

УДК: 550.8

DOI: 10.46698/h5824-2216-9804-y

Оригинальная статья

Применение метода дистанционной флюидоиндексации для прогноза и поисков эндогенного оруденения

С.Г. Парада¹, Д.Б. Давыденко², К.Ю. Гамбург²

¹ Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН, Россия, 362002, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: segripa@rambler.ru;

² Южный научный центр Российской академии наук, Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, e-mail: maurmar@yandex.ru

Статья поступила: 17.10.2025, доработана: 27.11.2025, принята к публикации: 01.12.2025

Резюме: Актуальность обусловлена необходимостью разработки новых методов прогноза и поисков, не выходящих на земную поверхность рудных полезных ископаемых, особенно в труднодоступных районах. **Цель.** Определить возможность использования метода дистанционной флюидоиндексации (МДФ), разработанного для обнаружения углеводородных скоплений, в районах проявления эндогенного оруденения металлов. **Материал и методы.** Основу МДФ составляют авторские алгоритмы математических преобразований спектральных космических снимков, приводящих к избавлению от ландшафтных помех и усилению полезного сигнала от эндогенных рудных объектов путем суммирования аномальных эффектов, полученных в различных спектральных диапазонах. Значения яркости в каждой зоне спектра рассматриваются в качестве отдельных факторов, сумма которых связана с интенсивностью насыщения почвенно-растительного слоя углеводородными газами (легкими и (или) тяжелыми). Степень насыщения обозначается индексом флюидонасыщения легкими или тяжелыми углеводородами (ИФЛ или ИФТ). Многофакторность получаемых материалов обеспечивает возможность решения задачи выделения эндогенных аномалий на фоне ландшафтных помех. Используются цифровые снимки с американского спутника Landsat 7, сделанные в разные годы. **Результаты.** Полученные аномалии ИФЛ в исследуемых районах, согласно результатам поисковых работ и металлогенических исследований, интерпретируются как обусловленные ареалами эндогенной флюидизации верхних горизонтов литосферы, связанных с возникновением и эволюцией рудно-магматических систем. Применение технологии МДФ позволило установить признаки современной флюидоактивности юрских рудно-магматических систем Донецкого складчатого сооружения (ДСС) и связанных с ними золоторудных минерализаций. Показано, что появление метановых аномалий, обнаруженных с помощью МДФ, обусловлено взаимодействием водорода с углеродом угольных пластов в условиях высоких температур. Применение МДФ в пределах Тырныаузского рудного узла позволило установить признаки современной флюидоактивности плиоцен-зоплейстоценовой рудно-магматической системы. Показано, что контур наиболее обширной и наиболее интенсивной аномалии ИФЛ совпадает с проекцией гипоцентральной области, выявленного по геофизическим данным магматического очага. Именно на пути водородсодержащего флюидопотока, при взаимодействии с карбонатными породами в условиях высоких температур, сформировалось наибольшее количество шеелитовых руд. При термическом разложении карбонатов углекислота взаимодействовала с водородом, образуя метан. Таким образом, подтверждена возможность использования МДФ для прогноза и поисков эндогенного оруденения.

Ключевые слова: поиски полезных ископаемых, золото, спектральные космические снимки, метод дистанционной флюидоиндексации, водород, метан, Донбасс, Тырныауз.

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

Для цитирования: Парада С.Г., Давыденко Д.Б., Гамбург К.Ю. Применение метода дистанционной флюидоиндексации для прогноза и поисков эндогенного оруденения. *Геология и геофизика Юга России*. 2025. 15(4): 112–121. DOI: 10.46698/h5824-2216-9804-y

DOI: 10.46698/h5824-2216-9804-y

Original paper

Application of the remote fluid indexing method for forecasting and prospecting for endogenous mineralization

S.G. Parada¹, D.B. Davydenko², K.Yu. Gamburg²

¹Geophysical Institute, Vladikavkaz Scientific Center, Russian Academy of Sciences, 93a Markova Str., Vladikavkaz, 362002, Russian Federation, e-mail: segripa@rambler.ru;

²Southern Scientific Center, Russian Academy of Sciences, 41 Chekhov Ave., Rostov-on-Don, 344006, Russian Federation, e-mail: maurmar@yandex.ru

Received: 17.10.2025, revised: 27.11.2025, accepted: 01.12.2025

Abstract: The relevance is due to the need to develop new methods for forecasting and prospecting concealed (blind) ore deposits, especially in hard-to-reach regions. **Aim.** To determine the possibility of using the remote fluid indexing (RFI) method, developed to detect hydrocarbon accumulations in areas of endogenous metal mineralization. **Materials and methods.** The core of the RFI method is based on the author's algorithms for mathematical transformations of spectral satellite images. These algorithms aim to eliminate landscape noise and amplify the useful signal from endogenous ore objects by summing anomalous effects obtained in various spectral ranges. The brightness values in each zone of the spectrum are considered as separate factors, the sum of which is related to the intensity of saturation of the soil and vegetation layer with hydrocarbon gases (light and (or) heavy). The degree of saturation is indicated by the index of fluid saturation with light or heavy hydrocarbons (IFL or IFH). The multifactorial nature of the obtained materials makes it possible to solve the problem of identifying endogenous anomalies against the background of landscape interference. Digital images from the American Landsat 7 satellite taken in different years are used. **Results.** The obtained IFL anomalies in the studied areas, according to the results of prospecting and metallogenic studies, are interpreted as being caused by areas of endogenous fluidization of the upper horizons of the lithosphere associated with the emergence and evolution of ore-magmatic systems. The use of RFI technology has made it possible to establish signs of modern fluid activity of the Jurassic ore-magmatic systems of the Donetsk Folded Structure (DFS) and associated gold mineralization. It is shown that the appearance of methane anomalies detected by RFI is due to the interaction of hydrogen with carbon from coal seams at high temperatures. The use of RFI within the Tyrnyauz ore node revealed signs of modern fluid activity of the Pliocene-Eopleistocene ore-magmatic system. It is shown that the contour of the most extensive and most intense IFL anomaly coincides with the projection of the hypocentral region identified by the geophysical data of the magmatic hearth. It was on the path of the hydrogen-containing fluid flow, when interacting with carbonate rocks at high temperatures, that the largest amount of scheelite ores was formed. During the thermal decomposition of carbonates, carbonic acid reacted with hydrogen to form methane. Thus, the feasibility of using the RFI method for forecasting and prospecting endogenous mineralization has been confirmed.

Keywords: mineral prospecting, gold, spectrozonal satellite images, remote fluid indexing method, hydrogen, methane, Donbass, Tyrnyauz.

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

For citation: Parada S.G., Davydenko D.B., Hamburg K.Yu. Application of the remote fluid indexing method for forecasting and prospecting for endogenous mineralization. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South.* (in Russ.). 2025. 15(4): 112–121. DOI: 10.46698/h5824-2216-9804-y

Введение

На поисковое значение природных газов в рудных месторождениях исследователи стали обращать внимание с начала прошлого века. Проявления метана отмечались в железных, свинцовых, апатитовых, золотых и полиметаллических рудниках, а также при разработке некоторых россыпных месторождений. Общеизвестно, что многие эндогенные месторождения тяготеют к зонам повышенной флюидизации земной коры. По представлениям петрологов, дегазация ядра и мантии Земли может приводить к выносу металлов вместе с потоками водорода. Предполагается, что именно сосредоточенные потоки водорода, несущие в своем составе металлы, приводят к зарождению и эволюции рудно-магматических систем, появлению рудных районов, рудных узлов и рудных полей [Letnikov, 2001; Летников, 2006; Sun et al., 2012; Шестопапов, Макаренко, 2013, 2014].

Поскольку водород весьма подвижен, то следы его самого в пределах этих рудных объектов, скорее всего не будут обнаружены. Однако, в геодинамической обстановке сжатия земной коры создаются условия, препятствующие потере водорода из восходящих флюидных потоков, вследствие чего они приобретают способность генерировать углеводороды ($8\text{H}_2 + 2\text{CO} = 2\text{H}_2\text{O} + \text{CH}_4 + \text{C}$) и создавать при охлаждении нефтяные и газовые залежи [Маракушев, Русинов, 2005; Маракушев, Маракушев, 2008]. В иных геодинамических обстановках в случае потока через углеродсодержащую среду водород может взаимодействовать с углеродом и при определенных термодинамических и (или) физико-химических условиях будет образовываться метан и другие углеводородные соединения, менее подвижные, чем водород. Поэтому в пределах рудных районов, рудных узлов и рудных полей, где развиты углеродсодержащие и (или) карбонатные породы следует ожидать проявления углеводородных (прежде всего метановых) аномалий. В таком случае появляется теоретическая основа применения методов прогнозирования и поисков рудных объектов, разработанных для прогноза и поисков углеводородного сырья.

Одним из таких методов является метод дистанционной флюидоиндексации (МДФ), опыт применения которого изложен в публикациях [Давыденко, Финкельштейн, 2004; Матишов и др., 2010; и др.].

Материал и методы

МДФ, используя комплекс математических преобразований спектрзональных космических снимков, ориентирован на гашение ландшафтных помех и выявление оптического эффекта, обусловленного углеводородными аномалиями. Значения яркости в каждой зоне спектра рассматриваются нами в качестве отдельных факторов. Многофакторность получаемых материалов обеспечивает возможность решения поставленной задачи выделения эндогенных аномалий на фоне ландшафтных помех.

В качестве исходных данных использованы цифровые космические снимки с американского спутника Landsat 7, выполненные в семи зонах спектра в разные годы. Математическая обработка спектрзональных спутниковых снимков осуществлялась в среде ГИС ИНТЕГРО, разработанной ВНИИ ГЕОСИСТЕМ для обработки исходной геофизической информации и разделения её на составляющие разного порядка.

Технология МДФ подразделяется на два основных блока. Первый предназначен для решения задачи гашения ландшафтных помех, обусловленных экзогенными факторами, второй – для выделения собственно эндогенных аномалий после ис-

ключения «ландшафтных» помех. Схема решения первой задачи достаточно сложна и зависит от конкретных ландшафтных особенностей исследуемой площади.

Процедура снятия помех на примере базовой модели состоит в следующем. Пусть две площадки засняты в соседних зонах спектра. Значения разности фототона этих двух снимков (в одних и тех же точках площади) в случае отсутствия углеводородной аномалии (УВА), продуцируемой углеводородными газами, на первой площадке существенно меньше (близки к некоторой константе или ниже ее), чем в случае наличия УВА в пределах второй площадки, где значения разности выше этой константы. Это и обуславливает появление аномальных значений индекса флюидонасыщения во второй точке. Эта модель является основным элементом вычислительных модулей, комбинируемых (с учетом многофакторности используемой информации) для создания поля поправок – «ландшафтной маски».

По результатам фильтрации «ландшафтных» помех получаем массивы данных, в которых вклад эндогенных факторов в соответствующих спектральных зонах более значим. Однако в этом массиве еще сохраняются остаточные «ландшафтные» помехи (шум). Дальнейшее гашение шума и усиление полезного сигнала (второй этап преобразования исходной информации) осуществляется с привлечением формальных статистических методов, используемых в геофизике для выделения аномалий на уровне помех. Вычисляемый окончательно параметр назван индексом флюидонасыщения – ИФ. При прогнозировании залежей углеводородов он рассчитывается отдельно для газовых (легких) фракций (ИФЛ) и отдельно для жидких (тяжелых) фракций (ИФТ). То же самое можно делать при прогнозе рудных образований.

Результаты и обсуждение

В результате исследований нефтегазоносных районов Юга России, с целью прогноза углеводородного сырья на основе МДФ, проявились относительно крупные аномалии лёгких углеводородов на участках Донецкого складчатого сооружения (ДСС), в пределах которых нет, и не может быть залежей углеводородов. Объяснения такому феномену в то время не было найдено. К настоящему времени проведено сопоставление выявленных аномалий с результатами поисковых работ на золото в ДСС (рис. 1).

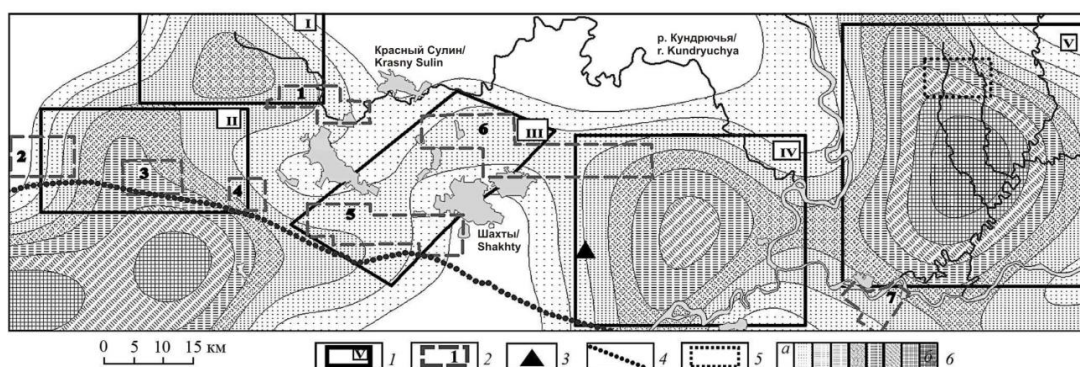


Рис. 1. Ареалы эндогенной флюидизации на площади Донецкого складчатого сооружения:
 I – ареалы эндогенной флюидизации: I – Галутинский, II – Барило-Крепинский, III – Кадамовский, IV – Керчикский, V – Россошанский; 2 – площади поисковых и геологоразведочных работ, в пределах которых выявлены рудопроявления золота:
 1 – Галутинская, 2 – Тузловская, 3 – Барило-Крепинская, 4 – Болдыревская, 5 – Аютинская, 6 – Кадамовская, 7 – Кондаковская; 3 – Керчикское рудопроявление; 4 – южная граница «открытого» Донбасса; 5 – контуры Северо-Кондаковской поисковой площади; 6 – шкала интенсивности аномалий флюидонасыщения (а – минимальные, б – максимальные значения)/

Fig. 1. Areas of endogenous fluidization on the area of the Donetsk folded structure: 1 – areas of endogenous fluidization: I – Galutinsky, II – Barilo-Krepinsky, III – Kadamovsky, IV – Kerchiksky, V – Rossoshansky; 2 – areas of prospecting and exploration within which gold ore occurrences were detected: 1 – Galutinskaya, 2 – Tuzlovskaya, 3 – Barilo-Krepinskaya, 4 – Boldyrevskaya, 5 – Ayutinskaya, 6 – Kadamovskaya, 7 – Kondakovskaya; 3 – Kerchik ore occurrence; 4 – southern border of the “open” Donbass; 5 – contours of the North Kondakovskaya search area; 6 – scale of intensity of fluid saturation anomalies (a – minimum, b – maximum values)

В результате, в контурах флюидных аномалий оказались магматические породы, ареалы гидротермально-метасоматических преобразований, рудопроявления и пункты минерализации золота, свинца, цинка и др. металлов, т. е., потенциальные рудные узлы, представленные в ретроспективе рудно-магматическими системами [Парада, Гамбург, 2023]. В связи с чем, выявленные аномалии флюидонасыщения стали рассматриваться нами как ареалы эндогенной флюидизации. Справедливость такой интерпретации подтверждается обнаружением подобных метановых аномалий в районах действующих и уснувших вулканов, в частности на Эльбрусе [Гурбанов и др., 2011]. С помощью МДФ нами выявлена современная флюидоактивность также в районе неоген-четвертичной Тырнаузской рудно-магматической системы, представленной в настоящее время Тырнаузмским рудным узлом.

Тырнаузмский рудный узел включает собственно Тырнаузмское W-Mo месторождение, Малотырнаузмское Sb месторождение, золоторудное месторождение имени Б.К. Михайлова, рудопроявления Sn, Au, Cu. Территория охватывает восточную часть структурно-формационной зоны (СФЗ) Передового хребта, с юга захватывает часть СФЗ Главного хребта, с севера – часть Шаукамнысыртской СФЗ. Геологические образования представлены метаморфическими комплексами протерозоя (PR₂), палеозойскими терригенным (D₁), вулканогенным (D₂), карбонатным (D₃-C₁) комплексами и молассой (C₁), а также интрузивными комплексами PR₂, PZ₂ и PZ₃, MZ и KZ [Пэк, 1962; Родзянко, 1973].

Основу Тырнаузмского рудного узла составляет тырнаузмский плиоцен-эоплейстоценовый комплекс малых интрузий гипабиссальных гранитоидов. В его составе выделяются несколько разорванных во времени фаз: первая – дайки, штоки лейкократовых плагиогранитов, вторая – эльджуртинские граниты, третья – некки, дайки гранит-порфиров и риолитов [Ляхович, 1976; Бубнов и др., 2011; Soloviev et al., 2021]. По наличию ксенолитов гранодиоритов в эльджуртинских гранитах предполагается, что формирование неинтрузий комплекса началось с внедрения магмы гранодиоритового состава, во внешний магматический очаг, где и произошло становление крупного интрузивного массива, который не вскрыт эрозией. Со становлением этого массива, скорее всего, связано формирование ореола ороговикования, рудоносных скарнов и роговиков. Наличие подобного интрузивного массива связывается с отрицательной аномалией силы тяжести, выявленной нами по результатам оцифровки и переинтерпретации данных гравитационных съемок. Изометричная в плане аномалия имеет диаметр эпицентральной части около 5 км и в её контурах располагается Тырнаузмский рудный узел. По результатам микросейсмического зондирования [Rogozhin et al., 2015] на глубинном вертикальном разрезе Эльбрус – Тырнаузм проявились флюидонасыщенные трещиноватые слои, магматические каналы, магматические камеры. Непосредственно под центральной частью рудного узла присутствуют зоны пониженных скоростей. Зона, расположенная в диапазоне глубин 7–12 км отождествлена с близповерхностной магматической камерой [Milyukov et al., 2018].

В пределах изученной с помощью технологии МДФ площади Тырнаузского рудного узла выделено 10 аномалий ИФЛ разного размера и разной интенсивности (рис. 2).

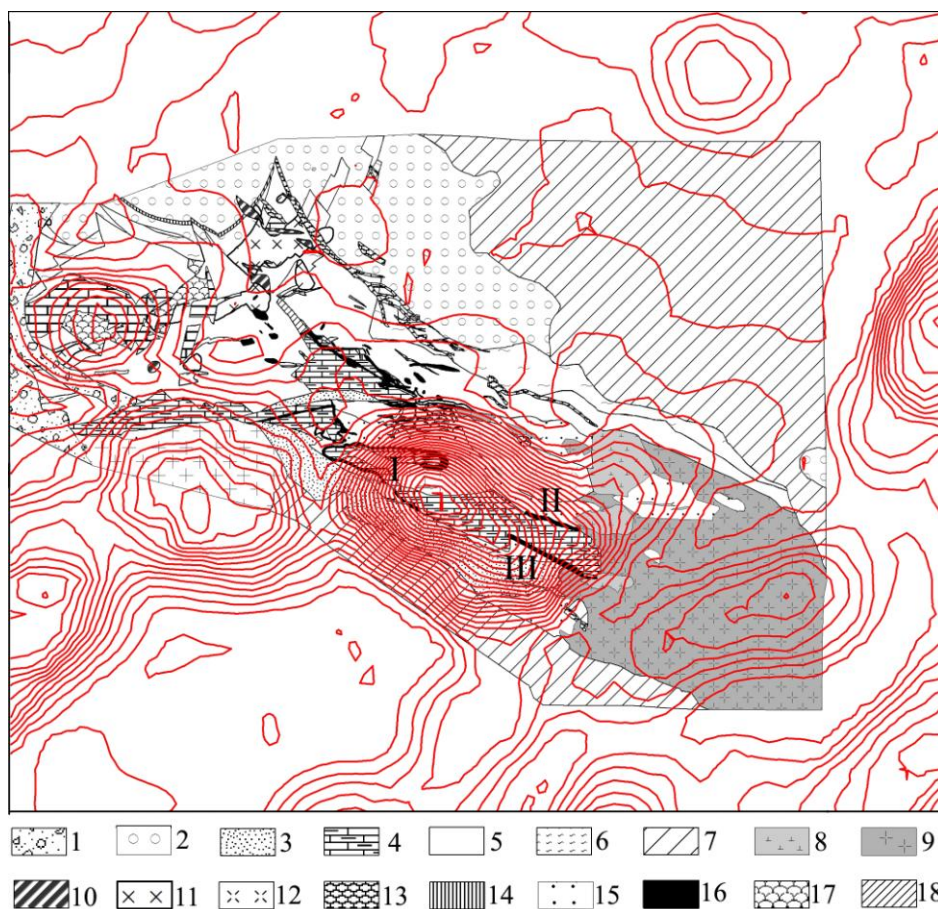


Рис. 2. Положение аномалий индекса флюидонасыщения легкими углеводородными газами (красные изолинии) относительно геологических комплексов и рудных скарнов Тырнаузского рудного узла: 1 – четвертичные отложения; 2 – нижнекаменноугольная моласса (гравелиты, конгломераты, песчаники); 3 – юрские глинисто-алевритовые сланцы, ороговикованные; 4 – верхнедевонско-нижнекаменноугольные известняки, глинистые известняки, мраморизованные; 5 – среднедевонские вулканиты (андезиты, лавы, туфы); 6 – нижнедевонские филлиты и филлитовидные сланцы; 7 – протерозойские кристаллические сланцы; 8–10 – тырнаузский плиоцен-эоплейстоценовый комплекс малых интрузий гипабиссальных гранитоидов: 8 – риолиты, 9 – эльджуртинские граниты, 10 – лейкократовые и аплитовидные граниты; 11 – позднепалеозойские кварцевые диориты; 12 – среднепалеозойские трондjemиты; 13 – палеозойские серпентиниты; 14 – милониты; 15 – биотитовые роговики; 16 – скарны (в том числе рудоносные: I, II, III – главные рудные скарны Тырнаузского вольфрам-молибденового месторождения); 17 – кварц-карбонатные метасоматиты по ультраосновным породам; 18 – золотоносные метасоматиты/

Fig. 2. The position of anomalies in the index of fluid saturation with light hydrocarbon gases (red isolines) relative to geological complexes and ore skarns of the Tyrnyauz ore node: 1 – Quaternary deposits; 2 – Lower Carboniferous molasse (gravelites, conglomerates, sandstones); 3 – Jurassic clay-siltstone shales, horny; 4 – Upper Devonian-Lower carboniferous limestones, clayey limestones, marbled; 5 – Middle Devonian volcanics (andesites, lavas, tuffs); 6 – Lower Devonian phyllites and phyllite-like shales; 7 – Proterozoic crystalline shales; 8-10 – Tyrnyauz Pliocene–Eopleistocene complex of small intrusions of hypabyssal granitoids: 8 – rhyolites, 9 – Eljurtja granites, 10 – Leucocratic and aplitic granites; 11 – Late Paleozoic quartz diorites; 12 – Middle Paleozoic trondjemites; 13 – Paleozoic serpentinites; 14 – mylonites; 15 – biotite hornstones; 16 – skarny (in including ore-bearing rocks: I, II, III – the main ore rocks of the Tyrnyauz tungsten–molybdenum deposit); 17 – quartz–carbonate metasomatites from ultrabasic rocks; 18 – gold-bearing metasomatites

Доминирует одна аномалия, – самая обширная (6 км²) и самая интенсивная, при том, что размеры и интенсивность остальных аномалий в 2 и более раз меньше. Эта аномалия ИФЛ приурочена к эпицентру минимума силы тяжести, связываемого с очагом неинтрузий тырнаузского комплекса. Она также совпадает с выходом известняков верхнепалеозойского карбонатного комплекса. И своей центральной зоной совпадает с наиболее богатыми залежами шеелитовых руд Тырнаузского месторождения. Описываемая аномалия в своей юго-восточной части усложняется вытянутостью в северо-восточном направлении, скорее всего, в соответствии с наличием вытянутого в том же направлении штока эоплейстоценовых липаритов – представляющих наиболее позднюю фазу тырнаузского неинтрузивного комплекса.

Из остальных девяти аномалий только одна совпадает с выходом эльджуртинских гранитов тырнаузского неинтрузивного комплекса, две аномалии располагаются в поле позднепалеозойских гранитов, одна – известняков. В эпицентре еще одной аномалии располагается рудопоявление золота. В целом, можно сделать вывод, что аномалии ИФЛ не имеют связи непосредственно с выходами на дневную поверхность неинтрузий, а обусловлены потоками водородсодержащих флюидов непосредственно из магматического очага. При взаимодействии с карбонатными породами в условиях повышенных температур образуется метан, который и фиксируется с помощью МДФ.

Заключение

Применение технологии МДФ позволило установить признаки современной флюидоактивности юрских рудно-магматических систем Донецкого складчатого сооружения (ДСС) и тырнаузской плиоцен-эоплейстоценовой рудно-магматической системы СФЗ Передового хребта, выраженных аномалиями индекса флюидонасыщения легкими углеводородами (ИФЛ).

В контурах выявленных аномалий ИФЛ ДСС располагаются эндогенные потенциально золоторудные узлы, формирование которых связано с зарождением и эволюцией юрских рудно-магматических систем на пути глубинных водородсодержащих флюидопотоков. Появление метановых аномалий, обнаруженных с помощью МДФ, обусловлено взаимодействием водорода с углеродом угольных пластов в условиях высоких температур.

В пределах Тырнаузского рудного узла контур наиболее обширной и наиболее интенсивной аномалии ИФЛ совпадает с проекцией гипоцентральной области, выявленного по геофизическим данным магматического очага. Именно на пути водородсодержащего флюидопотока, при взаимодействии его с карбонатными породами в условиях высоких температур, сформировалось наибольшее количество шеелитовых руд. Высвобождающаяся при термическом разложении карбонатов углекислота взаимодействовала с водородом, образуя метан.

Таким образом, технология МДФ, разработанная для прогноза и поисков углеводородного сырья, может быть использована для прогноза и поисков эндогенного оруденения.

Литература

1. Бубнов С.Н., Докучаев А.Я., Гольцман Ю.В. N-Q магматизм Большого Кавказа: геодинамическая позиция, геохимическая и металлогеническая специализация, источники расплавов. // Труды института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2011. – № 57. – С. 73–75.

2. Гурбанов А.Г., Богатиков О.А., Карамурзов Б.С., Цуканова Л.Е., Лексин А.Б., Газеев В.М., Мохов А.В., Горностаева Т.А., Жариков А.В., Шмонов В.М., Докучаев А.Я., Горбачева С.А., Шевченко А.В. Необычные виды дегазации из расплавов периферических магматических камер «спящего» вулкана Эльбрус (Россия): геохимические и минералогические особенности. // *Вулканология и сейсмология*. – 2011. – № 4. – С. 3–20.
3. Давыденко Д.Б., Финкельштейн М.Я. Прогнозирование нефтегазоносности по многоспектральным космоснимкам в среде ГИС ИНТЕГРО. // *Геоинформатика*. – 2004. – № 1. – С. 41–49.
4. Летников Ф.А. Флюидный режим эндогенных процессов и проблемы рудогенеза. // *Геология и геофизика*. – 2006. – Т. 47. № 12. – С. 1296–1307.
5. Ляхович В.В. Связь оруденения с магматизмом. (Тырныауз). М.: Наука, 1976. – 336 с.
6. Маракушев А.А., Маракушев С.А. Образование нефтяных и газовых месторождений. // *Литология и полезные ископаемые*. – 2008. – № 5. – С. 505–521. Маракушев А.А., Русинов В.Л. Природа золотоносности черносланцевых толщ. // *Доклады академии наук*. – 2005. – Т. 401. № 4. – С. 515–520.
7. 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.
8. Парада С.Г., Гамбург К.Ю. Рудно-магматические системы Восточного Донбасса. // *Геология и геофизика Юга России*. – 2023. – Т. 13. № 2. – С. 95–105. DOI: 10.46698/VNC.2023.84.41.008.
9. Пэк А.В. Геологическое строение рудного поля и месторождения Тырныауз. Труды ИГЕМ. Вып. 56. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1962. – 168 с.
10. Родзянко Н.Г. Редкометалльные скарны Тырныауза. / М-во цвет. металлургии СССР. Тырныауз. горнометаллург. комбинат. – М.: Недра, 1973. – 215 с.
11. Шестопалов В.М., Макаренко А.Н. О некоторых результатах исследований, развивающих идею В.И.Вернадского о «газовом дыхании» земли. Статья 1. Поверхностные и приповерхностные проявления аномальной дегазации. // *Геологический журнал*. – 2013. – № 3. – С. 7–25.
12. Шестопалов В.М., Макаренко А.Н. О некоторых результатах исследований, развивающих идею В.И.Вернадского о «газовом дыхании» земли. Статья 2. Глубинные процессы дегазации недр. // *Геологический журнал*. – 2014. – № 3(348). – С. 7–27.
13. Letnikov F.A. Ultradeep fluid systems of the earth and problems of ore formation. // *Geology of Ore Deposits*. – 2001. – Vol. 43. No. 4. – pp. 259–273.
14. Milyukov V., Rogozhin E., Gorbatikov A., Mironov A., Myasnikov A., Stepanova M. Contemporary State of the Elbrus Volcanic Center (The Northern Caucasus). // *Pure and Applied Geophysics*. – 2018. – Vol. 175. No. 5. – pp. 1889–1907.
15. Rogozhin E.A., Gorbatikov A.V., Zaalishvili V.B., Stepanova M.Y., Andreeva N.V., Kharazova Y.V. New data on the deep structure, tectonics, and geodynamics of the Greater Caucasus. // *Doklady Earth Sciences*. – 2015. – Vol. 462. No. 1. – pp. 543–545.
16. Soloviev S.G., Bortnikov N.S., Kryazhev S.G., Semenova D.V., Kalinin Y.A., Kryazhev V.S., Emkuzhev M.S. U–Pb isotope age of zircon (LA–ICP–MS method) from magmatic rocks and some aspects of the genesis of the Tyrnyauz Mo–W deposit (North

Caucasus). // *Geology of Ore Deposits*. – 2021. – Vol. 63. No. 5. – pp. 409–430. DOI: 10.1134/S1075701521050056.

17. Sun Y., Wu S., Dong D. et al. Gas hydrates associated with gas chimneys in fine-grained sediments of the northern South China Sea. // *Marine Geology*. – 2012. – Vol. 311–314. – pp. 32–40.

References

1. Bubnov S.N., Dokuchaev A.Ya., Goltsman Yu.V. N-Q magmatism of the Greater Caucasus: geodynamic position, geochemical and metallogenic specialization, sources of melts. Proceedings of the Institute of Geology of the Dagestan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2011. No. 57. pp. 73–75. (In Russ.)

2. Gurbanov A.G., Bogatkov O.A., Karamurzov B.S., Tsukanova L.E., Laksin A.B., Gazeev V.M., Mokhov A.V., Gornostaeva T.A., Zharikov A.V., Shmonov V.M., Dokuchaev A.Ya., Gorbacheva S.A., Shevchenko A.V. Unusual types of degassing from melts of peripheral magma chambers of the “dormant” Elbrus volcano (Russia): geochemical and mineralogical features. *Volcanology and Seismology*. 2011. No. 4. pp. 3–20. (In Russ.)

3. Davydenko D.B., Finkelstein M.Ya. Forecasting oil and gas potential using multispectral satellite images in the GIS INTEGRO environment. *Geoinformatics*. 2004. No. 1. pp. 41–49. (In Russ.)

4. Letnikov F.A. Fluid regime of endogenous processes and problems of ore genesis. *Geology and Geophysics*. 2006. Vol. 47. No. 12. pp. 1296–1307. (In Russ.)

5. Lyakhovich V.V. The connection between mineralization and magmatism. (Tyrynaw). Moscow. Nauka. 1976. 336 p. (In Russ.)

6. Marakushev A.A., Marakushev S.A. Formation of oil and gas deposits. *Lithology and Minerals*. 2008. No. 5. pp. 505–521. (In Russ.)

7. Marakushev A.A., Rusinov V.L. The nature of gold-bearing black shale strata. *Doklady Earth Sciences*. 2005. Vol. 401. No. 4. pp. 515–520. (In Russ.)

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

9. Parada S.G., Hamburg K.Yu. Ore-magmatic Systems of Eastern Donbass. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2023. Vol. 13. No. 2. pp. 95–105. DOI: 10.46698/VNC.2023.84.41.008. (In Russ.)

10. Pek A.V. Geological structure of the ore field and deposit of Tyrnyauz. Proceedings of the IGEM. Issue 56. Moscow. Earth Sciences USSR. 1962. 168 p. (In Russ.)

11. Rodzianko N.G. Rare metal skarns of Tyrnyauz. Ministry of Nonferrous Metallurgy of the USSR. Tyrnyauz Mining and Metallurgical Combine. Moscow. Nedra. 1973. 215 p. (In Russ.)

12. Shestopalov V.M., Makarenko A.N. On some research results developing V.I. Vernadsky’s idea of the Earth’s “gas breathing.” Article 1. Surface and near-surface manifestations of abnormal degassing. *Geological Journal*. 2013. No. 3. pp. 7–25. (In Russ.)

13. Shestopalov V.M., Makarenko A.N. On some results of research developing V.I. Vernadsky’s idea of the Earth’s “gas breathing.” Article 2. Deep processes of degassing of the subsoil. *Geological Journal*. 2014. No. 3(348). pp. 7–27. (In Russ.)

14. Letnikov F.A. Ultradeep fluid systems of the earth and problems of ore formation. *Geology of Ore Deposits*. 2001. Vol. 43. No. 4. pp. 259–273.
15. Milyukov V., Rogozhin E., Gorbaticov A., Mironov A., Myasnikov A., Stepanova M. Contemporary State of the Elbrus Volcanic Center (The Northern Caucasus). *Pure and Applied Geophysics*. 2018. Vol. 175. No. 5. pp. 1889–1907.
16. Rogozhin E.A., Gorbaticov A.V., Zaalishvili V.B., Stepanova M.Y., Andreeva N.V., Kharazova Y.V. New data on the deep structure, tectonics, and geodynamics of the Greater Caucasus. *Doklady Earth Sciences*. 2015. Vol. 462. No. 1. pp. 543–545.
17. Soloviev S.G., Bortnikov N.S., Kryazhev S.G., Semenova D.V., Kalinin Y.A., Kryazhev V.S., Emkuzhev M.S. U–Pb isotope age of zircon (LA–ICP–MS method) from magmatic rocks and some aspects of the genesis of the Tyrnyauz Mo–W deposit (North Caucasus). *Geology of Ore Deposits*. 2021. Vol. 63. No. 5. pp. 409–430. DOI: 10.1134/S1075701521050056.
18. Sun Y., Wu S., Dong D. et al. Gas hydrates associated with gas chimneys in fine-grained sediments of the northern South China Sea. *Marine Geology*. 2012. Vol. 311–314. pp. 32–40.