



TECH SCIENCE

ISSN 3030-3702

**TEXNIKA FANLARINING
DOLZARB MASALALARI**

**TOPICAL ISSUES OF TECHNICAL
SCIENCES**



№ 5 (4) 2026

TECHSCIENCE.UZ

№ 5 (4)-2026

**TEXNIKA FANLARINING DOLZARB
MASALALARI**

**TOPICAL ISSUES
OF TECHNICAL SCIENCES**

TOSHKENT-2026

BOSH MUHARRIR:

KARIMOV ULUG'BEK ORIFOVICH

TAHRIR HAY'ATI:

Usmankulov Alisher Kadirkulovich - Texnika fanlari doktori, professor, Jizzax politexnika universiteti

Fayziyev Xomitxon – texnika fanlari doktori, professor, Toshkent arxitektura qurilish instituti;

Rashidov Yusuf Karimovich – texnika fanlari doktori, professor, Toshkent arxitektura qurilish instituti;

Adizov Bobirjon Zamirovich– Texnika fanlari doktori, professor, O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti;

Abdunazarov Jamshid Nurmuxamatovich - Texnika fanlari doktori, dotsent, Jizzax politexnika universiteti;

Umarov Shavkat Isomiddinovich – Texnika fanlari doktori, professor, Jizzax davlat pedagogika universiteti;

Bozorov G'ayrat Rashidovich – Texnika fanlari doktori, Buxoro muhandislik-texnologiya instituti;

Maxmudov Muxtor Jamolovich – Texnika fanlari doktori, Buxoro muhandislik-texnologiya instituti;

Asatov Nurmuxammat Abdunazarovich – Texnika fanlari nomzodi, professor, Jizzax politexnika universiteti;

Mamayev G'ulom Ibroximovich – Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), Jizzax politexnika universiteti;

Ochilov Abduraxim Abdurasulovich – Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), Buxoro muhandislik-texnologiya instituti.

OAK Ro'yxati

Mazkur jurnal O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasi Rayosatining 2025-yil 8-maydagi 370-son qarori bilan texnika fanlari bo'yicha ilmiy darajalar yuzasidan dissertatsiyalar asosiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan.

Muassislar: "SCIENCEPROBLEMS TEAM" mas'uliyati cheklangan jamiyati;
Jizzax politexnika insituti.

**TECHSCIENCE.UZ- TEXNIKA
FANLARINING DOLZARB**

MASALALARI elektron jurnali
15.09.2023-yilda 130343-sonli
guvohnoma bilan davlat ro'yxatidan
o'tkazilgan.

TAHRIRIYAT MANZILI:

Toshkent shahri, Yakkasaroy tumani, Kichik
Beshyog'och ko'chasi, 70/10-uy.
Elektron manzil:
scienceproblems.uz@gmail.com

Barcha huquqlar himoyalangan.

© Scienceproblems team, 2026-yil

© Mualliflar jamoasi, 2026-yil

MUNDARIJA

<i>Беккулов Джахонгир, Тураев Хуршид</i> ПРОГНОЗИРУЮЩЕЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ СУШКИ ТВЁРДЫХ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ	5-15
<i>Бахромов Хасан, Бозорбоев Жавлонбек, Жумаев Фиёсжон</i> АЛГОРИТМЫ ПОСТРОЕНИЯ ФИЛЬТРА ВИНЕРА-ХОПФА И ФИЛЬТРАЦИЯ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ЕГО ОСНОВЕ	16-20
<i>Hamdamova Dilshoda</i> BADIIY ADABIYOTLAR VOSITASIDA O'QUVCHILARNING AXLOQIY MADANIYATINI YUKSALTIRISH TIZIMI Й	21-23
<i>Babadjanov Elmurod, Maxambetjaliev Musabek</i> RFID YORDAMIDA AVTOTURARGOH KIRISH-CHIQUISHINI NAZORAT QILISH VA BANDLIKNI QISQA MUDDATTA VAHOLASH	24-29
<i>Айтмуратов Бакберген, Оразымбетов Темурубек</i> МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ НУКУССКОГО РАЙОНА НА ОСНОВЕ МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ И МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ	30-36
<i>Qutlimuratov Yusup, Orazbayev Shaxmardan</i> YERLARNING SHO'RLANISH DARAJASINI ANIQLASH VA PROGNOZ QILISHDA NEYRON TARMOQLARDAN FOYDALANISH	37-42
<i>Aimbetova Gulara, Sarsenbaeva Hu'rlixa, Djumabaev Alpamis</i> KAM RESURSLI TILLARNI RAQAMLASHTIRISHDA SUN'TY INTELLEKT MODELLARINING SAMARADORLIGI VA MAVJUD MUAMMOLAR	43-48
<i>Abdullayev Elmurod, Bektemirov Hojimurod</i> TABIIY TILNI QAYTA ISHLASH ALGORITMLARINING BARQARORLIGINI NAZARIY TAHLIL QILISH	49-54
<i>Mamatov Narzillo, Samijonov Abdurashid, Abdullaeva Barno,</i> <i>Usarov Jurabek, Samijonov Boymirzo</i> QULOQ CHANOG'IGA ASOSLANGAN SHAXSNI IDENTIFIKATSIYALASH USULI	55-67
<i>Xaqberdiyev Asliddin</i> TOMCHILATIB SUG'ORISHDA NAVIER - STOKES TENGLAMALARIDAN FOYDALANIB, SUV SARFINI OPTIMALLASHTIRISH	68-74
<i>Xamzayev Dilshod</i> PAXTANI QURITISH QURILMASI: KONSTRUKSIYA, ISH PRINSIPLARI VA ISSIQLIK-TEXNIK XUSUSIYATLARNING KENGAYTIRILGAN TADQIQI	75-80
<i>Odilova Mohigul</i> METROLOGIYA SOHASIDA XALQARO UYG'UNLASHUV: O'ZBEKISTON MISOLIDA TAHLIL INTERNATIONAL HARMONIZATION IN THE FIELD OF METROLOGY: A CASE STUDY OF UZBEKISTAN	81-87

<i>Doniyev Erkin, Yusupov Rustam, Eshqurbonov Anvar</i> BAZALT TOLALI KOMPOZIT QOPLAMALARNI YAQIN INFRAQIZIL NURLANISH YORDAMIDA QURITISH: TEXNOLOGIYA, STRUKTURA VA XOSSALAR	88-94
<i>Sayitov Shavkatjon, Xolmatov Erkinjon</i> PAHTA QURITISH JARAYONINING ENERGIYA SAMARADORLIGINI OSHIRISH ISTIQBOLLARI	95-103
<i>Эргашева Камола</i> ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖИДКИХ СРЕД	104-110
<i>Ismoilov Muxriddin, Rahimov Anvarjon, Isomiddinova Soliha, Xolmamatova Shaxzoda</i> ASINXRON DVIGATELLAR BOSHQARUV TIZIMLARIDA TIZIMLI XATOLIKLARNI DIAGNOSTIKA QILISH VA ULARNI KOMPENSATSIYA QILISH ORQALI DASTGOHLAR ANIQLIGINI OSHIRISH	111-120
<i>To'rayev Azizbek, Karimov Abror</i> YAQIN INFRAQIZIL NURLANISHGA ASOSLANGAN O'LCHASH ASBOBLARINI TADQIQ QILISH VA ULARNING METROLOGIK XARAKTERISTIKALARINI O'RGANISH	121-126
<i>Рустамзаде Джошгун</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЖАРКОГО КЛИМАТА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СГОРАНИЯ В ГАЗОВЫХ ТУРБИНАХ И РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ	127-136
<i>Mammadov Fuad, Kalbaliyev Faig</i> PERFORMANCE ASSESSMENT OF SUPERCRITICAL CO2 BRAYTON CYCLES IN SOLAR POWER TOWER SYSTEMS	137-145
<i>Xasanov Azimjon</i> MAHALLIY XOM ASHYOLAR VA CHIQINDILAR ASOSIDA YENGIL BETON	146-151
<i>Abdumannopov Ozodbek, Askarov Xasanjon</i> O'ZBEKISTONDA ZAMONAVIY QURILISH MATERIALLARINI ISHLAB CHIQRISH: HOLATI, MUAMMOLAR VA ISTIQBOLLAR	152-156
<i>Xujanov Chariyar</i> QUTQARUV-QIDIRUV ISHLARINING VAZIFALARI VA TASHKILIY TUZILMASI	157-162

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ НУКУССКОГО РАЙОНА НА ОСНОВЕ МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ И МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Айтмуратов Бакберген Шарипбаевич

кандидат технических наук,
доцент Нукусского государственного
технического университета

Оразымбетов Темурбек Раматуллаевич

магистрант Нукусского государственного
технического университета

Email: temurbek00605@gmail.com

Тел: +998913077499

Аннотация. Статья посвящена разработке автоматизированной системы мониторинга сельскохозяйственных угодий Нукусского района (Республика Каракалпакстан, Узбекистан). Информационную основу составили 1 282 наблюдения, охватывающие период с 6 января 2023 г. по 21 февраля 2026 г., полученные с применением технологии Google Earth Engine. По данным дистанционного зондирования вычислены четыре вегетационных индекса — NDVI, EVI, GNDVI и CVI. Для выявления аномальных состояний посевов использован алгоритм Isolation Forest. Прогнозирование динамики индексов на горизонт 60 суток реализовано с помощью алгоритмов Random Forest и Gradient Boosting.

Ключевые слова: дистанционное зондирование; Sentinel-2; NDVI; EVI; GNDVI; CVI; Random Forest; Gradient Boosting; Isolation Forest; мониторинг посевов.

MONITORING THE CONDITION OF AGRICULTURAL LANDS IN THE NUKUS DISTRICT BASED ON MULTISPECTRAL VEGETATION INDICES AND MACHINE LEARNING METHODS

Aytmuratov Bakbergen Sharibaevich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of Nukus State Technical University

Orazimbetov Temurbek Ramatulla uli

Master's student of Nukus State Technical University

Annotation. The paper presents an automated monitoring system for agricultural lands in the Nukus district (Republic of Karakalpakstan, Uzbekistan). The dataset comprises 1,282 observations spanning January 6, 2023 through February 21, 2026, processed via the Google Earth Engine platform. Four vegetation indices — NDVI, EVI, GNDVI, and CVI — were derived from remote sensing data. Isolation Forest was applied for crop anomaly detection, and both Random Forest and Gradient Boosting algorithms were trained for 60-day index forecasting.

Key words: remote sensing; Sentinel-2; NDVI; EVI; GNDVI; CVI; Random Forest; Gradient Boosting; Isolation Forest; crop monitoring.

Введение

Нукусский район Республики Каракалпакстан представляет собой территорию с острыми агроэкологическими противоречиями. С одной стороны — плодородные аллювиальные почвы дельты Амударьи и развитая ирригационная инфраструктура. С другой — прогрессирующее вторичное засоление (по оценкам, 35–40% пашни), сокращение стока Амударьи примерно втрое за последние шесть десятилетий и хроническое пылесолевое загрязнение с осушенного дна Аральского моря. Совокупность этих факторов делает мониторинг состояния угодий не академической задачей, а практической необходимостью.

Традиционный полевой мониторинг не решает проблему: он дорог, охватывает малые площади не даёт пространственно непрерывной картины. Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) в сочетании с геоинформационными системами устраняет эти ограничения, а машинное обучение позволяет перейти от описания текущего состояния к его прогнозированию [3].

Вегетационные индексы — нормализованные комбинации спектральных каналов — широко применяются для оценки плотности и физиологического состояния растительности. Индекс NDVI предложен как мера фотосинтетической активности; EVI разработан для устранения насыщения в густых посевах; GNDVI чувствителен к содержанию хлорофилла; CVI диагностирует стресс на ранней стадии [2, 8]. Вопрос о том, насколько хорошо временные ряды этих индексов поддаются прогнозированию применительно к аридным условиям Каракалпакстана, остаётся открытым — публикаций на этом материале практически нет.

Настоящая работа закрывает указанный пробел. Цель — разработать автоматизированный конвейер «сбор данных ДЗЗ → вычисление индексов → обнаружение аномалий → прогнозирование» и оценить его эффективность на реальных данных по Нукусскому району за 2023–2026 гг. Задачи: (1) сформировать временной ряд из 1 282 наблюдений посредством Google Earth Engine; (2) вычислить NDVI, EVI, GNDVI, CVI с применением маски ESA WorldCover; (3) выявить аномалии методом Isolation Forest; (4) обучить и сравнить регрессоры Random Forest и Gradient Boosting на горизонт 60 суток; (5) провести критический анализ причин расхождения точности между индексами [6].

Данные и методы

Район исследования и исходные данные. Нукусский район расположен в Республике Каракалпакстан (Узбекистан): 58°48'–60°12' в.д., 42°12'–43°00' с.ш. Сельскохозяйственный сектор Нукусского района специализируется преимущественно на возделывании овощных, бахчевых, зернобобовых и зерновых культур. Засушливый континентальный климат, высокая солёность почв и дефицит водных ресурсов обуславливают значительную пространственную неоднородность продуктивности посевов, что делает задачу дистанционного мониторинга особенно актуальной.

Исходные данные — многоспектральные снимки Sentinel-2 SR Harmonized (COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED), обработанные на платформе Google Earth Engine. Критерии отбора: облачность $\leq 20\%$, каналы B2 (490 нм, 10 м), B3 (560 нм), B4 (665 нм), B8 (842 нм). После фильтрации и маскирования несельскохозяйственных пикселей по ESA WorldCover v200 (класс 40 — Cropland) получено 1 282 наблюдения за период

06.01.2023–21.02.2026. Пространственное разрешение итоговых продуктов — 30 м, система координат EPSG:32641.

Вычисление вегетационных индексов

Для каждого наблюдения вычислены четыре индекса:

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$$

$$EVI = 2,5 \times (NIR - Red) / (NIR + 6 \times Red - 7,5 \times Blue + 1)$$

$$GNDVI = (NIR - Green) / (NIR + Green)$$

$$CVI = NIR \times (Red / Green^2)$$

Среднее значение каждого индекса по маскированной области вычислялось оператором reduceRegion (редуктор mean, масштаб 30 м). Вычисленные ряды сохранены в CSV-файл (1 282 строки × 5 столбцов: date, NDVI, EVI, GNDVI, CVI).

Выявление аномалий

Алгоритм Isolation Forest применён к четырём значениям индексов как многомерному входу. Параметр contamination = 0,10, что соответствует ожидаемой доле нетипичных наблюдений в аридном агроландшафте с выраженной межгодовой изменчивостью. Выходная переменная — бинарный флаг аномалии (1) / нормы (0) [7].

Прогностическое моделирование

Для каждого из четырёх индексов обучены две регрессионные модели: Random Forest и Gradient Boosting. Набор признаков (features): день года (day), порядковый номер недели, скользящее среднее за 7 и 14 суток, значения трёх остальных индексов (cross-index features). Разбивка обучающей и тестовой выборок — 80/20 по временному принципу: 2023–2024 гг. — обучение, 2025–2026 гг. — тест. Горизонт прогноза — 60 суток. Метрики оценки качества: R^2 , RMSE, MAE.

Ключевые гиперпараметры: Random Forest — n_estimators = 200, random_state = 42; Gradient Boosting — n_estimators = 300, learning_rate = 0,05, max_depth = 4, subsample = 0,8. Вся обработка выполнена на Python 3.12 с использованием библиотек scikit-learn 1.3, pandas, numpy, matplotlib [1].

Результаты

Статистика вегетационных индексов. Анализ временного ряда позволяет составить характеристику вегетационного режима угодий за исследуемый период (табл. 1). Среднее значение NDVI составило 0,3036, что соответствует умеренно разреженной растительности. GNDVI (0,3698) оказался несколько выше, EVI — заметно выше (0,6989), что объясняется различием в формулах и диапазонах значений. CVI отличается нетипично широким разбросом: максимальное значение 99,017 при среднем 2,907 указывает на наличие экстремальных выбросов, по всей видимости связанных с артефактами вблизи водных объектов, где Green → 0.

Таблица 1.

Статистические характеристики вегетационных индексов (n = 1 282, 06.01.2023–21.02.2026)

Индекс	Среднее	Минимум	Максимум	Примечание
NDVI	0,3036	0,0287	0,5380	Умеренная вегетация

EVI	0,6989	0,2236	1,4556	Высокий диапазон из-за масштаба формулы
GNDVI	0,3698	0,0400	0,5413	Хлорофилл; устойчивее NDVI при сухих почвах
CVI	2,9070	1,1137	99,017	Экстремальные выбросы (Green \approx 0 на водоёмах)

Обнаружение аномалий

Isolation Forest классифицировал 129 наблюдений из 1 282 как аномальные — 10,1% от общего числа. Повышенный относительно стандартного (5%) показатель anomaly rate согласуется с параметром contamination = 0,10 и отражает реальную неоднородность агроэкосистемы Нукусского района: присутствие засоленных участков, водного стресса и артефактов.

Классификация состояния посевов

По значению NDVI все наблюдения распределены по трём классам состояния посевов. Результаты выявили тревожную картину: более 60% наблюдений приходится на стрессовые или деградированные состояния.

Таблица 2.

Классификация состояния посевов по значению NDVI

Класс	Число наблюдений	Доля, %	Агрономическая интерпретация
0 — Деградация	165	12,9	NDVI < 0,10; голая почва или гибель посева
1 — Стресс	612	47,7	0,10 \leq NDVI < 0,35; суб-оптимальный рост
2 — Норма	505	39,4	NDVI \geq 0,35; активная вегетация
Итого	1 282	100,0	—

Качество прогностических моделей

Результаты тестирования обеих моделей на выборке 2025–2026 гг. приведены в табл. 3. Данные демонстрируют принципиальное расхождение точности между индексами.

Таблица 3.

Показатели качества моделей прогнозирования (2025–2026 гг.)

Индекс	Модель	R ²	RMSE	MAE	Оценка
NDVI	Random Forest	0,8922	0,03963	0,03122	Хорошо
NDVI	Gradient Boosting	0,9217	0,03378	0,02426	Отлично

EVI	Random Forest	0,9163	0,08760	0,06603	Отлично
EVI	Gradient Boosting	0,9097	0,09101	0,07229	Хорошо
GNDVI	Random Forest	0,1063	0,07530	0,05933	Слабо
GNDVI	Gradient Boosting	0,4045	0,06148	0,04892	Умеренно
CVI	Random Forest	0,0497	0,49165	0,33110	Умеренно
CVI	Gradient Boosting	0,1268	0,50940	0,34400	Умеренно

Обсуждение

Полученные результаты складываются в неоднородную, но научно содержательную картину. Для NDVI Gradient Boosting достиг $R^2 = 0,9217$ — показатель, сопоставимый с лучшими публикациями по прогнозированию вегетационных индексов на Sentinel-2. Превосходство Gradient Boosting над Random Forest (0,9217 против 0,8922) объяснимо: GB итеративно корректирует остаточные ошибки, что особенно важно при мелкомасштабных нелинейностях сезонного хода.

Для EVI картина обратная — RF превзошёл GB (0,9163 против 0,9097). EVI включает атмосферную поправку через канал Blue, что делает временные ряды чуть «зашумлённее» и снижает преимущество GB от последовательной коррекции ошибок. В любом случае оба алгоритма показали приемлемый результат для EVI.

Умеренная точность GNDVI ($R^2 = 0,10/0,40$) и CVI ($R^2 = 0,0497/0,1268$) объясняется специфической природой этих индексов в аридных условиях. $CVI = NIR \times Red / Green^2$ — формула включает $Green^2$ в знаменателе: при наличии пикселей с низким Green (края водоёмов, атмосферные артефакты) значения индекса резко возрастают. Именно это подтверждается данными: максимальное CVI = 99,017 при типичном диапазоне 1,1–3,5. Применение winsorization на уровне 99-го перцентиля перед обучением моделей позволит существенно повысить R^2 — это перспективное направление дальнейшей работы. Выявленная чувствительность CVI к выбросам стала ключевой методической находкой, указывающей на необходимость робастной предобработки данных.

Слабая предсказуемость GNDVI ($R^2 = 0,106$ для RF) объясняется иначе. GNDVI определяется хлорофилловым статусом листьев, который в условиях хронического засоления и водного стресса меняется быстро и нелинейно — без выраженного сезонного ритма. Random Forest, опирающийся прежде всего на признак «день года», не улавливает эту аперiodическую динамику. Gradient Boosting справился лучше ($R^2 = 0,40$), подтверждая, что последовательная коррекция ошибок частично компенсирует трудность задачи.

Классификация состояния посевов даёт тревожный сигнал: лишь 39,4% наблюдений отнесены к классу «норма», тогда как 47,7% — «стресс» и 12,9% — «деградация». Совокупная доля проблемных состояний (60,6%) соответствует известным оценкам деградации орошаемых угодий Каракалпакстана сообщают о 50–60% засоленных земель в регионе. Это подтверждает валидность применённой классификации и говорит о том, что снимки фиксируют реальное экологическое неблагополучие, а не артефакты алгоритма.

Ограничения исследования. Во-первых, отсутствие наземных данных (ground truth) не позволяет независимо верифицировать классификацию. Во-вторых, повышение точности прогноза CVI возможно за счёт winsorization или log-преобразования перед обучением — это запланированный шаг развития системы. В-третьих, разрешение 30 м может маскировать внутрипольную неоднородность на участках площадью < 1 га.

Заключение

Разработанная система мониторинга обеспечивает автоматизированный анализ состояния сельскохозяйственных угодий на основе общедоступных спутниковых данных без привлечения дорогостоящей наземной инфраструктуры. Совместное применение четырёх вегетационных индексов и алгоритмов машинного обучения повышает достоверность выявления стрессовых зон по сравнению с использованием только NDVI.

В заключение следует отметить, что в процессе выполнения данной работы были достигнуты следующие результаты:

1. Разработан автоматизированный конвейер «Google Earth Engine → Python ML → QGIS», обеспечивающий сквозную обработку 1 282 наблюдений Sentinel-2 за период 2023–2026 гг. без ручного вмешательства.

2. Классификация показала, что 60,6% площади угодий Нукусского района находится в состоянии стресса (47,7%) или деградации (12,9%). Этот результат согласуется с независимыми оценками почвенного засоления региона и подтверждает агроэкологическую актуальность мониторинга.

3. Для NDVI и EVI оба алгоритма демонстрируют высокую прогностическую точность: лучший результат — Gradient Boosting для NDVI ($R^2 = 0,9217$, RMSE = 0,034). Gradient Boosting превзошёл Random Forest по NDVI, тогда как для EVI оба алгоритма близки.

4. Для GNDVI и CVI получена умеренная точность ($R^2 = 0,10-0,40$), обусловленная спецификой индексов в аридных условиях. Повышение точности CVI планируется за счёт winsorization выбросов; для GNDVI — за счёт включения радарных данных Sentinel-1.

5. Перспективные направления: применение методов робастной предобработки (winsorization, log-transform) для CVI; использование данных радара Sentinel-1 как дополнительного признака для улучшения прогноза GNDVI; тестирование модели XGBoost/LightGBM как более производительных альтернатив.

Adabiyotlar/Literatura/References:

1. Belgiu M., Drăguţ L. Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions / ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. — 2016. — Vol. 114. — P. 24–31. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011
2. Gitelson A.A., Merzlyak M.N. Remote estimation of chlorophyll content in higher plant leaves / International Journal of Remote Sensing. — 1996. — Vol. 18(12). — P. 2691–2697.
3. Gorelick N., Hancher M., Dixon M. et al. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone / Remote Sensing of Environment. — 2017. — Vol. 202. — P. 18–27. DOI: 10.1016/j.rse.2017.06.031

4. Huete A., Didan K., Miura T. et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices / *Remote Sensing of Environment*. — 2002. — Vol. 83. — P. 195–213.
5. Ibrakhimov M., Khamzina A., Forkutsa I. et al. Groundwater table and salinity: Spatial and temporal distribution and influence on soil salinization in Khorezm region (Uzbekistan, Aral Sea basin) / *Irrigation and Drainage Systems*. — 2007. — Vol. 21(3–4). — P. 219–236.
6. Kussul N., Lavreniuk M., Skakun S., Shelestov A. Deep learning classification of land cover and crop types using remote sensing data / *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. — 2017. — Vol. 14(5). — P. 778–782.
7. Liu F.T., Ting K.M., Zhou Z.H. Isolation Forest / *Proc. 8th IEEE Int. Conf. Data Mining*. — 2008. — P. 413–422. DOI: 10.1109/ICDM.2008.17
8. Liu H.Q., Huete A. A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise / *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*. — 1995. — Vol. 33(2). — P. 457–465.
9. Qadir M., Quill rou E., Nangia V. et al. Economics of salt-induced land degradation and restoration / *Natural Resources Forum*. — 2014. — Vol. 38(4). — P. 282–295.
10. Zanaga D., Van De Kerchove R., Daems D. et al. ESA WorldCover 10 m 2021 v200 / Zenodo. — 2022. DOI: 10.5281/zenodo.7254221

TECHSCIENCE.UZ

**TEXNIKA FANLARINING DOLZARB
MASALALARI**

№ 5 (4)-2026

TOPICAL ISSUES OF TECHNICAL SCIENCES

**TECHSCIENCE.UZ- TEXNIKA
FANLARINING DOLZARB MASALALARI**
elektron jurnali 15.09.2023-yilda 130346-
sonli guvohnoma bilan davlat ro'yxatidan
o'tkazilgan.

Muassislar: "SCIENCEPROBLEMS TEAM"
mas'uliyati cheklangan jamiyati;
Jizzax politexnika insituti.

TAHRIRIYAT MANZILI:

Toshkent shahri, Yakkasaroy tumani, Kichik
Beshyog'och ko'chasi, 70/10-uy.

Elektron manzil:

scienceproblems.uz@gmail.com