

Научная статья

УДК 551.243:528.77(575.1)

doi:10.52349/0869-7892_2026_106_43-52

**Кольцевые структуры гор Букантау:
дешифрирование по данным
дистанционного зондирования
и их значение в прогнозировании
золоторудной минерализации****В. А. Салихов¹, М. К. Турапов²**

¹ Министерство горнодобывающей промышленности
и геологии Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан,
voris.salikhov.84@mail.ru

² Институт минеральных ресурсов, Университет геологических наук
Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан,
m.k.turapov@mail.ru

Ключевые слова: золоторудный прогноз,
линеamentный анализ, гидротермальные
изменения, глубинные разломы, космогео-
логическое картирование, Центральные
Кызылкумы, ASTER

Для цитирования: Салихов В. А., Тура-
пов М. К. Кольцевые структуры гор Букан-
тау: дешифрирование по данным дистан-
ционного зондирования и их значение
в прогнозировании золоторудной минера-
лизации // Региональная геология и метал-
логения. 2026. Т. 33, № 2. С. 43–52. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2026_106_43-52

Аннотация. Изучено значение кольцевых структур центральной и западной частей гор Букантау для прогноза золоторудной минерализации по данным дистанционного зондирования, геофизических и геолого-геохимических материалов. В основу исследования положены результаты проекта 2018–2021 гг. по созданию космоструктурной схемы и дистанционной основы масштаба 1 : 50 000 для территории площадью около 5600 км². Используются много-спектральные снимки Landsat-7 ETM+, Landsat-8 OLI, ASTER/Terra, Sentinel-2A и QuickBird, а также материалы аэромагнитных, гравиметрических и электро-разведочных работ. Обработка выполнялась в средах ENVI, ERDAS IMAGINE, Geomatica PCI, ArcGIS и LESSA с применением методов цветовых композиций, отношений каналов, PCA, IHS/ITS, выделения минеральных и гидротермальных композиций, а также автоматизированного линеamentного анализа. По результатам визуального и автоматизированного дешифрирования установлена система из 21 кольцевой структуры различного морфологического типа. Показано, что наиболее перспективны периферийные и узловые части кольцевых структур, совмещенные с глубинными разломами, экзоконтактами интрузивов и зонами гидротермальных изменений, отражаемых индексами глинистых минералов и железа. Установлено, что интеграция кольцевых структур, линеamentного анализа и спектральных индикаторов гидротермальных изменений повышает достоверность прогноза золоторудной минерализации кокпатасского типа. Практическим результатом работ стало выделение восьми прогнозно-перспективных позиций общей площадью около 97 км².

Original article

UDC 551.243:528.77(575.1)

doi:10.52349/0869-7892_2026_106_43-52

**The Bukantau Mountains ring structures:
Assessment of their role
in gold ore mineralization prediction,
based on remote sensing data interpretation****V. A. Salikhov¹, M. K. Turapov²**

¹ Ministry of Mining Industry and Geology
of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan,
voris.salikhov.84@mail.ru

² Institute of Mineral Resources,
University of Geological Sciences, Tashkent, Uzbekistan,
m.k.turapov@mail.ru



Keywords: gold ore prediction, lineament analysis, hydrothermal alteration, deep faults, cosmo-geological mapping, the Central Kyzylkum region; ASTER

For citation: Salikhov V. A., Turapov M. K. (2026). The Bukantau Mountains ring structures: Assessment of their role in gold ore mineralization prediction, based on remote sensing data interpretation. *Regional Geology and Metallogeny*, 33(2), 43–52. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2026_106_43-52

Abstract. The study assessed the significance of the Central and Western Bukantau Mountains ring structures for predicting gold ore mineralization, using remote sensing, geophysical, as well as geological and geochemical data. The paper is based on the 2018–2021 project for compiling a cosmo-geological structure diagram and a remote sensing map at a scale of 1 : 50,000 for an area of about 5,600 km². Landsat-7 ETM+, Landsat-8 OLI, ASTER/Terra, Sentinel-2A, and QuickBird multi-spectral images were used together with aeromagnetic, gravity, and electrical survey data. The images were processed in ENVI, ERDAS IMAGINE, Geomatica PCI, ArcGIS, and LESSA software, involving color compositions, band ratios, PCA, IHS/ITS transforms, mineral and hydrothermal compositions, as well as computer-assisted lineament analysis. Visual and automated interpretation revealed a system of 21 ring structures different in terms of morphology. The most prospective sites were found to be peripheral and nodal parts of the ring structures associated with deep faults, intrusive exocontacts, and zones of hydrothermal alterations recognized by clay-mineral and iron indices. The comprehensive analysis of ring structures, lineaments, and spectral indicators of hydrothermal alteration proved to facilitate the Kokpatas-type gold ore mineralization prediction reliability. The identification of eight prospective sites with a total area of about 97 km² has become a practical outcome of the study performed.

ВВЕДЕНИЕ

Кольцевые структуры относятся к важным объектам космогеологического анализа, поскольку отражают глубинные неоднородности земной коры, тектонические узлы, интрузивные центры и зоны длительной флюидной активности (Абдуллаев, 1975; Ахмедов, 2001; Борисов и др., 1982; Кириллов, 1988; Якубов и др., 1976). Для рудных районов они представляют интерес не как изолированные формы рельефа, а как морфоструктурные элементы, способные контролировать размещение минерализованных зон совместно с линейными нарушениями, экзоконтактами интрузивов и участками гидротермальных изменений (Ахмедов, 2001; Борисов и др., 1982; Кириллов, 1988).

Горы Букантау в Центральных Кызылкумах характеризуются высокой золоторудной и редкометалльной перспективностью. При этом традиционно основное внимание уделялось стратиграфическим, магматическим, геохимическим и геофизическим критериям рудоносности, тогда как кольцевые структуры в качестве самостоятельного прогностического фактора анализировались ограниченно. Материалы космогеологических исследований 2018–2021 гг. позволили рассмотреть их в рамках единой системы рудоконтролирующих признаков (Асадов и др., 2021; Ахмадов и др., 2021¹; Нурходжаев и др., 2017; Asadov, 2020; Goipov et al. 2020a, 2020b; Pirnazarov et al., 2021).

Новизна работы состоит не в самом факте существования кольцевых структур, а в их прикладной интерпретации для конкретного золоторудного района на основе комплексного использования многоспектральных космических снимков, автоматизированного линеаментного анализа, карт полей плотности тектонической нарушенности, геофизических и геохимических данных. Такой подход позволил увязать морфоструктурные элементы с зонами гидротермальных изменений и известными эталонными объектами Кокпатас-Окжетпесского тренда (Ахмадов и др., 2021¹; Asadov, 2020; Goipov et al., 2020a, 2020b; Pirnazarov et al., 2021).

Цель работы — установить морфоструктурные особенности кольцевых структур центральной и западной частей гор Букантау (рис. 1) и оценить их значение для прогноза золоторудной минерализации. В задачи исследования входили: 1) дешифрирование кольцевых структур по материалам дистанционного зондирования Земли (далее — ДЗЗ); 2) сопоставление кольцевых структур с линеамен-тами, глубинными разломами, интрузивами и рудопроявлениями; 3) анализ связи кольцевых структур со спектральными индикаторами гидротермальных изменений; 4) выделение поисково-значимых морфоструктурных позиций.

РАЙОН РАБОТ

Исследуемая территория расположена в Центральных Кызылкумах в пределах западной и центральной частей гор Букантау, административно относится к Учкудукскому району Навоийской области Республики Узбекистан. Площадь исследований составляет около 5600 км² и охватывает ряд номенклатурных листов масштаба 1 : 50 000 (Ахмадов и др., 2021¹). Абсолютные отметки достигают 745 м; палеозойские обнажения приурочены к горным массивам, а равнинные и предгорные участки перекрыты мезо-кайнозойскими отложениями (Ахмадов и др., 2021¹).

Геологическое строение района отличается сложностью и многоэтапностью. В его пределах развиты дорифейское кристаллическое основание, палеозойский складчатый фундамент, карбонатно-терригенные и кремнисто-терригенные комплексы, а также интрузивные образования различного состава и возраста. Ранее выполненные геологические, геохимические и геофизические работы создали

¹ Ахмадов Ш. И., Мусахонов З. М., Гоипов А. Б. Космогеологические исследования по территории Западной и Центральной части гор Букантау в масштабе 1 : 50 000 на 2018–2021 гг. : отчет. Ташкент : Институт минеральных ресурсов, Центр ДЗЗ и ГИС-технологий, 2021.

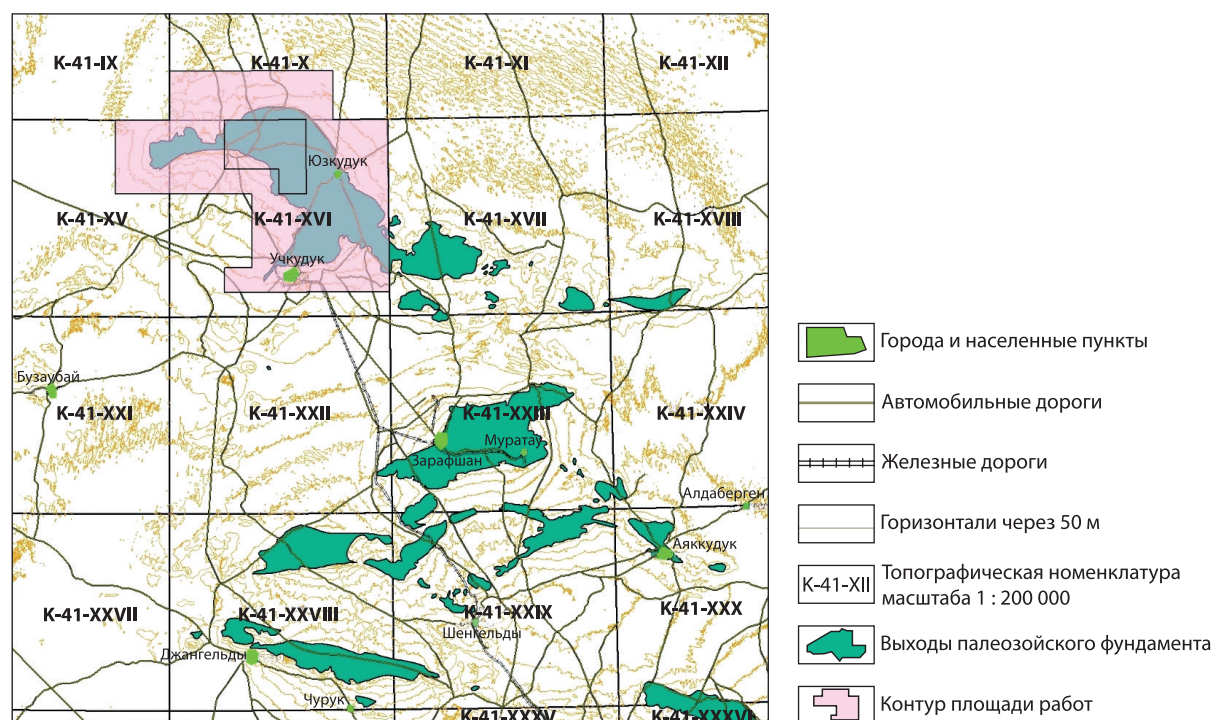


Рис. 1. Обзорная карта района работ

Источник: по Ахмадову и др. (2021)* (рис. 1, b)

Fig. 1. Review map of the study area

Source: from Akhmadov et al. (2021)** (fig. 1, b)

* Ахмадов Ш. И., Мусахонов З. М., Гоипов А. Б. Космогеологические исследования по территории Западной и Центральной части гор Букантау в масштабе 1 : 50 000 на 2018–2021 гг. : отчет. Ташкент : Институт минеральных ресурсов, Центр ДЗЗ и ГИС-технологий, 2021.

** Akhmadov Sh. I., Musakhonov Z. M., Goipov A. B. (2021). *Cosmogeological studies in the Western and Central Bukantau Mountains at a scale of 1 : 50,000, 2018–2021: Report*. Tashkent: Institute of Mineral Resources, Center for Remote Sensing and GIS Technologies.

основу для структурно-металлогенического анализа территории (Абдуллаев, 1975; Ахмадов и др., 2021¹; Ахмадов, 2001; Якубов и др., 1976).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В основу исследования положены результаты проекта 2018–2021 гг. по созданию карты дистанционной основы и космоструктурной схемы масштаба 1 : 50 000 для западной и центральной частей гор Букантау (Ахмадов и др., 2021¹). Используются многоспектральные материалы Landsat-7 ETM+, Landsat-8 OLI, ASTER/Terra, Sentinel-2A и изображения сверхвысокого разрешения QuickBird. Для изучаемой территории были подготовлены мозаики и многоканальные сборки, выполнено сопоставление фрагментов с различным пространственным разрешением, применены спектральные отношения каналов и тематические композиты (Ахмадов и др., 2021¹).

Предварительная и специализированная обработка материалов ДЗЗ проводилась с использованием программ ENVI, ERDAS IMAGINE 2014, Geomatica PCI, ArcGIS и LESSA. На этапе цифровой обработки применялись стандартные цветовые композиции, метод главных компонент (PCA), IHS/ITS-преобразования, тематические композиты Mineral

Composition и Hydrothermal Composition, а также фильтры Кирша, Собеля и Робертса для усиления линейных и контрастных границ (Ахмадов и др., 2021¹; Crósta et al., 2003; Liu et al., 2014; Mahboob et al., 2019; Mars et al., 2006; Pour et al., 2012; Rowan et al., 2003; Sabins, 1999; Safari et al., 2017).

Автоматизированный линеamentный анализ выполнен в программе LESSA на основе цифровой модели рельефа ASTER DEM и материалов космических снимков. По его результатам строились карты плотности линеamentов, векторы вытянутости и максимального направления, а также роз-диаграммы локальных структурных направлений. Дополнительно использовались карты полей плотности тектонической нарушенности, созданные методами line density и point density (Ахмадов и др., 2021¹).

Визуальное дешифрирование проводилось по прямым и косвенным признакам: фототону, рисунку изображения, дугообразным контактам, формам рельефа, конфигурации гидросети, сочетанию концентрических и радиальных элементов, а также положению структур относительно линейных нарушений. Морфологические типы кольцевых

¹ Ахмадов Ш. И., Мусахонов З. М., Гоипов А. Б. Космогеологические исследования по территории Западной и Центральной части гор Букантау в масштабе 1 : 50 000 на 2018–2021 гг. : отчет. Ташкент : Институт минеральных ресурсов, Центр ДЗЗ и ГИС-технологий, 2021.

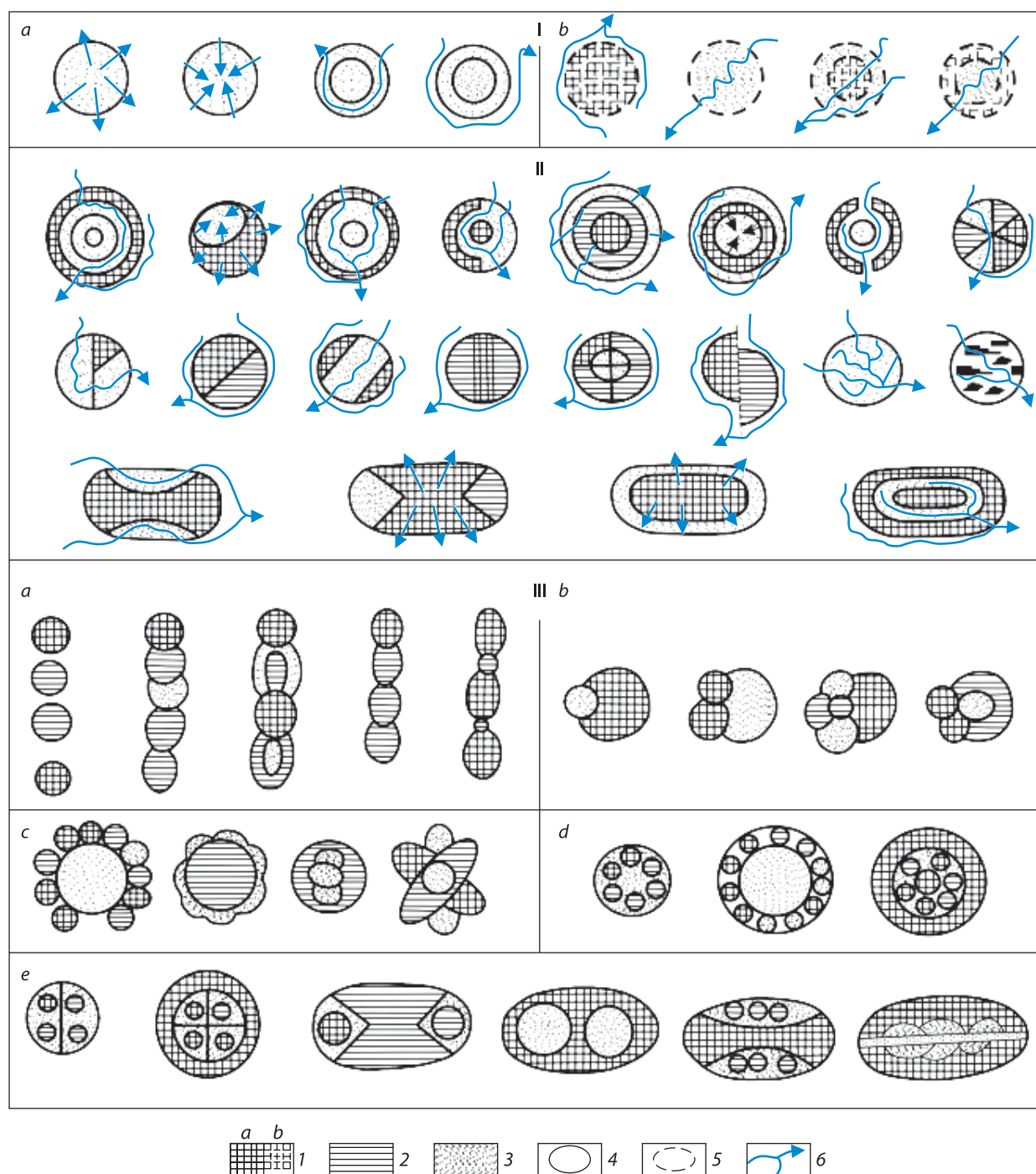


Рис. 2. Основные формы проявления кольцевых структур в современном рельефе

I — простые кольцевые структуры; II — сложные кольцевые структуры; III — составные кольцевые структуры различных типов: 1 — внутреннее строение кольцевых структур, 2 — концентрическая ориентировка структурных элементов, 3 — радиальная ориентировка структурных элементов; 4 — достоверно установленный контур кольцевой структуры, 5 — предполагаемый (восстановленный) контур кольцевой структуры, 6 — направления перемещения блоков и деформаций

Источник: по Ахмадову и др. (2021)* (рис. 4.16), по Кочневой (1984)

Fig. 2. Main forms of ring structure occurrence in modern relief

I — Simple ring structures; II — Complex ring structures; III — Composite ring structures of various types: 1 — internal texture of ring structures; 2 — concentric orientation of structural elements; 3 — radial orientation of structural elements; 4 — confirmed boundary of a ring structure; 5 — inferred (reconstructed) boundary of a ring structure; 6 — block and deformation movement directions

Source: from Akhmadov et al. (2021)** (fig. 4.16), Kochneva (1984)

* Ахмадов Ш. И., Мусахонов З. М., Гоипов А. Б. Космогеологические исследования по территории Западной и Центральной части гор Букантау в масштабе 1 : 50 000 на 2018–2021 гг. : отчет. Ташкент : Институт минеральных ресурсов, Центр ДЗЗ и ГИС-технологий, 2021.

** Akhmadov Sh. I., Musakhonov Z. M., Goipov A. B. (2021). *Cosmogeological studies in the Western and Central Bukantau Mountains at a scale of 1 : 50,000, 2018–2021: Report*. Tashkent: Institute of Mineral Resources, Center for Remote Sensing and GIS Technologies.

структур интерпретировались с учетом известных классификаций эндогенных и экзогенных образований (Борисов и др., 1982; Кириллов, 1988; Якубов и др., 1976).

Полевое подтверждение дистанционных данных включало: заверочное дешифрирование на площади 1030 км², маршруты протяженностью 1150 км, 8 точек апробации и 201 точку детальных геологических наблюдений. Кроме того, пройдено 3963 пог. м структурно-литолого-фациальных разрезов и 31 канава общей длиной 3698 м (объем 3002 м³). Отобранные пробы анализировались спектрохимическим, атомно-абсорбционным и полуколичественным спектральными методами (Ахмадов и др., 2021¹).

При интерпретации гидротермальных изменений использованы спектральные индикаторы, отражающие зоны развития гидроксилсодержащих и глинистых минералов, а также железистых оксидов. Для устранения терминологической неоднозначности подчеркнем, что по данным Landsat-8 выполнялось выявление зон повышенных значений индекса глинистых минералов и индекса железа, а не прямое минералогическое определение каолинита. Для уточняющей интерпретации использовались ASTER, Sentinel-2A и сопоставление со спектральными сигнатурами эталонных объектов (Ахмадов и др., 2021¹; Liu et al., 2014; Mahboob et al., 2019; Mars et al., 2006; Pour et al., 2012; Rowan et al., 2003; Safari et al., 2017).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Теоретические и дешифровочные признаки кольцевых структур. Кольцевые структуры рассматриваются как округлые, овальные или концентрические морфоструктуры, отражающие сочетание тектонических, магматических, денудационных и аккумулятивных процессов (рис. 2). По размерам они подразделяются на мегаструктуры (сотни — первые тысячи километров), макроструктуры (первые сотни километров), мезоструктуры (десятки — до 150 км), министруктуры (первые десятки километров) и микроструктуры (до 15 км) (Борисов и др., 1982; Кириллов, 1988; Якубов и др., 1976). Для задач локального прогноза оруденения наибольшее значение имеют мезо- и министруктуры.

В дешифровочном отношении кольцевые структуры выражаются дугообразными уступами рельефа, округлыми поднятиями и депрессиями, дугообразными участками речной сети, концентрическими и радиальными элементами рисунка изображения, а также соотношением морфологии и фототона на разновременных и разномасштабных изображениях (Борисов и др., 1982; Кириллов, 1988; Якубов и др., 1976). В пределах Букантау дополнительную информацию предоставляют их связи с глубинными разломами, интрузивами и зонами минерализации (рис. 3).

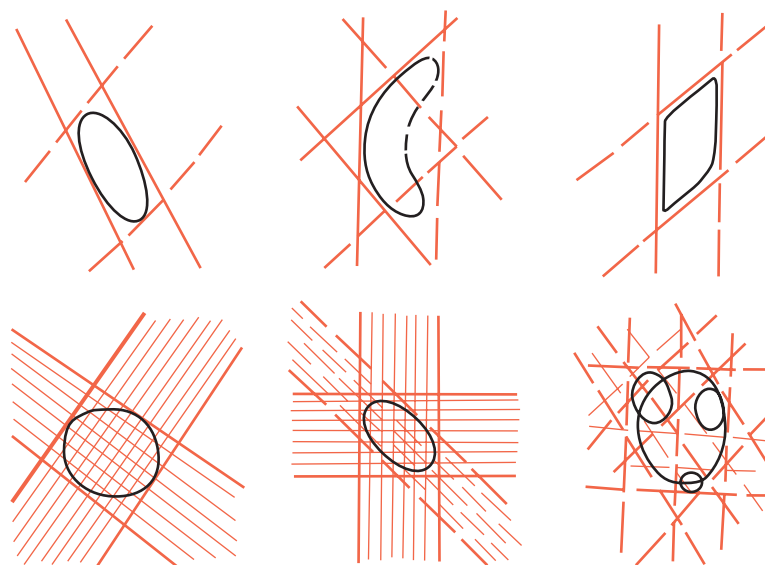


Рис. 3. Схема зависимости конфигурации кольцевых структур от характера пересекающихся линеаментов

Источник: по Ахмадову и др. (2021)^{1*} (рис. 4.17), Макарову и др. (1976)^{2*}

Fig. 3. Relationship between the ring structure configuration and character of intersecting lineaments

Source: from Akhmadov et al. (2021)^{1**} (fig. 4.17), Makarov et al. (1976)^{2**}

^{1, 1*} Ахмадов Ш. И., Мусахонов З. М., Гоипов А. Б. Космогеологические исследования по территории Западной и Центральной части гор Букантау в масштабе 1 : 50 000 на 2018–2021 гг. : отчет. Ташкент : Институт минеральных ресурсов, Центр ДЗЗ и ГИС-технологий, 2021.

^{2*} Макаров В. И., Соловьева Л. И. Перекрестный структурный план земной коры и проблема проявления ее глубинных элементов на поверхности (на примере Тянь-Шаня и Туранской плиты) // Исследование природной среды космическими средствами : Т. 5. Геология и геоморфология. М. : ВИНТИ, 1976. С. 18–41.

^{1, 1**} Akhmadov Sh. I., Musakhonov Z. M., Goipov A. B. (2021). *Cosmogeological studies in the Western and Central Bukantau Mountains at a scale of 1 : 50,000, 2018–2021: Report*. Tashkent: Institute of Mineral Resources, Center for Remote Sensing and GIS Technologies.

^{2**} Makarov V. I., Solovyova L. I. (1976). Superimposed structure of the Earth's crust and the problem of deep crustal complexes exposed at the surface (based on the Tien Shan and Turanian Plate). In *Satellite technologies in environmental research: Vol. 5. Geology and geomorphology* (pp. 18–41). Moscow: VINITI.

Кольцевые структуры гор Букантау. По данным визуального дешифрирования в ближнем инфракрасном диапазоне и последующей структурной интерпретации в пределах центральной части гор Букантау установлена система из 21 кольцевой структуры (Ахмадов и др., 2021¹). Среди них выделены купольные, депрессионно-бортовые и многоспектральные структуры. Под «многоспектральными» в настоящей работе понимаются морфоструктуры сложного строения, совмещающие в пределах одной формы признаки положительных и отрицательных морфоэлементов и отражающие многофазное развитие структуры (Ахмадов и др., 2021¹).

Крупнейшей является Букантауская кольцевая структура диаметром около 125 км, охватывающая западную и центральную части гор Букантау. Ее внешний контур выражен дуговыми контактами пород разного возраста, дуговыми уступами рельефа, а в гравимагнитных полях прослеживается в виде цепочки положительных аномалий. Внутренняя часть сложена породами дорифейского кристаллического основания и палеозойского складчатого фундамента, тогда как крылья представлены мезо-кайнозойским чехлом (Ахмадов и др., 2021¹; Кириллов, 1988).

К числу наиболее значимых внутренних структур относятся Тубабергенская, Ирлирская, Восточнобукантауская, Алтынтауская, Окжетпеская, Каскыртауская и другие. Букантауский глубинный разлом делит часть кольцевых структур на сегменты и, вероятно, играл важную роль в их формировании и последующем обновлении (Ахмадов и др., 2021¹; Якубов и др., 1976).

На рис. 4 показаны: 1 — Букантауская, 2 — Тубабергенская, 3 — Ирлирская, 4 — Восточнобукантауская, 5 — Таджиказганская, 6 — Туляташская, 7 — Кумбулакская, 8 — Кулкудукская, 9 — Джускудукская, 10 — Каскыртауская, 11 — Центральноминбулакская, 12 — Южноминбулакская, 13 — Южноалтынтауская, 14 — Алтынтауская, 15 — Окжетпеская, 16 — Кокыртауская, 17 — Сугуртабская, 18 — Торткулакская, 19 — Ушдалинская, 20 — Каттатобинская, 21 — Минбулакская кольцевые структуры (Ахмадов и др., 2021¹).

Связь кольцевых структур с разломами, интрузивами и рудоносностью. Сопоставление результатов дешифрирования с геолого-геофизическими материалами показывает, что кольцевые структуры Букантау тесно связаны с глубинными разломами, интрузивными массивами и узлами пересечения

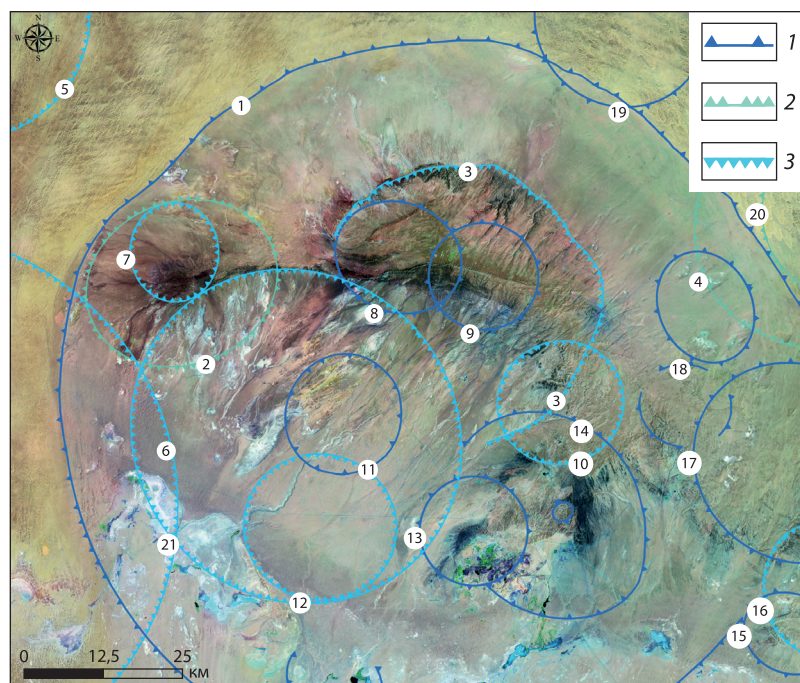


Рис. 4. Кольцевые структуры центральной части гор Букантау в плане региональной генерализации, выявленные по ближнему инфракрасному диапазону

1 — депрессионно-бортовые; 2 — купольные; 3 — многоспектральные структуры

Источник: по Ахмадову и др. (2021)^{*} (рис. 4.18)

Fig. 4. The Central Bukantau Mountains ring structures identified on the basis of near infrared imagery and shown on a regional generalized map

1 — depression-border; 2 — domal; 3 — multispectral structures

Source: from Akhmadov et al. (2021)^{**} (fig. 4.18)

¹. * Ахмадов Ш. И., Мусахонов З. М., Гоипов А. Б. Космогеологические исследования по территории Западной и Центральной части гор Букантау в масштабе 1 : 50 000 на 2018–2021 гг. : отчет. Ташкент : Институт минеральных ресурсов, Центр ДЗЗ и ГИС-технологий, 2021.

¹. ** Akhmadov Sh. I., Musakhonov Z. M., Goipov A. B. (2021). *Cosmogeological studies in the Western and Central Bukantau Mountains at a scale of 1 : 50,000, 2018–2021: Report*. Tashkent: Institute of Mineral Resources, Center for Remote Sensing and GIS Technologies.

линеаментов. В ряде случаев кольцевые структуры непосредственно пересекаются Букантауским глубинным разломом либо согласуются с дуговыми сегментами интрузивных тел (Ахмадов и др., 2021¹; Якубов и др., 1976).

Поисковую ценность имеют прежде всего периферийные и узловые части кольцевых структур, где концентрические элементы пересекаются с радиальными и линейными нарушениями. Такие участки характеризуются повышенной трещиноватостью, гидротермальной проработкой и концентрацией рудоконтролирующих факторов. Согласно материалам проекта, кольцевые структуры в районе пространственно коррелируют с известными рудопроявлениями меди, вольфрама и золота, а также с экзоконтактами Бокалинского, Алтынтауского и Кокпатасского интрузивов (Ахмадов и др., 2021¹).

Дополнительную значимость представляют карты магнитного и гравитационного полей, материалы естественного электрического поля, электроразведки, а также карты полей плотности тектонической нарушенности. Их совместное рассмотрение позволяет интерпретировать кольцевые структуры как морфоструктурное отражение глубинных каналов и зон ослабления, благоприятных для внедрения магмы и циркуляции рудоносных флюидов

(Абдуллаев, 1975; Ахмадов и др., 2021¹; Ахмедов, 2001; Якубов и др., 1976).

Кольцевые структуры и спектральные индикаторы гидротермальных изменений. Одна из ключевых задач исследования заключалась в сопоставлении кольцевых структур со спектральными индикаторами гидротермальных изменений. По материалам проекта, обработка многоспектральных снимков позволила выделить зоны повышенных значений индекса глинистых минералов, индекса железа и других спектральных аномалий, связанных с измененными породами в пределах эталонных объектов (Ахмадов и др., 2021¹; Goipov et al., 2020a, 2020b; Liu et al., 2014; Mahboob et al., 2019; Mars et al., 2006; Pour et al., 2012; Rowan et al., 2003; Safari et al., 2017).

Наиболее показательный пример представляет Алтынтау-Кендиктюбинская система сопряженных и концентрических кольцевых структур (рис. 5). Здесь зоны повышенных значений индекса глинистых минералов пространственно совпадают с внешними и внутренними границами кольцевых структур. В совокупности с разломно-блоковым строением, экзоконтактами интрузивов и данными о минерализации это позволяет рассматривать такие зоны как перспективные в отношении золоторудного оруденения кокпатасского типа (Ахмадов и др., 2021¹).

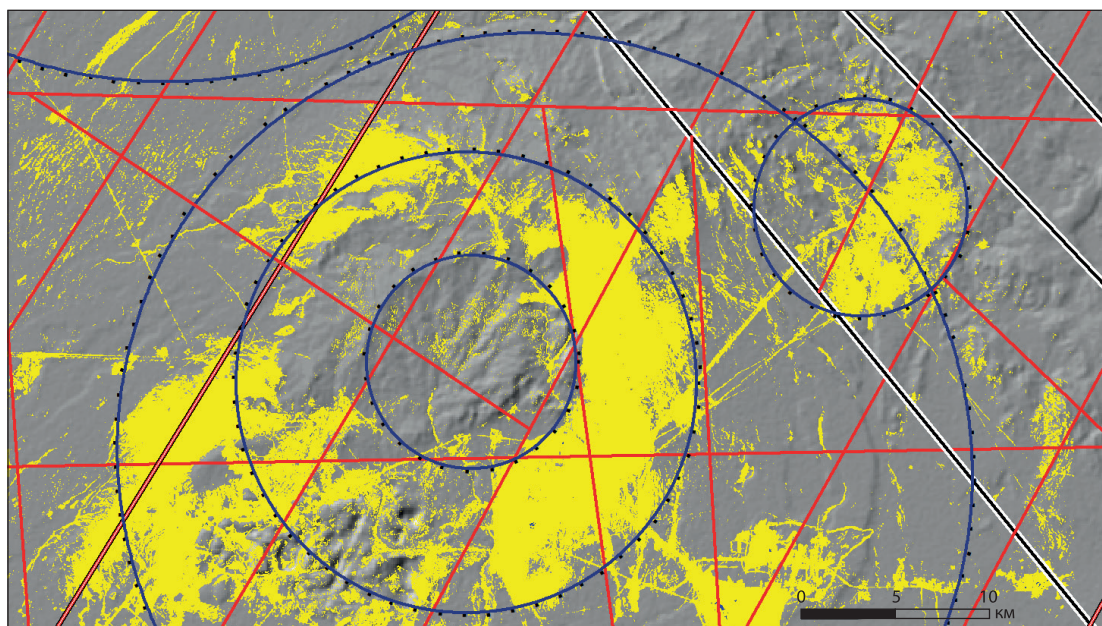


Рис. 5. Зоны повышенных значений индекса глинистых минералов в пределах группы Алтынтау-Кендиктюбинских сопряженных и концентрических кольцевых структур

Красные линии — линеаменты; синие линии — кольцевые структуры; желтым цветом выделены зоны гидротермальной минерализации

Источник: по Ахмадову и др. (2021)^{*} (рис. 4.19)

Fig. 5. Areas of elevated clay-mineral index values within the Altaytau-Kendiktyube group of conjugate and concentric ring structures

Red lines indicate lineaments; blue lines refer to ring structures; hydrothermal mineralization zones are shown in yellow

Source: from Akhmadov et al. (2021)^{**} (fig. 4.19)

¹. * Ахмадов Ш. И., Мусахонов З. М., Гоипов А. Б. Космогеологические исследования по территории Западной и Центральной части гор Букантау в масштабе 1 : 50 000 на 2018–2021 гг. : отчет. Ташкент : Институт минеральных ресурсов, Центр ДЗЗ и ГИС-технологий, 2021.

¹. ** Akhmadov Sh. I., Musakhonov Z. M., Goipov A. B. (2021). *Cosmogeological studies in the Western and Central Bukantau Mountains at a scale of 1 : 50,000, 2018–2021: Report*. Tashkent: Institute of Mineral Resources, Center for Remote Sensing and GIS Technologies.

Практический результат комплексной интерпретации дистанционных, геофизических и геолого-геохимических данных выразился в выделении восьми прогнозно-перспективных позиций общей площадью около 97 км², из которых наименьшая имеет площадь 2,1 км², а наибольшая — 29 км² (Ахмадов и др., 2021¹).

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты показывают, что в условиях Букантау кольцевые структуры следует рассматривать как один из элементов многокомпонентной рудоконтролирующей системы. При этом само по себе наличие кольцевой формы не является достаточным признаком оруденения. Наиболее надежный прогноз достигается при совмещении следующих критериев: 1) периферийные и узловые части кольцевых структур; 2) пересечение концентрических и радиальных элементов с региональными линеаментами; 3) близость к интрузивам и их экзоконтактам; 4) совпадение с зонами повышенной плотности тектонической нарушенности; 5) наличие спектральных признаков гидротермального изменения (Ахмадов и др., 2021¹; Asadov, 2020; Goipov et al., 2020a, 2020b; Pirnazarov et al., 2021).

Представленная схема интерпретации отличается от сугубо обзорного описания кольцевых структур тем, что ориентирована на решение конкретной прогнозной задачи для золоторудного района. Это позволяет рассматривать выполненную работу как прикладное развитие космогеологических методов в условиях Центральных Кызылкумов. Вместе с тем статья не претендует на универсальную модель для всех рудных районов и требует дальнейшей проверки на новых эталонных объектах и перспективных участках.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В пределах центральной и западной частей гор Букантау по данным дистанционного дешифрирования и структурного анализа установлена система из 21 кольцевой структуры различного морфологического типа.

2. Кольцевые структуры Букантау пространственно связаны с глубинными разломами, интрузивными массивами, зонами повышенной тектонической нарушенности и известными рудопрооявлениями.

3. Наибольшее прогнозное значение имеют периферийные и узловые части кольцевых структур, приуроченные к пересечениям радиальных и концентрических элементов с линейными нарушениями.

4. Спектральные индикаторы гидротермальных изменений, в том числе индексы глинистых минералов и железа, повышают достоверность прогноза при их совместной интерпретации с кольцевыми структурами и линеаментами.

5. Комплексное использование материалов дистанционного зондирования Земли, автоматизированного линеamentного анализа, геофизических и геолого-геохимических данных позволяет выделять перспективные позиции на обнаружение золоторудной минерализации кокпатасского типа.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Абдуллаев Х. М. Геология и металлогения Центральных Кызылкумов. Ташкент : Фан, 1975. 240 с.
- Асатов А. Р., Ахмадов Ш. И. Тоғ жинслари ва минералларнинг спектрал электрон кутубхонасини яратиш услубияти // Иқтисодийётнинг тармоқларини инновацион ривожланишида ахборот коммуникация технологияларининг аҳамияти. Тошкент : ТАТУ, 2021. С. 8.
- Борисов О. М., Глух А. К. Кольцевые структуры и линементы Средней Азии. Ташкент : Фан, 1982. 123 с.
- Кириллов А. Б. Кольцевые структуры гор Букантау // Космические исследования геологических объектов литосферы / под ред. Х. Н. Баймухамедова. Ташкент : ФАН, 1988. С. 56–66.
- Кочнева Н. Т. Металлогения скрытых линеamentов и концентрических структур. М. : Недра, 1984. 272 с.
- Нурходжаев А. К., Тогаев И. С., Шамсиев Р. З. Методическое руководство по составлению космогеологической карты Республики Узбекистан на основе цифровых космоснимков. Ташкент, 2017. 199 с.
- Рудные месторождения Узбекистана / под ред. Н. А. Ахмедова. Ташкент : ИМР, 2001. 661 с.
- Якубов Д. Х., Ахмеджанов М. А., Борисов О. М. Региональные разломы Срединного и Южного Тянь-Шаня. Ташкент : Фан, 1976. 146 с.
- Asadov A. R. Methodology of obtaining and estimation of temperature image of the Bukantau mountains // ACAD-EMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal. 2020. Vol. 10, no. 12. P. 814–821. <https://doi.org/10.5958/2249-7137.2020.01809.1>
- Crósta A. P., De Souza Filho C. R., Azevedo F., Brodie C. Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis // International Journal of Remote Sensing. 2003. Vol. 24, no. 21. P. 4233–4240. <https://doi.org/10.1080/0143116031000152291>
- Goipov A. B., Khasanov N. R., Akhmadov Sh. I. Study of the mineralized zones of the Bukantau mountains on space images in the short-wave infrared range // Journal of Critical Reviews. 2020a. Vol. 7, no. 6. P. 2070–2074.
- Goipov A. B., Khasanov N. R., Akhmadov Sh. I., Musaxonov Z. M. Application of ratio bands of space images for mapping minerals on the example of Kokpatas-Okzhetpes trend in mountain Bukantau (South Tien Shan) // The American Journal of Applied Sciences. 2020b. Vol. 2, no. 7. P. 94–103.
- Liu L., Zhou J., Yin F., Feng M., Zhang B. The reconnaissance of mineral resources through ASTER data-based image processing, interpreting and ground inspection in the Jifushaersu area, West Junggar, China // Journal of Earth Science. 2014. Vol. 25. P. 397–406. <https://doi.org/10.1007/s12583-014-0423-9>
- Mahboob M. A., Genc B., Celik T., Ali S., Atif I. Mapping hydrothermal minerals using remotely sensed reflectance spectroscopy data from Landsat // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2019. Vol. 119, no. 3. P. 279–289. <https://doi.org/10.17159/2411-9717/2019/v119n3a7>
- Mars J. C., Rowan L. C. Regional mapping of phyllic- and argillic-altered rocks in the Zagros magmatic arc, Iran, using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data and logical operator algorithms // Geosphere. 2006. Vol. 2, no. 3. P. 161–186. <https://doi.org/10.1130/GES00044.1>

Pirnazarov M. M., Asadov A. R. Cosmostructural-geochemical method for forecasting gold-rare-metal mineralization in mountain regions of Uzbekistan // *Asian Journal of Multidimensional Research*. 2021. Vol. 10, no. 3. P. 179–186. <https://doi.org/10.5958/2278-4853.2021.00113.0>

Pour A. B., Hashim M. The application of ASTER remote sensing data to porphyry copper and epithermal gold deposits // *Ore Geology Reviews*. 2012. Vol. 44. P. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2011.09.009>

Rowan L. C., Hook S. J., Abrams M. J., Mars J. C. Mapping hydrothermally altered rocks at Cuprite, Nevada, using the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER), a new satellite-imaging system // *Economic Geology*. 2003. Vol. 98, no. 5. P. 1019–1027. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.98.5.1019>

Sabins F. F. Remote sensing for mineral exploration // *Ore Geology Reviews*. 1999. Vol. 14, nos. 3–4. P. 157–183. [https://doi.org/10.1016/S0169-1368\(99\)00007-4](https://doi.org/10.1016/S0169-1368(99)00007-4)

Safari M., Pour A. B., Maghsoudi A., Hashim M. Targeting hydrothermal alterations utilizing Landsat-8 and ASTER data in Shahr-e-Babak, Iran // *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2017. Vol. 42, no. 4W5. P. 153–157. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W5-153-2017>

REFERENCES

Abdullaev Kh. M. (1975). *Geology and metallogeny of the Central Kyzylkum region*. Tashkent: Fan, 240 p. (In Russ.).

Asadov A. R., Akhmadov Sh. I. (2021). Methodology for creating a spectral electronic library of rocks and minerals. In *The importance of communication technologies in the innovative development of economic sectors* (pp. 8) [Sci. conf. proc.]. Tashkent: TUIT. (In Uzb.).

Borisov O. M., Glukh A. K. (1982). *Ring structures and lineaments in Central Asia*. Tashkent: Fan, 123 p. (In Russ.).

Kirillov A. B. (1988). Ring structures of the Bukantau Mountains. In Kh. N. Baymukhamedov (Ed.), *Satellite observation of geological lithospheric objects* (pp. 56–66). Tashkent: FAN. (In Russ.).

Kochneva N. T. (1984). *Metallogeny of concealed lineaments and concentric structures*. Moscow: Nedra, 272 p.

Nurkhodzhaev A. K., Togaev I. S., Shamsiev R. Z. (2017). *Methodological guide for compiling a cosmo-geological map of Uzbekistan based on digital satellite images*. Tashkent, 199 p. (In Russ.).

Akhmedov N. A. (Ed.). (2001). *Ore deposits in Uzbekistan*. Tashkent: IMR, 661 p. (In Russ.).

Yakubov D. Kh., Akhmedzhanov M. A., Borisov O. M. (1976). *Regional faults in the Middle and Southern Tien Shan*. Tashkent: Fan, 146 p. (In Russ.).

Asadov A. R. (2020). Methodology of obtaining and estimation of temperature image of the Bukantau mountains. *ACADEMICA: An International Multidisciplinary Research*

Journal, 10(12), 814–821. <https://doi.org/10.5958/2249-7137.2020.01809.1>

Crósta A. P., De Souza Filho C. R., Azevedo F., Brodie C. (2003). Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis. *International Journal of Remote Sensing*, 24(21), 4233–4240. <https://doi.org/10.1080/0143116031000152291>

Goipov A. B., Khasanov N. R., Akhmadov Sh. I. (2020a). Study of the mineralized zones of the Bukantau mountains on space images in the short-wave infrared range. *Journal of Critical Reviews*, 7(6), 2070–2074.

Goipov A. B., Khasanov N. R., Akhmadov Sh. I., Musaxonov Z. M. (2020b). Application of ratio bands of space images for mapping minerals on the example of Kokpatas-Okzhetpes trend in mountain Bukantau (South Tien Shan). *The American Journal of Applied Sciences*, 2(7), 94–103.

Liu L., Zhou J., Yin F., Feng M., Zhang B. (2014). The reconnaissance of mineral resources through ASTER data-based image processing, interpreting and ground inspection in the Jiashuashu area, West Junggar, China. *Journal of Earth Sciences*, 25, 397–406. <https://doi.org/10.1007/s12583-014-0423-9>

Mahboob M. A., Genc B., Celik T., Ali S., Atif I. (2019). Mapping hydrothermal minerals using remotely sensed reflectance spectroscopy data from Landsat. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 119(3), 279–289. <https://doi.org/10.17159/2411-9717/2019/v119n3a7>

Mars J. C., Rowan L. C. (2006). Regional mapping of phyllic- and argillic-altered rocks in the Zagros magmatic arc, Iran, using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data and logical operator algorithms. *Geosphere*, 2(3), 161–186. <https://doi.org/10.1130/GES00044.1>

Pirnazarov M. M., Asadov A. R. (2021). Cosmostructural-geochemical method for forecasting gold-rare-metal mineralization in mountain regions of Uzbekistan. *Asian Journal of Multidimensional Research*, 10(3), 179–186. <https://doi.org/10.5958/2278-4853.2021.00113.0>

Pour A. B., Hashim M. (2012). The application of ASTER remote sensing data to porphyry copper and epithermal gold deposits. *Ore Geology Reviews*, 44, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2011.09.009>

Rowan L. C., Hook S. J., Abrams M. J., Mars J. C. (2003). Mapping hydrothermally altered rocks at Cuprite, Nevada, using the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER), a new satellite-imaging system. *Economic Geology*, 98(5), 1019–1027. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.98.5.1019>

Sabins F. F. (1999). Remote sensing for mineral exploration. *Ore Geology Reviews*, 14(3–4), 157–183. [https://doi.org/10.1016/S0169-1368\(99\)00007-4](https://doi.org/10.1016/S0169-1368(99)00007-4)

Safari M., Pour A. B., Maghsoudi A., Hashim M. (2017). Targeting hydrothermal alterations utilizing Landsat-8 and ASTER data in Shahr-e-Babak, Iran. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42(4W5), 153–157. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W5-153-2017>

Ворис Ахмеджанович Салихов

Начальник отдела
формирования геологических проектов

Министерство горнодобывающей промышленности
и геологии Республики Узбекистан,
Ташкент, Узбекистан

<https://orcid.org/0009-0008-9565-3309>
voris.salikhov.84@mail.ru

Voris A. Salikhov

Head,
Department for Geological Project Planning

Ministry of Mining Industry
and Geology of the Republic of Uzbekistan,
Tashkent, Uzbekistan

<https://orcid.org/0009-0008-9565-3309>
voris.salikhov.84@mail.ru

Мирали Камалович Турапов

Доктор геолого-минералогических наук, профессор,
главный научный сотрудник

Институт минеральных ресурсов,
Университет геологических наук Республики Узбекистан,
Ташкент, Узбекистан

<https://orcid.org/0000-0002-9216-3637>
Scopus Author ID 57402378800
m.k.turapov@mail.ru

Mirali K. Turapov

DSc (Geology and Mineralogy), Professor,
Chief Researcher

Institute of Mineral Resources,
University of Geological Sciences,
Tashkent, Uzbekistan

<https://orcid.org/0000-0002-9216-3637>
Scopus Author ID 57402378800
m.k.turapov@mail.ru

Вклад авторов: *Салихов В. А.* — концепция исследования, руководство работами, администрирование проекта, интерпретация результатов, пересмотр и редактирование рукописи. *Турапов М. К.* — работа с данными, разработка методологии, программная обработка материалов дистанционного зондирования Земли, визуализация, подготовка первоначального текста рукописи.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: *Salikhov V. A.* — conceptualization, supervision, project administration, interpretation of results, review and editing. *Turapov M. K.* — data curation, methodology, Earth remote sensing data processing software, visualization, original draft.

Conflict of interest: the authors declare no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 16.04.2026
Одобрена после рецензирования 15.05.2026
Принята к публикации 23.06.2026

Submitted 16.04.2026
Approved after reviewing 15.05.2026
Accepted for publication 23.06.2026