

УДК: 550.8

DOI: 10.46698/VNC.2025.47.90.002

Оригинальная статья

Локализация золотоносных минерализаций по космическим снимкам

Д.Б. Давыденко¹, С.Г. Парада²

¹ Южный научный центр Российской академии наук,
Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41,
e-mail: maurmar@yandex.ru;

² Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН,
Россия, 362002, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а,
e-mail: segripa@rambler.ru

Статья поступила: 04.08.2025, доработана: 15.09.2025, принята к публикации: 18.09.2025

Резюме: Актуальность определяется необходимостью разработки технологий поиска и оценки слепых и погребенных рудных тел на основе спектрозональных космических снимков. **Цель.** Разработать основы технологии локализации золотоносных минерализаций по спектрозональным характеристикам космических снимков. **Методы.** Математические процедуры, позволяющие исключить ландшафтные помехи и адаптировать алгоритм обработки информации к изменению свойств аномалий и «помех», осуществлять анализ и оценку свойств аномалий в процессе самой обработки. **Результаты.** Разработаны основы оригинальной технологии выявления аномального эффекта над рудными телами по космическим снимкам и локализации золотоносных минерализаций на примере месторождения Радужное (Кабардино-Балкарская республика). При этом получение спектрозональных характеристик космических снимков рассматривается как своеобразный геофизический метод исследования земных недр. Обращено внимание на то, что такие снимки фиксируют электромагнитные колебания в интервалах отражённого и излучённого частей спектра. Это определяет возможность использования тех методов, которые были разработаны для выделения геофизических аномалий на фоне помех. Основой технологии является подбор таких математических преобразований изображений земной поверхности, которые бы обеспечили надёжное гашение ландшафтных помех и усиление аномального эффекта, обусловленного эндогенными рудообразующими процессами. Для описания особенностей отражательной способности ландшафтов, в качестве исходных параметров создан массив данных, состоящий из 29 признаков, включающих различные характеристики рельефа, освещённости, а также различия изображений для периодов весна–лето и лето–осень. В результате факторного анализа из 29 признаков получено 15 факторов. Для кластеризации были отобраны наиболее значимые факторы путем последовательного визуального анализа графа и таблицы, отображающих их связи с конкретными природными объектами. Ключом для определения природы фактора являлся высокий вес признака. В результате отобрано 11 факторов, которые обусловлены эндогенными, в т.ч. рудообразующими процессами. На их основе осуществлен кластерный анализ, по результатам которого получено 83 типа элементарных площадок. Два из них совпали с проекцией Первой рудной залежи на дневную поверхность. Площади распространения этих двух типов за пределами эталонной рудной залежи предлагается рассматривать в качестве признака наличия в недрах новых золоторудных объектов.

Ключевые слова: поиски полезных ископаемых, золото, спектрозональные космические снимки, факторный анализ, кластерный анализ, месторождение Радужное.

Благодарности: Работа выполнена в рамках реализации государственного задания ЮНЦ РАН, № госрегистрации 125011700412-6 и ГФИ ВНЦ РАН.

Для цитирования: Давыденко Д.Б., Парада С.Г. Локализация золотоносных минерализаций по космическим снимкам. *Геология и геофизика Юга России*. 2025. 15(3): 136–147. DOI: 10.46698/VNC.2025.47.90.002

DOI: 10.46698/VNC.2025.47.90.002

Original paper

Localization of gold-bearing mineralizations from satellite images

D.B. Davydenko¹, S.G. Parada²

¹ South Scientific Center, Russian Academy of Sciences,
41 Chekhov Ave., Rostov-on-Don 344006, Russian Federation,
e-mail: maurmar@yandex.ru;

² Geophysical Institute, Vladikavkaz Scientific Center, Russian Academy
of Sciences, 93a Markova Str., Vladikavkaz 362002, Russian Federation,
e-mail: segripa@rambler.ru

Received: 04.08.2025, revised: 15.09.2025, accepted: 18.09.2025

Abstract: The relevance is determined by the need to develop technologies for searching and evaluating blind and buried ore bodies based on spectral satellite images. **Aim.** To develop the basics of technology for localization of gold-bearing mineralizations based on the spectral characteristics of satellite images. **Methods.** Mathematical procedures that make it possible to eliminate landscape interference and adapt the information processing algorithm to changes in the properties of anomalies and “interference”, to analyze and evaluate the properties of anomalies during the processing itself. **Results.** The basics of an original technology for detecting anomalous effects on ore bodies from satellite images and localization of gold-bearing mineralizations have been developed using the example of the Raduzhnoye deposit (Kabardino-Balkarian Republic). At the same time, obtaining the spectral characteristics of satellite images is considered as a kind of geophysical method for studying the Earth’s interior. Attention is drawn to the fact that such images capture electromagnetic vibrations in the ranges of the reflected and radiated parts of the spectrum. This determines the possibility of using those methods that have been developed to identify geophysical anomalies against the background of interference. The basis of the technology is the selection of such mathematical transformations of images of the Earth’s surface that would ensure reliable attenuation of landscape interference and amplification of the anomalous effect caused by endogenous ore-forming processes. To describe the features of the reflectivity of landscapes, a data array consisting of 29 features was created as initial parameters, including various characteristics of relief, illumination, as well as image differences for the spring-summer and summer-autumn periods. As a result of factor analysis, 15 factors out of 29 signs were obtained. For clustering, the most significant factors were selected by sequential visual analysis of a graph and a table showing their relationship to specific natural objects. The key to determining the nature of the factor was the high weight of the trait. As a result, 11 factors were selected, which are caused by endogenous, including ore-forming processes. Based on them, a cluster analysis was carried out, which resulted in 83 types of elementary sites. Two of them coincided with the projection of the First ore deposit onto the day surface. The distribution areas of these two types outside the reference ore deposit are proposed to be considered as a sign of the presence of new gold mining facilities in the subsurface.

Keywords: mineral prospecting, gold, spectral satellite images, factor analysis, cluster analysis, Raduzhnoye deposit.

Acknowledgements: The work was performed as part of the implementation of the state assignment of the UNC RAS, state registration number 125011700412-6 and GPI VNC RAS.

For citation: Davydenko D.B., Parada S.G. Localization of gold-bearing mineralizations from satellite images. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2025. 15(3): 136-147. DOI: 10.46698/VNC.2025.47.90.002

Введение

В настоящее время, когда практически все месторождения, которые легко обнаружить с поверхности стандартными методами, уже выявлены, а основной целью прогноза и поисков становятся слепые и погребенные месторождения, особо актуальным является использование космических и геоинформационных технологий в совокупности с современными представлениями о строении и трансформациях земной коры [Дэвис, 1990; Матишов и др., 2010; Давыденко, 2016 и др.]. К таким методам относится фиксация признаков наличия в недрах полезных ископаемых по спутниковым данным. Используется явление отображения в ландшафтах земной поверхности эндогенных рудообразующих процессов. Последнее, с одной стороны определяют появление в недрах скоплений минерального сырья, с другой стороны прямо или косвенно влияют на формирование экзогенных ландшафтов. Эти ландшафтные особенности отражаются, прежде всего, в растительном покрове и зависят в конечном итоге от состава флюидной фазы почвенного слоя, что и находит отражение на спектрально-зональных космических снимках [Аэрокосмические методы ..., 2000; Трифонов, 2010; Горный, Тронин, 2012 и др.]. Таким образом, при изучении космоснимков рудные объекты могут быть выявлены по своеобразному изменению отражательной способности ландшафта над ними. Эта особенность надрудных ландшафтов отображается в своеобразии спектрального изображения данного участка на многозональных космических снимках, что используется в большинстве исследований [Wang et al., 2022 и др.].

К настоящему времени имеется опыт прогноза по спутниковым данным в отношении залежей углеводородов [Архипов и др., 2011; Бусыгин и др., 2012], кимберлитового магматизма [Серокуров, 2013], месторождений вольфрама [Liu et al., 2025], золоторудных проявлений [Zhang, 2007; Бусыгин, Никулин, 2009; Абушкевич, Волин, 2014; Давыденко, 2016; Milovsky et al., 2024 и др.].

Именно изменения в ландшафтах, вызванные, как предполагается наличием полезного ископаемого в недрах, отражающиеся на спектрально-зональных космических снимках фиксируются при прогнозировании полезных ископаемых. Мы же считаем, что для решения задач геологического дешифрирования космических снимков рисунок ландшафта является в большом числе случаев помехой (особенно это характерно для техногенных ландшафтов, преобладающих на юге России, а также горных территорий). При этом спектрально-зональные космические снимки рассматриваем не только как способ получения изображения ландшафтов, но и как своеобразный геофизический метод исследования земных недр. Такие снимки фиксируют электромагнитные колебания в интервалах отражённого и излучённого частей спектра. Это определяет возможность привлечения для прогноза и поиска полезных ископаемых на базе многозональных космических съёмок тех методов, которые были разработаны для выделения геофизических аномалий на фоне помех.

В связи с изложенным нами на примере Радужного золоторудного месторождения (Кабардино-Балкарская республика) опробована предлагаемая ниже технология выявления аномальных эффектов, обусловленных наличием полезного ископаемого в недрах.

Материал и методы

В качестве анализируемых материалов в настоящем исследовании использованы цифровые снимки, полученные с космического аппарата Ландсат-7 (Landsat-7). Комплект этих снимков для одного и того же участка местности (сцена) включает в себя изображения, полученные в семи различных спектральных диапазонах (табл. 1). Первые три зоны являются результатом подразделения видимой части электромагнитного спектра, а четыре остальных относятся к невидимой (тепловой) части. При этом изображения в шести первых зонах связаны с отражением солнечного излучения, а в дальней тепловой зоне находит отображение также и излучение недр Земли.

Таблица 1 / Table 1

**Параметры сцены космической съемки спутника Landsat-7 ETM+ /
Parameters of the space survey scene of the Landsat-7 ETM**

Спектральные зоны/ Spectral zones		Диапазоны спектральных каналов, мкм/ Spectral channel ranges, mcm	Пространственное разрешение, м/ Spatial resolution, m
Видимые/ Visible	голубая/ blue	0,45–0,52	30
	зеленая/ green	0,52–0,6	30
	красная/ red	0,63–0,69	30
Ближняя инфракрасная/ Near infrared		0,76–0,9	30
Средняя инфракрасная/ Medium infrared		1,55–1,75	30
		2,08–2,35	30
Дальняя Инфракрасная/ Far infrared		10,42–12,5	60
Панхроматическая/ Panchromatic		0,52–0,9	15

Аномалии фототона, обусловленные глубинными факторами и как бы наложенные на фотохарактеристики ландшафта, рассматриваются в качестве полезной информации. Одной из главных задач прогнозирования по космическим снимкам является подбор таких математических преобразований изображений земной поверхности, которые бы обеспечили надёжное гашение ландшафтных помех и усиление аномального эффекта над рудными телами. С этой целью можно применять оценку динамики ландшафта по временным рядам с использованием ежегодных спутниковых снимков и пространственного статистического моделирования, например [Fan et al., 2017], обнаружение изменений во временных рядах спутниковых изображений с помощью спектрального анализа, например [Ghaderpour, Vujadinovic, 2020] и множество других процедур. В основу используемой нами технологии заложены математические процедуры, которые позволяют погасить ландшафтные помехи и адаптировать алгоритм обработки информации к изменению свойств аномалий и «помех» и осуществлять анализ и оценку свойств аномалий в процессе самой обработки.

Саму технологию обработки можно подразделить на три основных этапа.

Предварительный этап включает в основном коррекцию площадной привязки снимков, существенное снижение влияния такой яркой помехи как различие в изображении участков освещенных солнцем и находящихся в тени (гашение помехи

«свет-тень»), а также факторный анализ. При этом формируется понятийная модель, подготавливается массив исходных данных, создается числовой массив признаков, описывающих с регулярным шагом всю исследуемую площадь, осуществляется факторный анализ и выбор наиболее информативных факторов.

Для равнинных регионов космоснимки достаточно надежно привязаны к системе координат и не требуют дополнительной коррекции. Однако на снимках горных районов плановое положение гидросети существенно различается в сравнении с данными топографических карт. Поэтому необходима коррекция, которая должна обеспечить точное соответствие друг другу всех снимков в разных спектральных зонах. Такая коррекция осуществлялась нами с помощью программных комплексов ГИС ИНТЕГРО и ArcGis.

Особенности геологического пространства, связанные с эндогенными, в т.ч. рудообразующими процессами, влияют на газово-геохимическую среду почвенного слоя, обуславливая различную яркость окраски растительности. Однако экзогенные факторы в еще большей степени изменяют отражательную способность территории, маскируя влияние эндогенных процессов. В условиях высокогорных районов со значительной расчлененностью рельефа наблюдаются резкие изменения локальных ландшафтов, что также обусловлено экзогенными факторами. Поэтому требуется определиться через понятийную модель с составом двух групп компонент (экзогенных и эндогенных), определяющих отражательную способность ландшафтов и по возможности отбраковать как можно больше экзогенных факторов.

В условиях горного резко расчлененного рельефа различия участков освещенных и затененных очень существенны. Поэтому гашение этой помехи («свет-тень») важно для последующих преобразований. Снижающим влияние этой помехи в изображении ландшафта, является нормирование признаков освещенностью. При этом уменьшается дисперсия признаков (табл. 2), а также корреляция признаков с освещенностью. Таким образом, происходит гашение помехи. В других случаях для решения подобной задачи использовано нахождение медианных значений в пределах скользящей самоадаптирующейся (по размерам и форме) площадки.

Таблица 2 / Table 2

**Значения дисперсии признаков до и после нормирования освещенностью/
Values of the variance of features before and after normalization by illumination**

Спектральный диапазон/ Spectral range	Дисперсия признака/ Feature variance	
	до нормирования освещенностью/ before light rationing	после нормирования освещенностью/ after rationing by luminosity
0.45–0.52 (синий–голубой)/(blue–blue)	1.00051	0.05682
0.52–0.6 (зеленый–желтый)/(green–yellow)	0.99957	0.0555
0.63–0.69 (красный)/(red)	1.00001	0.0571
0.76–0.9 (ближний ИК)/(near infrared)	0.99983	0.05997
1.55–1.75 (коротковолновый средний ИК)/ (shortwave medium IR)	1.00018	0.05643
10.42–12.5 (дальний ИК)/(far infrared)	1.00066	0.07066
2.08–2.35 (длинноволновый средний ИК)/ (long-wavelength medium IR)	1.00034	0.05759

Главной задачей факторного анализа в данном исследовании являлось гашение остальной части ландшафтных помех. При этом первый фактор интерпретируется как максимально обусловленный естественными экзогенными составляющими ландшафта в пределах исследуемой площади. В некоторых случаях появляется возможность рассматривать достаточно надежно и несколько последующих факторов, как обусловленных экзогенными процессами. Остальные факторы рассматриваются как косвенные признаки, содержащие, в том числе, и информацию о ландшафтной аномалии, вызванной наличием рудного тела. Такую аномалию предлагается называть «рудопroduцируемая ландшафтная аномалия» (РПЛА).

После этого формируется окончательный массив признаков для описания особенностей отражательной способности ландшафтов, путем тщательно отбора самых важных из них.

Изначально признаковое пространство характеризуется анизотропией в различных направлениях. Метод главных компонент позволяет спроектировать это пространство на новые оси (главные компоненты), которые оптимально адаптированы к анизотропии этого пространства. Спроектированные значения фактора являются линейной комбинацией исходных признаков с коэффициентами, которые можно рассматривать как веса, с которыми признаки вошли в фактор.

Следующим этапом преобразования космоснимков является тематическая обработка, основой которой является кластерный анализ, так как требуется учесть множество косвенных параметров, не связанных непосредственно с прямыми признаками оруденения.

Кластерный анализ используется в связи с тем, что необходимо выполнить районирование площади (осуществить классификацию элементарных площадок) по множеству признаков. Построение кластеров (групп, классов, районов) является эффективным способом представления сложных, многомерных соотношений между объектами. При решении задачи кластеризации изучаемая площадь должна быть подразделена на множество элементарных площадок, каждая из которых описана набором признаков. Согласно этому требованию было использовано исходное разбиение изображений соответственно разрешению снимков. Конечным результатом анализа является определение принадлежности элементарных площадок к определенным типам из общего набора выделенных здесь кластеров.

Результаты и обсуждение

Объектом прогнозирования являлись золоторудные тела Радужного рудного поля. Рудное поле входит в состав Безенгийского рудного района в пределах Кабардино-Балкарской республики. Район приурочен к так называемой Северной впадине, сформировавшейся в ранне-среднеюрское время на границе горст-антиклинория Главного хребта и моноклинали Скалистого хребта. Фундаментом впадины является денудированная поверхность протерозойских метаморфических и палеозойских интрузивных образований. Сама впадина выполнена юрскими осадочными, эффузивными и субвулканическими образованиями.

Рельеф территории представляет собой сочетание сравнительно мягких, выложенных форм и резко расчлененных участков. Выделяются три типа рельефа. Первый связан с вулканическими массивами, метаморфическими и интрузивными породами и представлен относительно крутыми склонами хребтов под горно-лу-

говой разнотравной альпийской растительностью. Второй – с тектоническими понижениями, выполненными осадочными породами. Он характеризуется округлыми вершинными поверхностями и пологими склонами хребтов под горно-луговой субальпийской растительностью занятой пастбищами. Третий – с речной долиной р. Черек Хуламский (Безенгийский). Он представлен днищем троговой долины, заполненной моренными, флювиогляциальными, селевыми и аллювиальными отложениями, под березовыми лесами и злаково-разнотравными лугами. Абсолютные отметки колеблются от 1300 до 2800 м, относительные превышения водоразделов над долинами варьируют в пределах от 500 до 1000 м. Склоны рек, ручьев и балок круты, обрывисты, часто заняты осыпями и труднопроходимы. Пологие участки характеризуются заболоченностью.

В пределах Радужного месторождения продуктивная минерализация распространена в углеродистых терригенных отложениях нижней–средней юры. Основные запасы золота сосредоточены в Первой рудной зоне, где представлены пологой субпластовой залежью, расположенной в 10–30 м выше кровли гранитов, размером 450–500 м на 200–300 м в плане, вытянутой в северо-восточном направлении, с падением под углом 25–30° при мощности 15–30 м. Залежь содержит золотосульфидную минерализацию прожилково-вкрапленного минерально-морфологического типа.

Всесторонняя характеристика месторождения приведена в работах [Парада, 2017; Газеев и др., 2019; Кайгородова и др., 2022 и др.]. Следуя типизации [Wang et al., 2019] месторождение можно отнести к эпитермальным объектам **кислотно-сульфатного (высокосульфидизированного) генетического типа**. Содержание золота в рудах от 0,5–1 г/т до 440,3 г/т, серебра от 10–15 г/т до 10570,9 г/т.

В качестве исходных данных для прогнозирования взяты цифровые космоснимки с американского спутника Ландсат-7, выполненные в семи зонах спектра по нескольким годам (август 1999, июнь 2000, сентябрь 2002, май 2003 года) и цифровая модель рельефа SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Исходные снимки охватывают большую площадь (порядка 32 000 км²), поэтому средствами комплекса ArcGis получены соответствующие фрагменты для исследуемой площади. Так как снимки координированы в системе UTM, то имеющаяся геологическая информация (геологические карты и разрезы) также приведена к этой системе координат. Математическая обработка осуществлялась в среде ГИС ИНТЕГРО.

Массив признаков для описания особенностей отражательной способности ландшафтов, созданный путем тщательного отбора самых важных из них, включает 29 характеристик: 1 – положение в шкале высотной поясности; 2 – принадлежность к относительно крупным сложным формам рельефа со специфическими ландшафтами типа речных долин, выположенных площадей столовых гор и куэст, протяженных участков склонов и т.п.; 3 – принадлежность к локальному рельефу простых мелких форм; 4 – уклон земной поверхности; 5 – ориентация склонов относительно сторон света; 6 – фактическая освещенность (помеха «свет-тень»); 7 – изображения местности на космоснимках 1999 г. в семи различных спектрах (см. табл. 1). Еще 16 признаков – это различия изображений на космоснимках для периодов весна–лето и лето–осень (табл. 3).

Таблица 3 / Table 3

Признаки разностей фототона космических снимков, нормированных освещенностью и дисперсией, в разные вегетационные периоды:

а – август 1999, и – июнь 2000, с – сентябрь 2002, м – май 2003 /

Signs of differences in the phototone of space photographs, normalized

by illumination and dispersion, in different vegetation periods:

a – August 1999, j – June 2000, s – September 2002, m – May 2003

№ признака/ No. of the attribute	№ спектральной зоны/ No. of the spectral zone	Период/ Period
1	10	ис/ js
2	20	ис/ js
3	30	ис/ js
4	50	ис/ js
5	70	ис/ js
6	40	ис/ js
7	61	ис/ js
8	62	ис/ js
9	10	ам/ am
10	20	ам/ am
11	30	ам/ am
12	50	ам/ am
13	70	ам/ am
14	40	ам/ am
15	61	ам/ am
16	62	ам/ am

В результате факторного анализа в среде ГИС ИНТЕГРО 29 признаков (исходных параметров) сведены до 15 факторов.

Для кластеризации отбирались эндогенные факторы. Подразделение полученных 15 факторов на эндогенные и экзогенные осуществлялось визуально по весам (коэффициентам) исходных признаков на эти факторы путем последовательного визуального анализа графа и таблицы, отображающих их связи с конкретными природными объектами. При этом ключом для определения природы (смысла) фактора являлся высокий вес признака. В результате в качестве значимых принято 11 факторов, которые обусловлены эндогенными, в т.ч. рудообразующими процессами. На их основе и осуществлен кластерный анализ в среде ГИС ИНТЕГРО.

В результате кластеризации отобранных 11 факторов получено 83 типа элементарных площадок. Площадь эталонного объекта (рудного тела, выделенного по результатам геологической разведки) подразделяется по этим данным на 2 типа (рис. 1).

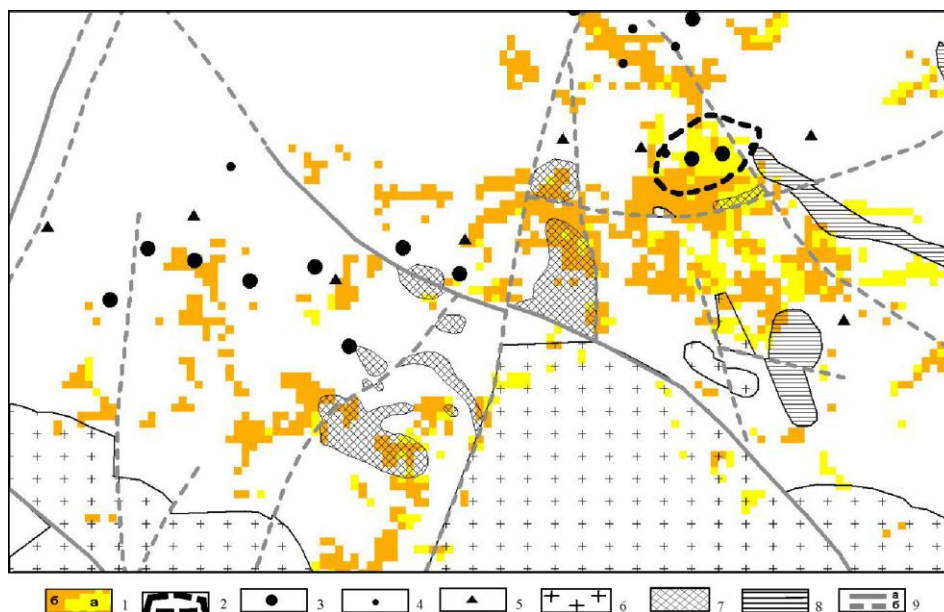


Рис. 1. Схематизированная карта локального прогноза золоторудных тел в пределах Радужного месторождения на геологической основе по результатам кластер-анализа космических снимков (размер элементарной площадки 30х30 м). Составили Д.Б.Давыденко, С.Г.Парада. 1 – площади (кластеры), перспективные по результатам кластер-анализа на обнаружение золотого оруденения с относительно богатыми (а) и относительно бедными (б) рудами; 2 – контур проекции Первой рудной залежи на дневную поверхность (эталон); 3–5 – скважины с различным содержанием золота: 3 – от 1 до 10 г/т, 4 – от 0.3 до 1 г/т, 5 – менее 0.3 г/т; 6 – палеозойские граниты; 7–8 – юрский вулканический комплекс: 7 – риолиты; 8 – трахиты; 9 – разломы установленные (а) и предполагаемые (б)/

Fig. 1. A schematized map of the local forecast of gold ore bodies within the Raduzhnoye deposit on a geological basis based on the results of a cluster analysis of satellite images (the size of the elementary site is 30x30m). Compiled by D.B.Davydenko and S.G.Parada. 1 – areas (clusters) promising according to the results of cluster analysis for the detection of gold mineralization with relatively rich (a) and relatively poor (b) ores; 2 – contour projection of the First ore deposit on the day surface (standard); 3–5 – wells with different gold content: 3 – from 1 to 10 g/t, 4 – from 0.3 to 1 g/t, 5 – less than 0.3 g/t; 6 – Paleozoic granites; 7–8 – Jurassic volcanic complex: 7 – rhyolites; 8 – trachytes; 9 – faults identified (a) and suspected (b)

Эти же типы, полученные в результате расчетов (кластеризации) за пределами рудного тела рассматриваются нами в качестве потенциальных золоторудных объектов на прилегающих площадях.

Заключение

Разработаны основы оригинальной технологии выявления аномального эффекта над рудными телами, в соответствии с которой получение спектрозональных характеристик космических снимков рассматривается как своеобразный геофизический метод исследования земных недр. Обращено внимание на то, что такие снимки фиксируют электромагнитные колебания в интервалах отражённого и излучённого частей спектра. Это определило использование методов, применяемых для выделения геофизических аномалий на фоне помех.

Применение технологии в пределах рудного поля месторождения золота Радужное (Кабардино-Балкарская республика) показало довольно высокую эффективность. Она обеспечила надёжное гашение ландшафтных помех и усиление ано-

мального эффекта, обусловленного наличием, не выходящих на дневную поверхность золотоносных минерализаций.

Ранее выявленное по результатам геологической разведки Первое рудное тело, использованное в качестве эталонного объекта, отчетливо проявилось в двух из 83 типов элементарных площадок, полученных при кластерном анализе. Площади распространения этих двух типов за пределами эталонной рудной залежи предлагается рассматривать в качестве признака локализации в недрах новых золотоносных минерализаций.

Литература

1. Абушкевич С.А., Волин К.А. Поиски золоторудных объектов на основе спектральных Характеристик космических снимков landsat и Worldview-1 (месторождения Сентачан и Полярник, Республика Саха). // Вестник СПбГУ. Сер. 7. – 2014. – Вып. 2. – С. 82–92.
2. Архипов А.И., Есипович С.М., Каушал А., Ковальчук С.П., Попов М.А., Станкевич С.А., Титаренко О.В. Уточнение границ залежей углеводородов на основе геоинформационного анализа материалов многоспектральной космической съемки и геолого-геофизических данных. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2011. – Т. 8. № 2. – С. 121–29.
3. Аэрокосмические методы геологических исследований. / Под ред. А.В. Перцова. – СПб.: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2000. – 316 с.
4. Бусыгин Б.С., Никулин С.Л. Комплексирование аэрокосмических и геолого-геофизических материалов при прогнозировании золоторудной минерализации. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2009. – Т. 6. № 2. – С. 17–23.
5. Бусыгин Б.С., Никулин С.Л., Свистун В.К. Геоинформационная технология прогноза скоплений метана в пределах шахтных полей Центрального Донбасса. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9. № 3. – С. 237–245.
6. Газеев В.М., Гурбанов А.Г., Кондрашов И.А. Мезозойские субщелочные породы центральной части Северного Кавказа: геодинамическая типизация, геохимия и минерогения. // Геология и геофизика Юга России. – 2019. – Т. 9. № 3. – С. 48–62. DOI: 10.23671/VNC.2019.3.36479.
7. Горный В.И., Тронин А.А. Обзор достижений последнего десятилетия в области применения спутниковых методов дистанционного зондирования при геологических и геофизических исследованиях. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9. № 5. – С. 116–32.
8. Давыденко Д.Б. Возможности применения математического анализа космоснимков при прогнозировании месторождений золота на площадях Восточного Донбасса. // Геология и геофизика Юга России. – 2016. – № 3. – С. 23–37.
9. Дэвис Дж. С. Статистический анализ данных в геологии. Кн. 1. – М.: Недра, 1990. – 319 с.
10. Кайгородова Е.Н., Чугаев А.В., Лебедев В.А., Садасюк А.С., Гареев Б.И., Баталин Г.А. Ау-сульфидное месторождение Радужное (Северный Кавказ): геологическое строение, минералогические особенности и источники вещества. // Геология рудных месторождений. – 2022. – Т. 64. № 5. – С. 423–450. DOI: 10.31857/S0016777022040037.
11. Матишов Г.Г., Парада С.Г., Давыденко Д.Б. Выбор рудоперспективных площадей по результатам дистанционной флюидоиндексации как фактор рационального недропользования в условиях горных территорий. // Устойчивое развитие горных территорий. – 2010. – № 3(5). – С. 57–62.
12. Парада С.Г. Перспективные типы месторождений и рудопроявлений золота Юга России. // Геология и геофизика Юга России. – 2017. – № 1. – С. 57–72. DOI: 10.23671/VNC.2017.1.9479.

13. Серокуров Ю.Н. Дистанционный прогноз проявлений кимберлитового магматизма в Южной Африке. // Отечественная геология. – 2013. – № 1. – С. 24–29.
14. Трифонов В.Г. 30 лет геологических исследований с помощью космических средств: тенденции, достижения, перспективы. // Исследования Земли из космоса. – 2010. – № 1. – С. 27–39.
15. Fan C., Myint S.W., Rey S.J. et al. Time series evaluation of landscape dynamics using annual Landsat imagery and spatial statistical modeling: Evidence from the Phoenix metropolitan region. // Intern. J. Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2017. – Vol. 58. – pp. 12–25. DOI: 10.1016/j.jag.2017.01.009.
16. Ghaderpour E., Vujadinovic T. Change detection within remotely sensed satellite image time series via spectral analysis. // Remote Sensing. – 2020. – Vol. 12. No. 23. Art. No. 4001. DOI: 10.3390/rs12234001.
17. Liu X., Wang M., Zhang Ju., Wang Y., Yang Ju., Cheng J. Short-wave infrared spectroscopy studies on hydrothermal minerals for exploration of The Jiaoxi w deposit, Tibet, China. // Ore geology reviews. – 2025. – Vol. 176. Art. No. 106397. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2024.106397.
18. Milovsky G.A., Aparin A.D. Large-scale forecasting of gold mineralization in the central part of the Chukchi peninsula based on multizone satellite imagery of “Resource-P” (Geotone) and Landsat-7. // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. – 2022. – Vol. 58. No. 12. – pp. 1581–1590. DOI: 10.1134/s0001433822120155.
19. Milovsky G.A., Aparin A.D., Ibragimov A.R., Tyukova E.E. Application of earth remote sensing materials to refine the gold deposit location within the Novogodnensk ore field in The Polar Urals. // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. – 2024. – Vol. 60. No. 9. – pp. 1137–1146. DOI: 10.1134/S0001433824701093.
20. Wang K., Zhang L., Tiejian Li., Xiang Li., Biyun G., Guoxin Ch., Yuefei H. and Jiahua W. Side Tributary distribution of quasi-uniform iterative binary tree. Networks for River Networks. // Frontiers in Environmental Science. – 2022. – Vol. 9. Art. No. 792289. DOI: 10.3389/fenvs.2021.792289.
21. Wang L., Qin K-Z., Song G-X., Li G-M. A review of intermediate sulfidation epithermal deposits and subclassification. // Ore Geology Reviews. – 2019. – Vol. 107. – pp. 434–456.
22. Zhang X. Lithologic and mineral information extraction for gold exploration using ASTER data in the south Chocolate Mountains (California). // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2007. – Vol. 62. No. 4. – pp. 271–282.

References

1. Abushkevich S.A., Volin K.A. Prospecting for gold ore objects based on spectral Characteristics of landsat and Worldview-1 satellite images (Sentachan and Polyarnik deposits, Sakha Republic). Bulletin of Saint Petersburg State University. Ser. 7. 2014. Issue 2. pp. 82–92. (In Russ.)
2. Arkhipov A.I., Esipovich S.M., Kaushal A., Kovalchuk S.P., Popov M.A., Stankevich S.A., Titarenko O.V. Hydrocarbon deposit boundaries alignment using geoinformation analysis of multispectral space imagery and geological and geophysical data. Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa. 2011. Vol. 8. No. 2. pp. 121–29. (In Russ.)
3. Aerospace methods of geological research. Ed. A.V. Pertsov. Saint Petersburg. Publishing house of Saint Petersburg kartfabriki VSEGEI. 2000. 316 p. (In Russ.)
4. Busygin B.S., Nikulin S.L. Integration of aerospace and geological and geophysical materials in predicting gold mineralization. Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa. 2009. Vol. 6. No. 2. pp. 17–23. (In Russ.)
5. Busygin B.S., Nikulin S.L., Svistun V.K. Geoinformation technology for forecasting methane accumulations within the Donetsk basin mine fields. Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa. 2012. Vol. 9. No. 3. pp. 237–245. (In Russ.)
6. Gazeev V.M., Gurbanov A.G., Kondrashov I.A. Mesozoic subalkaline rocks of Central part of the Northern Caucasus: geodynamical typification, geochemistry and minerageny. Geology and

Geophysics of Russian South. 2019. Vol. 9. No. 3. pp. 47–62. DOI: 10.23671/VNC.2019.3.36479. (In Russ.)

7. Gornyy V.I., Tronin A.A. Review of the last decade major achievements of remote sensing methods application on the geological & geophysical problems solution. *Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*. 2012. Vol. 9. No. 5. pp. 116–32. (In Russ.)

8. Davydenko D.B. Possibilities of using mathematical analysis of space images at prediction of deposits of gold at the areas of Eastern Donbas. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2016. No. 3. pp. 23–37. (In Russ.)

9. Davis J.S. Statistical data analysis in geology. Book 1. Moscow. Nedra. 1990. 319 p. (In Russ.)

10. Kaigorodova E.N., Chugaev A.V., Lebedev V.A., Sadasyuk A.S., Gareev B.I., Batalin G.A. The Raduzhnoe au–sulfide deposit (Northern Caucasus): geological settings, mineralogy, and sources of metals. *Geology of Ore Deposits*. 2022. Vol. 64. No. 5. pp. 423–450. DOI: 10.31857/S0016777022040037. (In Russ.)

11. Matishov G.G., Parada S.G., Davydenko D.B. The choice of ore-promising areas based on the results of remote fluidindexation as a factor of rational subsurface use in mountainous areas. *Sustainable Development of Mountainous Territories*. 2010. No. 3(5). pp. 57–62. (In Russ.)

12. Parada S.G. Promising types of gold deposits and ore manifestations of Russian South. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2017. No. 1. pp. 57–72. DOI: 10.23671/VNC.2017.1.9479. (In Russ.)

13. Serokurov Yu.N. Remote prediction of kimberlite magmatism in South Africa. *Otechestvennaya Geologiya*. 2013. No. 1. pp. 24–29. (In Russ.)

14. Trifonov V.G. 30 years of geological research using space facilities: trends, achievements, prospects. *Earth Research from Space*. 2010. No. 1. pp. 27–39. (In Russ.)

15. Fan C., Myint S.W., Rey S.J. et al. Time series evaluation of landscape dynamics using annual Landsat imagery and spatial statistical modeling: Evidence from the Phoenix metropolitan region. *Intern. J. Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2017. Vol. 58. pp. 12–25. DOI: 10.1016/j.jag.2017.01.009.

16. Ghaderpour E., Vujadinovic T. Change detection within remotely sensed satellite image time series via spectral analysis. *Remote Sensing*. 2020. Vol. 12. No. 23. Art. No. 4001. DOI: 10.3390/rs12234001.

17. Liu X., Wang M., Zhang Ju., Wang Y., Yang Ju., Cheng J. Short-wave infrared spectroscopy studies on hydrothermal minerals for exploration of The Jiaoxi w deposit, Tibet, China. *Ore geology reviews*. 2025. Vol. 176. Art. No. 106397. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2024.106397.

18. Milovsky G.A., Aparin A.D. Large-scale forecasting of gold mineralization in the central part of the Chukchi peninsula based on multizone satellite imagery of “Resource-P” (Geotone) and Landsat-7. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2022. Vol. 58. No. 12. pp. 1581–1590. DOI: 10.1134/s0001433822120155.

19. Milovsky G.A., Aparin A.D., Ibragimov A.R., Tyukova E.E. Application of earth remote sensing materials to refine the gold deposit location within the Novogodnensk ore field in The Polar Urals. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2024. Vol. 60. No. 9. pp. 1137–1146. DOI: 10.1134/S0001433824701093.

20. Wang K., Zhang L., Tiejian Li., Xiang Li., Biyun G., Guoxin Ch., Yuefei H. and Jiahua W. Side Tributary distribution of quasi-uniform iterative binary tree. *Networks for River Networks*. *Frontiers in Environmental Science*. 2022. Vol. 9. Art. No. 792289. DOI: 10.3389/fenvs.2021.792289.

21. Wang L., Qin K-Z., Song G-X., Li G-M. A review of intermediate sulfidation epithermal deposits and subclassification. *Ore Geology Reviews*. 2019. Vol. 107. pp. 434–456.

22. Zhang X. Lithologic and mineral information extraction for gold exploration using ASTER data in the south Chocolate Mountains (California). *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2007. Vol. 62. No. 4. pp. 271–282.