

**JANUBIY OROL MINTAQASIDA 2000–2025-YILLARDAGI SUV RESURSLARI
DINAMIKASINI SONLI TAHLIL QILISH**

Payzullaeva Ayzada Djengisbaevna

Nukus davlat texnika universiteti, magistr

Kipshakbaeva Gauhar Adilbaevna

Qoraqalpog'iston qishloq xo'jaligi va agrotexnologiyalar instituti, PhD talaba

Berdimbetova Amina Tleubergenovna

Nukus davlat texnika universiteti, assistent o'qituvchi

Berdimbetov Timur Tleubergenovich

Nukus davlat texnika universiteti, PhD

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20310619>

Annotatsiya: Ushbu maqola Orol dengizi mintaqasining, asosan, janubiy qismida 2000–2025-yillardagi suv resurslari dinamikasini global modellar va masofadan zondlash ma'lumotlari bilan ishlash metodikasiga tayangan holda raqamli tahlil qilishga qaratilgan.

Kalit so'zlar: Orol dengizi, suv resurslari, GRACE, MODIS, NDVI.

**ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В РЕГИОНЕ
ЮЖНОГО АРАЛЬСКОГО МОРЯ ЗА ПЕРИОД 2000–2025 ГГ.**

Пайзуллаева Айзада Дженгисбаевна

Нукусский государственный технический университет, магистр

Кипшакбаева Гаухар Адильбаевна

Каракалпакский институт сельского хозяйства и агротехнологий, PhD студент

Бердимбетова Амина Тилеубергеновна

Нукусский государственный технический университет, ассистент

Бердимбетов Тимур Тилеубергенович

Нукусский государственный технический университет, PhD

Аннотация: В данной статье представлен численный анализ динамики водных ресурсов в регионе Аральского моря, главным образом в его южной части, за период 2000–2025 годов, основанный на методологии работы с глобальными моделями и данными дистанционного зондирования.

Ключевые слова: Аральское море, водные ресурсы, GRACE, MODIS, NDVI.

**NUMERICAL ANALYSIS OF WATER RESOURCE DYNAMICS IN THE
SOUTH ARAL SEA REGION FOR 2000–2025**

Payzullaeva Ayzada Djengisbaevna

Nukus State Technical University, Master Student

Kipshakbaeva Gaukhar Adilbaevna

Karakalpakstan Institute of Agriculture and Agrotechnologies, PhD Student

Berdimbetova Amina Tleubergenovna

Nukus State Technical University, Assistant Lecturer

Berdimbetov Timur Tleubergenovich

Nukus State Technical University, PhD

Abstract: This article focuses on the numerical analysis of water resource dynamics in the Aral Sea region, mainly in its southern part, for the period 2000–2025, based on the methodology of working with global models and remote sensing data.

Keywords: Aral Sea, water resources, GRACE, MODIS, NDVI.

KIRISH

Orol mintaqasi O'rta Osiyodagi murakkab ekologik hududlardan biri bo'lib, daryo suv resurslarining qisqarishi, tuproq eroziyasi, qurg'oqchilik, chang va tuz bo'ronlari hamda tabiiy biologik jarayonlarning o'zgarishi kabi ko'p omilli murakkab jarayonlar bilan ifodalanadi [1]. Janubiy Orol dengizi (JOD) hududi, asosan, Amudaryoning pastki qismida joylashganligi sababli ushbu hududda suv balansi daryo suv oqimi ko'lami, qishloq xo'jaligi yerlari, iqlim sharoiti, potensial bug'lanish va antropogen ta'sir bilan chambarchas bog'liqdir [2–3]. Sun'iy yo'ldosh ma'lumotlarida Orol dengizi katastrofasi natijasida baliqchilik va qishloq xo'jaligi tizimi izdan chiqqani, eroziya hamda pestitsidlar bilan ifloslangan changning aholi salomatligi, hayoti va yaylov hududlarga salbiy ta'siri qayd etilgan.

Hozirgi vaqtda suv resurslari monitoringi faqat joylarda olib boriladigan kuzatuvlar bilan cheklanib qolmasdan, sun'iy yo'ldosh tasvirlari, global modellar, reanaliz ma'lumotlari, gravimetrik kuzatuvlar va geoinformatsion texnologiyalar asosida ham amalga oshirilmoqda [4–5]. Bunday usul JOD mintaqasi kabi yirik, quruq va ekologik xavf ko'rsatkichi yuqori hududlar uchun juda ahamiyatlidir, chunki hududning ayrim qismlarida mahalliy doimiy yer usti kuzatuv tarmoqlari soni cheklangan sharoitda global model tahlillari suv resurslarining uzoq muddatli dinamikasini aniqlashga xizmat qiladi.

Tadqiqotning dolzarbligi JOD mintaqasida suv resurslari o'zgaruvchanligini 2000–2025-yillar kesimida sonli baholash zarurati bilan belgilanadi. Ushbu davr JOD qismida keskin suv hajmi qisqarishi, mavsumiy suv tebranishlari, ayrim yillarda vaqtinchalik suv to'planishi hamda ekologik xavf hududlarining kengayishi bilan asoslanadi. JRC Global Surface Water ma'lumotlari Landsat tasvirlari asosida 1984–2021-yillar oralig'ida global suv yuzalarining vaqt bo'yicha tarqalishini ko'rsatadi [6]. ERA5-Land esa 1950-yildan hozirgi paytgacha bo'lgan davr uchun yog'in, tuproq namligi, bug'lanish va boshqa yer yuzasi parametrlarini izchil baholash imkonini beradi [7]. GRACE/GRACE-FO ma'lumotlari esa umumiy suv zaxirasi anomaliyasini baholashda qo'llaniladi [8].

MATERIALLAR VA METODLAR

Tadqiqotda Janubiy Orol dengizi mintaqasida suv resurslari dinamikasini baholash uchun global model va masofadan zondlash ma'lumotlariga tayangan holda indikatorlar tizimi qo'llanildi. Suv yuzasi maydoni (SW) JRC Global Surface Water va Landsat/Sentinel ma'lumotlari asosida, umumiy suv zaxirasi anomaliyasi (TWSA) GRACE/GRACE-FO gravimetrik kuzatuvlari orqali, yog'in va potensial evapotranspiratsiya ko'rsatkichlari ERA5-Land hamda MODIS mahsulotlari orqali tahlil qilindi. Vegetatsiya holatini baholashda MOD13 NDVI ko'rsatkichi asosiy ekologik indikator sifatida qabul qilindi.

2022–2025-yillar uchun suv yuzasi ko'rsatkichlarini baholashda NDWI va MNDWI kabi suv indekslaridan foydalanildi. Olingan ko'rsatkichlar 2000, 2005, 2010, 2015, 2020 va 2025-yillar bo'yicha taqqoslandi. Natijalar suv yuzasi, yog'ingarchilik, potensial bug'lanish, TWSA va NDVI ko'rsatkichlarining vaqt bo'yicha o'zgarish tendensiyasini aniqlashga yo'naltirildi.

NATIJARLAR

2000-yillarning boshlanish davrida JOD hududida suv yuzasi (surface water — SW) maydoni avvalgi tarixiy holatga nisbatan sezilarli qisqargan. Lekin 2000–2004-yillar oralig'ida SW ayrim hududlarda saqlanib turgan, ayniqsa, g'arbiy JOD qismida nisbatan barqarorroq suv

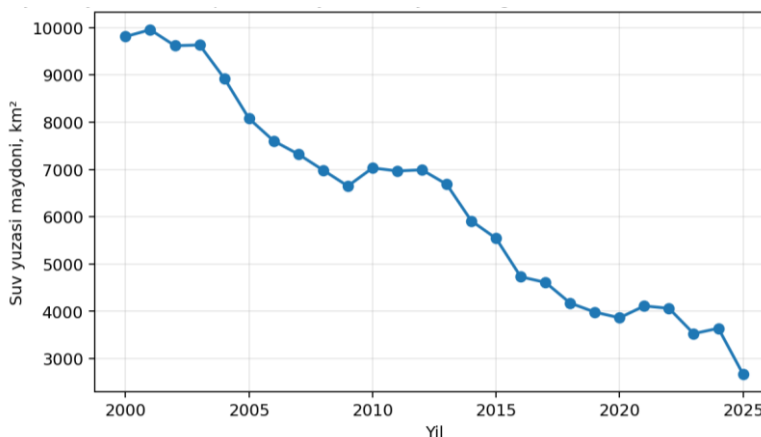
massasi kuzatilgan. Sharqiy JOD esa sayozligi va Amudaryo oqimiga sezgirligi sababli mavsumiy tebranishlarga aniqroq javob bergan.

1-jadval. 2000–2025-yillarda suv va iqlim indikatorlarining vaqt bo‘yicha o‘zgarishi

Vaqt (yil)	SW (suv yuzasi, km ²)	Precipitation (yog‘in, mm)	Potential evapotranspiration (potensial bug‘lanish, mm)	TWSA (mm)	NDVI
2000	9809	115,5	596,8	11,1	0,240
2005	8075	97,9	576,1	-11,9	0,234
2010	7031	130,5	609,7	-62,2	0,206
2015	5543	121,9	594,3	-44,2	0,182
2020	3863	107,8	591,0	-79,8	0,186
2025	2671	120,2	612,7	-108,8	0,149

2005–2009-yillar oralig‘i SW keskin qisqarish bosqichi sifatida baholanishi mumkin. NASA Earth Observatory ma‘lumotlarida Orol dengizi suv hajmi qisqarishi natijasida JOD havzasining sharqiy qismi ayrim yillarda deyarli yo‘qolib qolganligi va SW quruq hamda nam yillarga qarab tebranganligi ko‘rsatiladi [1]. Bu davrda SW maydoni qisqarishi bilan bir qatorda ekologik bosim kuchaygan va qurigan tubdan chang hamda tuz ko‘tarilishi xavfi ortib borgan.

2010 va 2015-yillarda vaqtinchalik suv to‘planishlari kuzatilishi mumkin. Bunday holat yog‘in, daryo oqimi yoki mavsumiy suv rejimi bilan izohlanadi. Lekin vaqtinchalik suv to‘planishi ekologik tiklanishga yetarli darajada yordam beradi degani emas; agar suv hajmi ortishi faqat qisqa muddatli mavsumiy hodisa sifatida paydo bo‘lsa, u barqaror ekotizimni shakllantirishga yetarli bo‘lmazligi mumkin.

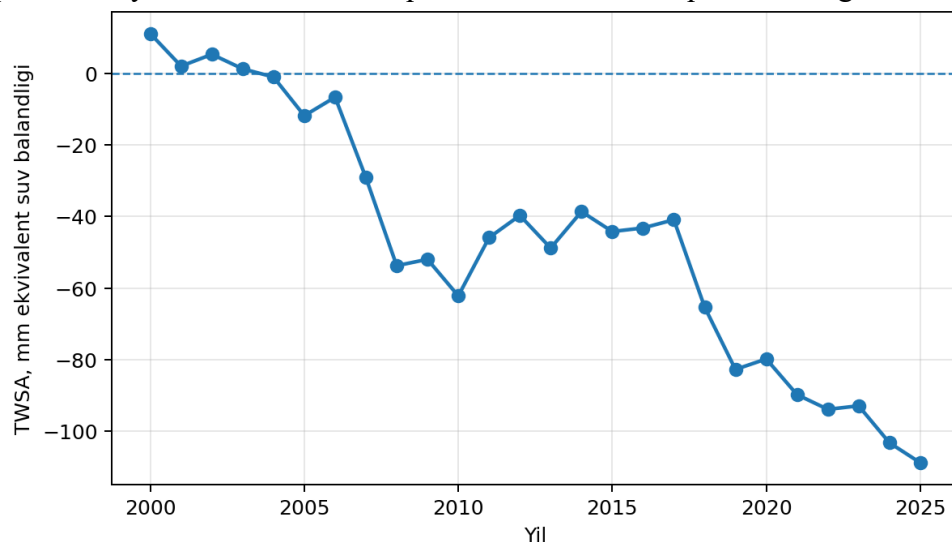


1-rasm. Janubiy Orol mintaqasida suv maydonining indikativ dinamikasi (2000-2025)

2016–2020-yillar davri ekostressning nisbatan kamaygan va barqarorlashgan, biroq yuqori darajadagi xavf saqlangan bosqichi sifatida qabul qilinishi mumkin. Avvalgi tadqiqotlarda chang va qum bo‘ronlari bo‘yicha 2000–2020-yillarda Orol dengizi mintaqasida, ayniqsa, JOD hududida bunday hodisalar faolligi oshgani qayd etilgan [6]. Bu suv balansi kamayishi va qurigan dengiz tubining atmosferaga salbiy ta‘sirini ko‘rsatadi.

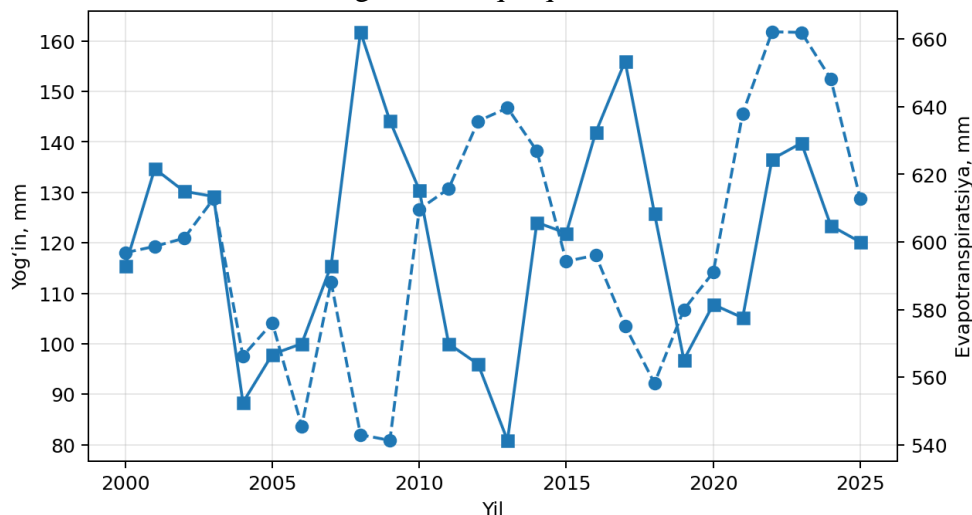
2021–2025-yillar oralig‘i zamonaviy monitoring usullarining mukammallashuvi va barqarorligi bilan alohida ahamiyatga ega. Ushbu davrda Sentinel-2 va Landsat 8/9 ma’lumotlari yuqori aniqlikdagi suv chiziqlari va vegetatsiya o‘zgarishi xaritalarini yaratish imkonini beradi. JRC GSW 2021-yilgacha suv yuzasi ma’lumotlarini taqdim etgani sababli 2022–2025-yillar uchun SW MNDWI va NDWI indeksleri yordamida alohida hisoblangan.

SW trendi umumiy kamayish tendensiyasini ko‘rsatmoqda. Bu trend yillik tebranishlarga ega bo‘lishi mumkin, chunki suv balansi yog‘in, daryo suvi va mavsumiy sharoit bilan ifodalanadi. Biroq uzoq muddatli yo‘nalish JOD mintaqasida suv balansi barqaror emasligini ko‘rsatmoqda.



2-rasm. GRACE/GRACE-FO ma’lumotlari asosida TWSA dinamikasi

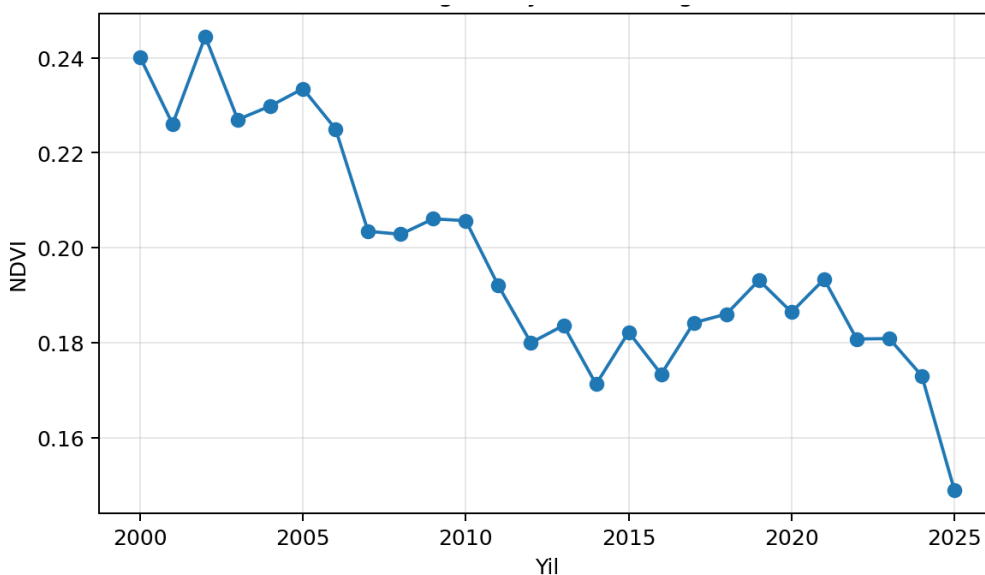
GRACE/GRACE-FO TWSA qatori umumiy suv zaxirasining kamayish tendensiyasini qayd qilmoqda. TWSA o‘zgarishining manfiy tomonga siljishi yer usti va yer osti suvlaridagi umumiy tanqislikni bildiradi. JOD kabi yopiq va quruq basseynida bu ko‘rsatkich suv boshqaruvi, daryo suvi va atmosferik omillar bilan birgalikda talqin qilinishi lozim [4].



3-rasm. Yog‘ingarchilik va potensial bug‘lanish ko‘rsatkichlari dinamikasi

Yog‘in va evapotranspiratsiya diagrammasi suv balansining keskin nomutanosibligini ko‘rsatadi. Qurg‘oqchil iqlim sharoitida bug‘lanish ko‘pincha yog‘in miqdoridan bir necha baravar

yuqori bo‘lib qolmoqda. Bu esa namlik kamligi va tuproq eroziyasini kuchaytiradi. ERA5-Land hamda MOD16 ma’lumotlarini birlashtirish ushbu jarayonni raqamli baholash imkonini beradi.



4-rasm. NDVI asosida vegetatsiya holatining indikativ dinamikasi

NDVI dinamikasi vegetatsiya o‘zgarishining ekologik holatini ifodalaydi. Agar NDVI qiymati pasaysa, bu vegetatsiya qoplaminin zaiflashishi, suv tanqisligi yoki tuproq sho‘rlanishi bilan izohlanishi mumkin. JOD hududida vegetatsiya indeksi tahlili suv resurslari dinamikasining ekologik oqibatlarini baholashda asosiy indikator hisoblanadi.

MUHOKAMA

Olingan natijalar Janubiy Orol dengizi mintaqasida suv resurslari dinamikasi uzoq muddatli kamayish yo‘nalishiga ega ekanligini ko‘rsatadi. SW maydoni 2000-yildagi 9809 km² dan 2025-yilda 2671 km² gacha pasaygan. Bu ko‘rsatkich suv resurslarining sezilarli qisqarishini, ayniqsa, Orol dengizining janubiy qismida ekologik barqarorlikning zaiflashganini tasdiqlaydi.

TWSA qiymatlarining 2000-yildagi 11,1 mm dan 2025-yilda –108,8 mm gacha pasayishi umumiy suv zaxirasi tanqisligining kuchayganini bildiradi. Yog‘in ko‘rsatkichlarida ayrim yillarda tebranishlar kuzatilgan bo‘lsa-da, potensial bug‘lanishning yuqori darajada saqlanishi mintaqada suv balansining nomutanosibligini kuchaytirgan. Shu bilan birga, NDVI qiymatlarining pasayishi vegetatsiya qoplaminin zaiflashuvi va suv tanqisligining ekologik oqibatlarini ifodalaydi.

Masofadan zondlash va global model ma’lumotlari birgalikda qo‘llanganda JOD mintaqasidagi suv resurslari o‘zgarishini kompleks baholash imkonini beradi. Bunday yondashuv mahalliy kuzatuv tarmoqlari cheklangan hududlarda suv resurslarini raqamli monitoring qilish, ekologik xavflarni oldindan baholash va suvdan foydalanishni rejalashtirish uchun muhim ilmiy-amaliy asos bo‘lib xizmat qiladi.

XULOSA

Ushbu maqolada Janubiy Orol mintaqasi uchun JRC Global Surface Water suv dinamikasini baholashda, GRACE/GRACE-FO TWSA ni aniqlashda, ERA5-Land yog‘ingarchilik, tuproq namligi va meteorologik sharoitni tahlil qilishda, MOD13 va MOD16 esa evapotranspiratsiya hamda vegetatsiya holatini aniqlashda muhim manba ekanligi asoslandi.

Tahlil natijalari 2000–2025-yillar davomida Janubiy Orol dengizi mintaqasida suv yuzasi maydoni, umumiy suv zaxirasi va vegetatsiya ko'rsatkichlarida pasayish tendensiyasi mavjudligini ko'rsatdi. Bu holat mintaqada suv resurslaridan oqilona foydalanish, ekologik monitoringni kuchaytirish va masofadan zondlash ma'lumotlariga asoslangan doimiy nazorat tizimini takomillashtirish zarurligini tasdiqlaydi.

Adabiyotlar:

1. NASA Earth Observatory. World of Change: Shrinking Aral Sea. 2026.
2. Google Earth Engine Data Catalog. JRC Global Surface Water Mapping Layers, v1.4. 1984–2021 Landsat-based global surface water dataset.
3. Copernicus Climate Data Store / ECMWF. ERA5-Land hourly data from 1950 to present.
4. Yegizbayeva, S., Ilyas, and Berdimbetov, T. "Drought Characterisation of Syrdarya River Basin in Central Asia Using Reconnaissance Drought Index." IGARSS 2022 – 2022 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Kuala Lumpur, Malaysia, 2022, pp. 6356–6359. doi: 10.1109/IGARSS46834.2022.9883653.
5. Copernicus Climate Data Store. Terrestrial water storage anomaly data from 2002 to present derived from GRACE and GRACE-FO.
6. Berdimbetov, T.; Pushpawela, B.; Murzintcev, N.; Nietullaeva, S.; Gafforov, K.; Turenliyazova, A.; Madetov, D. Unraveling the Intricate Links between the Dwindling Aral Sea and Climate Variability during 2002–2017. *Climate* 2024, 12, 105. <https://doi.org/10.3390/cli12070105>
7. McFeeters, S.K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 1996.
8. Timur, B. (2023). Spatio-Temporal Variations of Climate Variables and Extreme Indices over the Aral Sea Basin during 1960–2017. *Trends in Sciences*, 20(12), 5664. <https://doi.org/10.48048/tis.2023.5664>