УДК 504.064:528.8

ВОЗМОЖНОСТИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ГИС ДЛЯ ОЦЕНКИ ОПУСТЫНИВАНИЯ В БУХАРСКОЙ ОБЛАСТИ

Фармонова Фотима Фахриддинона

Преподаватель
Бухарский государственный университет
Узбекистан, Бухара

Аннотация. *При мониторинге опустынивания в Бухарской области необходимо различать естественную разреженность растительности и антропогенную деградацию земель. Цель исследования заключается в разработке порядка оценки, объединяющего данные дистанционного зондирования, ландшафтные особенности и полевую проверку. Применены целевой сравнительный анализ официальных методических документов и научных публикаций, а также сопоставление применимости индикаторов. В результате предложена схема мониторинга, основанная на ландшафтной стратификации, выявлении устойчивых изменений и отдельной оценке достоверности доказательств. Работа имеет методический характер и не содержит новых измеренных оценок площади деградированных земель или скорости опустынивания в области.*

Ключевые слова: *деградация земель, опустынивание, экологический мониторинг, дистанционное зондирование, ГИС, вегетационные индексы, Бухарская область.*

POTENTIAL OF REMOTE SENSING AND GIS TECHNOLOGIES FOR ASSESSING DESERTIFICATION IN BUKHARA REGION

Farmonova Fotima Fakhriddinona

Lecturer of BSU, Bukhara, Uzbekistan

Abstract. *Distinguishing naturally sparse vegetation from human-induced land degradation is a central methodological issue in desertification monitoring in Bukhara Region. This study aims to develop an assessment workflow integrating remote sensing indicators, landscape characteristics and field verification. Official methodological documents and research publications were examined through a targeted comparative analysis of indicator applicability. The resulting framework combines landscape stratification, detection of persistent change and a separate assessment of evidence confidence. This methodological study does not provide newly measured estimates of degraded land area or desertification rates in the region.*

Keywords: *land degradation, desertification, environmental monitoring, remote sensing, GIS, vegetation indices, Bukhara Region.*

Введение

Опустынивание представляет собой процесс деградации земель в засушливых районах, сопровождающийся снижением их биологической и хозяйственной продуктивности. В определении Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием его возникновение связывается с различными факторами, включая изменчивость климата и деятельность человека [1]. Поэтому сводить опустынивание исключительно к наступлению песков или перемещению границ существующих пустынь недостаточно. Объектами исследования также являются долговременное сокращение

растительного покрова, неблагоприятные изменения землепользования и ухудшение состояния почв.

При выборе подхода к мониторингу Бухарской области следует учитывать различия между природными пустынными территориями, пастбищами и орошаемыми агроэкосистемами. Одинаковое спектральное значение может иметь неодинаковый экологический смысл в разных ландшафтах. Например, низкий вегетационный индекс на естественной песчаной поверхности сам по себе не свидетельствует о новой деградации. На сельскохозяйственном участке аналогичное значение может объясняться уборкой урожая, временным отсутствием посевов или перебоями в орошении. Для корректного выявления проблемы необходимо рассматривать динамику показателя вместе с историей использования территории.

Спутниковые изображения позволяют наблюдать значительные площади на основе единых принципов регистрации. Географические информационные системы обеспечивают сопоставление полученных результатов с административными границами, почвенными контурами и хозяйственными участками. Однако техническая доступность данных не гарантирует правильности экологической диагностики. Ошибки классификации, сезонные различия и нехватка проверочных наблюдений ограничивают достоверность итоговой карты.

Научная проблема работы состоит в определении последовательности наблюдений, пригодной для применения в Бухарской области. Цель исследования — разработать методическую схему, связывающую открытые спутниковые данные, типы ландшафтов и независимую проверку. Для достижения цели поставлены задачи сопоставить возможности индикаторов, выявить риски ошибочной интерпретации и предложить порядок использования результатов мониторинга в управлении территориями. Методический вклад

заключается в адаптации схемы оценки к региональному контексту с раздельным представлением характера изменений и достоверности подтверждающих данных.

Материалы и методы исследования

Исследование выполнено на основе целевого анализа источников и методического проектирования. Источники отбирались по вопросам определения опустынивания, индикаторов деградации земель, обработки спутниковых продуктов и проверки точности карт. Приоритет отдавался документам UNCCD, USGS и ESA, а также первичным научным публикациям по спектральным индексам и оценке точности. Библиографический поиск проведён по состоянию на 1 ноября 2026 года. Работа не является систематическим обзором: задача полного охвата публикаций и библиометрического обобщения не ставилась.

Единицей анализа служила практическая функция индикатора. Показатели сопоставлялись по наблюдаемому свойству, условиям возможной ошибочной интерпретации и потребности в независимых проверочных данных. На этой основе сформирована предлагаемая автором схема мониторинга. В рамках настоящей работы спутниковые сцены не загружались и не обрабатывались; полевые измерения и статистические испытания трендов не выполнялись. Следовательно, разработанный порядок следует рассматривать как методическое предложение, требующее эмпирической апробации.

При практическом применении предлагается сначала разделить территорию на орошаемые земли, природные пастбища, песчаные пустынные поверхности и другие типы покрова. Водные объекты и застроенные площади выделяются отдельными масками. Исходной пространственной единицей анализа должен быть по возможности однородный по экологическим и хозяйственным условиям контур.

Административные районы используются для последующего обобщения. Такой порядок позволяет сохранить локальные изменения, которые могут скрываться за средними районными значениями.

Функции источников спутниковой информации различаются. Архив Landsat Level-2 может использоваться для многолетних сопоставлений, а Sentinel-2 — для уточнения изменений в небольших контурах [2, 3]. Каналы Sentinel-2 имеют пространственное разрешение 10, 20 и 60 м; считать все каналы десятиметровыми некорректно [3]. Перед объединением наблюдений разных сенсоров необходимо документировать спектральную совместимость, даты съёмки и способ приведения к общей сетке.

Подготовка изображений включает исключение облаков, теней, недостоверных пикселей и других наблюдений, не соответствующих требованиям качества. Для данных отражательной способности Landsat Collection 2 Level-2 цифровые значения преобразуются с использованием множителя 0,0000275 и смещения −0,2 [4]. Соответствующее продукту преобразование выполняется до расчёта индексов. Использование исходных цифровых значений, особенно при наличии аддитивного смещения, способно исказить физический смысл результата.

Для временного сопоставления одного выбора одинакового календарного месяца может оказаться недостаточно. Севооборот и различия в фазах развития культур требуют выделения фенологически сопоставимых периодов на орошаемых землях. Для пастбищ могут применяться сезонные композиты, отражающие период активного роста растительности. Для каждого годового композита необходимо сохранять сведения об использованных сценах и числе пригодных наблюдений. Территории с недостатком данных обозначаются отдельно и не относятся автоматически к стабильным.

Результаты исследования

Сопоставление источников позволило предложить мониторинг, опирающийся на три группы доказательств: сигнал изменения растительности и увлажнения, переходы между типами земного покрова и независимое подтверждение. Полученный результат представляет собой упорядочение функций индикаторов, а не новую оценку состояния территории. Первая группа служит для обнаружения участков, требующих внимания, вторая — для установления контекста изменений, третья — для проверки экологической интерпретации.

В качестве исходного показателя состояния растительности рассматривается нормализованный относительный вегетационный индекс NDVI [5]. Он рассчитывается по формуле:

$$NDVI = (\rho NIR - \rho Red) / (\rho NIR + \rho Red).$$

Здесь ρNIR обозначает коэффициент отражения в ближнем инфракрасном, а ρRed — в красном диапазоне. Значения с близким к нулю знаменателем требуют отдельного контроля качества. В работе не предлагается универсальный порог NDVI для отнесения земель к опустыненным. Сначала определяется обычное сезонное состояние конкретного ландшафтного класса, затем оцениваются устойчивые отклонения от него.

Для разреженного растительного покрова дополнительным показателем может служить почвенно-скорректированный вегетационный индекс SAVI, предназначенный для уменьшения влияния почвенного фона [6]. Его выражение имеет вид:

$$SAVI = (1 + L)(\rho NIR - \rho Red) / (\rho NIR + \rho Red + L).$$

Параметр L используется для коррекции влияния почвенного фона. Значение L = 0,5 может рассматриваться как исходное для испытаний, однако его пригодность для конкретных ландшафтов Бухарской области требует проверки. SAVI не позволяет самостоятельно разграничить

причины изменений, связанные с засухой, пастбищной нагрузкой и засолением. Сопоставление NDVI и SAVI предлагается использовать для проверки устойчивости выявленного сигнала к выбору индекса.

В качестве дополнительного сигнала, чувствительного к увлажнению растительного покрова, может применяться индекс NDMI, рассчитываемый по ближнему и коротковолновому инфракрасным каналам. В предлагаемой схеме его функция заключается в проверке того, сопровождаются ли изменения растительности изменениями условий увлажнения. NDMI не рассматривается как замена непосредственному измерению влажности почвы. При работе с каналами Sentinel-2 разного разрешения общая расчётная сетка должна задаваться заранее.

Диагностический порядок предлагается изменять в зависимости от ландшафта. На орошаемых землях отрицательный спектральный сигнал сопоставляется с культурой, режимом полива и сроками уборки. На пастбищах собираются сведения о восстановлении растительности, периодах использования и, по возможности, нагрузке скота. На песчаных пустынных территориях необходимо отличать естественную устойчивую разреженность покрова от недавно возникшей его утраты. Такой порядок направлен на предотвращение смешения природных пустынь с вновь деградировавшими землями.

Второй методический результат — предложение хранить состояние территории и достоверность доказательств как самостоятельные атрибуты. Состояние может обозначаться категориями «стабильное», «выявлен отрицательный сигнал», «признаки деградации подтверждены» и «выявлен сигнал восстановления». Контуры с недостатком информации выделяются отдельно. Категория подтверждённых признаков предполагает наличие полевого или иного независимого доказательства; в настоящем исследовании фактическое выделение таких контуров не выполнялось.

Достоверность характеризуется полнотой наблюдений, согласованностью временного ряда и наличием независимой проверки. Низкая достоверность не равнозначна низкому экологическому риску. Участок с выраженным отрицательным сигналом, не обеспеченный проверочными данными, может включаться в приоритетный план полевого обследования. Пользователь карты получает возможность отдельно оценить предполагаемое изменение и степень его обоснованности.

Третий результат связан с переходом от оценки к управлению. Предлагается последовательность: построение карты сигналов, планирование проверочных точек, уточнение диагноза и выбор воздействия. Тип мероприятия определяется после установления вероятной причины. Если сокращение растительности связано с засолением, одних посадок может оказаться недостаточно. При преобладающем влиянии пастбищной нагрузки рассматривается изменение режима использования. Приведённые примеры раскрывают логику принятия решений и не являются готовыми рекомендациями для отдельных районов.

Обсуждение результатов

Предлагаемая схема направлена на уменьшение ошибок, возникающих при одинаковом применении одного индекса ко всем территориям. Ландшафтная стратификация сохраняет экологический контекст, а многолетнее сопоставление помогает отделить краткосрочное сезонное снижение от устойчивого изменения. Величина такого улучшения остаётся неизвестной до проверки на реальных данных. Поэтому заявлять о повышении точности на определённый процент на данном этапе нельзя.

В подходе UNCCD деградация земель рассматривается через субиндикаторы земного покрова, продуктивности земель и органического

углерода почвы [7]. Соответственно, предложенный спектральный мониторинг не заменяет полную официальную оценку показателя ЦУР 15.3.1. При отсутствии данных об органическом углероде вывод по этому компоненту не формулируется. Наблюдаемое увеличение зелёной растительности также не доказывает полного восстановления почвенного плодородия.

Объединение индикаторов в простой суммарный индекс имеет ограничения. NDVI и SAVI используют сходную спектральную информацию; присвоение им самостоятельных больших весов может приводить к двойному учёту одного сигнала. По этой причине в работе не предлагаются универсальный итоговый балл и фиксированные веса. Перед их введением необходимо проверить взаимосвязи показателей и чувствительность классификации к различным настройкам.

Отделение климатического воздействия представляет самостоятельную исследовательскую задачу. Совпадение ухудшения растительного покрова с маловодным годом не доказывает, что изменение вызвано исключительно климатом. Аналогично, наличие интенсивного землепользования не позволяет игнорировать погодные условия. В последующих исследованиях необходимо согласовывать во времени сведения об осадках, температуре и хозяйственной деятельности, а также учитывать различия пространственного масштаба этих данных.

Для проверки карт обучающие и оценочные выборки должны быть независимыми. Использование одних и тех же точек для построения классификации и проверки её качества способно завышать результаты. В соответствии с рекомендациями Olofsson и соавторов следует планировать вероятностную выборку, матрицу ошибок, показатели точности по классам и доверительные интервалы оценок площади [8]. Одна общая точность недостаточно характеризует выявление редкого класса деградации.

Содержание полевого обследования определяется до выезда. Наряду с координатами и датой наблюдения рекомендуется фиксировать тип покрова, состояние растительности, признаки землепользования и фотографии. При подозрении на засоление необходимы соответствующие измерения, например электрической проводимости почвы по установленному протоколу. Визуально заметный светлый слой не во всех случаях позволяет надёжно определить степень засоления. Время между спутниковой съёмкой и полевым обследованием также должно быть отражено в документации.

Для воспроизводимости необходимо указывать продукт данных, период наблюдения, правила маскирования, способ построения композита, систему координат и параметры расчёта. Исходные изображения, производные слои и ручные исправления следует сохранять раздельно. При изменении алгоритма в следующем цикле наблюдений предыдущий период пересчитывается либо отмечается методический разрыв. Иначе различия обработки могут ошибочно интерпретироваться как реальные экологические изменения.

Основное ограничение исследования — отсутствие эмпирической апробации. На его основе нельзя определить степень деградации, конкретные площади и скорость опустынивания в Бухарской области. До регионального применения необходимо выбрать опытные участки, проверить обеспеченность данными и оценить практическую пользу предложенной схемы по сравнению с анализом одного NDVI. После этого можно рассматривать расширение мониторинга до районного и областного уровней.

Заключение

Предложен методический порядок оценки опустынивания в Бухарской области, объединяющий спектральные показатели,

ландшафтный контекст и независимую проверку. Его основной принцип — разграничение естественной разреженности растительного покрова и вновь возникающей деградации, а также отказ от диагноза на основании одного низкого значения индекса.

На основе целевого анализа источников NDVI определён как исходный сигнал состояния растительности, SAVI — как средство проверки влияния почвенного фона, а показатели увлажнения — как дополнительные интерпретационные данные. Разделение функций индикаторов направлено на уменьшение повторного учёта сходной информации и необоснованных выводов о причинах изменений.

В предложенной схеме состояние территории и достоверность доказательств фиксируются раздельно. Это позволяет использовать карты для планирования полевых проверок и подготовки последующих управленческих решений. Перед практическим применением необходимы испытания на спутниковых и полевых данных. Следующий этап исследования должен включать оценку точности, переносимости между ландшафтами и затрат на реализацию мониторинга.

Список использованных источников

1. UNCCD. Article 1. Use of terms. United Nations Convention to Combat Desertification. 1994. URL: https://www.unccd.int/article-1-use-terms (дата обращения: 01.11.2026).
2. U.S. Geological Survey. Landsat Collection 2 Level-2 Science Products. Без даты. URL: https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection-2-level-2-science-products (дата обращения: 01.11.2026).
3. European Space Agency. Sentinel-2 Instrument. Без даты. URL: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2/Instrument (дата обращения: 01.11.2026).

4. U.S. Geological Survey. How do I use a scale factor with Landsat Level-2 science products? Без даты. URL: https://www.usgs.gov/faqs/how-do-i-use-a-scale-factor-landsat-level-2-science-products (дата обращения: 01.11.2026).
5. U.S. Geological Survey. Landsat Normalized Difference Vegetation Index. Без даты. URL: https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-normalized-difference-vegetation-index (дата обращения: 01.11.2026).
6. Huete A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI) // Remote Sensing of Environment. 1988. Vol. 25, no. 3. P. 295–309. DOI: 10.1016/0034-4257(88)90106-X. URL: https://opus.lib.uts.edu.au/handle/10453/13646.
7. UNCCD. PRAIS4 Reporting Manual. Strategic objective 1. 2022 reporting cycle. URL: https://prais4-reporting-manual.unccd.int/en/2022/SO1.html (дата обращения: 01.11.2026).
8. Olofsson P., Foody G. M., Herold M., Stehman S. V., Woodcock C. E., Wulder M. A. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change // Remote Sensing of Environment. 2014. Vol. 148. P. 42–57. DOI: 10.1016/j.rse.2014.02.015. URL: https://nottingham-repository.worktribe.com/output/728216/good-practices-for-estimating-area-and-assessing-accuracy-of-land-change.