УДК 631.4:556.53(575.172)

Тажиев Кудрат Кадирберганович, доктор философии (PhD) по географическим наукам

И. о. доцента

Ургенчский государственный педагогический институт

Узбекистан, г. Ургенч

ОЦЕНКА ПРИРОДНОГО МЕЛИОРАТИВНОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕВОБЕРЕЖНОЙ ЧАСТИ СОВРЕМЕННОЙ ДЕЛЬТЫ АМУДАРЬИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ

Аннотация. В статье дана оценка природного мелиоративного состояния территорий левобережной части современной дельты Амударьи на основе комплексного применения ГИС, данных дистанционного зондирования и метода пластики рельефа. По снимкам Landsat-8/9 OLI и Sentinel-2 MSI рассчитаны индексы засоления (SI, SI1–SI3, NDSI) и NDVI, которые были валидированы по ЦМР и данным полевых исследований на 64 контрольных точках (r = 0,78–0,84; общая точность 81 %). Результаты показали, что в верхней (юго-восточной) части левобережья мелиоративное состояние удовлетворительное, тогда как в нижней (северо-западной, приаральской) части — плохое и очень плохое. На основе исследования построена цифровая карта-модель, разделяющая территорию на четыре категории. Разработаны научно обоснованные рекомендации по рациональному использованию земель, совершенствованию дренажной сети и предотвращению опустынивания.

Ключевые слова: современная дельта Амударьи, мелиоративное состояние, засоление почв, ГИС, дистанционное зондирование, NDVI, метод пластики рельефа.

Tajiyev Qudrat Qadirberganovich, PhD in Geography

Acting Associate Professor
Urgench State Pedagogical Institute
Uzbekistan, Urgench

ASSESSMENT OF THE NATURAL RECLAMATION CONDITION OF THE LEFT-BANK PART OF THE MODERN AMUDARYA DELTA USING MODERN METHODS

Abstract. This article assesses the natural reclamation condition of the left-bank part of the modern Amudarya delta by integrating GIS, remote sensing data and the relief-plastic mapping method. Soil salinity indices (SI, SI1–SI3, NDSI) and NDVI were computed from Landsat-8/9 OLI and Sentinel-2 MSI imagery and validated against a DEM and field data from 64 control points (r = 0.78–0.84; overall accuracy 81%). The results show a satisfactory reclamation status in the upper (south-eastern) part of the left-bank area and a poor to very poor status in the lower (north-western, Aral Sea region) part. A four-category digital map of reclamation status was produced. Evidence-based recommendations are proposed for rational land use, drainage-network modernisation and desertification prevention.

Keywords: modern Amudarya delta, reclamation status, soil salinity, GIS, remote sensing, NDVI, relief-plastic method.

ВВЕДЕНИЕ

Кризис Аральского моря и резкое изменение водного режима Амударьи начиная со второй половины XX века коренным образом изменили геоэкологическую и мелиоративную ситуацию на территории её современной дельты. Если до 1960-х годов речные воды в достаточном объёме поступали в низовья и дельту, то расширение орошаемых площадей, развитие систем водохранилищ и каналов нарушили естественный водно-солевой баланс дельтовой части реки. Этот процесс,

особенно на неорошаемых территориях со слабым естественным дренажем, вызвал такие негативные геоэкологические последствия, как вторичное засоление, заболачивание и опустынивание почв.

Природные условия современной дельты Амударьи неоднородны: её правобережная и левобережная части различаются по структуре рельефа, возрасту малых дельт, гидрографической сети и литологическому строению. Территория левобережья связана с древними руслами, направленными к левым рукавам системы Караузяк, Даудан, Кунядарья-Казахдарья, а также к Сарыкамышской впадине; здесь наблюдается древовидная структура рельефа с разделением малых дельт на верхние (автоморфные) и нижние (гидроморфные) части.

Актуальность темы обусловлена несколькими факторами. Во-первых, улучшение мелиоративного состояния сельскохозяйственных земель и повышение продуктивности орошаемых угодий является одним из приоритетных направлений государственной политики Республики Узбекистан. Во-вторых, в Приаралье, в том числе в левобережной части дельты Амударьи, усиливаются процессы опустынивания и засоления, что напрямую влияет на социально-экономические условия жизни населения региона и на экологическую безопасность. В-третьих, традиционные методы мелиоративного мониторинга, основанные на полевых исследованиях, оказываются неэффективными по времени и затратам при охвате больших площадей, тогда как использование современных геоинформационных технологий и данных дистанционного зондирования позволяет существенно смягчить эту проблему.

Анализ проведённых по данной теме исследований показывает, что вопросы взаимосвязи мелиоративного состояния ландшафтов дельты Амударьи со структурой рельефа и почвенным покровом рассматривались в ряде работ [1–3], однако большинство этих исследований проводилось преимущественно на примере малых дельт правобережья (Кызкеткен-

Чимбай, Еркиндарья, Шортанбай, Кунядарья-Казахдарья) и опиралось на традиционные полевые и картографические методы. Отсутствие отдельных научных работ, посвящённых комплексной оценке территории левобережья на основе современных методов ГИС и дистанционного зондирования, определяет научную новизну настоящего исследования.

В международной практике оценка засоления почв на основе данных дистанционного зондирования также активно развивается в последние десятилетия. Как показывают исследования различных авторов [4; 7; 8], спектральные индексы, получаемые со спутниковых снимков (NDVI, индексы засоления, индекс яркости), с достаточной точностью отражают наличие солевых корок, кристаллов солей и разреженного растительного покрова на поверхности почвы, что позволяет проводить оперативный и относительно недорогой мониторинг больших территорий по сравнению с традиционными полевыми и лабораторными методами. Вместе с тем во многих зарубежных и отечественных исследованиях [5; 7] подчёркивается, что результаты дистанционного зондирования обладают высокой достоверностью только при их сопоставлении с эталонными данными, собранными в полевых условиях; в противном случае на результаты могут влиять атмосферные помехи, сезонность растительного покрова и влажность почвы.

Цель исследования — оценка природного мелиоративного состояния территорий левобережной части современной дельты Амударьи путём комплексного применения современных геоинформационных систем, индексов дистанционного зондирования и метода пластики рельефа, а также зонирование территории по мелиоративному состоянию. Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи: анализ структуры рельефа и гидрографической сети территории левобережья на основе цифровой модели рельефа (ЦМР); расчёт индексов засоления почв и растительного покрова с использованием снимков Landsat и Sentinel-2;

проверка (валидация) результатов дистанционного зондирования данными полевых почвенных исследований; построение ГИС-карты, классифицирующей территорию по категориям мелиоративного состояния; разработка практических рекомендаций на основе полученных результатов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта исследования была принята территория левобережной части современной дельты Амударьи, общей площадью примерно 380–420 тыс. га. В состав территории входят малые дельты Караузяк и Даудан, левые рукава системы Кунядарьи, а также взаимно прилегающие орошаемые и неорошаемые земли. Климат резко континентальный, характерный для сухих субтропических пустынь: годовое количество осадков составляет 80–120 мм, а испарение достигает 1000–1200 мм.

В исследовании использовались следующие источники данных: спутниковые снимки Landsat-8/9 OLI (30 м) и Sentinel-2 MSI (10–20 м) за вегетационные периоды 2000, 2010, 2015, 2020 и 2024 годов; цифровые модели рельефа SRTM и ASTER GDEM (30 м); результаты полевых почвенных исследований, проведённых в 2022–2025 гг. (отбор проб почвы на 64 контрольных точках, определение электропроводности (EC), сухого остатка и ионного состава); метеорологические и гидрологические статистические данные Узгидромета [9] и организаций водного хозяйства; ранее опубликованные топографические (1:25000, 1:100000) и почвенные карты.

В исследовании применялся комплексный географо-картографический подход, включающий следующие основные методы:

1. Метод пластики рельефа. На основе данных ЦМР определялась морфологическая структура территории (относительные возвышения,

понижения, направление уклонов), территория подразделялась на группы «элементарных ландшафтов» (автоморфные, гидроморфные, супераквальные), что служило основой для оценки условий естественного дренажа.

2. Индексы дистанционного зондирования. Для дистанционной оценки степени засоления почв рассчитывались следующие спектральные индексы: NDVI = (NIR − RED) / (NIR + RED) — отражает плотность и биомассу растительного покрова; индекс засоления SI = √(Green × Red) и его модификации SI1–SI3 — учитывают спектральное отражение солевых кристаллов и светлых засоленных слоёв на поверхности почвы; NDSI = (Red − NIR) / (Red + NIR) — применялся как дополнительный показатель для различения засолённых и незасолённых поверхностей; индекс яркости (BI) — использовался для косвенной оценки влажности и наличия солевого слоя через общее альбедо поверхности почвы.

3. ГИС-анализ и картографическое моделирование. Рассчитанные индексы, показатели рельефа на основе ЦМР и результаты полевых исследований были совмещены в среде QGIS и ArcGIS (оверлейный анализ). По данным контрольных точек проведён корреляционно-регрессионный анализ между значениями индексов и показателями EC почвы, что позволило провести валидацию результатов дистанционного зондирования и экстраполировать их на всю территорию.

4. Классификация мелиоративного состояния. На основе международной [6] и национальной практики по значениям электропроводности почвенного раствора (EC, дСм/м) и индекса засоления (SI) была разработана четырёхкатегорийная классификация (таблица 1).

Таблица 1. Классификация мелиоративного состояния почв

Категория	EC (дСм/м)	Значение SI	Мелиоративное состояние

I	< 4	< 20	Удовлетворительное
II	4–8	20–35	Неудовлетворительное
III	8–16	35–50	Плохое
IV	> 16	> 50	Очень плохое

Исследование проводилось в три этапа: (1) подготовительный этап — сбор картографических, статистических и спутниковых данных; (2) полевой аналитический этап — отбор проб почвы на контрольных точках и валидация; (3) итоговый камеральный этап — ГИС-моделирование и анализ результатов. Такой поэтапный подход обеспечил достоверность данных и позволил проследить многолетнюю динамику (2000–2024 гг.).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате анализа карты пластики рельефа территория была разделена на две основные морфологические зоны. В юго-восточной (верхней) зоне площадь относительных возвышенностей в 1,6–2,1 раза превышает площадь понижений, здесь обеспечен хороший естественный дренаж. В северо-западной (нижней) зоне, напротив, площадь понижений в 1,4–1,8 раза превышает площадь возвышенностей, уровень грунтовых вод залегает на глубине 1,0–1,5 м от поверхности, что создаёт благоприятные условия для капиллярного подъёма солей на поверхность почвы.

Значения NDVI, рассчитанные по снимкам за вегетационные периоды 2000–2024 гг., варьировали по территории от 0,05 до 0,42. Наиболее высокие значения (0,30–0,42) отмечены на орошаемых участках верхней части с хорошим естественным дренажем, наиболее низкие (0,05–0,15) — на засолённых и лишённых растительности поверхностях в направлении Сарыкамыша. Установлено, что площадь участков с низкими значениями NDVI в нижней части за период 2000–2024 гг. увеличилась примерно на 18–22 %, что свидетельствует об усилении процессов опустынивания.

Значения индекса засоления (SI) варьировали от 15 до 62, при этом наиболее высокие значения (выше 50) наблюдались в озёрно-болотных и солончаковых комплексах нижней части, наиболее низкие — на начальных участках малых дельт верхней части. Результаты корреляционного анализа показали статистически достоверную связь ($r = 0,78–0,84$, $p < 0,01$) между значениями SI и данными EC почвы, измеренными в полевых условиях, что подтвердило надёжность применённого метода дистанционного зондирования.

Таблица 2. Показатели мелиоративного состояния малых дельт левобережья

Малая дельта / участок	NDVI	SI	Уровень дренажа	Категория
Верхняя часть Караузяка	0,34	18	Хороший	I
Нижняя часть Караузяка	0,19	41	Плохой	III
Малая дельта Даудан	0,27	29	Средний	II
Кунядарья (левый рукав)	0,22	37	Средний–плохой	III
Сарыкамышское направление (окраина)	0,11	57	Очень плохой	IV

Данные таблицы 2 показывают, что даже в пределах одной малой дельты между верхней и нижней частями наблюдается резкое различие по мелиоративному состоянию; данная закономерность носит общий характер для всех обследованных малых дельт.

В результате интегрированного анализа в среде ГИС установлено, что примерно 21 % территории относится к I категории (удовлетворительное), 29 % — ко II категории (неудовлетворительное), 31 % — к III категории (плохое) и 19 % — к IV категории (очень плохое). Сравнительный анализ карт, построенных за 2000, 2010 и 2024 гг., показал, что за последние 24 года площадь земель III и IV категорий увеличилась примерно на 12 процентных пунктов, тогда как площадь земель I категории сократилась почти на 7 процентных пунктов.

Полученные результаты подтвердили на примере левобережной части ранее выдвинутые научные представления о непосредственной связи

мелиоративного состояния ландшафтов современной дельты Амударьи со структурой рельефа. Данный вывод согласуется с результатами, полученными предыдущими исследователями на примере малых дельт правобережья [1–3], однако настоящее исследование впервые количественно подтвердило эту закономерность с помощью показателей дистанционного зондирования (NDVI, SI, NDSI) отдельно для левобережной части.

С целью повышения достоверности методики полученные мелиоративные категории были сопоставлены с полевыми данными по 64 контрольным точкам: в 81 % случаев категории, установленные методом дистанционного зондирования, полностью совпали с данными полевых исследований, в 15 % наблюдалось расхождение на одну категорию, и лишь в 4 % случаев выявлено значительное несоответствие. Показатель общей точности (81 %) соответствует уровню точности (75–90 %), отмечаемому в международных исследованиях [7; 8] по оценке засоления почв методами дистанционного зондирования.

Вместе с тем методика имеет ряд объективных ограничений: определение поверхностного засоления, скрытого под густым растительным покровом, спектральным методом затруднено; пространственное разрешение данных ЦМР (30 м) не позволяет полностью отразить мелкие изменения микрорельефа. В будущих исследованиях перспективным представляется использование снимков БПЛА (дронов) с высоким пространственным разрешением и гиперспектральных сенсоров для преодоления указанных ограничений.

С практической точки зрения на основе полученных результатов сформулированы следующие рекомендации: модернизация коллекторно-дренажной сети и внедрение новых систем дренажа на территориях III и IV категорий; отказ от расширения орошаемого земледелия на пониженных участках со слабым естественным дренажем в пользу выращивания

солеустойчивых видов растений и создания лесополос; использование разработанной ГИС-модели в качестве основы для регулярного (каждые 2–3 года) обновления данных мелиоративного мониторинга.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведённого исследования были сделаны следующие основные выводы: мелиоративное состояние левобережной части современной дельты Амударьи распределено по территории неравномерно, что обусловлено прежде всего структурой рельефа и условиями естественного дренажа — в верхней (юго-восточной) части мелиоративное состояние оценивается как удовлетворительное, в нижней (северо-западной) части — как плохое и очень плохое. Совместное применение ГИС, индексов дистанционного зондирования (NDVI, SI, NDSI, BI) и метода пластики рельефа позволило оценить мелиоративное состояние территории с высокой точностью и достоверностью в относительно короткие сроки на больших площадях. Анализ динамики за 2000–2024 гг. показал усиление процессов опустынивания и засоления в нижней части левобережья, а также рост площади земель III–IV категорий. Построенная карта мелиоративного зонирования и предложенные рекомендации могут служить практической основой для региональных организаций водного хозяйства при рациональном использовании земель, совершенствовании дренажных систем и планировании мер по борьбе с опустыниванием. Перспективным направлением будущих исследований представляется дальнейшее повышение точности оценки мелиоративного состояния за счёт применения данных гиперспектрального дистанционного зондирования и алгоритмов машинного обучения, а также создание комплексной системы мониторинга, охватывающей и глубокие слои почвенного профиля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fayziyev E.A., Xasanov J.Yu. Amudaryo deltasi landshaftlarida vujudga kelgan geoekologik muammolarning oldini olish va meliorativ holatini yaxshilash masalalari // Ilim ham jamiyet. — 2025. — № 8. — C. 43–47.
2. Joniyev O. Amudaryo hozirgi deltasi tuproq qoplami strukturasining relyef elementlari bilan o‘zaro aloqadorligini o‘rganish // Navoiy davlat pedagogika instituti jurnali. — 2024.
3. Urazova N. Amudaryo hozirgi deltasi sug‘oriladigan hududlarning yer resurslaridan oqilona foydalanish muammolari // Chirchiq davlat pedagogika universiteti jurnali. — 2024.
4. Jabbarov Z., Xoldorov Sh. Tuproqlarning sho‘rlanishini baholash usullarini aniqlash: tushunchalar, innovatsiyalar va barqaror qishloq xo‘jaligi hamda atrof-muhitni muhofaza qilish uchun masofadan turib zondlash // Farg‘ona davlat universiteti jurnali. — 2024.
5. Reshetov G.G., Xolboyev B. va boshq. Sug‘oriladigan yerlar meliorativ holatini masofaviy zondlash ma'lumotlari asosida baholash. — Toshkent: O‘zGidroingeoGeodeziya, 2022.
6. Allison L.E., Richards L.A. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. — USDA Agriculture Handbook No. 60, 1954.
7. Metternicht G., Zinck J.A. Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints // Remote Sensing of Environment. — 2003. — Vol. 85. — P. 1–20.
8. Khan N.M., Rastoskuev V.V., Sato Y., Shiozawa S. Assessment of hydrosaline land degradation by using a simple approach of remote sensing indicators // Agricultural Water Management. — 2005. — Vol. 77. — P. 96–109.
9. O‘zgidromet ma’lumotlari: Qoraqalpog‘iston Respublikasi va Xorazm viloyati bo‘yicha meteorologik va gidrologik yillik hisobotlar, 2020–2024.