антропогенного воздействия / Н.В. Тютюма, Г.К. Булахтина // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. — 2016. — № 67. — С. 68–70.

27. Хасанова А.Х. Воздействие непосредственных факторов опустынивания на показатели почвенного покрова Астраханской области / А.Х. Хасанова // Актуальные проблемы биоразнообразия и биотехнологии : материалы III Международной научно-практической конференции. — Астрахань, 2024. — С. 241–242.

28. Шабанов Д.И. Использование ГИС-технологий и методов ДЗЗ при анализе пространственного распределения опустынивания на территории Северного Прикаспия / Д.И. Шабанов, М.М. Иолин, А.С. Борзова [и др.] // Природные системы и ресурсы. — 2015. — С. 48–55.

29. Шуваев Н.С. Объекты мониторинга окружающей среды Астраханской области / Н.С. Шуваев, Г.Т. Джумалиева, А.П. Еритенко [и др.] // Динамика биологического разнообразия природных и антропогенных

 © Авторы статьи / Authors of the article

ландшафтов и их охрана : сборник материалов Международной научно-практической конференции / сост. Е.Г. Русакова. — 2017. — С. 101–104.

30. Юферев В.Г. Геоинформационный анализ деградации ландшафтов полупустыни / В.Г. Юферев, Н.А. Ткаченко // Научно-агрономический журнал. — 2020. — С. 15–21.

31. Погода и климат. — URL: http://www.pogodaiklimat.ru/history/34880.htm (дата обращения: 19.05.2026).

32. USGS Global Visualization Viewer catalogue of the United States Geological Survey. — URL: https://glovis.usgs.gov/ (accessed: 19.05.2026).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Abakumova E.V. Analiz tempov opustynivaniya Astrakhanskoy oblasti i metody resheniya dannoy ekologicheskoy problemy [Analysis of the rates of desertification in the Astrakhan Region and methods for solving this environmental problem] / E.V. Abakumova, V.A. Sushcheva // Student goda 2023 [Student of the Year 2023] : collection of articles of the II International Educational and Research Competition. — Petrozavodsk, 2023. — P. 235–245. [in Russian]

2. Ageev M.V. Izucheniye sostoyaniya zemel'nykh resursov Astrakhanskoy oblasti [Study of the state of land resources of the Astrakhan Region] / M.V. Ageev // Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya [Trends in the Development of Science and Education]. — 2024. — № 114-11. — P. 39–41. [in Russian]

3. Azhigalieva M.E. Kharakteristika sovremennogo ruslovogo rel'yefa Astrakhanskoy oblasti [Characteristics of the modern channel relief of the Astrakhan Region] / M.E. Azhigalieva, M.S. Bezuglova // Ekologiya Rossii: na puti k innovatsiyam [Ecology of Russia: on the way to innovations]. — 2014. — № 10. — P. 4–6. [in Russian]

4. Bystrova I.V. Opustynivaniye zemel' yuzhnykh regionov Rossii: vozmozhnyye puti resheniya problemy [Desertification of lands in the southern regions of Russia: possible ways to solve the problem] / I.V. Bystrova, T.S. Smirnova, G.V. Vaychulis // Nauchnyye vyskazyvaniya [Scientific Statements]. — 2021. — № 2(2). — P. 29–31. [in Russian]

5. Vaychulis G.V. Problemy degradatsii zemel' na territorii Astrakhanskoy oblasti [Problems of land degradation in the Astrakhan Region] / G.V. Vaychulis // Avangard molodezhnoy nauki 2022 [Vanguard of Youth Science 2022] : collection of articles of the III International Research Competition. — Petrozavodsk, 2022. — P. 121–134. [in Russian]

6. Dymova T.V. Perevypas kak odna iz prichin opustynivaniya territorii Astrakhanskoy oblasti [Overgrazing as one of the causes of desertification of the Astrakhan Region] / T.V. Dymova, A.V. Fedotova // Bioraznoobraziye, sostoyaniye i dinamika prirodnykh i antropogennykh ekosistem Rossii [Biodiversity, state and dynamics of natural and anthropogenic ecosystems of Russia] : proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference. — Komsomolsk-on-Amur, 2021. — P. 240–244. [in Russian]

7. Zhuzhneva I.V. Raznoobraziye pochv nizhney zony del'ty Volgi v svyazi s geomorfologicheskimi osobennostyami landshaftov [Diversity of soils of the lower zone of the Volga delta in connection with the geomorphological features of landscapes] / I.V. Zhuzhneva, V.G. Malov // Raznoobraziye pochv i bioty Severnoy i Tsentral'noy Azii [Diversity of Soils and Biota of Northern and Central Asia] : proceedings of the II International Scientific Conference (Ulan-Ude, June 20–25, 2011). — Ulan-Ude : Publishing House of the Buryat Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2011. — Vol. 1. — P. 69–70. [in Russian]

8. Zolotokrylin A.N. Dinamika letnego uvlazhneniya i biofizicheskikh parametrov aridnykh pastbishch Yevropeyskoy chasti Rossii v 2000–2014 gg. [Dynamics of summer moistening and biophysical parameters of arid pastures of the European part of Russia in 2000–2014] / A.N. Zolotokrylin, T.B. Titkova, E.A. Cherenkova [et al.] // Aridnyye ekosistemy [Arid Ecosystems]. — 2016. — P. 5–10. [in Russian]

9. Zolotokrylin A.N. Aridizatsiya zasushlivykh zemel' Yevropeyskoy chasti Rossii i svyaz' s zasukhami [Aridization of arid lands in the European part of Russia and its relationship with droughts] / A.N. Zolotokrylin, E.A. Cherenkova, T.B. Titkova // Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya geograficheskaya [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series]. — 2020. — № 2. — P. 207–217. [in Russian]

10. Ivanov V.A. Antropogennaya rol' v protsessakh opustynivaniya (na primere Astrakhanskoy oblasti) [The anthropogenic role in desertification processes (on the example of the Astrakhan Region)] / V.A. Ivanov // Sbornik statey mezhdunarodnykh nauchnykh konferentsiy [Collection of articles of International Scientific Conferences] : collection of reports of students, postgraduates and faculty based on the results of scientific conferences. — 2016. — P. 101–105. [in Russian]

11. Kalmykova O.G. Pochvenno-rastitel'nyy pokrov del'ty Volgi: struktura i dinamika [Soil and vegetation cover of the Volga delta: structure and dynamics] / O.G. Kalmykova, A.N. Barmin, N.V. Zaytseva. — Astrakhan : ASU Publishing House, 2020. — 214 p. [in Russian]

12. Korneeva E.A. Otsenka ekologicheskogo ushcherba ot opustynivaniya aridnykh territoriy na yuge Yevropeyskoy territorii Rossii [Assessment of environmental damage from desertification of arid territories in the south of the European territory of Russia] / E.A. Korneeva // Aridnyye ekosistemy [Arid Ecosystems]. — 2023. — P. 70–76. [in Russian]

13. Kravchenko A.S. Geoinformatsionnyy analiz landshaftov Astrakhanskogo Zavolzh'ya [Geoinformation analysis of landscapes of the Astrakhan Volga region] / A.S. Kravchenko, V.G. Yuferev, S.S. Shinkarenko // Izvestija Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie [Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education]. — 2017. — P. 154–163. [in Russian]

14. Kretinin V.M. Morfologicheskoye stroyeniye pochv pravoberezh'ya, poymy i del'ty Volgi [Morphological structure of soils of the right bank, floodplain and delta of the Volga] / V.M. Kretinin // Izvestija Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie [Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education]. — 2023. — P. 72–83. [in Russian]

 © Авторы статьи / Authors of the article

15. Kulik K.N. Geoinformatsionnyy analiz dinamiki opustynivaniya na territorii Astrakhanskoy oblasti [Geoinformation analysis of desertification dynamics in the Astrakhan Region] / K.N. Kulik, A.S. Rulev, V.G. Yuferev // Aridnyye ekosistemy [Arid Ecosystems]. — 2015. — P. 23–32. [in Russian]

16. Kulik K.N. Geoinformatsionnyy analiz ochagov opustynivaniya na territorii Astrakhanskoy oblasti [Geoinformation analysis of desertification hotspots in the Astrakhan Region] / K.N. Kulik, A.S. Rulev, V.G. Yuferev // Aridnyye ekosistemy [Arid Ecosystems]. — 2015. — P. 87–94. [in Russian]

17. Melikhova A.V. Geoinformatsionnyy analiz rel'yefa Astrakhanskogo Zavolzh'ya [Geoinformation analysis of the relief of the Astrakhan Volga region] / A.V. Melikhova // Prirodnyye sistemy i resursy [Natural Systems and Resources]. — 2023. — P. 39–43. [in Russian]

18. Novochadov V.V. Distantsionnyye issledovaniya i kartografirovaniye sostoyaniya antropogenno-transformirovannykh territoriy yuga Rossii [Remote sensing studies and mapping of the state of anthropogenically transformed territories of southern Russia] / V.V. Novochadov, A.S. Rulev, V.G. Yuferev [et al.] // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie [Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and Higher Professional Education]. — 2019. — P. 151–158. [in Russian]

19. Romanov V.A. Sravneniye sposobov klassifikatsii dannykh pri sputnikovom monitoringe protsessa opustynivaniya [Comparison of data classification methods in satellite monitoring of the desertification process] / V.A. Romanov // Nauchno-agronomicheskiy zhurnal [Scientific and Agronomic Journal]. — 2022. — P. 25–29. [in Russian]

20. Rulev A.S. Ekologo-ekonomicheskiye aspekty opustynivaniya zemel' [Ecological and economic aspects of land desertification] / A.S. Rulev, G.A. Rulev // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika [Bulletin of Volgograd State University. Economics]. — 2019. — P. 158–169. [in Russian]

21. Smetanin V.I. Osobennosti opustynivaniya zemel' v Astrakhanskoy oblasti [Features of land desertification in the Astrakhan Region] / V.I. Smetanin, K. Hunas // Oroshayemoye zemledeliye [Irrigated Agriculture]. — 2025. — № 3(50). — P. 25–31. [in Russian]

22. Stolyarova E.M. Vliyaniye zhivotnovodstva na opustynivaniye zemel' v Astrakhanskoy oblasti [The impact of livestock farming on land desertification in the Astrakhan Region] / E.M. Stolyarova, A.D. Bogdanova, N.A. Syzranova [et al.] // Bioraznoobraziye, sostoyaniye i dinamika prirodnykh i antropogennykh ekosistem Rossii [Biodiversity, state and dynamics of natural and anthropogenic ecosystems of Russia] : proceedings of the II All-Russian Scientific and Practical Conference / ed. by N.M. Chernyavskaya. — Komsomolsk-on-Amur, 2022. — P. 217–222. [in Russian]

23. Tubalov A.A. Geoinformatsionnoye kartografirovaniye pochv aridnykh pastbishchnykh landshaftov [Geoinformation mapping of soils of arid pasture landscapes] / A.A. Tubalov // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie [Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and Higher Professional Education]. — 2015. — P. 81–86. [in Russian]

24. Tubalov A.A. Issledovaniye osobennostey pochvenno-rastitel'nogo pokrova ekotona polupustyn' v Astrakhanskoy oblasti [Study of the features of the soil and vegetation cover of the semi-desert ecotone in the Astrakhan Region] / A.A. Tubalov, A.V. Vdovenko // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie [Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and Higher Professional Education]. — 2016. — P. 92–100. [in Russian]

25. Tyutyuma N.V. Antropogennyy faktor opustynivaniya aridnykh territoriy Astrakhanskoy oblasti [Anthropogenic factor of desertification of arid territories of the Astrakhan Region] / N.V. Tyutyuma, G.K. Bulakhtina // Aridnyye ekosistemy [Arid Ecosystems]. — 2023. — P. 53–58. [in Russian]

26. Tyutyuma N.V. Problema opustynivaniya aridnoy zony Astrakhanskoy oblasti v usloviyakh izmeneniya klimata i povyshennogo antropogennogo vozdeystviya [The problem of desertification of the arid zone of the Astrakhan Region under conditions of climate change and increased anthropogenic impact] / N.V. Tyutyuma, G.K. Bulakhtina // Trudy Instituta geologii Dagestanskogo nauchnogo tsentra RAN [Proceedings of the Institute of Geology of the Dagestan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. — 2016. — № 67. — P. 68–70. [in Russian]

27. Khasanova A.Kh. Vozdeystviye neposredstvennykh faktorov opustynivaniya na pokazateli pochvennogo pokrova Astrakhanskoy oblasti [The impact of direct desertification factors on soil cover indicators of the Astrakhan Region] / A.Kh. Khasanova // Aktual'nyye problemy bioraznoobraziya i biotekhnologii [Current Problems of Biodiversity and Biotechnology] : proceedings of the III International Scientific and Practical Conference. — Astrakhan, 2024. — P. 241–242. [in Russian]

28. Shabanov D.I. Ispol'zovaniye GIS-tekhnologiy i metodov DZZ pri analize prostranstvennogo raspredeleniya opustynivaniya na territorii Severnogo Prikaspiya [The use of GIS technologies and remote sensing methods in analyzing the spatial distribution of desertification in the territory of the Northern Caspian region] / D.I. Shabanov, M.M. Iolin, A.S. Borzova [et al.] // Prirodnyye sistemy i resursy [Natural Systems and Resources]. — 2015. — P. 48–55. [in Russian]

29. Shuvaev N.S. Ob"yekty monitoringa okruzhayushchey sredy Astrakhanskoy oblasti [Environmental monitoring objects of the Astrakhan Region] / N.S. Shuvaev, G.T. Dzhumalieva, A.P. Eritenko [et al.] // Dinamika biologicheskogo raznoobraziya prirodnykh i antropogennykh landshaftov i ikh okhrana [Dynamics of biological diversity of natural and anthropogenic landscapes and their protection] : collection of materials of the International Scientific and Practical Conference / comp. by E.G. Rusakova. — 2017. — P. 101–104. [in Russian]

30. Yuferev V.G. Geoinformatsionnyy analiz degradatsii landshaftov polupustyni [Geoinformation analysis of degradation of semi-desert landscapes] / V.G. Yuferev, N.A. Tkachenko // Nauchno-agronomicheskiy zhurnal [Scientific and Agronomic Journal]. — 2020. — P. 15–21. [in Russian]

31. Pogoda i klimat [Weather and climate]. — URL: http://www.pogodaiklimat.ru/history/34880.htm (accessed: 19.05.2026). [in Russian]

32. USGS Global Visualization Viewer catalogue of the United States Geological Survey. — URL: https://glovis.usgs.gov/ (accessed: 19.05.2026).