

Динамика состояния эфемерной и эфемероидной растительности юга Казахстана по данным MOD13Q1A1(NDVI) периода 2000–2022 гг.

А. Г. Терехов¹, Г. Н. Сагатдинова¹, Б. А. Мурзабаев²,
Е. Н. Амиргалиев¹, Р. И. Мухамедиев³

¹ *Институт информационных и вычислительных технологий
Алматы, 050010, Казахстан
E-mail: aterekhov1@yandex.ru*

² *Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова
Шымкент, 160012, Казахстан
E-mail: bolat101955@mail.ru*

³ *Казахский национальный исследовательский университет им. К. И. Сатпаева
Алматы, 050013, Казахстан
E-mail: ravil.muhamedyev@gmail.com*

Эфемеры и эфемероиды формируют в весенний период в южном Казахстане краткосрочный, но относительно развитый травяной покров. Этот важный компонент растительности аридных территорий развивается весной за счёт влаги, накопленной за холодный период. Спутниковый мониторинг состояния растительности позволяет оценить реакцию эфемеров и эфемероидов на многолетние погодные вариации последних десятилетий. В работе для территории юга Казахстана на основе стандартного продукта MOD13Q1A1(NDVI) (англ. Normalized Difference Vegetation Index) периода 2000–2022 гг. с помощью непараметрического теста Манна–Кендалла была оценена направленность монотонных тенденций значений вегетационного индекса. Трендовый тест Манна–Кендалла применялся отдельно к пятнадцати 16-дневным окнам продукта MOD13Q1, формирующим вегетационный сезон (март–октябрь). Полученные значения теста в формате разницы между числом согласованных и несогласованных пар отсчётов через пороговые значения +3,5 и –3,5 сводили динамику временных рядов к трём рангам монотонных трендов: восходящие (>+3,5); нисходящие (<–3,5); и неопределённые. Полученные результаты группировались в сезонные наборы по пять оценок в каждом: весна — с 5 марта по 23 мая; лето — с 24 мая по 11 августа; и осень — с 12 августа по 30 октября. Шкала итоговых территориальных оценок представляла собой среднюю направленность трендов в анализируемый период и варьировалась от –100 % до +100 %, что соответствовало либо пяти нисходящим, либо пяти восходящим трендам. Предварительно в южном Казахстане была выделена тестовая территория с площадью около 50 тыс. км², на которой по данным нормализованного относительного индекса растительности (NDVI), рассчитанном на основе данных спутника Sentinel-2 (160 сцен за март–октябрь 2018–2022 гг.), доминировала растительность весеннего периода. Было получено, что на этой территории весенняя вегетация периода с 5 марта по 23 мая, относимая по срокам к развитию эфемеров и эфемероидов, имела среднюю оценку направленности монотонных трендов –21,95 %. Летняя вегетация: –48,63 %, осенняя вегетация: –53,13 %. Таким образом, на юге Казахстана в период 2000–2022 гг. регистрировалось доминирование нисходящих трендов в состоянии растительности. При этом тренды весенней вегетации выглядели несколько лучше, чем тренды летней и осенней растительности, для которых нисходящий режим был более выраженным.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, вегетационный индекс NDVI, спутниковый мониторинг, трендовый анализ, тест Манна–Кендалла, весенняя вегетация

Одобрена к печати: 05.08.2024
DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-4-188-198

Введение

Динамика состояния естественного травяного растительного покрова представляет значительный интерес с точки зрения анализа влияния многолетних изменений погодных условий

(изменения климата). Эта тематика на базе дистанционных данных в различных аспектах достаточно широко представлена в научной литературе (Барталев и др., 2016; Freitag et al., 2021; Lewińska et al., 2023; McDowell et al., 2015; Xie et al., 2008; Zeng et al., 2020).

Стандартный подход к описанию состояния растительного покрова с помощью спутниковых вегетационных индексов, например Normalized Differences Vegetation Index (NDVI), представляет собой общее территориальное описание, оставляющее без рассмотрения внутренние детали изменений видового состава растительности. Природный, естественный травяной растительный покров состоит из комплекса различных видов растений, которые варьируются из-за влияния элементов окружающей среды, что может быть использовано для их описания (Головин и др., 2023; Шинкаренко, Барталев, 2023а).

Баланс между различными травяными видами определяется погодными условиями как на локальном масштабе, так и в многолетнем аспекте. Большую роль играют различные природные циклы и изменения, вызванные внешними факторами, такими как степные пожары (Freitag et al., 2021), подтопления (Wright et al., 2017) и пр. В засушливые годы на аридных территориях доминируют одни виды трав, а в увлажнённые — другие. Также существует закономерная внутрисезонная динамика смены доминирующих видов растительности вслед за изменениями температурно-влажностных условий в течение года.

В аридном климате юга Казахстана наиболее благоприятные условия существуют в весенний период, когда на фоне не слишком высокой температуры воздуха ещё имеется достаточный уровень увлажнения, накопленного за холодный период. Особенностью этого периода является его краткосрочность. Летние месяцы на равнинах в Центральной Азии отличаются высокой температурой воздуха на фоне малого количества осадков, а осенние месяцы характеризуются исключительной сухостью. Доминирующие в весенний период травяные виды адаптированы к погодным условиям и успевают завершить свой жизненный цикл за очень короткое время — обычно 2–4 нед. Среди таких видов есть как однолетние, так и многолетние. Однолетние виды, такие как лютики, маки и некоторые злаки, объединены под общим названием «эфемеры», а многолетние — корневищные, клубневые или луковичные растения, такие как тюльпаны, крокусы, луки, сциллы, подснежники, ирисы и др., получили название «эфемероиды». Эфемеры и эфемероиды играют большую роль в сложении растительного покрова пустынь и полупустынь, часто определяя большую часть видового состава и значительную долю сезонной первичной продукции растительности.

Информация о состоянии выделенных групп видов травяной растительности и их реакция на изменения климата может существенным образом дополнять общую картину динамики растительного покрова территорий и поэтому представляет отдельный интерес. Для получения данных о присутствующих видах растительности и их балансе требуется проведение масштабных наземных флористических обследований. Это обстоятельство сильно усложняет получение обзорных карт регионального масштаба, характеризующих среднее многолетнее состояние и тенденции его изменения. Современные дистанционные исследования в этом направлении часто опираются на аэрофотосъёмку с дронов (Елсаков, 2023; Шинкаренко, Барталев, 2023б).

Существуют устойчивые закономерности смены видового состава растительности в рамках различных естественных процессов, что открывает возможности спутниковой диагностики состояния для некоторых групп растительности (Шинкаренко и др., 2023). Наиболее ярким феноменом для травяной растительности является весеннее доминирование эфемеров и эфемероидов, формирующих весенний пик вегетации на сухих территориях. После окончания сезонного цикла развития к началу лета происходит их полная замена на более устойчивые к высокой температуре воздуха, засухоустойчивые виды. Таким образом, многолетний спутниковый мониторинг весенней растительности может трассировать условия увлажнения весны, что определяется запасами влаги, накопленными в холодный период, темпами роста температуры воздуха и снижением его влажности при наступлении лета.

Целью данной работы была оценка направленности монотонных тенденций в состоянии растительного покрова аридных территорий юга Казахстана в различные периоды внутри сезона, и в частности в весенний период.

Территория обследования

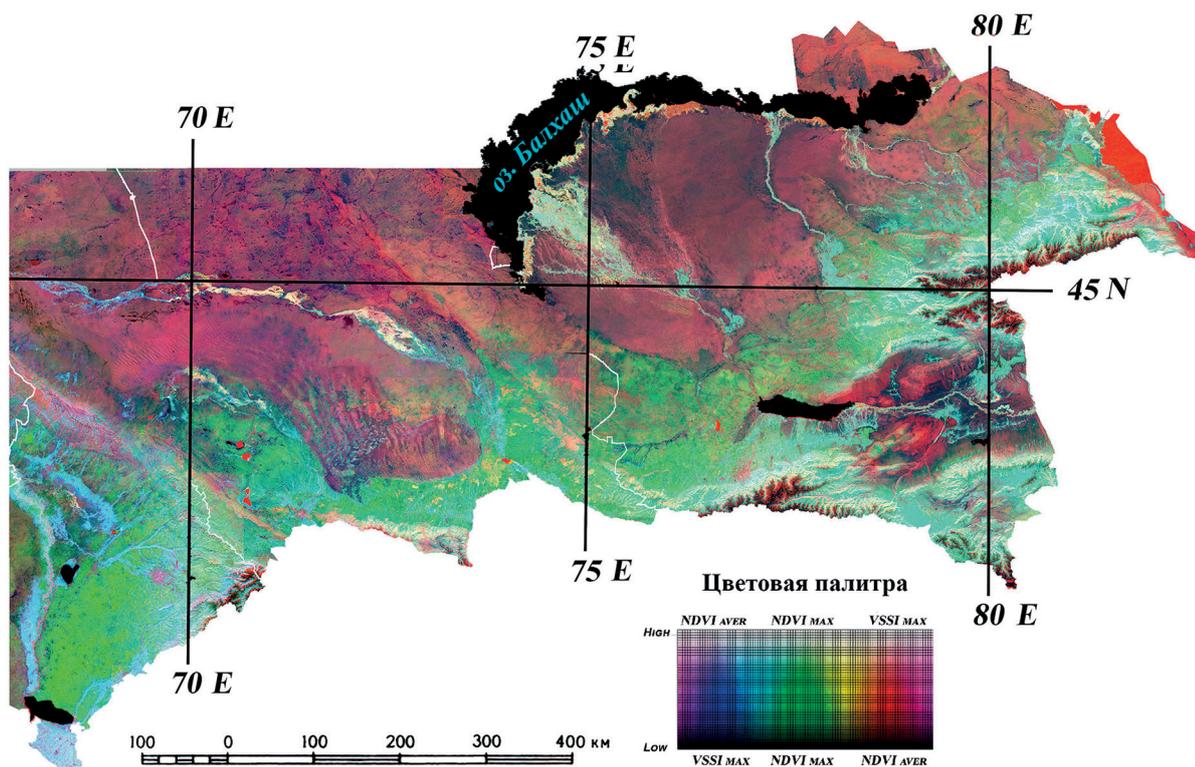


Рис. 1. Растительный покров южного Казахстана в представлении псевдоцветного композита RGB, где Red — $VSSI_{max}$; Green — $NDVI_{max}$; Blue — $NDVI_{aver}$. Построено по данным Sentinel-2 периода 2018–2022 гг. (см. разд. «Исходные данные и методы их обработки»)

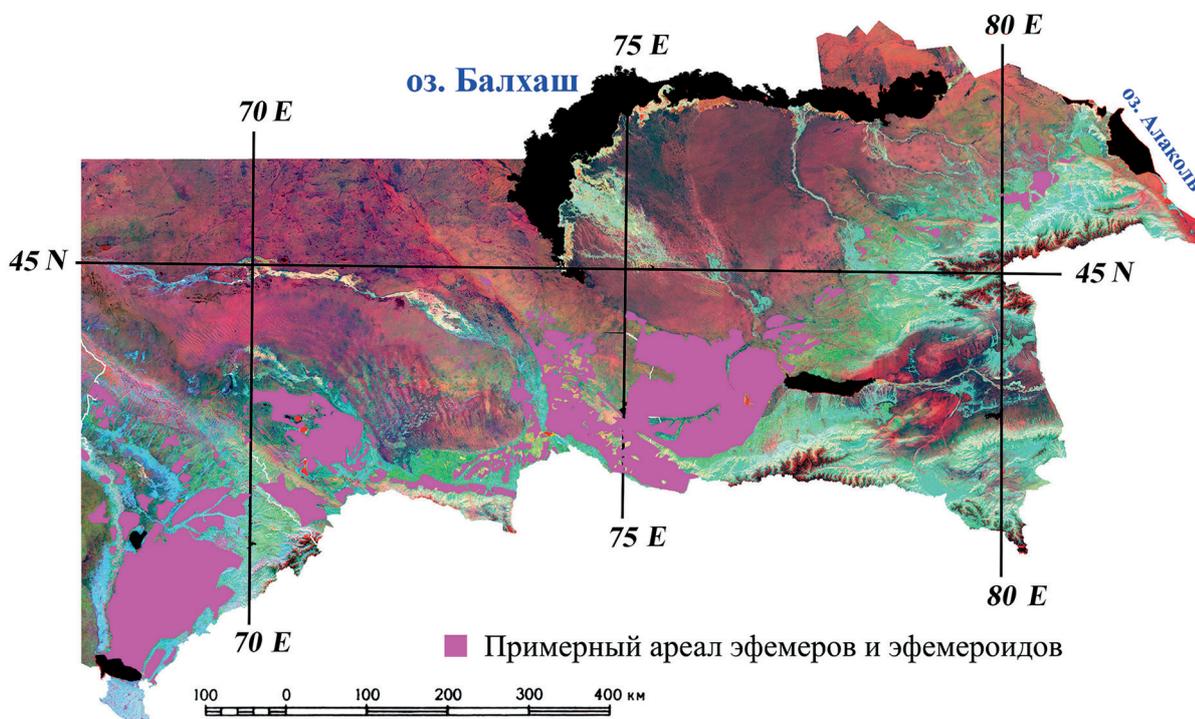


Рис. 2. Результат экспертного выделения основного ареала произрастания эфемеров и эфемероидов в южном Казахстане. Основа — псевдоцветной композит RGB, где Red — $VSSI_{max}$; Green — $NDVI_{max}$; Blue — $NDVI_{aver}$. Построено по данным Sentinel-2 периода 2018–2022 гг. (см. разд. «Исходные данные и методы их обработки»)

Территория обследования включала юго-восток Казахстана в пределах примерно 40,5–47° с.ш. и 68–82° в.д. (рис. 1, см. с. 190). На этой территории по данным спутниковых оценок вегетационного индекса с помощью экспертной дешифровки предварительно были определены зоны с доминированием весенней вегетации. Таким образом, была выделена зона с площадью около 50 тыс. км² с выраженным доминированием эфемеров и эфемероидов (рис. 2, см. с. 190).

Исходные данные и методы их обработки

Основой для построения маски земель с доминированием эфемерной и эфемероидной растительности служили снимки Sentinel-2 (разрешение 20 м). Для диагностики растительного покрова территории с помощью вегетационного индекса NDVI, рассчитываемого по формуле:

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

использовалось около 160 безоблачных покрытий Sentinel-2 за март–октябрь периода 2018–2022 гг.

Значения NDVI вычислялись с использованием данных спектральных каналов 4 и 8 Sentinel-2 (Band 4 — RED (665 нм); Band 8 — NIR (*англ.* Near Infrared) (877 нм)). Для каждого пикселя из временного ряда зарегистрированных значений NDVI было определено максимальное и среднее значение — $NDVI_{max}$ и $NDVI_{aver}$.

Чётких границ у ареалов трав, особенно с легко переносимыми ветром семенами, в принципе не существует. Ближе к границам своих ареалов присутствие данного вида растительности постепенно уменьшается. При появлении благоприятных условий семена, присутствующие практически повсеместно, могут пойти в рост в любом месте. Поэтому в качестве критерия наличия существенной доли эфемеров выступали средние многолетние оценки. Высокие значения многолетнего максимума NDVI при относительно низких средних значениях NDVI указывают на наличие краткосрочного периода существования развитой вегетации, что для сухих территорий юга Казахстана является признаком доминирования эфемеров и эфемероидов. Только этот компонент естественного травяного растительного покрова способен продуцировать краткосрочный и значимый рост зелёной биомассы в аридных условиях юга Казахстана.

Засоленность почв довольно распространена на юге Казахстана (Терехов, Сагатдинова, 2024). Растительный покров в таких условиях представлен галофитами, для которых сверхкороткие сроки вегетации нетипичны. В связи с этим на засоленных территориях, как правило, эфемеры и эфемероиды мало представлены. Поэтому дополнительным параметром, характеризующих анализируемую территорию, выступал индекс засоленности почв Vegetation Soil Salinity Index (VSSI), рассчитываемый по формуле (Dehni, Lounis, 2012):

$$VSSI = 2Band (GREEN) - 5(Band (RED) + Band (NIR));$$

в случае каналов Sentinel-2, использовались: Band 3 — GREEN (560 нм); Band 4 — RED (665 нм); Band 6 — NIR (740 нм). В качестве итоговой характеристики рассчитывался многолетний максимум значений индекса засоленности почв ($VSSI_{max}$).

Таким образом, для каждой пиксельной позиции были сформированы по три показателя: $VSSI_{max}$; $NDVI_{max}$; $NDVI_{aver}$; они характеризовали растительность территории на регулярной сетке с периодом 20 м. На этой основе было создано псевдоцветное композитное изображение с цветовой формулой RGB, где: Red — $VSSI_{max}$; Green — $NDVI_{max}$; Blue — $NDVI_{aver}$ (Терехов и др., 2023). На этом изображении зелёные тона характеризовали территорию с краткосрочным всплеском растительного покрова на незасоленных почвах. Такой режим считался маркером присутствия в растительном сообществе значительной доли эфемеров и эфемероидов.

Экспертная фотоинтерпретация использовалась для картирования и выделения примерного ареала эфемеров и эфемероидов. Выделенная территория в основном локализовалась в определённой зоне предгорных и наклонных равнин северной и северо-западной экспо-

зиции, расположенных перед горными хребтами Памира и Тянь-Шаня. С севера она граничила с зоной пустынь, а с юга — с предгорьями Тянь-Шаня и Памира. Выделенная площадь занимала около 50 тыс. км², что составляет более 220 тыс. пикселей на регулярной матрице с периодом 500 м (см. рис. 2). Высокая точность определения границ при выделении ареала эфемеров и эфемероидов не требовалась, поскольку ставилась задача оценки общей направленности многолетних трендов в состоянии растительности.

Одной из стандартных методик оценки направленности монотонных трендов является непараметрический тест Манна – Кендалла (М-К) (Kendall, 1938; Mann, 1945). Для оценки силы зависимости между признаками используются не их значения, а соответствующие им ранги. В расчётах формируются пары наблюдений и определяется сила связи на основе шаблона согласованности (*англ.* concordant) или несогласованности (*англ.* discordant) между ними. Для временных рядов пара формируется как значение отсчёта и его порядковая позиция. В согласованной паре оба элемента одной пары больше или меньше соответствующих элементов другой пары. В несогласованной это правило не выполняется. При анализе временных рядов число согласованных и несогласованных пар является основой для расчёта силы связи. Для получения сопоставимых оценок при анализе данных различного формата проводят расчёты коэффициента ранговой корреляции Кендалла. Например, расчёт коэффициента ранговой корреляции Кендалла можно провести по формуле (Kendall, 1938):

$$\tau_A = (N_C - N_D) / (0,5N(N - 1)),$$

где N_C — число согласованных пар; N_D — число несогласованных пар; N — общее число пар.

Числитель этого выражения несёт в себе информацию о тесноте связи между отсчётами временного ряда, а знаменатель нормирует полученную оценку на длину временного ряда. При анализе набора идентичных по размеру временных рядов значение знаменателя становится константой и не влияет на оценки степени коррелированности. Таким образом, для дополнительного ранжирования одинаковых по размеру временных рядов на классы «нисходящий», «восходящий» и «неопределённый» можно использовать пороговые значения числителя.

В качестве исходных данных для проведения корреляционного анализа в данном исследовании использовался временной ряд спутниковых сцен стандартного продукта MOD13Q1A1(NDVI) (16-дневный композит с разрешением 500 м) периода 2000–2022 гг., всего 345 покрытий. Трендовый М-К-тест на регулярной решётке с периодом 500 м применялся раздельно к временным рядам, относящимся к пятнадцати 16-дневным окнам, формирующим вегетационный сезон с марта по октябрь периода 2000–2022 гг. Пороговое значение $\pm 3,5$ для разницы между числом согласованных и несогласованных пар отсчётов в анализируемом временном ряду формировало дополнительное ранжирование на три класса монотонных трендов: «нисходящие» (менее $-3,5$), «восходящие» (более $+3,5$) и «неопределённые» (остальные). Полученные 15 ранговых оценок разбивались на три группы, каждая из которых формировала 80-дневное временное окно. Эти окна описывали отдельные времена года: весна (с 5 марта по 23 мая), лето (с 24 мая по 11 августа) и осень (с 12 августа по 30 октября). Описание каждого времени года (весна, лето, осень), состоящее из пяти оценок, переводилось в численную меру средней направленности формирующих его трендов, где -100% — это пять нисходящих, а $+100\%$ — пять восходящих трендов и 0% в случае, если все временные ряды не имеют выраженного тренда, либо число восходящих трендов равно числу нисходящих. Соответственно, отрицательные значения средней оценки указывали на доминирование деградации растительности, а положительные — на её прогресс.

Полученные результаты и их обсуждение

Тестовая территория выделенного примерного ареала эфемеров и эфемероидов юга Казахстана характеризовалась как пространственным распределением параметров трендов на регулярной решётке с периодом 500 м, так и средними по контуру значениями. Было получено,

что в контуре ареала произрастания эфемеров и эфемероидов весенняя вегетация с 5 марта по 23 мая имела среднюю оценку по направленности монотонных трендов $-21,95\%$, летняя с 24 мая по 11 августа — оценку $-48,63\%$ и осенняя вегетация с 12 августа по 30 октября — оценку $-53,13\%$ (рис. 3, 4, см. с. 194).

Таким образом, можно сделать выводы, что в период 2000–2022 гг. в ареале произрастания эфемеров и эфемероидов на юге Казахстана в целом регистрировались отрицательные тренды в состоянии растительности, оцениваемой вегетационным индексом MOD13Q1A1(NDVI). При этом весенний период роста и развития эфемеров и эфемероидов выглядел несколько лучше, чем лето и осень, для которых негативный тренд состояния растительности был более выраженным (см. рис. 3).

Трендовые анализы одних и тех же исходных данных, в зависимости от алгоритмов обработки, могут давать различные результаты. В данном исследовании к данным мониторинга MOD13Q1A1(NDVI) в 16-дневных временных окнах применялся непараметрический тест Манна–Кендалла. Полученные значения М-К-теста в формате разницы между числом согласованных и несогласованных пар отсчётов с помощью порогового алгоритма формировали дополнительные ранги монотонных трендов — восходящий, неопределённый и нисходящий. То есть идея использования непараметричности (рангов) в тесте Манна–Кендалла через формирование и анализ пар отсчётов в наборах анализируемых временных рядов распространялась ещё и на направленность трендов в составе итоговых результатов.

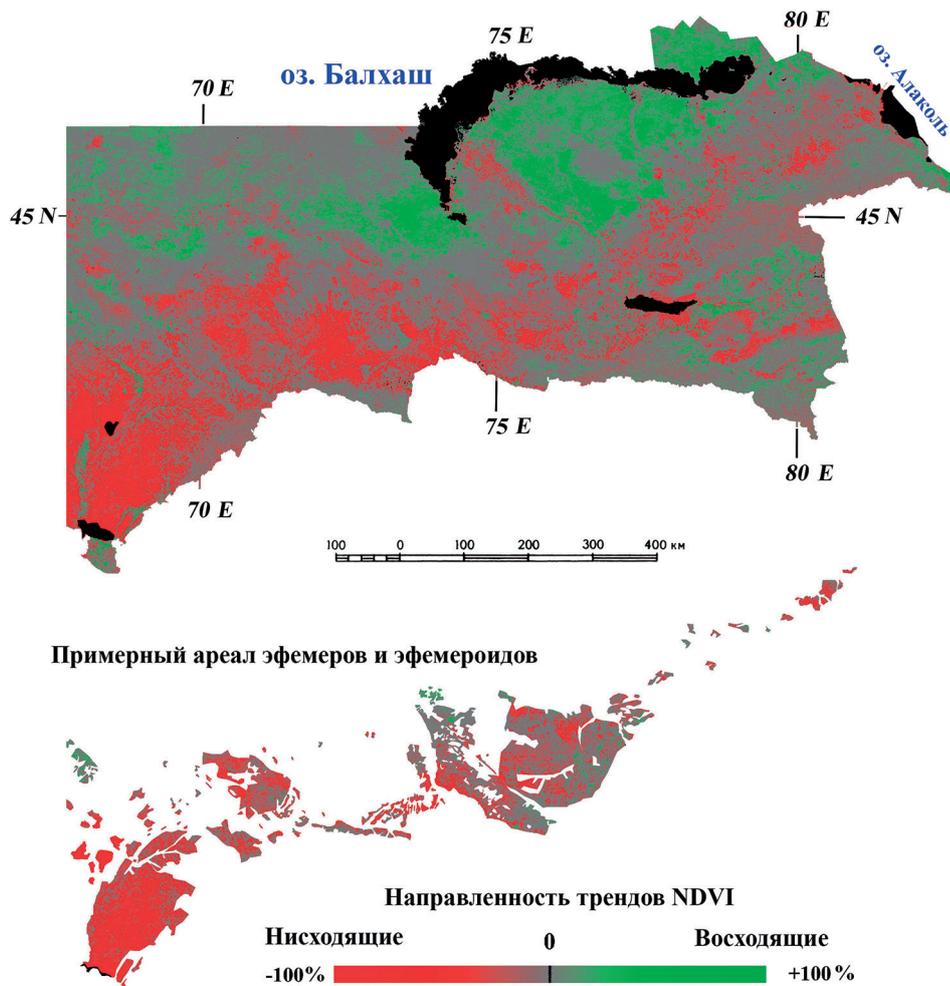


Рис. 3. Средняя направленность монотонных трендов NDVI в весенний период (5 марта–23 мая) 2000–2022 гг. для тестовой территории юга Казахстана и выделенного из неё примерного ареала эфемеров и эфемероидов. Построено на основе данных мониторинга MOD13Q1A1(NDVI) (тест Манна–Кендалла)

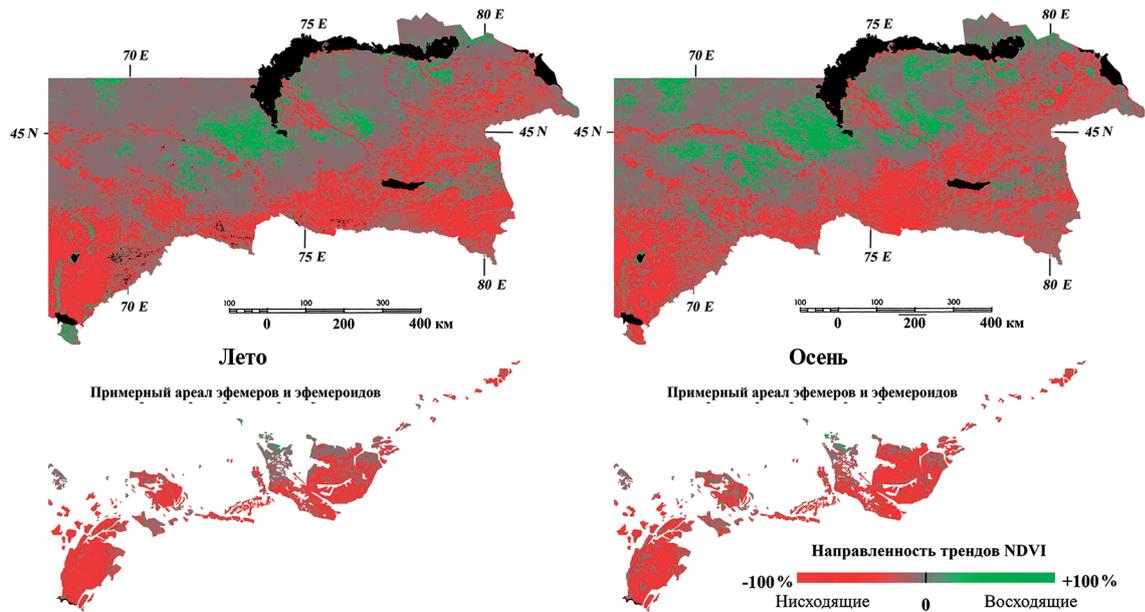


Рис. 4. Средняя направленность монотонных трендов NDVI в летний (24 мая – 11 августа) и осенний (12 августа – 30 октября) периоды 2000–2022 гг. для тестовой территории юга Казахстана и выделенного из неё примерного ареала эфемеров и эфемероидов. Построено на основе данных мониторинга MOD13Q1A1(NDVI) (тест Манна – Кендалла)

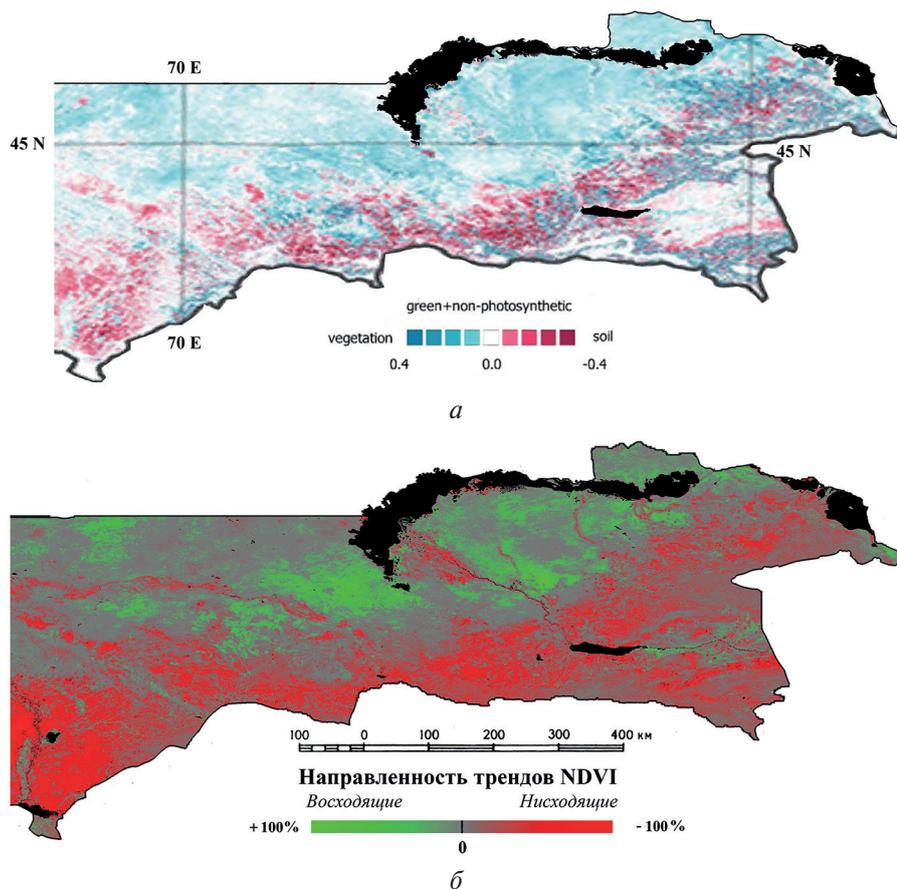


Рис. 5. Сравнение результатов трендового анализа состояния растительности: *a* — на основе временных рядов продукта MOD09A1 (2002–2020) (Lewińska et al., 2023, фрагмент fig. 3); *б* — на основе временных рядов MOD13Q1A1(NDVI) (2000–2022). Средняя направленность многолетних монотонных трендов NDVI (тест Манна – Кендалла) для периода с 5 марта по 30 октября

Сравнение полученных оценок с известными результатами трендового анализа состояния вегетации на основе продукта MOD09 (Lewińska et al., 2023) показало, что, несмотря на существенно более простые и непараметрические алгоритмы обработки, применённые в данном исследовании, полученные результаты весьма близки между собой (рис. 5, см. с. 194). Но в отличие от результатов работы (Lewińska et al., 2023), использованный нами подход позволял разбивать среднюю многолетнюю оценку всего вегетационного сезона на более мелкие временные отрезки и таким образом анализировать отдельные времена года.

Заключение

Таким образом, на основе продукта MOD13Q1A1(NDVI) периода 5 марта – 30 октября 2000–2022 гг. в пятнадцати 16-дневных окнах для трёх времён года — весна (5 марта – 23 мая), лето (24 мая – 11 августа) и осень (12 августа – 30 октября) — был проведён анализ средней направленности монотонных тенденций в изменениях вегетационного индекса NDVI. Тест Манна–Кендала применялся для более 220 тыс. пиксельных позиций с использованием шкалы от –100 % — все тренды нисходящие, до +100 % — все тренды восходящие. Территория юга Казахстана, относимая к ареалу произрастания эфемерной и эфемероидной растительности, в целом имела негативный тренд. Отдельно по временам года (весна, лето, осень) вегетация характеризовалась следующими показателями: весна –21,95 %; лето –48,63 %; осень –53,13 %. То есть анализируемая территория характеризовалась некоторой деградацией растительного покрова. При этом в весенний период деградация была выражена слабее, а её максимум относился к осени.

Работа выполнена при поддержке программно-целевого финансирования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, проекты № BR18574144, BR21881908.

Литература

1. *Барталев С. А., Егоров В. А., Жарко В. О., Луян Е. А., Плотников Д. Е., Хвостиков С. А., Шабанов Н. В.* Спутниковое картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН, 2016. 208 с.
2. *Головин А. В., Стоящева Н. В., Ковалевская Н. М.* Оценка динамики состояния природных комплексов побережья озера Большое Топольное (Алтайский край) с помощью временного ряда многоспектральных данных различного разрешения // *Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса*. 2023. Т. 20. № 2. С. 166–173. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-2-166-173.
3. *Елсаков В. В.* Влияние детальности аэрокосмических изображений на результаты классификации растительных сообществ тундры // *Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса*. 2023. Т. 20. № 1. С. 176–188. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-1-176-188.
4. *Терехов А. Г., Сагатдинова Г. Н.* Спектральные характеристики засоленной пашни в предгорной равнине Зайлийского Алатау (Северный Тянь-Шань) в период 2016–2022 гг. по спутниковым данным Sentinel-2 // *Устойчивое развитие горных территорий*. 2024. Т. 16. № 1. С. 143–155. DOI: 10.21177/1998-4502-2024-16-1-143-155.
5. *Терехов А. Г., Сагатдинова Г. Н., Мухамедиев Р. И. и др.* Перспективы использования псевдоцветных композитов при анализе многолетних временных рядов спутниковых данных в задаче оценки состояния растительного покрова // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2023. Т. 20. № 6. С. 51–66. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-6-51-66.
6. *Шинкаренко С. С., Барталев С. А.* (2023а) Применение данных дистанционного зондирования для широкомасштабного мониторинга водно-болотных угодий // *Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса*. 2023. Т. 20. № 6. С. 9–34. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-6-9-34.
7. *Шинкаренко С. С., Барталев С. А.* (2023б) Анализ влияния видового состава, проективного покрытия и фитомассы растительности аридных пастбищных ландшафтов на их спектрально-отражательные свойства по данным наземных измерений // *Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса*. 2023. Т. 20. № 3. С. 176–192. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-3-176-192.

8. Шинкаренко С. С., Барталев С. А., Берденгалиева А. Н. и др. Пространственно-временной анализ горимости пойменных ландшафтов Нижней Волги // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2023. Т. 20. № 1. С. 176–188. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-1-176-188.
9. Dehni A., Lounis M. Remote sensing techniques for salt affected soil mapping: application to the Oran region of Algeria // Procedia Engineering. 2012. V. 33. P. 188–198. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.01.1193.
10. Freitag M., Kamp J., Dara A. et al. Post-soviet shifts in grazing and fire regimes changed the functional plant community composition on the Eurasian steppe // Global Change Biology. 2021. V. 27. Iss. 2. P. 388–401. DOI: 10.1111/gcb.15411.
11. Kendall M. G. A New Measure of Rank Correlation // Biometrika. 1938. V. 30. No. 1/2. P. 81–93. DOI: 10.2307/2332226.
12. Lewińska K. E., Ives A. R., Morrow C. J. et al. Beyond “greening” and “browning”: Trends in grassland ground cover fractions across Eurasia that account for spatial and temporal autocorrelation // Global Change Biology. 2023. V. 29. Iss. 16. P. 4620–4637. DOI: 10.1111/gcb.16800.
13. Mann H. B. Nonparametric tests against trend // Econometrica. 1945. V. 13. No. 3. Article 245. DOI: 10.2307/1907187.
14. McDowell N. G., Coops N. C., Beck P. S. et al. Global satellite monitoring of climate-induced vegetation disturbances // Trends in plant science. 2015. V. 20. Iss. 2. P. 114–123. DOI: 10.1016/j.tplants.2014.10.008.
15. Wright A. J., de Kroon H., Visser E. et al. Plants are less negatively affected by flooding when growing in species-rich plant communities // New Phytologist. 2017. V. 213. No. 2. P. 645–656. DOI: 10.1111/nph.14185.
16. Xie Y., Sha Z., Yu M. Remote sensing imagery in vegetation mapping: A review // J. Plant Ecology. 2008. V. 1. Iss. 1. P. 9–23. DOI: 10.1093/jpe/rtn005.
17. Zeng L., Wardlow B. D., Xiang D. et al. A review of vegetation phenological metrics extraction using time-series, multispectral satellite data // Remote Sensing Environment. 2020. V. 237. Article 111511. DOI: 10.1016/j.rse.2019.111511.

Dynamics of the state of ephemeral and ephemeroïd plants in South Kazakhstan according to MOD13Q1A1(NDVI) data for 2000–2022

A. G. Terekhov¹, G. N. Sagatdinova¹, B. A. Murzabaev²,
E. N. Amirgaliyev¹, R. I. Mukhamediev³

¹ Institute of Information and Computational Technologies, Almaty 050010, Kazakhstan
E-mail: aterekhov1@yandex.ru

² M. Auezov South Kazakhstan State University, Shymkent 160012, Kazakhstan
E-mail: bolat101955@mail.ru

³ K. I. Satbayev Kazakh National Research University, Almaty 050013, Kazakhstan
E-mail: ravil.muhamedyev@gmail.com

Ephemera and ephemeroïd plants form a short-term but relatively developed herbaceous cover during spring in South Kazakhstan. This important component of vegetation of arid territories develops in early spring due to moisture accumulated during the cold period. Satellite monitoring of vegetation states allows assessing the reaction of ephemera and ephemeroïds to long-term weather variations. In this research, the direction of monotonous NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) trends is estimated for the territory of South Kazakhstan. The MOD13Q1A1(NDVI) 500 m resolution data for 2000–2022 and the nonparametric Mann–Kendall (M-K) test are used. The South Kazakhstan growing season from March to October is described by fifteen separate 16-day time windows of the MOD13Q1 product. The M-K test is used to determine whether a time series has a monotonic upward or downward trend. The M-K test values, in the format of the difference between the number of concordant and discordant pairs of samples, are used. By the thresholds values of +3.5 and –3.5 the time series are ranked to three types of monotonous trends: ascending (>+3.5), descending (<–3.5), and uncertain. The received values are grouped into seasonal (spring, summer, autumn) sets. Each set includes five 16-day assessments: spring from March 5 to May 23, summer from May 24 to August 11, and autumn from August 12 to October 30. The end result for each 500×500 m elementary

section is an average assessment of the trend direction of the 16-day MOD13Q1A1(NDVI) values during the 80-day period of the analyzed time of year (spring, summer, autumn). The obtained values of the average trend direction range from (–100 %) to (+100 %), which corresponds to either five downward or five upward trends. Previously, a test site has been allocated in South Kazakhstan, with an area of about 50 thousand km² which, according to NDVI (160 scenes of Sentinel-2 of March–October 2018–2022), was dominated by vegetation of the spring period. It is found that the spring vegetation of the period from March 5 to May 23, attributed by the terms of vegetation to the development of ephemera and ephemeroïd plants, has an average assessment of monotonous trends for the analyzed contour equal to –21.95 %, the summer vegetation –48.63 %, the autumn vegetation –53.13 %. Thus, in South Kazakhstan during 2000–2022, the dominance of negative trends in the vegetation state in the zone of prevailing ephemera and ephemeroïd plants is recorded. At the same time, the trends in spring vegetation appear somewhat better than the trends in summer and autumn vegetation with more pronounced downward slide.

Keywords: remote sensing, vegetation index NDVI, satellite monitoring, trend analysis, Mann–Kendall test, spring vegetation

Accepted: 05.08.2024

DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-4-188-198

References

1. Bartalev S., Egorov V., Zharko V., Loupian E., Plotnikov D., Khvostikov S., Shabanov N., *Sputnikovoe kartografirovaniye rastitel'nogo pokrova Rossii* (Land cover mapping over Russia using Earth observation data), Moscow: IKI RAS, 2016, 208 p. (in Russian).
2. Golovin A. V., Stoyashcheva N. V., Kovalevskaya N. M., Assessing the dynamics of natural coastal complexes of Lake Bolshoye Topolnoye (Altai Krai) using a time series of multispectral data of different resolution, *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2023, Vol. 20, No. 2, pp. 166–173 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2020-20-2-166-173.
3. Elsakov V. V., The influence of aerospace imagery spatial resolution on mapping results of tundra vegetation, *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2023, Vol. 20, No. 1, pp. 176–188 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2020-20-1-176-188.
4. Terekhov A. G., Sagatdinova G. N., Spectral characteristics of saline arable land in the foothill catchment Zailiisky Alatau Ridge (Northern Tien-Shan) during 2016–2022 using Sentinel-2 data, *Sustainable Development of Mountain Territories*, 2024, Vol. 16, No. 1, pp. 143–155 (in Russian), DOI: 10.21177/1998-4502-2024-16-1-143-155.
5. Terekhov A. G., Sagatdinova G. N., Mukhamediev R. I. et al., Prospects for the use of pseudo-color image processing in the analysis of long-term time series of satellite data in the task of assessing the vegetation cover state, *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2023, Vol. 20, No. 6, pp. 51–66 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2020-20-6-51-66.
6. Shinkarenko S. S., Bartalev S. A. (2023a), Application of remote sensing data in large-scale monitoring of wetlands, *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2023, Vol. 20, No. 6, pp. 9–34 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2020-20-6-9-34.
7. Shinkarenko S. S., Bartalev S. A. (2023b), Analysis of the influence of species composition, projective cover, and phytomass of arid landscape pasture vegetation on spectral reflectance properties based on ground measurements, *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2023, Vol. 20, No. 3, pp. 176–192 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2020-20-3-176-192.
8. Shinkarenko S. S., Bartalev S. A., Berdengalieva A. N. et al., Spatio-temporal analysis of burnt area in the Lower Volga floodplain, *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2023, Vol. 20, No. 1, pp. 176–188 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2020-20-1-176-188.
9. Dehni A., Lounis M., Remote sensing techniques for salt affected soil mapping: application to the Oran region of Algeria, *Procedia Engineering*, 2012, Vol. 33, pp. 188–198, DOI: 10.1016/j.proeng.2012.01.1193.
10. Freitag M., Kamp J., Dara A. et al., Post-soviet shifts in grazing and fire regimes changed the functional plant community composition on the Eurasian steppe, *Global Change Biology*, 2021, Vol. 27, Issue 2, pp. 388–401, DOI: 10.1111/gcb.15411.
11. Kendall M. G., A New Measure of Rank Correlation, *Biometrika*, 1938, Vol. 30, No. 1/2, pp. 81–93, DOI: 10.2307/2332226.
12. Lewińska K. E., Ives A. R., Morrow C. J. et al., Beyond “greening” and “browning”: Trends in grassland ground cover fractions across Eurasia that account for spatial and temporal autocorrelation, *Global Change Biology*, 2023, Vol. 29, Issue 16, pp. 4620–4637, DOI: 10.1111/gcb.16800.

13. Mann H. B., Nonparametric tests against trend, *Econometrica*, 1945, Vol. 13, No. 3, Article 245, DOI: 10.2307/1907187.
14. McDowell N.G., Coops N.C., Beck P.S. et al., Global satellite monitoring of climate-induced vegetation disturbances, *Trends in plant science*, 2015, Vol. 20, Issue 2, pp. 114–123, DOI: 10.1016/j.tplants.2014.10.008.
15. Wright A.J., de Kroon H., Visser E. et al., Plants are less negatively affected by flooding when growing in species-rich plant communities, *New Phytologist*, 2017, Vol. 213, No. 2, pp. 645–656, DOI: 10.1111/nph.14185.
16. Xie Y., Sha Z., Yu M., Remote sensing imagery in vegetation mapping: A review, *J. Plant Ecology*, 2008, Vol. 1, Issue 1, pp. 9–23, DOI: 10.1093/jpe/rtm005.
17. Zeng L., Wardlow B.D., Xiang D. et al., A review of vegetation phenological metrics extraction using time-series, multispectral satellite data, *Remote Sensing Environment*, 2020, Vol. 237, Article 111511, DOI: 10.1016/j.rse.2019.111511.