

## ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

С.Б. Мирзозода

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В статье рассматривается подход к цифровому мониторингу состояния автомобильных дорог и транспортной доступности в горных регионах Таджикистана на основе современных геоинформационных технологий. В первой части обосновывается актуальность перехода от эпизодических полевых обследований к систематическому мониторингу с использованием спутниковых снимков, данных беспилотных летательных аппаратов и единого ГИС-портала дорожной сети. Описываются методика интеграции разнородных данных дистанционного зондирования и наземных измерений, а также процедуры их предварительной обработки, геопривязки и валидации. Особое внимание уделено разработке структуры единого ГИС-портала, обеспечивающего хранение, обновление и визуализацию информации о состоянии дорожного полотна и элементах дорожной инфраструктуры в горных условиях. Показаны возможности геоинформационного анализа для выявления зон ускоренной деградации покрытия, оценки влияния рельефа и климатических факторов, а также для расчёта показателей транспортной доступности населённых пунктов и социально значимых объектов. Предлагаемый подход позволяет поддерживать принятие решений по ремонту и содержанию дорог, повышать эффективность использования ограниченных финансовых ресурсов и формировать основу для внедрения системы управления дорожными активами в Республике Таджикистан.

**Ключевые слова:** геоинформационный мониторинг, спутниковые данные, ГИС-портал, деградация дорожного полотна, горные дороги, транспортная доступность, СУДА.

### МОНИТОРИНГИ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ ХОЛАТИ РОҲҶОИ АВТОМОБИЛГАРД

С.Б. Мирзозода

Дар ин мақола равиши мониторинги рақамии ҳолати роҳҳои автомобилгард ва дастрасии нақлиёт дар минтақаҳои кӯхистони Тоҷикистон дар асоси технологияҳои муосири геоинформатсионӣ баррасӣ мешавад. Дар баҳши аввал зарурати гузариш аз тадқиқоти саҳроии гоҳ-гоҳ ба мониторинги системавӣ бо истифода аз аксҳои моҳвораӣ, маълумоти дастгоҳҳои ҳавопаймоии бесарнишин ва портали ягонаи ГИС барои шабакаи роҳҳо асоснок карда мешавад. Дар он методологияи муттаҳид кардани маълумоти гуногуни зондунии дурдаст ва заминӣ, инчунин тартиби коркарди пешакӣ, геореференс ва тасдиқи онҳо тавсиф шудааст. Таваҷҷӯҳи махсус ба таҳияи сохтори ягонаи портали ГИС, ки имкон медиҳад маълумот дар бораи шароити сатҳи роҳ ва унсурҳои инфрасохтори роҳ дар минтақаҳои кӯхистон нигоҳдорӣ, навсозӣ ва визуализатсия карда шавад, равона карда шудааст. Имконияти таҳлили геоинформатсионӣ барои муайян кардани қитъаҳои харобшавии босуръати роҳ, арзёбии таъсири омилҳои релеф ва иқлимӣ ва ҳисоб кардани нишондиҳандаҳои дастрасии нақлиёт барои минтақаҳои аҳолинишин ва иншооти аҳамияти иҷтимоӣ нишон дода шудааст. Равиши пешниҳодшуда имкон медиҳад, ки қабули қарорҳо дар бораи таъмир ва нигоҳдории роҳҳо дастгирӣ карда шавад, самаранокии захираҳои маҳдуди молиявӣ афзоиш ёбад ва замина барои татбиқи системаи идоракунии дороиҳои роҳ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон фароҳам оварда шавад.

**Калидвожаҳо:** мониторинги геоинформатсионӣ, маълумоти моҳвораӣ, портали GIS, вайроншавии сатҳи роҳ, роҳҳои кӯҳӣ, дастрасии нақлиёт, СИДР.

### GEOS INFORMATION MONITORING OF ROAD CONDITIONS

S.B. Mirzozoda

This article examines an approach to digital monitoring of road conditions and transport accessibility in the mountainous regions of Tajikistan based on modern geoinformation technologies. The first section substantiates the need to transition from occasional field surveys to systematic monitoring using satellite imagery, unmanned aerial vehicle data, and a unified GIS portal for the road network. It describes a methodology for integrating disparate remote sensing and ground-based data, as well as procedures for their preprocessing, georeferencing, and validation. Particular attention is paid to the development of a unified GIS portal structure that enables the storage, updating, and visualization of information on road surface conditions and road infrastructure elements in mountainous areas. The potential of geoinformation analysis for identifying areas of accelerated road degradation, assessing the impact of terrain and climatic factors, and calculating transport accessibility indicators for populated areas and socially significant facilities is demonstrated. The proposed approach allows supporting decision-making on road repair and maintenance, increasing the efficiency of limited financial resources, and forming the basis for the implementation of a road asset management system in the Republic of Tajikistan.

**Keywords:** geoinformation monitoring, satellite data, GIS portal, roadway degradation, mountain roads, transport accessibility, RAMS.

### Введение

В горных и предгорных районах Республики Таджикистан дорожные покрытия деградируют быстрее из-за климатических и геологических факторов, сезонных воздействий и повышенной

нагрузки на отдельные участки сети. При этом классические обследования требуют значительных ресурсов и не всегда обеспечивают нужную частоту наблюдений. Геоинформационный мониторинг анализируется как практическая альтернатива и дополнение к полевым обследованиям: он объединяет дистанционные данные, наземные источники и аналитические процедуры в едином цифровом контуре управления [8, 10, 11, 16].

Цель работы - обосновать компактный технологический контур геоинформационного мониторинга состояния дорог, включающий сбор данных (спутник, БПЛА), предобработку, распознавание дефектов, прогноз и представление результатов в виде картографических слоёв и показателей для принятия решений [8, 10, 11, 16].

### Данные дистанционного зондирования: спутники и БПЛА

Спутниковые изображения обеспечивают регулярность и широкий охват. Современные системы позволяют получать снимки с разрешением от десятков метров до субметрового уровня (в зависимости от платформы). Типовые задачи включают обнаружение протяжённых дефектов, оценку изменений во времени, а также формирование индикаторов состояния для участков сети [2, 3].

БПЛА дополняют спутниковые данные детальностью и гибкостью: съёмка выполняется по требованию, в том числе на труднодоступных участках, с получением фотоматериалов высокой чёткости, видео и (при наличии) LiDAR-данных. В практических сценариях БПЛА применимы для подтверждения дефектов, контроля качества работ и уточнения геометрии повреждений [3, 4].

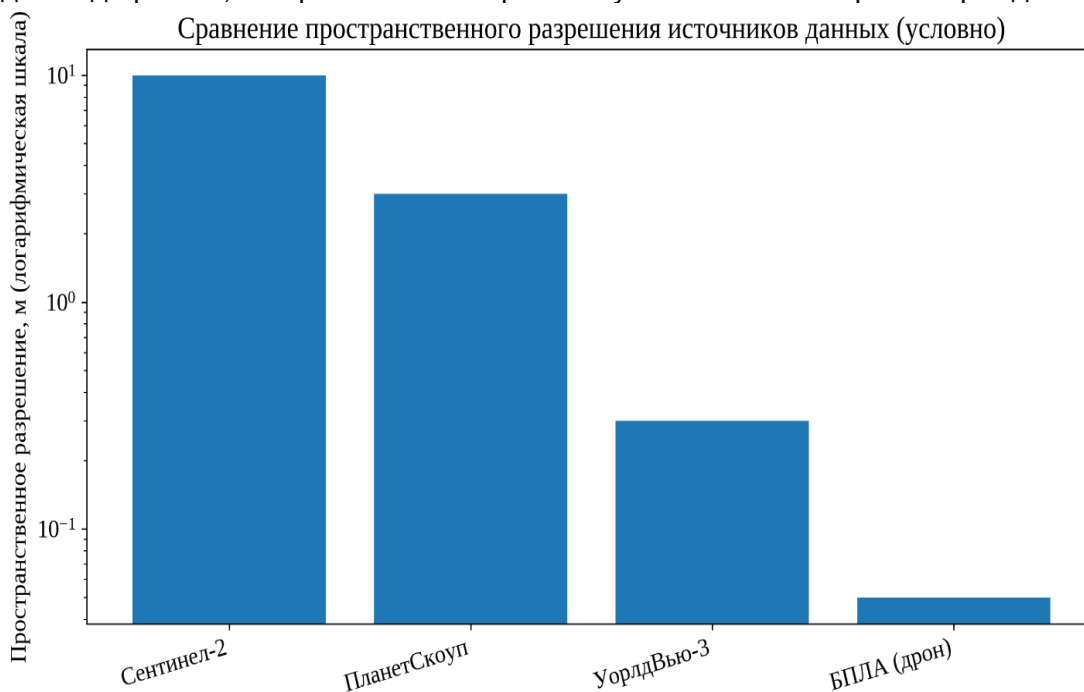


Рисунок 1 - Сравнение разрешения источников данных (условные ориентиры)

На Рис. 1 по оси X - это источники данных, по которым сравнивается пространственное разрешение (детальность снимка):

- Сентинел-2 - спутниковые снимки среднего разрешения (обычно порядка 10 м для видимых каналов). Подходит для мониторинга сети в целом и крупных изменений.
- ПланетСкоуп - коммерческие спутники более высокого разрешения (порядка 3 м). Удобно для более детального контроля участков и частых наблюдений.
- УорлдВью-3 - спутник сверхвысокого разрешения (субметровый уровень, условно около 0,3 м). Применим для детального анализа объектов и локальных дефектов.

- БПЛА (дрон) - аэросъёмка с очень высоким разрешением (сантиметровый уровень, условно 0,05 м). Лучший вариант для обследования конкретных проблемных зон и фиксации дефектов.

Рисунок показывает, что чем меньше значение «м» (метров на пиксель), тем выше детализация. На логарифмической шкале видно резкое улучшение детальности от спутников среднего разрешения (Сентинел-2) к коммерческим спутникам (ПланетСкоуп, УорлдВью-3) и далее к БПЛА. Практически это означает: спутники удобны для регулярного сетевого мониторинга, а БПЛА - для точного обследования и подтверждения дефектов на приоритетных участках.

#### **Рекомендации по внедрению системы в Таджикистане:**

1. Организовать национальную систему дистанционного мониторинга дорог, совмещающую спутниковые и дронные наблюдения.
2. Выбрать пилотные участки дорог (например, Душанбе-Худжанд и Душанбе-Хорог) и провести синхронную съёмку.
3. Обеспечить геопривязку к существующим данным IRI и PCI, накопленным в Согдийской области.
4. Внедрить нейросетевые алгоритмы анализа изображений (CNN, Mask RCNN) для автоматического распознавания дефектов.
5. Интегрировать результаты в цифровую платформу ДПУС-РТ, создавая национальную «карту состояния дорожных покрытий».

Использование спутниковых и дронных данных в дорожной отрасли открывает новые возможности для эффективного и регулярного мониторинга состояния дорог.

Спутники обеспечивают широкое покрытие и историческую ретроспективу, а дроны - высокую детализацию и точность. Совместное применение этих технологий в сочетании с алгоритмами искусственного интеллекта формирует основу интеллектуальной системы диагностики и управления состоянием дорожной сети [1, 2, 4].

#### **Создание единого ГИС-портала дорожной сети Таджикистана**

Современное управление автомобильными дорогами требует интеграции геопространственных данных, аналитики и цифрового мониторинга. В условиях Республики Таджикистан, где дорожная сеть протяжённостью более 26 000 км распределена по сложным горным рельефам, традиционные формы учёта и контроля не обеспечивают необходимой оперативности и точности [8].

Мировой опыт показывает, что внедрение национальных геоинформационных систем (ГИС) значительно повышает эффективность управления дорожными активами. Так, в ЕС и США уже действуют открытые веб-порталы с дорожными данными - FHWA GIS Portal (США) и INSPIRE Transport Data Infrastructure (ЕС) [5, 6].

Создание Единого ГИС-портала дорожной сети Республики Таджикистан (ГИС-ДРТ) должно стать ключевым элементом национальной цифровой стратегии транспорта [9]. Этот портал объединит данные о дорогах, мостах, тоннелях, покрытиях, дефектах и ремонтах, обеспечивая их доступность, обновляемость и совместимость.

Главная цель создания портала - обеспечить единую цифровую платформу для хранения, анализа и визуализации данных о дорожной сети страны.

Основные задачи создания единого портала:

1. *Интеграция данных* различных ведомств (Министерство транспорта, Региональные управления, Проектный институт и др.) в единую базу [9].
2. *Создание национальной топологической модели дорог*, связанной с кадастровыми, климатическими и транспортными слоями.
3. *Разработка интерактивных инструментов анализа*, включая поиск по атрибутам, построение отчётов, фильтрацию по регионам.
4. *Обеспечение открытого доступа к данным* (Политика открытых данных World Bank Open Data Initiative - Инициатива Всемирного банка по открытым данным).
5. *Внедрение механизмов автоматического обновления* из мобильных и диагностических систем (RTRRMS, FWD, LIDAR).

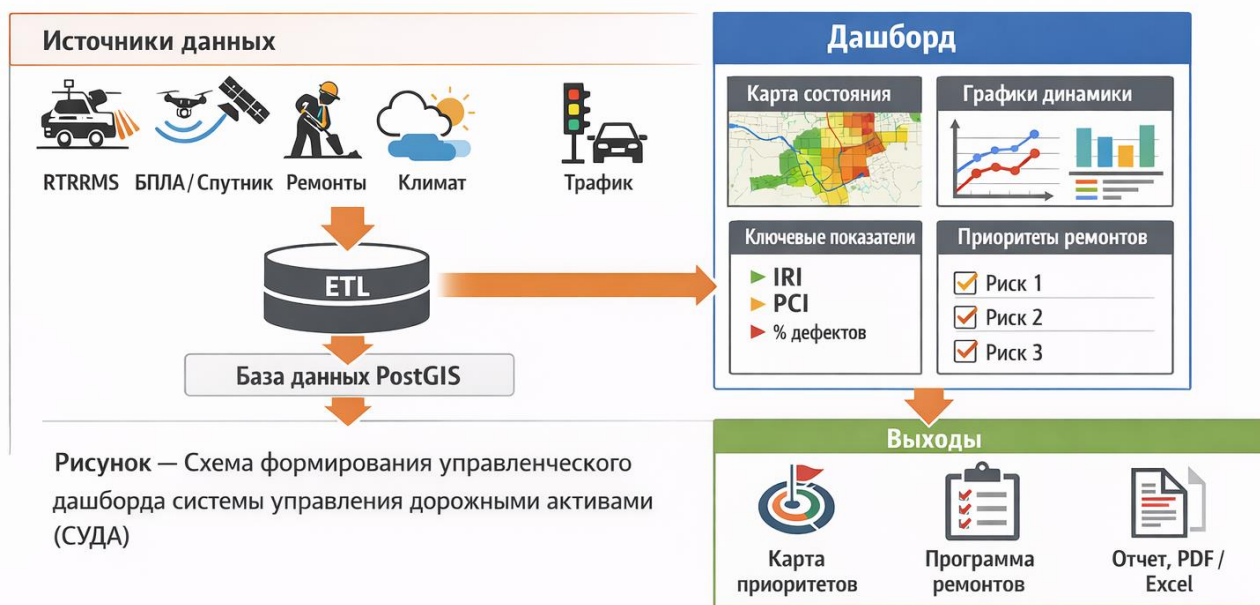
Далее в таблице 1 представлена типовая структура национального ГИС-портала, который включает пять уровней [5, 7].

Таблица 1 - Типовая структура национального единого ГИС-портала

Уровень	Основное назначение	Примеры технологий
1. Хранение данных	Централизованная база пространственных данных (дороги, покрытия, мосты, ремонты)	PostgreSQL + PostGIS
2. ETL-интеграция	Загрузка, очистка и конвертация из различных форматов	FME Server, GDAL
3. Аналитика и расчёты	Прогнозирование состояния, индексы IRI, PCI, ROI (Э)	Python, R, HDM-IV
4. Сервисный уровень (API)	Web Services (WMS, WFS, REST) для внешних систем	GeoServer, ArcGIS Server
5. Визуализация	Веб-интерфейс, дашборды, тематические карты	Leaflet, OpenLayers, Mapbox

Для поддержки управленческих решений в СУДА целесообразно применять дашборды (управленческие панели) как единый слой визуальной аналитики, который преобразует первичные данные диагностики и ремонтов в показатели, карты приоритетов и отчёты по сети. Дашборды должны работать поверх единой базы (PostGIS/геобазы) и обеспечивать согласованность данных между уровнями управления: Министерство транспорта — региональные управления — дорожные службы — проектные организации. В технических требованиях к системе управления дорожными активами (СУДА/RAMS) отдельно подчеркивается необходимость персонализированных дашбордов в режиме реального времени, возможности экспорта отчётов, графиков, карт в распространённые форматы, а также разграничения доступа и ведения журналов аудита [10].

На Рис. 2 представлена схема формирования управленческого дашборда СУДА.



Функциональное назначение дашбордов в контуре СУДА:

- оперативная оценка состояния сети по ключевым индикаторам (IRI, PCI, дефектность, доля участков в «красной зоне»);
- контроль динамики состояния во времени (по месяцам, кварталам, сезонам) и выявление ухудшений;
- формирование карты приоритетов обследований и ремонтов на основе порогов, рисков и ограничений бюджета;

- мониторинг выполнения дорожных работ: план/факт, участки «до/после», качество и сроки;  
 - подготовка стандартизированных отчётов для руководства и внешних партнёров (экспорт в PDF, Excel, GeoPackage).

Минимальные требования к дашбордам СУДА:

1. Привязка показателей к линейной системе координат (км+м) и к сегментации сети;
2. Фильтрация по региону, категории, типу покрытия, подрядчику, периоду;
3. Прозрачные правила расчёта эффективности - KPI (описание формул и источников данных);
4. Разграничение доступа по ролям и записывание действий в журнал (аудит);
5. Возможность выгрузки картографических слоёв и отчётов в распространённых форматах.

Такой подход снижает нагрузку на специалистов, уменьшает риск несогласованности данных и обеспечивает переход от разрозненных таблиц и отчётов к управлению дорожными активами на основе единого цифрового контура [5].

В таблице 2 в качестве примера представлена структура данных единого ГИС-портала для Республики Таджикистан.

Таблица 2 - Пример структуры данных для единого ГИС-ДРТ

Раздел	Тип данных	Источник
Дорожная сеть	Геометрия, категория, протяжённость	Минтранс РТ, OSM
Покрытие	Материал, толщина, дата ремонта	УХАД Согда, LAB TTU
Диагностика	IRI, PCI, дефекты, колеиность	RTRRMS, LIDAR
Сооружения	Мосты, трубы, тоннели, ограждения	Инвентарные данные
Климат	Средняя t°, осадки, морозостойкость	Агентство гидрометеорологии РТ
Интенсивность движения	ESAL, AADT, категории ТС	Минтранс РТ
Экономические показатели	Стоимость, NPV, PI	Проектные институты

#### Международный опыт применения единого ГИС-портала:

- В США портал Highway Performance Monitoring System (HPMS) обеспечивает централизованный сбор и отображение данных по всем штатам: обновление - 1 раз в год [5].
- В ЕС внедрена платформа INSPIRE Transport, объединяющая дорожные и железнодорожные слои и использующая OGC-стандарты обмена данными [6].
- В Казахстане реализован проект СУДА-KZ, в котором дорожные данные, диагностика IRI и PCI, а также прогнозы интегрированы в ГИС-портал Минтранса [11].
- В Таджикистане начальные наработки представлены на национальном Geoportal-TJ, однако этот портал не содержит данных о ремонтах и эксплуатации [8].

**Преимущества** внедрения единого портала:

- Повышение точности решений - все данные доступны в единой среде [6].
- Снижение дублирования - отказ от разрозненных Excel-баз [11].
- Оперативный контроль состояния - доступ к данным IRI и ремонтам в реальном времени [10].
- Прозрачность и общественный контроль - открытые карты и отчёты.
- Поддержка стратегического планирования - сценарные анализы и прогнозы (модули HDM-IV) [7].

#### Недостатки и ограничения:

- Неоднородность форматов исходных данных (Shape, CSV, KML).
- Отсутствие регулярных обследований и периодичности обновлений [10].
- Недостаточная квалификация персонала в работе с ГИС и базами PostGIS [9].
- Ограниченные финансовые ресурсы и инфраструктура серверов [11].

В таблице 3 представлены этапы реализации проекта по внедрению единого ГИС-портала с учетом ожидаемого результата.

Таблица 3 - Этапы внедрения единого ГИС-портала

Этап	Содержание	Ожидаемый результат
1. Подготовка	Анализ существующих данных (Geoportal-TJ, OSM)	Отчёт об актуальности слоёв
2. Разработка	Проектирование структуры БД, метаданных, API	Прототип портала
3. Интеграция	Импорт данных RTRRMS, IRI, FWD	Единая база состояния дорог
4. Тестирование	Проверка по регионам (Согдийская и/или Хатлонская области)	Исправленные атрибуты и геометрия
5. Обучение	Повышение квалификации специалистов	Методические материалы
6. Эксплуатация	Запуск и поддержка на сервере Минтранса	Полнофункциональный портал

Ожидаемый эффект от внедрения единого ГИС-портала:

- Экономия бюджетных средств на обследования - до 25 % [11].
- Повышение скорости принятия решений в 3-4 раза [5].
- ROI (окупаемость инвестиций)  $\approx$  160 % за 2 года эксплуатации [11].
- Повышение прозрачности и доверия международных партнёров (ADB, EBRD, World Bank).

Создание единого ГИС-портала дорожной сети Республики Таджикистан - необходимый шаг для перехода от разрозненных данных к интегрированной системе управления дорожными активами.

ГИС-портал станет центральным элементом цифровой платформы ДПУС-РТ, обеспечивающим актуальные данные, прогнозы и аналитику для всех уровней управления дорогами [9, 11, 16].

### Геоинформационный анализ деградации дорожного полотна в горных условиях

Дорожные покрытия, расположенные в горных районах, подвержены ускоренной деградации под воздействием геоморфологических и климатических факторов - крутых уклонов, повышенной влажности, водной эрозии, оползней и колебаний температур [12]. В таких условиях стандартные методы обследования (визуальные и мобильные) не обеспечивают полной картины, особенно в труднодоступных районах. Решением становится использование геоинформационных систем (ГИС), которые позволяют комплексно анализировать пространственные факторы, определяющие скорость разрушения дорожных конструкций [10].

### Геоинформационный подход к анализу деградации.

Влияние природных и антропогенных факторов на состояние покрытия в горных условиях можно выразить через пространственные слои (пространственные факторы деградации):

- уклон и экспозиция склона, определяющие интенсивность стока;
- тип грунта и геологическая структура, влияющие на несущую способность;
- количество осадков и водоотвод, определяющие уровень водонасыщения;
- температурные колебания и циклы замораживания-оттаивания;
- растительный покров и эрозионная устойчивость склонов.

GIS-анализ этих факторов помогает выявить закономерности между характеристиками рельефа и степенью разрушения дорожного полотна.

Для горных регионов Таджикистана (Заравшан, Рашт, Памир) возможна интеграция следующих данных и источников:

- цифровых моделей высот (SRTM, ALOS) для расчёта уклонов;
- климатических слоёв (WorldClim, NASA POWER);
- геологических и грунтовых карт;
- диагностических данных (IRI, PCI, колейность) из обследований RTRRMS и LIDAR;
- спутниковых изображений для оценки поверхностных деформаций [2].

### Методы и инструменты геоинформационного анализа.

Методы пространственной корреляции (Moran's I, Getis-Ord  $G_i^*$ ) позволяют выявлять зоны повышенной деградации, связанные с уклонами, типом грунта и водоотводом.

Так, в исследовании Pantha B. R. (2010) установлено, что на дорогах с уклоном более 7° скорость образования колеи увеличивается в среднем на 30 % [12].

В работе Mehdi M. A. et al. (2021) предложен метод визуализации процессов разрушения асфальтобетона на основе объединения данных GPS, DEM и наблюдений PCI.

Модели машинного обучения (Random Forest, XGBoost), применяемые в GIS-средах, показывают точность прогноза IRI в диапазоне 85-92 %.

Для горных условий применяются и гибридные модели, учитывающие геоморфологические параметры:

- Landslide susceptibility + Pavement distress mapping (He Q. et al., 2025) [13];
- GIS-based trail degradation prediction (Jo H. et al., 2025).

### **Многокритериальная оценка (MCE/MCDA)**

Модели Multi-Criteria Evaluation объединяют несколько пространственных факторов (уклон, осадки, тип грунта, водоотвод, материал покрытия) с весовыми коэффициентами.

Например, в исследовании Long C. et al. (2023) применена методика GIS-MCE для оценки устойчивости лесных (технических) дорог.

Карта риска деградации была построена по формуле 1:

$$R = \sum(W_i \times F_i), \quad (1)$$

где  $W_i$  - вес фактора,  $F_i$  - нормализованное значение слоя.

Для горных автомобильных дорог этот подход можно адаптировать с учётом показателей IRI и данных RTRRMS, что позволяет определять участки с высоким риском разрушения [10, 13].

Для практической реализации метода геоинформационного анализа деградации дорожного полотна в горных условиях Таджикистана рекомендуется следующая структура анализа:

1. Сбор данных DEM (SRTM/ALOS), геологии и осадков (GPM IMERG) для регионов Памира и Согда.

2. Интеграция данных RTRRMS и PCI, собранных на маршрутах Душанбе-Хорог и Душанбе-Истаравшан.

3. Пространственное наложение (Overlay Analysis) и создание карты уязвимости.

4. Построение регрессионной модели деградации ( $IRI=f(\text{уклон, осадки, грунт})$ ).

5. Проверка модели по данным за 2023-2025 гг.

6. Визуализация и интеграция в GIS-портал ДПУС-РТ.

**Преимущества** геоинформационного анализа:

- Пространственная привязка дефектов и факторов;
- Возможность прогнозирования деградации с учётом климатических изменений;
- Визуализация зон риска и планирование превентивных ремонтов;
- Интеграция с GIS-порталом дорожной сети.

**Недостатки и ограничения:**

- Ограниченность детализированных DEM и климатических данных;
- Высокая вычислительная нагрузка при моделировании больших территорий;
- Необходимость регулярного обновления обследований [10].

Геоинформационный анализ позволяет перейти от локальных наблюдений к пространственно интегрированному пониманию процессов деградации дорожных покрытий в горных условиях.

Внедрение GIS-моделей в дорожную отрасль Таджикистана обеспечит раннее выявление уязвимых участков, рациональное планирование ремонтов и повышение устойчивости дорожной сети [12, 13].

### **Интеграция в GIS-портал и поддержка решений**

Для устойчивой эксплуатации результатов мониторинга требуется интеграция в GIS-портал (или корпоративную GIS): единые справочники и классификаторы, хранение версий данных,

привязка к линейной системе координат, веб-сервисы публикации (WMS/WFS/REST), а также типовые дашборды для руководителей и инженерного персонала. Ключевым преимуществом является возможность формировать карты приоритетов ремонтов и отчёты по сети в одном контуре [9, 10, 14].

На **Рис. 3** представлена инженерная схема алгоритма формирования управленческих решений в СУДА.

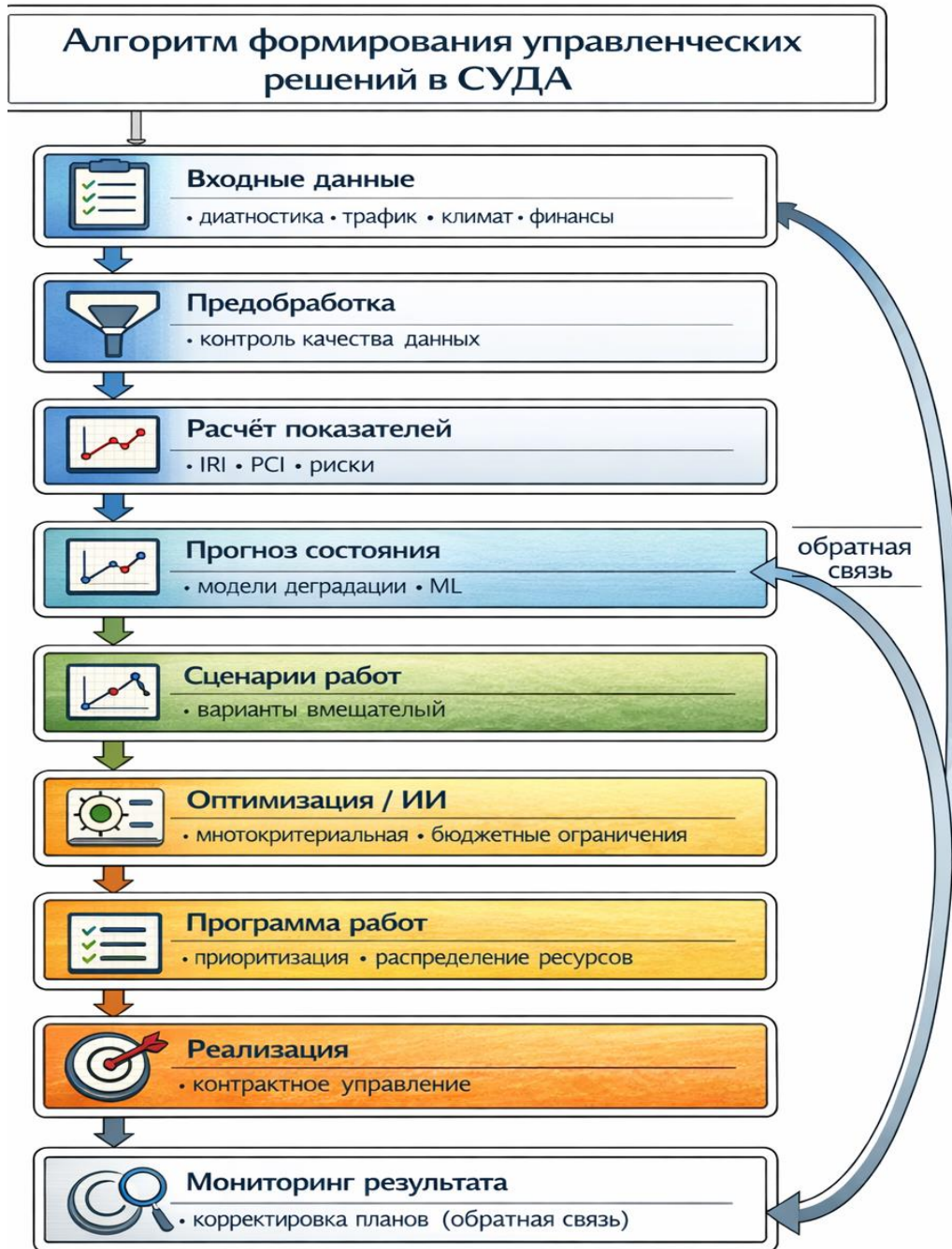


Рисунок 3 - Инженерная схема алгоритма формирования управленческих решений в СУДА

### Применение цифровых ГИС-моделей

В работах Truden P. et al. (2023) и Soldatke N. et al. (2024) продемонстрированы методы оценки доступности городских территорий на основе данных GPS и маршрутов общественного

транспорта. Эти исследования показали, что основное неравенство доступа формируется не из-за расстояния, а из-за времени ожидания и плотности маршрутов.

Для горных стран (включая Таджикистан) актуальны исследования, подобные Haamer M. et al. (2025), где динамическая модель доступности строится с учётом сезонных и погодных ограничений движения по горным перевалам.

### Пример применения в Таджикистане

Создание модели транспортной доступности для регионов Согда и ГБАО может базироваться на следующих этапах [10, 15]:

1. Сбор пространственных данных о дорогах (Geoportals-TJ, OSM).
2. Присвоение весов участкам дорог в зависимости от категории, уклона и покрытия.
3. Расчёт времени движения методом Cost Distance Analysis (Анализ стоимости и расстояния).
4. Построение изохрон (5, 15, 30, 60 минут) для ключевых объектов.
5. Визуализация результатов на ГИС-карте для оценки доступности населённых пунктов.

Такие модели позволяют определить, какие районы требуют улучшения дорожного сообщения, например, строительство обходов, мостов, подъездных дорог [15].

Преимущества:

- Позволяет интегрировать дорожную сеть, топографию и социальные данные;
- Поддерживает многосценарный анализ (сезонность, новые дороги, ремонт);
- Обеспечивает визуальное представление неравномерности доступности;
- Облегчает обоснование инвестиций и стратегическое планирование [10, 14].

Недостатки и ограничения:

- Требуется высокая точность данных по скорости и состоянию дорог;
- Сложность учёта временных факторов (трафик, погода, ремонты);
- Необходимость квалифицированных специалистов для работы с сетевыми ГИС-моделями.

Применение цифровых ГИС-моделей для оценки транспортной доступности обеспечивает научно обоснованный подход к планированию дорожной сети.

Для Республики Таджикистан, где транспортная инфраструктура ограничена горным рельефом и низкой плотностью дорог, такие модели позволяют выявлять зоны транспортной изоляции и определять приоритетные участки для развития. Цифровая доступность становится не просто показателем, а инструментом пространственного анализа и социально-экономического прогнозирования [7, 15, 17].

### Заключение

Геоинформационный мониторинг, основанный на сочетании спутниковых и дроновых данных, обеспечивает принципиально новый уровень наблюдения за состоянием дорожных покрытий, позволяя совмещать широкий пространственный охват со высокой детализацией и регулярностью обновления информации.

Интеграция результатов дистанционного зондирования с нейросетевыми методами анализа изображений даёт возможность автоматизировать распознавание дефектов, оценивать показатели IRI и PCI и формировать цифровую «карту состояния» сети, включая труднодоступные горные участки.

Создание единого ГИС-портала дорожной сети Таджикистана является ключевым элементом цифровой платформы управления дорожными активами: он обеспечивает централизованное хранение, обработку и визуализацию данных о дорогах, покрытиях, сооружениях, ремонтах и диагностике, снижая дублирование и повышая прозрачность решений.

Геоинформационный анализ деградации дорожного полотна в горных условиях, основанный на учёте рельефа, климата, грунтов и эксплуатационных нагрузок, позволяет выделять зоны повышенного риска, прогнозировать развитие повреждений и обосновывать приоритеты превентивных ремонтов.

Цифровые ГИС-модели транспортной доступности дают инструмент количественной оценки пространственного неравенства доступа к ключевым объектам и помогают обосновывать

инвестиции в развитие дорожной сети, особенно в регионах с низкой плотностью дорог и сложным рельефом.

Внедрение предложенного комплекса решений (спутниковый и дронный мониторинг, единый ГИС-портал, ГИС-анализ деградации и доступности) в дорожной отрасли Таджикистана создаёт основу для перехода от разрозненных обследований к интегрированной системе геоинформационного мониторинга, повышающей устойчивость, эффективность и обоснованность управления дорожной сетью.

*Рецензент: Умаров С.С. - к.т.н., и.о. доцента кафедры "Строительство дорог, сооружений и транспортных коммуникаций" ПТТУ им. акад. М.С. Осими.*

### Литература

1. Muhebwa A., Miller R. и др. Evaluating Road Quality over Time Using Satellite Imagery. World Bank, 2024.
2. Chen L. A., Han B. и др. Enhancing Road Damage Identification in Satellite Images. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2025.
3. Liu C., Zhang Y. и др. Road Condition Detection and Emergency Rescue Using UAV Video and Multispectral Imagery. Remote Sensing, 2022. DOI: 10.3390/rs14174355.
4. Outay F., Mengash H., Kamil M. Applications of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) in Road Condition Assessment. Procedia Computer Science, 2020.
5. FHWA (U.S.). GIS for Internet Portals. Federal Highway Administration, 2023.
6. European Commission. INSPIRE Directive: Transport Data Infrastructure. 2024.
7. Esri Inc. ArcGIS Enterprise System Design for Transportation. 2022.
8. Геортал Таджикистан. Национальный геоинформационный портал. Душанбе, 2021.
9. Министерство транспорта Республики Таджикистан. Концепция цифровой трансформации дорожной отрасли на 2024-2030 гг. Душанбе, 2024.
10. Мирзозода С.Б. Система управления дорожными активами (СУДА): монография / С.Б. Мирзозода, О.А. Красиков, Б.Б. Каримов. - Душанбе: Ирфон, - 2023. - 264 с.
11. Каганович В.Е., Утегенов А.Б. Информационные системы управления дорожными активами: опыт Казахстана. Алматы: КазДорНИИ, 2023.
12. Pantha B. R., Chong W. K., Yang J. GIS-Based Highway Maintenance Prioritization Model. Journal of Transport Geography, 2010. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2009.06.016.
13. He Q., Zhang Y. Evaluation of Landslide Susceptibility along Mountain Highways Using GIS and Machine Learning. Scientific Reports, 2025. DOI: 10.1038/s41598-025-08774-w.
14. Ford A.C., Sykes O., Higgs G. Transport Accessibility Analysis Using GIS: assessing different modes and scenarios. 2015. DOI: 10.3390/ijgi4010124.
15. World Bank. Improving Rural Accessibility in Central Asia: GIS-Based Planning Framework. 2024.
16. Mirzozoda S.B. A GIS framework for road asset monitoring in mountainous regions: A Tajikistan case / J.I. Sodikov, Dr. Konsta Sirvio, S.B. Mirzozoda / International scientific Journal "ENGINEER" of Tashkent State University of Transport. Volume 4, ISSUE 1, March, 2026. -P. 5-13. E-ISSN: 3030-3893, ISSN: 3060-5172, <https://doi.org/10/56143/3030-3893-2026-1-5-13>.
17. Пиров, Ж. Т. Влияние распределения транспортных потоков на скорость сообщения на трехполосных сегментах улично-дорожных сетей / Ж. Т. Пиров, Ш. А. Бозоров, Д. Д. Мухторов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2023. – № 1(61). – С. 148-152. – EDN DXNUVP.

### МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФ - СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ -INFORMATION ABOUT AUTHOR

TJ	RU	EN
Мирзозода Сухроб Бегмат	Мирзозода Сухроб Бегмат	Mirzozoda Sukhrob Begmat
номзади илмҳои техники, и.в. дотсент	кандидат технических наук, и.о. доцента	candidate of technical sciences, acting associate professor
Донишгоҳи Техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi.
E-mail: <a href="mailto:sukhrob63@mail.ru">sukhrob63@mail.ru</a>		
<a href="https://orcid.org/0000-0002-9817-3633">ORCID 0000-0002-9817-3633</a>		