



<https://doi.org/10.35597/2313-545X-2026-12-3-3>
УДК 553.07

Магнетитовые песчаники Аргацинского Fe-Ti месторождения (Армения): минералого-геохимические особенности

К.А. Новоселов, Е.В. Белогуб, К.А. Филиппова, М.А. Рассомахин, С.А. Садыков

*Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН,
г. Миасс, Челябинская обл., 456317 Россия; const31@yandex.ru*

Статья поступила в редакцию 20.06.2026 г., после доработки 29.06.2026 г., принята к печати 28.07.2026 г

Аннотация. Агарцинское месторождение железистых песчаников (Армения) локализовано в среднеэоценовых осадочных породах. Продуктивный горизонт сложен чередующимися слоями вулканомиктовых песчаников и гравелитов с магнетитовыми пропластками и пластами массивного сложения. Установлено пять пластов железистых песчаников общей протяженностью 5.5 км при средней мощности 2.5 м. Для железистых песчаников характерна косая слоистость. Химический состав пород демонстрирует повышенные относительно кларка содержания Fe, Ti, V, Zn, As и Ge; истощение наблюдается в отношении Rb, Cs и Ba. Содержание РЗЭ близко к стандарту PAAS (Post-Archean Australian Shale). Отношение Yb_{sn}/La_{sn} в железистых песчаниках составляет 2.2–3.1, Gd_{sn}/La_{sn} – 3.8–4.4. Изотопное отношение $\delta^{13}C$ для железистого карбоната варьирует в диапазоне от –4.84 до –13.45‰ VPDB. Железистые песчанки являются продуктами литификации пляжных отложений. Рудообразующий титансодержащий магнетит имеет детритовую природу. Его источником, вероятно, являлись вулканические породы основного состава среднего эоцена. Аутигенный железистый карбонат формировался при абиотических реакциях окисления органического вещества, а также ассимиляции карбонат-иона из первичного растворенного карбоната.

Ключевые слова. Малый Кавказ, Армения, Аргацинское месторождение, железистый песчаник, эоцен

Финансирование. Лабораторные исследования выполнены в рамках государственной бюджетной темы Южно-Уральского федерального научного центра минералогии и геоэкологии УрО РАН № 122 0316 00292-6.

Благодарности. Авторы благодарны М.Н. Маляренко, Т.В. Семеновой и Л.Г. Удачиной за химический анализ пробы А.И. Брусницыну за скрупулезное рецензирование рукописи и ценные замечания. Архивные материалы доступны на сайте геологического фонда Республики Армения <https://www.geofund.am/gu/>, за предоставление открытого доступа к которым авторы выражают особую признательность.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанных с рукописью.

Вклад авторов. К.А. Новоселов – полевые работы, разработка концепции, исследование, написание рукописи; Е.В. Белогуб – исследование, редактирование рукописи; К.А. Филиппова, М.А. Рассомахин, С.А. Садыков – аналитические работы, интерпретация результатов. Все авторы одобрили финальную версию статьи перед публикацией.

Для цитирования. Новоселов К.А., Белогуб Е.В., Филиппова К.А., Рассомахин М.А., Садыков С.А. Магнетитовые песчаники Аргацинского Fe-Ti месторождения (Армения): минералого-геохимические особенности. *Минералогия*, 2026, 12(3), 45–65. <https://doi.org/10.35597/2313-545X-2026-12-3-3>

Magnetite sandstones of the Haghartsin Fe-Ti deposit (Armenia): mineralogical and geochemical features

K.A. Novoselov, E.V. Belogub, K.A. Filippova, M.A. Rassomakhin, S.A. Sadykov

South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology UB RAS, Miass,
Chelyabinsk district, 456317 Russia; const31@yandex.ru

Received 20.06.2026, revised 29.06.2026, accepted 28.07.2026

Abstract. The Haghartsin deposit of ferruginous sandstones (Armenia) is hosted by Middle Eocene sedimentary rocks. A productive horizon is composed of alternating beds of volcanic sandstones and gravelites with magnetite interbeds and massive strata. Five ferruginous sandstone beds with cross-bedding extend for 5.5 km with an average thickness of 2.5 m. The chemical composition of the rocks have elevated Fe, Ti, V, Zn, As, and Ge contents relatively to the clarke value and are depleted Rb, Cs, and Ba. Rare earth element contents are close to PAAS standard. The $\text{Yb}_{\text{sn}}/\text{La}_{\text{sn}}$ and $\text{Gd}_{\text{sn}}/\text{La}_{\text{sn}}$ ratios of ferruginous sandstones are 2.2–3.1 and 3.8–4.4, respectively. The $\delta^{13}\text{C}$ isotope ratio for ferrous carbonate varies from -4.84 to -13.45% VPDB. The ferruginous sandstones are products of lithification of beach sediments. The detrital ore-forming Ti-bearing magnetite was likely sourced from the Middle Eocene mafic volcanic rocks. Authigenic ferrous carbonate formed through abiotic oxidation reactions of organic matter, as well as the assimilation of carbonate ions from primary dissolved carbonate.

Keywords. Lesser Caucasus, Armenia, Haghartsin, ferruginous sandstone, Eocene.

Funding. Laboratory studies were supported by state contract of the South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology UB RAS no. 122031600292-6.

Acknowledgements. We are grateful to M.N. Malyarenok, T.V. Semenova and L.G. Udachina for chemical analyses of samples and A.I. Brusnitsyn for meticulous review of the manuscript and valuable comments. The archival materials are available on the website of the Geological Fund of the Republic of Armenia (<https://www.geo-fund.am/ru/>), to which they would like to express their special gratitude for providing open access.

Conflict of interests. The authors declare that there are no conflicts of interest related to this manuscript.

Author contributions. K. Novoselov – fieldwork, concept development, research, manuscript writing; E. Belogub – analysis, manuscript editing; K. Filippova, M. Rassomakhin, and S. Sadykov – analysis, interpretation of results. All authors approved the final version of the article before publication.

For citation: Novoselov K.A., Belogub E.V., Filippova K.A., Rassomakhin M.A., Sadykov S.A. Magnetite sandstones of the Haghartsin Fe-Ti deposit (Armenia): mineralogical and geochemical features. *Mineralogy*, 2026, 12(3), 45–65. <https://doi.org/10.35597/2313-545X-2026-12-3-3>

ВВЕДЕНИЕ

Группа осадочных железистых формаций включает в себя железистые кварциты, оолитовые железняки, обогащенные сульфидами железа глинистые сланцы, сидериты, обогащенные железом латериты, болотные железные руды, Mn-Fe океанические корки (Pettijohn, 1975; Dimroth, 1977; Холодов и др., 2012; Ramanaldou, Wells, 2014). Также в эту группу входят железистые песчаники, возраст которых охватывает период от докембрия до современной эпохи. Железистые песчаники, в том числе магнетитовые, рассмотренные в данной статье, зачастую играют роль маркирующих горизонтов и несут важную информацию о питающей провинции бассейна осадконакопления (Shcheka et al., 1982;

Габлина, Василовская, 1988; Basu, Molinaroli, 1989; Grigsby, 1990; Юргенсон, Абрамов, 2000; Novoselov et al., 2023; Hulijeli et al., 2024). Горизонты железистых песков и песчаников имеют значительные масштабы и при благоприятной конъюнктуре могут быть рентабельными для отработки, например, экономическое значение имеют современные россыпи титаномагнетита, которые обрабатываются в Японии и Новой Зеландии. Рассматривалась возможность разработки таких песчаников на Камчатке и Курилах (Скурский и др., 2021).

Месторождения железа Армении представлены разными генетическими типами, включая магматический (Сваранц, Капутан, Камакар), скарновый (Раздан, Агавнадзор и др.), гидротермальный (Мисхан, Чайкенд, Айриджур и др.), метаморф-

ческий (Меградзорская гр.) и осадочный (Агарцин, Азизбек, Урц и др.) (Магакьян, 1947; Хачатурян, 1953; Гулян, 1962; Гулян и др., 1974; Moritz et al., 2016).

Агарцинское месторождение находится в Дилижанском национальном парке в Тавушском марзе Республики Армения (WGS84: 40.78974° с.ш. 44.91693° в.д.). Оно разрабатывалось еще в глубокой древности, о чем свидетельствуют остатки древних разработок: наземные наклонные ямы, воронки, а также находки шлаков древней плавки, железных инструментов и развалин древней крепости (Гогинян, 1963). Точное время разработки неизвестно, по мнению И.Г. Магакьяна добыча относится к эпохе царства Урарту (VIII–VII вв. до н. э.). После длительного перерыва работы возобновились в XI в. в связи с постройкой монастыря Агарцин. Первые краткие сведения о месторождении имеются в статье геолога Г.М. Смирнова (1911). Основной объем ревизионных и геолого-поисковых работ на участке проводился АрмГУ в середине XX в. (Хачатурян, 1953; Пилюян и Карапетян, 1954; Пилюян и др., 1955; Мкртчян, Туманян, 1963). Изложенные ниже данные о геологическом строении участка были заимствованы из этих отчетов. Вместе с тем, информация о вещественном составе руд ограничена. Данная работа отчасти восполняет этот пробел.

КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ КАВКАЗА

Малый Кавказ является частью Кавказского орогенного пояса и был сформирован в мезозое в результате последовательной конвергенции и коллизии Евразии и террейнов, отколовшихся от Гондваны и Аравии (Danelian et al., 2011; Moritz et al., 2016). Он состоит из трех литотектонических зон (рис. 1): 1) Сомхето-Карабахской островодужной системы, сформированной при субдукции Тетиса под Евразийскую окраину; 2) Севан-Акерской сутуры, которая разделяет Сомхето-Карабахскую зону и Южно-Армянский блок и является реликтом двух одновременных параллельных субдукционных зон; и 3) Южно-Армянского блока, являющегося осколком Гондваны. Последний состоит из протерозойского метаморфического основания и неполной последовательности осадочных и вулканогенных пород D-J, которые прорваны гранодиоритами и лейкогранитами и несогласно перекрыты позднемеловыми осадками, альб-раннетуронскими вулканитами и палеоценовыми осадками. При аккретировании Южно-Армянского блока в позднем

мелу (73–71 млн лет) произошло закрытие Тетиса в кавказском сегменте, а в среднем-позднем эоцене регион претерпел масштабный вулканизм. Агарцинское месторождение связано с развитием региона в кайнозое.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РАЙОНА АГАРЦИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Район месторождения расположен в южных отрогах Иджеванского хребта. В его геологическом строении принимают участие вулканогенные породы средней-верхней юры, карбонатные и терригенные отложения верхней юры и мела, вулканогенные толщи среднего и верхнего эоцена (Pg₂) и угленосная терригенная свита верхнего майкопа (дилижанская свита верхнего олигоцена-нижнего миоцена, Pg₃-N₁) (рис. 2).

Вулканогенные породы J₂₋₃ представлены разнообразными вулканитами средне-основного состава, туфобрекчиями, туфами и отдельными линзами песчаников и известковистых песчаников; верхнеюрские отложения – слоистыми известняками и розовато-серыми доломитизированными известняками.

Нижнемеловые отложения (K₁) обнажаются на северном и южном склонах Иджеванского хребта и представлены глауконитовыми и известковистыми песчаниками, которые залегают на верхнеюрских карбонатных породах. Среди верхнемеловых отложений выделяются маломощная свита туфоконгломератов и туфопесчаников с прослоями песчаных известняков (K_{2t-s}). Выше по разрезу следует свита однообразных плитчатых фарфоровидных известняков и мергелей (K_{2s}).

В районе наиболее распространены средне-эоценовые вулканогенно-осадочные образования (рис. 3). Они с большим перерывом и структурным несогласием залегают на нижележащих толщах. В разрезе снизу вверх выделяются туфопесчаники, известковистые глауконитовые песчаники, туфобрекчии, туффиты, местами с базальными конгломератами и гравелитистыми нуммулитовыми известняками в основании; вулканиты основного состава с подчиненными прослоями туфов, железистых песчаников; туфы кислого состава, выше сменяющихся риолитами и туфобрекчиями. Верхнеэоценовые отложения включают в себя (снизу вверх) туфопесчаники различного состава; туфобрекчии среднего состава пироксеновые, плагиоклазовые вулканиты основного состава.

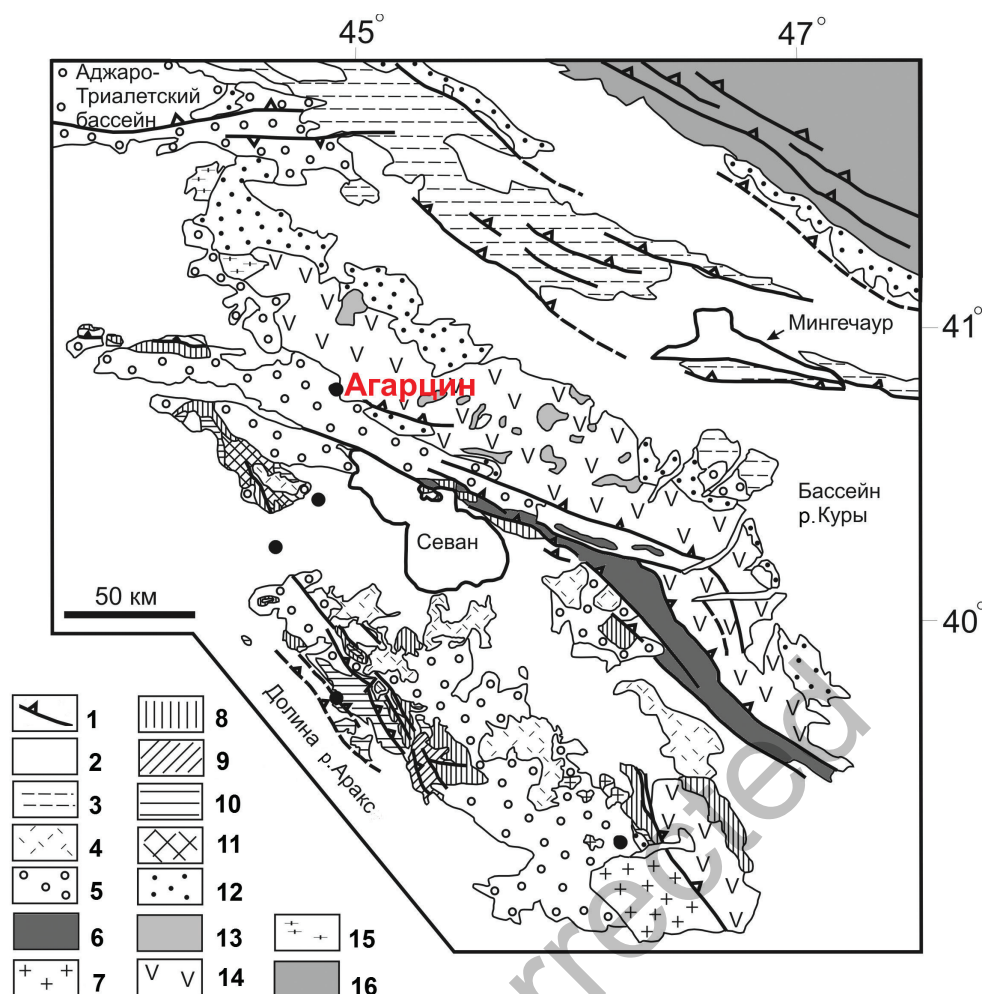


Рис. 1. Геологическое строение Малого Кавказа (Sosson et al., 2010) с положением некоторых месторождений железа (черные точки).

1 – тектонические нарушения, 2 – плиоценовые и четвертичные породы, 3 – миоценовая моласса, 4 – миоценовые вулканиты, 5 – моласса и вулканиты палеоцена и олигоцена, 6 – офиолитовые серии (J2-K1) Севан-Акерской сутурной зоны; Южно-Армянский блок: 7 – меловые и кайнозойские интрузии, 8 – сеноман-маастрихтские осадочные породы, 9 – осадочные и вулканические породы T-J2, 10 – платформенные формации D-P, 11 – породы протерозойского метаморфического основания; Евразийская окраина: 12 – альб-маастрихтские осадочные породы, 13 – интрузии J-K1, 14 – вулканогенные серии байоса-верхней юры (Сомхето-Карабахская островная дуга), 15 – варисийское основание и карбоновые осадочные формации; 16 – юрские осадки Большого Кавказа.

Fig. 1. Geological structure of the Lesser Caucasus (Sosson et al., 2010) with location of some iron deposits (black points).

1 – tectonic faults, 2 – Pliocene and Quaternary rocks, 3 – Miocene molasse, 4 – Miocene volcanics, 5 – molasse and volcanics of the Paleocene and Oligocene, 6 – ophiolite series (J2-K1) of the Sevan-Aker suture zone; South Armenian block: 7 – Cretaceous and Cenozoic intrusions, 8 – Cenomanian-Maastrichtian sedimentary rocks, 9 – sedimentary and volcanic rocks T-J2, 10 – platform formations D-P, 11 – rocks of the Proterozoic metamorphic basement; Eurasian margin: 12 – Albion-Maastrichtian sedimentary rocks, 13 – J-K1 intrusions, 14 – Bajocian-Upper Jurassic volcanogenic series (Somkheto-Karabakh island arc), 15 – Variscan basement and Carboniferous sedimentary formations; 16 – Jurassic sediments of the Greater Caucasus.

На площади развиты интрузии сиенитов верхнеэоцен-нижнеолигоценового возраста и небольшие тела габброидов.

Продуктивный железистый горизонт сложен чередующимися слоями зеленовато-серых

туфопесчаников, гравелитов, туфоконгломератов, туфопесчаников с неравномерно развитыми пропластками, обогащенными магнетитом и рудными пластами массивного сложения (рис. 3Б) (Мкртчян, Туманян, 1963). Мощность горизонта оценивается

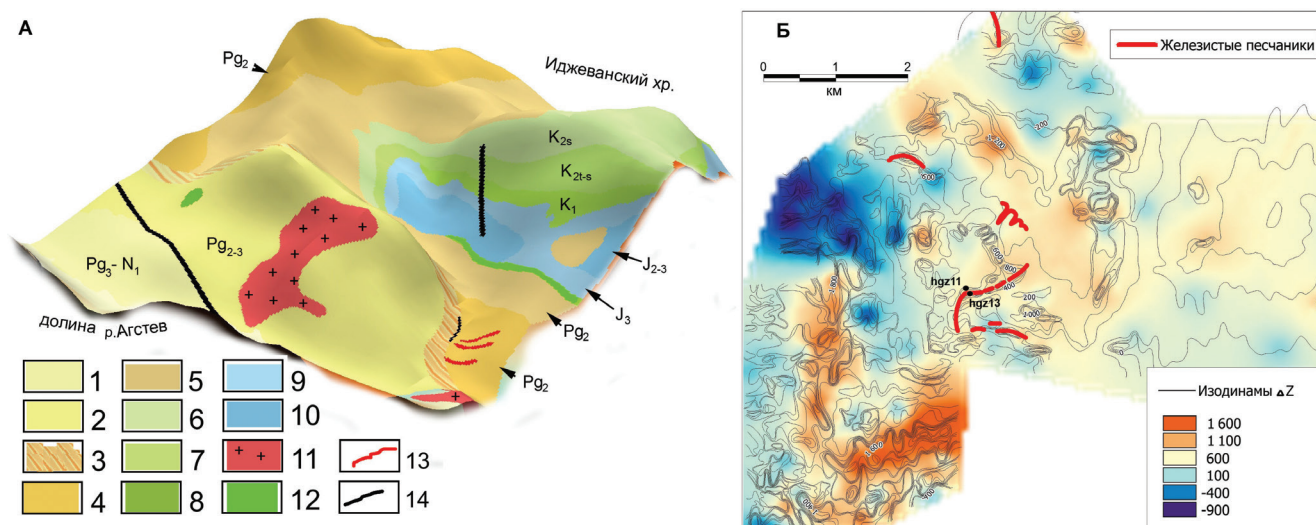


Рис. 2. Геологическая карта района на 3D поверхности рельефа (А) (Мкртчян, Туманян, 1963) и карта изодинам ΔZ (Б) (Сепоян, 1956) с точками отбора проб hgз11 и hgз13.

1 – глинистые сланцы и аргиллиты дилижанской свиты (Pg3-N1); 2 – туфобрекчии (Pg2-3); 3 – туфоконгломераты, линзы известняков (Pg2-3); 4 – авгитовые андезиты, туфопесчаники, линзы известняков (Pg2); 5 – туфоконгломераты, туфопесчаники, известняки (Pg2); 6 – мергелистые известняки (K2s); 7 – туфогенные песчаники, туфоконгломераты, песчаные известняки (K2t-s); 8 – известняки, глауконитовые песчаники (K1); 9 – доломиты и известняки иджеванской свиты (J3); 10 – порфириды, туфобрекчии, туфопесчаники (J2-3); 11 – щелочные сиениты, сиенит-порфиры (верхний эоцен – средний олигоцен); 12 – габброиды; 13 – железистые песчаники; 14 – разломы.

Fig. 2. Geological map of the region on the 3D relief surface (A) (Mkrтчян, Tumanyan, 1963) and ΔZ isodyne map (B) (Sepoyan, 1956) with sampling points hgз11 and hgз13.

1 – shale, claystone of the Dilijan Formation (Pg3-N1); 2 – Upper Eocene tuff breccia (Pg2-3); 3 – Middle Eocene tuff conglomerate, limestone lenses (Pg2); 4 – augite andesite, tuff sandstone, limestone lenses; 5 – tuff conglomerate, tuff sandstone, limestone; 6 – marly limestone (K2s); 7 – tuffaceous sandstone, tuffaceous conglomerate, sandy limestone (K2t-s); 8 – limestone, glauconite sandstone (K1); 9 – dolomite, limestone of the Ijevan Formation (J3); 10 – porphyrite, tuff breccia, tuff sandstone (J2-3); 11 – Upper Eocene–Middle Oligocene alkaline syenite, syenite porphyry; 12 – gabbroids; 13 – ferruginous sandstones; 14 – faults.

в 120–130 м. Здесь установлено пять пластов железистых песчаников общей протяженностью 5.5 км при средней мощности 2.5 м (Мкртчян, Туманян, 1963). Наиболее характерной чертой рудного горизонта является косая слоистость. Железистые песчаники хорошо распознаются по магнитной восприимчивости (Сепоян, 1956; Арутюнян, 1960). Интенсивность магнитного поля на участках развития этих пород превышает 1000 гамм (рис. 26). Аномальная зона вытянута вдоль р. Агарцин с ЮВ на СЗ и представлена рядом небольших по площади отдельных аномалий. Ориентировочные запасы Агарцинского рудного поля составляют 14 млн т руды со средним содержанием Fe_2O_3 33–35%. Химический состав железистых песчаников отличается повышенными содержаниями TiO_2 , V_2O_5 и P_2O_5 (Гулян, 1963). Средние содержания TiO_2 составляют 3%, V_2O_5 – 0.1% (Мкртчян, Туманян, 1963; Гулян, 1963).

ОБРАЗЦЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Нами изучены железистые песчаники второго рудного тела (обр. hgз13-1, 13-2, 13-3) и для сопоставления – подстилающие глауконитовые песчаники (обр. hgз11, hgз13). Штучные образцы отобраны возле автодороги, соединяющей с. Техут и монастырь Агарцин из обнажений, вскрывающих железистые песчаники и боковые породы.

Все исследования проведены в Южно-Уральском федеральном научном центре минералогии и геоэкологии УрО РАН (г. Миасс, Россия). Образцы изучались методами оптической (проходящий и отраженный плоскополяризованный свет) и электронной (VEGA3 TESCAN SBU с энергодисперсионным анализатором Oxford Instruments X-act) микроскопии. Анализ состава минералов проводился в режиме ускоряющего напряжения 20 кВ, время набора спектра составляло 120 с, использовались

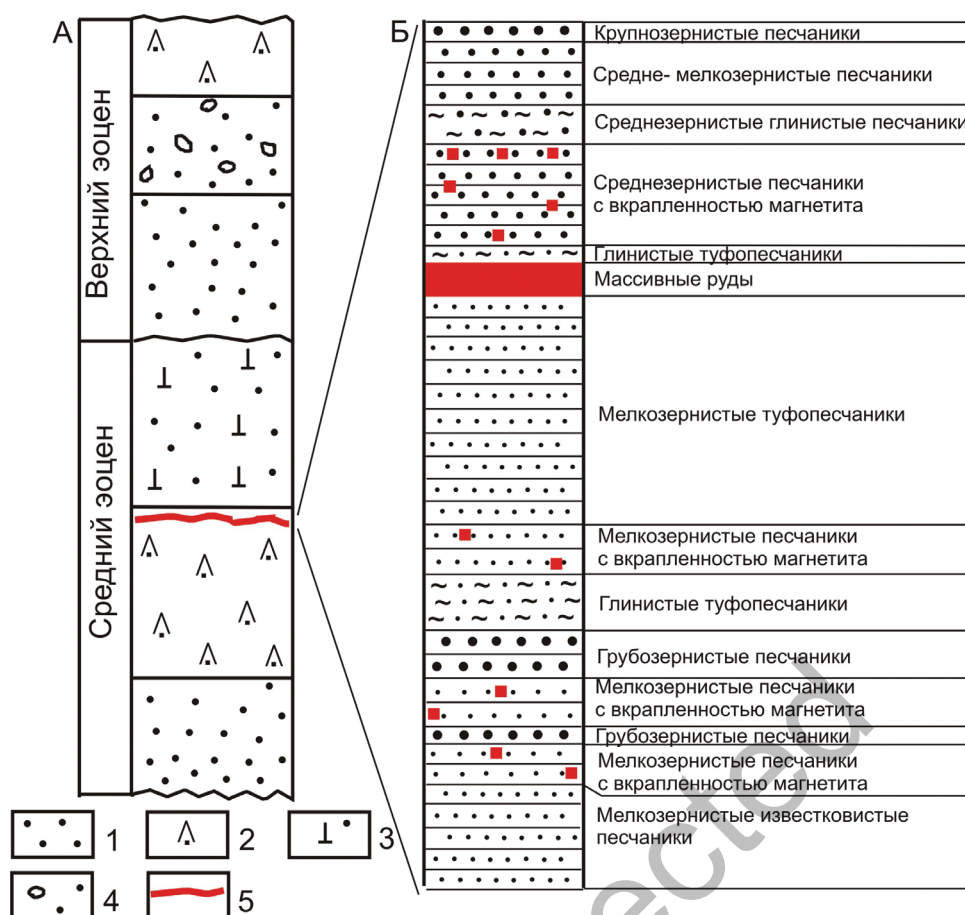


Рис. 3. Литологические колонки для (А) эоценовых отложений и (Б) продуктивного горизонта Агарцинского месторождения (вне масштаба).

1 – вулканомиктовые, известковистые, глауконитовые песчаники; 2 – порфириды основного состава с подчиненными прослоями туфов; 3 – туфы кислого состава; 4 – туфобрекчии; 5 – продуктивный горизонт железистых песчаников.

Fig. 3. Lithological columns for (A) Eocene deposits and (B) ferruginous horizon of the Hagartsin deposit (out of scale).

1 – volcanomictic, calcareous, and glauconite sandstone; 2 – mafic porphyrite with subordinate tuff interbeds; 3 – felsic tuff; 4 – tuff breccia; 5 – productive horizon of ferruginous sandstones.

сертифицированные стандарты № 1362 (Microsoft Consultants Ltd), MINM25-53 (Astimex Scientific Limited, серийный номер 01-044). Приближенно-количественный минеральный состав проб определен с помощью рентгенофазового анализа на рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD-6000 (CuK- α излучение с монохроматором, аналитик П.В. Хворов). Количественные соотношения минералов рассчитаны методом Ритвельда, программный пакет Siroquant V.4.

Содержание породообразующих оксидов определено силикатным анализом (аналитики Т.В. Семенова, М.Н. Маляренко); содержания при-

месных элементов определены с использованием ICP-MS анализа с кислотным вскрытием (масс-спектрометр Agilent 7700 $\times$ с программным обеспечением MassHunter, стандарты СГД-2а).

Изотопный анализ углерода проводился методом измерения изотопных отношений в непрерывном потоке газа (Brenna et al., 1997) на масс-спектрометре Delta^{Plus} Advantage (Thermo Finnigan), сопряженном с элементным анализатором EA Flash1112 интерфейсом ConFlo IIIc использованием стандартов NBS-18, NBS-19 и IAEA-C-3.



Рис. 4. Железистые песчаники: а – коренной выход (вероятно, старая выработка); б – зеркало скольжения; в – косослоистая текстура, подчеркнутая оксидами железа.

Fig. 4. Ferruginous sandstones: а – outcrop (probably an old mine); б – slicken surface; в – cross-bedded texture emphasized by Fe oxides.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Петрография и минералогия пород

Железистые песчаники характеризуются слоистой текстурой, часто наблюдается косая слоистость (рис. 4). В обнажениях и глыбах видны зеркала скольжения. Преобладающие минералы железа и титана представлены Ti-содержащим магнетитом, гематитом, доломитом/анкеритом, количественные соотношения между которыми варьируют (табл. 1). Анатаз, гётит и шамозит имеют подчиненное значение. Среди жильных минералов преобладает кварц, в небольших количествах присутствуют плагиоклазы (альбит и основной плагиоклаз), каолинит, апатит.

Магнетит обычно представлен хорошо окатанными и отсортированными обломками размером до 0.5 мм (рис. 5). Обломки, как правило, сильно корродированы, частично окислены и замещены мартитом и гидроксидами Fe и Ti (рис. 5). Гётит образует каймы, состоящие из игольчатых кристаллов, развитые как вокруг песчинок Ti-содержащего магнетита, так и вокруг других минералов. Ламели ильменита в магнетите сохраняются в единичных

случаях. В составе минерала всегда присутствует Ti, соотношение Fe/Ti составляет в среднем примерно 6/1 (электронное приложение (ЭП) 1). Кроме того, фиксируются примеси Al, Mg, Mn и Si. В одном случае BSE контраст позволил выявить в основной массе магнетита $\text{Fe}_{2.75}\text{Ti}_{0.48}\text{Si}_{0.13}\text{Ca}_{0.01}\text{O}_4$ реликтовые участки другого химического состава $\text{Fe}_{2.68}\text{Ti}_{0.50}\text{Si}_{0.12}\text{Al}_{0.03}\text{O}_4$ (рис. 5г).

Оксид Ti представлен анатазом, который тесно ассоциирует с магнетитом, образуя сростки и включения в нем (рис. 5В). Анатаз эвгедральный или субгедральный, размер зерен достигает 0.3 мм. В химическом составе присутствует незначительная примесь FeO (ЭП 1).

Включения апатита в магнетите эвгедральные, имеют размер до 0.1 мм. Отношение F/Cl составляет примерно 2:1 (ЭП 1).

Цемент песчаников базальный, преимущественно кварцевый. Плагиоклаз в породах практически отсутствует. Карбонат в цементирующей массе представлен минералом ряда анкерит-доломит (рис. 5, ЭП 1). Состав карбоната укладывается в диапазон $\text{Ca}_{0.48-0.58}\text{Mg}_{0.33-0.44}\text{Fe}_{0.08-0.15}\text{Mn}_{0.02-0.03}\text{Sr}_{0.05-1.06}\text{O}_3$. В существенных количествах в цементе песчаников может присутствовать шамозит.

Таблица 1. Минеральный состав образцов по данным рентгенофазового анализа (прибл. мас. %)

Table 1. Mineral composition of samples according to X-ray phase analysis (approx. wt. %)

Образец	Кварц	Плагиоклаз ¹	Кальцит	Слюда ²		Хлорит		
Глауконитовые песчаники								
hgz11	14	65	4	13		4		
hgz13	8	70	2	10		9		
Железистые песчаники ³								
Образец	Кварц	Магнетит	Гематит	Анкерит	Анализ	Каолинит	Хлорит	Альбит
hgz13-1	15	52	17	5	3	1	6	1
hgz13-2	26	21	9	23	1	3	14	3
hgz13-3	17	23	23	18	2	4	Следы	—

Примечание. ¹ – суммарно кислый и основной плагиоклаз; ² – суммарно «глауконит-иллит» и мусковит (детритовый?) (возможно, в небольшом количестве присутствует калиевый полевой шпат); ³ – во всех пробах есть примесь гетита, возможно, рентгеноаморфная фаза.

Note. ¹ – total calcic and sodic plagioclase; ² – total “glauconite-illite” and muscovite (detrital?) (possibly, with low amount of K-feldspar); ³ – all samples contain goethite, possibly, an X-ray amorphous phase.

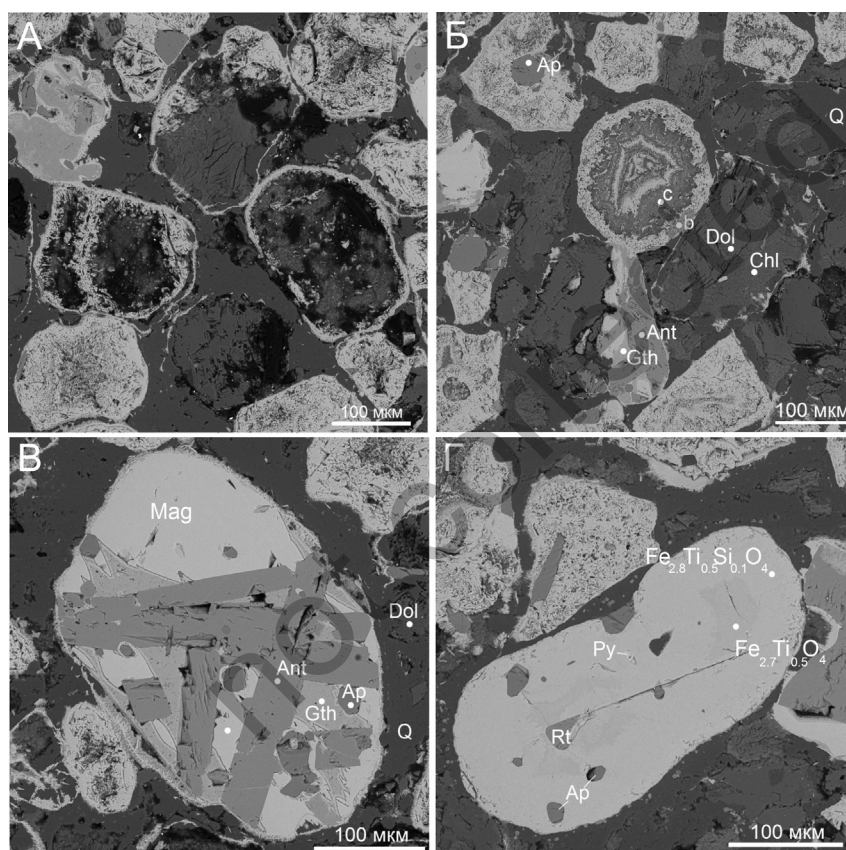


Рис. 5. Железистые песчаники: А – обломочная текстура песчаников с сильно выщелоченными зернами магнетита; Б – частица сильно измененного магнетита (b), почти полностью замещенная лейкоксеном (c); В – частица магнетита в сростании с анатазом и включением апатита; Г – обломок относительно слабоизмененного магнетита с включениями оксида Ti, апатита и сульфида Fe. СЭМ фото.

Mag – магнетит; Dol – анкерит/доломит; Gth – гетит; Q – кварц; Ant – анатаз; Chl – хлорит; Rt – оксид Ti, Py – сульфид Fe.

Fig. 5. Ferruginous sandstones: A – clastic texture of sandstones with strongly leached magnetite grains; Б – particle of highly altered magnetite (b) almost completely replaced by leucoxene (c); В – particle of magnetite intergrown with anatase and apatite inclusion; Г – fragment of relatively weakly altered magnetite with inclusions of Ti oxide, apatite, and Fe sulfide. SEM images.

Mag – magnetite; Dol – ankerite/dolomite; Gth – goethite; Q – quartz; Ant – anatase; Chl – chlorite; Rt – Ti oxide; Py – Fe sulfide

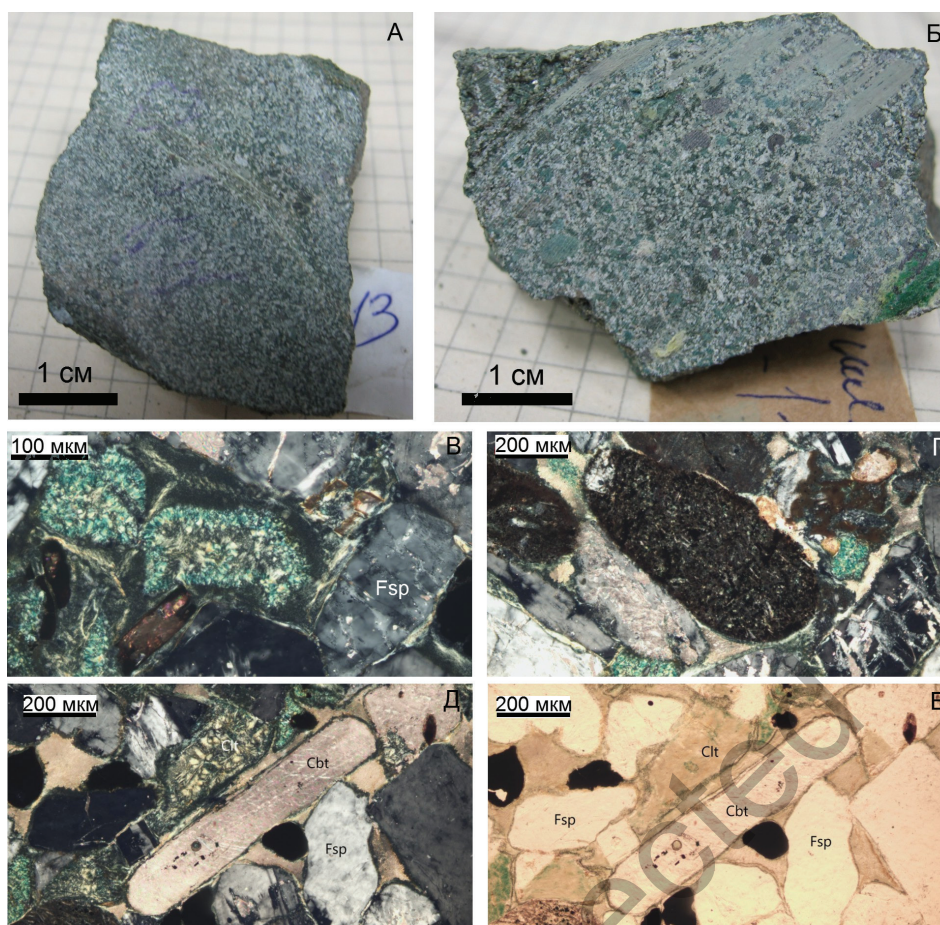


Рис. 6. Глауконитовые песчаники: а, б – макрофотографии образцов hg213 и hg211; в–е –микрофотографии песчаников: в – пелоиды глауконита; г – обломок базальта; д, е – карбонатный обломок в карбонатном же цементе. Фото в–д – с анализатором; е – без анализатора. Проходящий свет.

Fsp – полево шпат; Cbt – карбонат; Clt – хлорит.

Fig. 6. Glauconite sandstones: а, б – macroimages of samples hg213 and hg211; в–е –photomicrographs of sandstones: в – glauconite peloids; г – basalt fragment; д, е – carbonate fragment in carbonate cement. Images в–д – cross polars; е – parallel polars. Transmitted light.

Fsp – feldspar; Cbt – carbonate; Clt – chlorite.

Подстилающие глауконитовые песчаники обычно имеют массивную текстуру, псаммитовую или мелкопсефитовую структуру (рис. 6). Цвет пород зеленовато-серый. В валовом минеральном составе пород преобладают аллотигенные плагиоклазы (альбит и основной плагиоклаз) и кварц (табл. 1). Окатанность обломков хорошая (2–3 по шкале Рухина), сортировка хорошая. По составу обломочно-го материала породы полимиктовые. Помимо плагиоклазов и кварца в обломках встречаются литокласты базальтов, кислых вулканитов, известняков. По обломкам плагиоклаза развиваются карбонат, серицит. Оксиды Fe присутствуют в незначительном количестве в виде окатанных обломков мартитизированного магнетита. Песчаники содержат пелоиды глауконита. Цемент равномерный поровый

или пленочный, по составу – преимущественно, слюдисто-хлоритовый, иногда карбонатный.

Химический состав пород

В изученных пробах песчаников содержание суммарного железа $FeO_{общ.}$ достигает 57.5% (табл. 2). При этом соотношение $Fe_2O_3:FeO$ варьирует от 1:2 до 1:5. Значения железного модуля ЖМ ($FeO + Fe_2O_3 + MnO / (Al_2O_3 + TiO_2)$) составляют 3.4–4.7 и, естественно, отвечают гипержелезистым породам (Юдович, Кетрис, 2011). Значения гидролизатного модуля ГМ ($Al_2O_3 + TiO_2 + Fe_2O_3 + FeO / SiO_2$) варьируют от 0.5 в глауконитовых песчаниках до более 10 в железистых (рис. 6). Нужно отметить очень высокие содержания в железистых песчаниках TiO_2 ,

Таблица 2. Химический состав железистых песчаников (мас. %)

Table 2. Chemical composition of ironstones (wt. %)

Образец	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Прочерк	H ₂ O	CO ₂	Сумма	ГМ	ЖМ
Глауконитовые песчаники																	
hgз11	50.54	1.77	13.82	7.39	3.82	0.31	2.85	6.67	2.48	2.13	0.16	5.62	0.14	3.29	97.56	0.53	0.74
hgз13	50.46	1.37	17.50	5.55	3.62	0.16	3.65	6.4	3.08	1.72	0.14	5.62	0.22	2.28	99.27	0.56	0.49
Железистые песчаники																	
hgз13-1	17.56	10.43	3.03	54.58	8.43	0.36	1.43	1.55	0.03	0.05	0.54	2.08	0.11	1.04	100.07	4.35	4.71
hgз13-2	32.74	5.13	4.80	22.41	10.92	0.57	5.57	6.35	0.21	0.05	0.47	10.58	0.19	8.32	99.8	1.32	3.41
hgз13-3	23.37	7.45	2.98	36.47	10.42	0.45	3.67	5.86	0.08	0.04	0.62	8.22	0.17	7.16	99.63	2.45	4.54
1581	10.45	8.40	3.60	53.63	10.43	0.6	следы	2.33	0.17	0.30	0.32	3.61	–	–	93.84	7.28	5.39
1582	6.39	10.32	5.86	58.67	9.39	0.42	1.31	1.91	0.19	0.35	0.32	2.25	–	–	97.38	13.18	4.23
1583	8.28	11.87	3.06	63.51	7.99	0.09	0.80	1.70	0.18	0.52	0.55	0.58	–	–	99.13	10.44	4.80
1584	17.8	7.32	3.95	48.14	5.77	0.57	3.83	4.14	0.22	0.25	0.46	4.20	–	–	96.65	3.66	4.83

Примечание. Химический состав проб №№ 1581, 1582, 1583, 1584 взят из (Гулян, 1962). ГМ – гидролизатный модуль, ЖМ – железный модуль. Прочерк – нет данных.

Note. Chemical composition of samples nos. 1581, 1582, 1583, and 1584 is taken from (Gulyan, 1962). ГМ – (Al₂O₃ + TiO₂ + Fe₂O₃ + FeO)/SiO₂; ЖМ – (FeO + Fe₂O₃ + MnO)/(Al₂O₃ + TiO₂). Dash – no data.

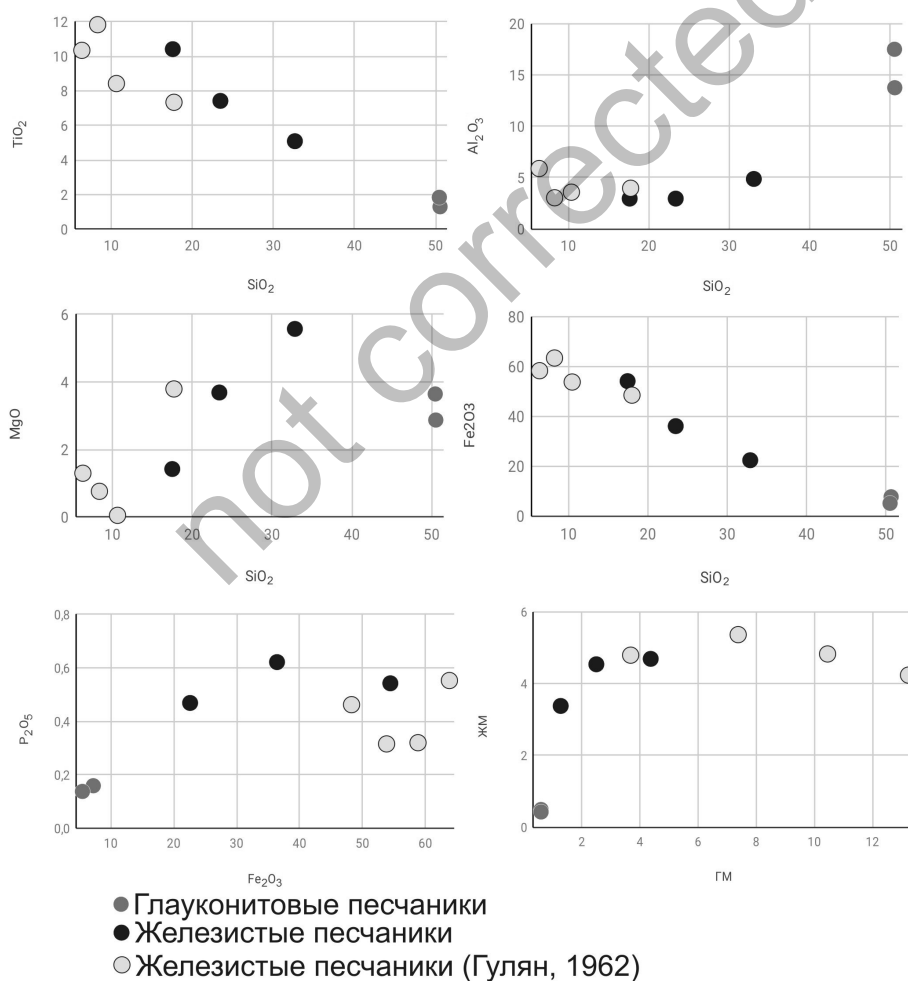


Рис. 7. Бинарные диаграммы, характеризующие состав песчаников Агарцинского месторождения

Fig. 7. Binary diagrams characterizing the composition of sandstones of the Haghartsin deposit.

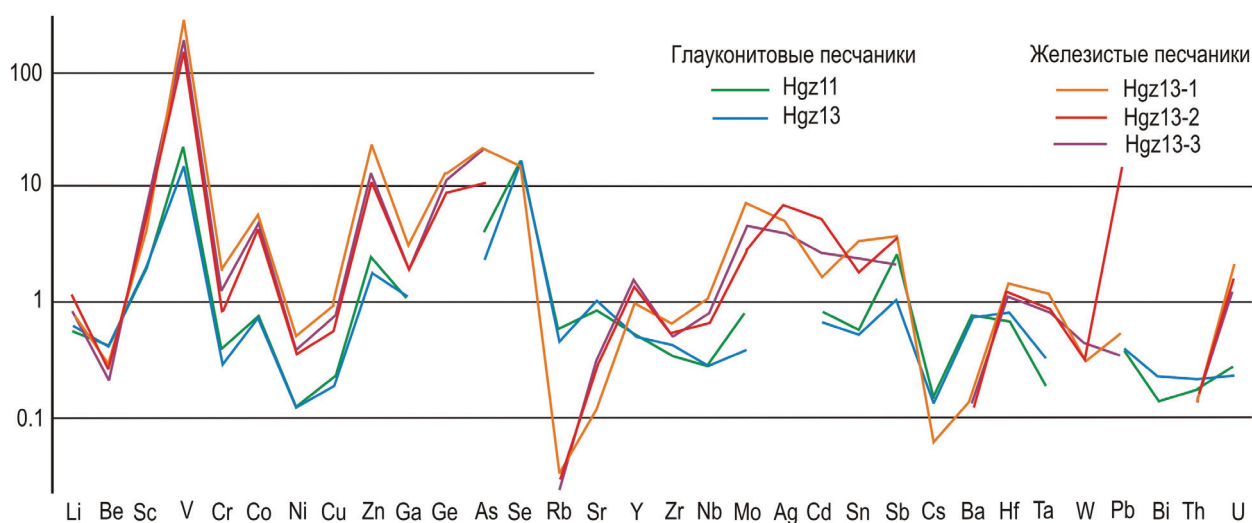


Рис. 8. Геохимический спектр песчаников Агарцинского месторождения.

Данные нормированы к средним содержаниям в земной коре (Склярков и др., 2001).

Fig. 8. Geochemical pattern of sandstones from the Haghartsin deposit.

Data are normalized to average crustal contents (Sklyarov et al., 2001).

Таблица 3. Содержание РЗЭ и Y в железистых и глауконитовых песчаниках (г/т)

Table 3. REE and Y content in ferruginous and glauconitic sandstones (ppm)

Образец	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Y	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE
Железистые песчаники																
hg13-1	19.60	47.50	6.84	33.60	8.21	1.33	8.97	1.27	7.01	31.80	1.33	3.70	0.51	3.24	0.50	175.41
hg13-2	23.00	54.60	7.80	38.30	9.69	1.96	11.10	1.60	9.47	44.00	1.93	5.24	0.80	5.26	0.85	215.60
hg13-3	23.40	58.60	8.38	43.20	10.60	1.87	12.50	1.89	10.80	51.80	2.19	6.17	0.87	5.39	0.97	238.63
Глауконитовые песчаники																
hg13	13.70	29.40	3.51	14.20	3.52	1.69	3.67	0.59	3.44	16.10	0.66	2.87	0.27	1.73	0.25	95.60
hg11	12.30	26.70	3.22	13.10	3.50	1.44	3.68	0.60	3.48	17.70	0.70	2.89	0.29	1.82	0.29	91.71

достигающие 10.43 мас. %, что свидетельствует о преобладании детритовой осадочной компоненты. Содержания CO_2 в породах достигают 8.32 мас. % и от степени их железистости не зависят.

Вариационные диаграммы, построенные для петрогенных оксидов, показывают обратную корреляционную связь SiO_2 с TiO_2 и Fe_2O_3 (рис. 7) при слабой или отсутствующей связи с Al_2O_3 , MgO и P_2O_5 . Содержание Al_2O_3 в железистых песчаниках составляет 2.98–5.86 мас. %, в глауконитовых песчаниках оно возрастает до 17.5 мас. %. Концентрация P_2O_5 минимальна в глауконитовых песчаниках (0.14–0.16 мас. %); в железистых песчаниках она возрастает до 0.62 мас. %.

Геохимический спектр железистых песчаников характеризуется обогащением относительно средних содержаний в земной коре V (более 100

кларков концентраций (КК)), Ge, Zn, As (более 10 КК) (рис. 8, ЭП 2). Образец hg13-2 обогащен Pb (200 г/т), hg13-1 – Se (1.14 г/т). Породы обеднены Rb, Cs и Ba. В сопоставлении с железистыми песчаниками глауконитовые песчаники обогащены Rb, Sr, Cs, Ba и Se. Содержания остальных компонентов в глауконитовых песчаниках существенно меньше (V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Nb, Mo, Cd, Sn, Ta, U, Bi) или близки к таковым в железистых песчаниках.

Сумма РЗЭ в железистых песчаниках составляет 175–239 г/т, что близко к стандарту PAAS (Post-Archean Australian Shale) (табл. 3). Глауконитовые песчаники этими элементами обеднены. Тенденция к накоплению средних и тяжелых РЗЭ отмечается как для железистых, так и для глауконитовых песчаников, но для первых она более выраженная. От-

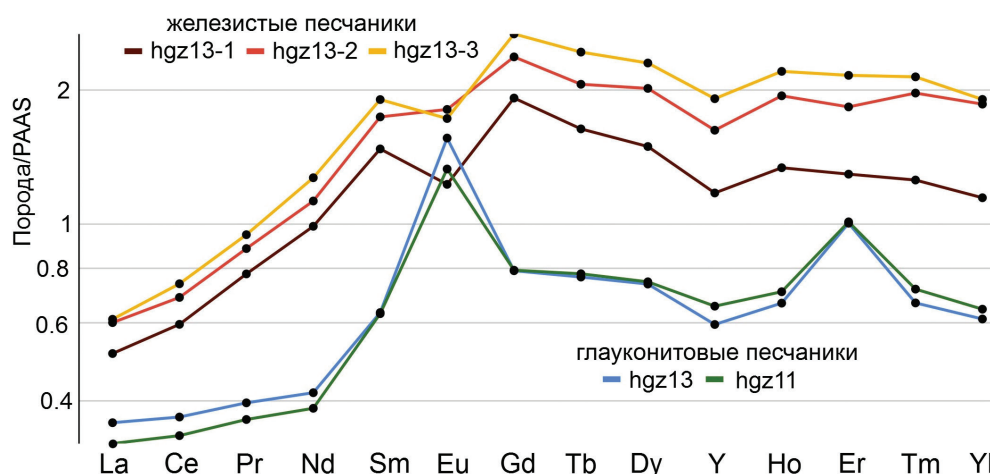


Рис. 9. PAAS-нормированные (Скляр и др., 2001) спектры РЗЭ для железистых и глауконитовых песчаников Агарцинского месторождения.

Fig. 9. PAAS-normalized (Sklyarov et al., 2001) REE pattern for ferruginous and glauconite sandstones of the Hagartsin deposit.

Таблица 4. Изотопный состав углерода в породах Агарцинского месторождения
Table 4. Carbon isotopic ratio of rocks of the Hagartsin deposit

Образец	$\delta^{13}\text{C}$, ‰, VPDB
Анкерит/доломит (5%) в железистом песчанике, hgз13-1	-13.45
Анкерит/доломит (23%) в железистом песчанике, hgз13-2	-9.78
Анкерит/доломит (18%) в железистом песчанике, hgз13-3	-4.84
Кальцит (4%) в глауконитовых песчаниках, hgз11	-2.59

ношение $\text{Yb}_{\text{sn}}/\text{La}_{\text{sn}}$ в железистых песчаниках составляет 2.2–3.1; в глауконитовых – 1.7–2.0. Еще более отчетливым является накопление средних РЗЭ: отношение $\text{Gd}_{\text{sn}}/\text{La}_{\text{sn}}$ составляет 3.8–4.4 и 2.2–2.5, соответственно.

Нормированный к PAAS спектр РЗЭ железистых песчаников имеет отрицательную аномалию Eu и Y (рис. 9). Отношение Eu/Eu^* для них варьирует от 0.7 до 0.9; отношение Y/Ho составляет 23–24. В глауконитовых песчаниках отчетливо проявлена положительная аномалия Eu (Eu/Eu^* 1.9–2.2). Отношение Y/Ho (24–25) соответствует небольшой отрицательной аномалии Y.

Изотопное отношение $\delta^{13}\text{C}$ в железистых песчаниках Агарцинского месторождения широко варьирует (табл. 4). По сравнению с кальцитом из глауконитовых песчаников карбонаты железистых песчаников обеднены тяжелым изотопом углерода.

ОБСУЖДЕНИЕ

Источник магнетита. В большинстве осадочных железистых формаций (железистые кварциты, оолитовые железняки) в накоплении железа доминируют хемогенные процессы (Pettijohn, 1975; Ramanaldou, Wells, 2014). Рассмотренные магнетитовые песчаники являются исключением, т. к. оксиды Fe в них имеют детритовую природу, а хемогенный фактор принимал ограниченное участие в формировании пород. Фациальная принадлежность железистых песчаников Агарцинского месторождения кажется очевидной. Об их прибрежно-морском происхождении свидетельствует косая слоистость (Кутырев, 1968). Магнетитовые черные пески являются типичными пляжными отложениями. Они известны на черноморском побережье (Иноземцев и др., 2019), пляжах Камчатки и Сахалина (Мелкий, Верхотуров, 2019) и др. Современные россыпи титаномагнетита на о. Итуруп связаны с размывом неоген-четвертичных вулканогенно-обломочных пород. Наиболее крупная на острове Ручарская

россыпь вытянута вдоль побережья залива Простор на 5.5 км при ширине пляжа 40–50 м (Холодов и др., 2012). Запасы Fe в песках составляют 25617 тыс. т (Скурский и др., 2021). Содержание Fe в россыпи составляет 14.2–17.2%, Ti – 1.38–1.54 %, V – 0.014–0.025%. Запасы магнетитовых руд в пляжных песках на черноморском побережье Грузии (между устьями рр. Чорох и Бзыбь) оценены в 40–45 млн т (Иноземцев и др., 2019). Образование таких отложений связано как с абразией, так и выносом рудного материала реками. В последнем случае аллювиальные фаны являются промежуточными коллекторами. Соответственно, источником магнетита могут являться как прибрежные породы, так и удаленные от берега. Обычно в качестве таких пород рассматриваются вулканогенные и вулканогенно-осадочные толщи Аджаро-Имретинского хребта (Иноземцев и др., 2019).

Агарцинские железистые песчаники являются продуктами литификации таких пляжных отложений. Минералогические и геохимические особенности пород определяются, прежде всего, детритовой компонентой, а также вкладом морской воды и пресных вод континентального стока. Источник магнетита может быть, как локализованным (некое неизвестное месторождение), так и фоновым (размыв пород с акцессорной минерализацией). Запасы титаномагнетитовых руд Агарцинского месторождения оценены в 6 млн т (Пилоян и др., 1955). Для образования такой залежи с учетом потерь должно быть эродировано не менее 500 млн т породы с содержанием акцессорного магнетита 3 %. Зерна магнетита хорошо окатаны, что свидетельствует о существенной абразии частиц либо при переносе, либо в условиях пляжа. Для магнетита типична ассоциация с апатитом и анатазом, а также постоянная примесь Ti в составе. Ассоциация и геохимические черты магнетита позволяют утверждать, что он имеет первично магматическую природу. При высоких температурах существует твердый раствор ульвошпинели в магнетите. При охлаждении магматического расплава происходит распад твердого раствора титаномагнетита с выделением ульвошпинели, которая затем окисляется до ильменита (Buddington, Lindsley, 1964; Putnis, McConnell, 1983). При быстром охлаждении расплава распад или не происходит, или ламели являются очень тонкими. Однако для изученного магнетита Агарцинского месторождения структуры распада не характерны, а ильменит в изученных пробах отсутствует или его очень мало. Следовательно,

в качестве источника титаномагнетита можно рассматривать вулканические породы средне-основного состава. В районе месторождения это могут быть вулканогенные породы среднего эоцена, в которых отмечен акцессорный титаномагнетит (Мурадян, 1973).

Сохранность магнетита в прибрежной обстановке обеспечивалась быстрым захоронением и присутствием органического вещества, что создавало восстановительные условия и предохраняло магнетит от окисления.

Ассоциация апатита и магнетита характеризует различные типы минерализации. С вулканитами связан тип Кируна, который представлен пластовыми залежами низкотитанистых магнетитовых руд в вулканических и метаморфических породах. Апатит Абовянского месторождения (Котайская область Армении), которое можно сопоставить с типом Кируна, характеризуется содержит 1.24–3.00 % Cl и 0.36–2.16 % F (Саруханян, 1970). Соотношение Cl/F в минерале варьирует от 0.8 до 3. При этом магнетит Абовянского месторождения содержит небольшую примесь TiO_2 (до 1.56 мас. % в брекчиевидных рудах) и V_2O_5 (до 0.12 мас. %).

Аутигенез. Карбонаты анкерит-доломитового ряда являются обычными компонентами слабометаморфизованных железистых кварцитов и оолитовых железняков, хотя и уступают по значению сидериту (Klein, 1974; Maynard, 1983; Klein, 2005; Ramanaldou, Wells, 2014). Диагенетическое образование анкерита также возможно в толще терригенных осадков (Kantorowicz, 1985; Macaulay et al., 1993; Hendry et al., 2000;). Наблюдаемое в железистых песчаниках Агарцинского месторождения изотопное отношение $\delta^{13}C$ в доломитовом цементе обусловлено двумя источниками: 1) ассимиляцией из растворенного первичного карбоната ($\delta^{13}C \sim 0$ ‰) и 2) абиотическими реакциями окисления органического вещества и восстановления сульфатов (от –10 до –25 ‰) (Irvin et al., 1977). Вклад этих источников варьирует. В обр. hgз13-3 изотопное отношение $\delta^{13}C$ ближе к нормальным морским карбонатам, представленным детритовым кальцитом из глауконитовых песчаников (обр. hgз11). При максимальном истощении в отношении тяжелого изотопа значение $\delta^{13}C$ опускается до –13.45 ‰ (обр. hgз13-1). Высокая дисперсия значений $\delta^{13}C$ говорит о неувлажненности изотопной системы. Полученные данные для железистых песчаников согласуются с имеющимися как для докембрийских железистых кварцитов, так и молодых осадочных пород, вклю-

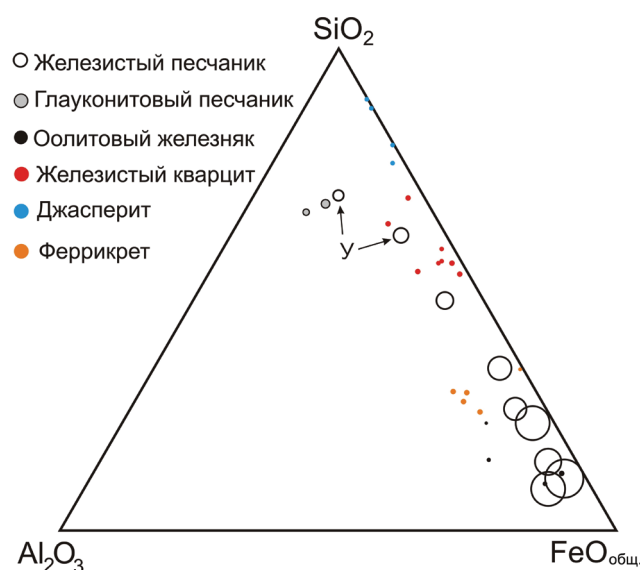


Рис. 10. Состав железистых песчаников Агарцинского месторождения в сопоставлении с некоторыми другими железистыми образованиями.

Составы железистых кварцитов и оолитовых железняков (Мейнард, 1985); состав джасперитов (Теленков, Масленников, 1995); состав феррикрета (Gebru et al., 2019). Индекс (Y) – железистые песчаники Удоканского бассейна (Новоселов и др., 2024). Размер символов пропорционален содержаниям TiO_2 (от 0 до 10 мас. %).

Fig. 10. Composition of ferruginous sandstones of the Haghtartsin deposit in comparison with some other ferruginous formations.

The compositions of ferruginous quartzites and oolitic ironstones (Maynard, 1985); jasperites (Telenkov and Maslennikov, 1995); ferricrete (Gebru et al., 2019). Index (Y) – ferruginous sandstones of the Udokan Basin (Novoselov et al., 2024). The size of symbols is proportional to the TiO_2 content (from 0 to 10 wt. %).

чая оолитовые железняки (Maynard, 1983). Источником Fe и Mg для образования минералов ряда доломит-анкерит являются как разрушающиеся оксиды, так и силикаты.

Хлорит присутствует как в глауконитовых, так и в магнетитовых песчаниках. Минерал является, вероятно, продуктом изменения темноцветных минералов и вулканического стекла. Состав хлорита в магнетитовых песчаниках несколько более железистый, чем во вмещающих песчаниках.

Химический состав пород. Гетерогенная природа пород приводит к значительным колебаниям их химического состава. На диаграмме SiO_2 - Al_2O_3 - $FeO_{общ.}$ поле составов железистых песчаников почти совпадает с полем оолитовых железняков (Maynard, 1983) и феррикрета (Gebru et al., 2019) (рис. 10). Высокие содержания Ti в железистых песчаниках являются их основным отличительным признаком. В других осадочных железистых формациях концентрации TiO_2 на 1–2 порядка ниже. Железистые песчаники Удоканского протерозойского осадочного бассейна обогащены кремнеземом и, отчасти, глиноземом по сравнению с Агарцином (Новоселов и др., 2024).

Геохимический спектр пород определяется оксидно-железистой составляющей. Элементы с повышенными концентрациями ($FeO_{общ.}$, TiO_2 , V, Zn, As, Ge) коррелируют друг с другом (рис. 11). Ассоциация $FeO_{общ.}$, TiO_2 и V является характерной для магматических титаномагнетитовых руд. Так, содержание V_2O_5 в массивных титаномагнетитовых рудах Сваранцского месторождения достигает 0.4 % (Межлумян, 1974), что сопоставимо с полученными значениями для Агарцинского месторождения. Баланс титана в изученных образцах складывается из пороодообразующего Ti-содержащего магнетита и гораздо более редкого анатаза. На первый взгляд прямая корреляция TiO_2 с $FeO_{общ.}$ свидетельствует о том, что главным носителем Ti является магнетит. В то же время, вероятно, есть прямая зависимость между содержанием магнетита и анатаза в изученных образцах, т. е., с возрастанием $FeO_{общ.}$ возрастает как количество Ti-содержащего магнетита, так и анатаза.

Германиеносность железных руд Армении изучалась ранее (Карапетян, 1965). Исследование штуфных образцов с различным содержанием магнетита Агарцинского месторождения не по-

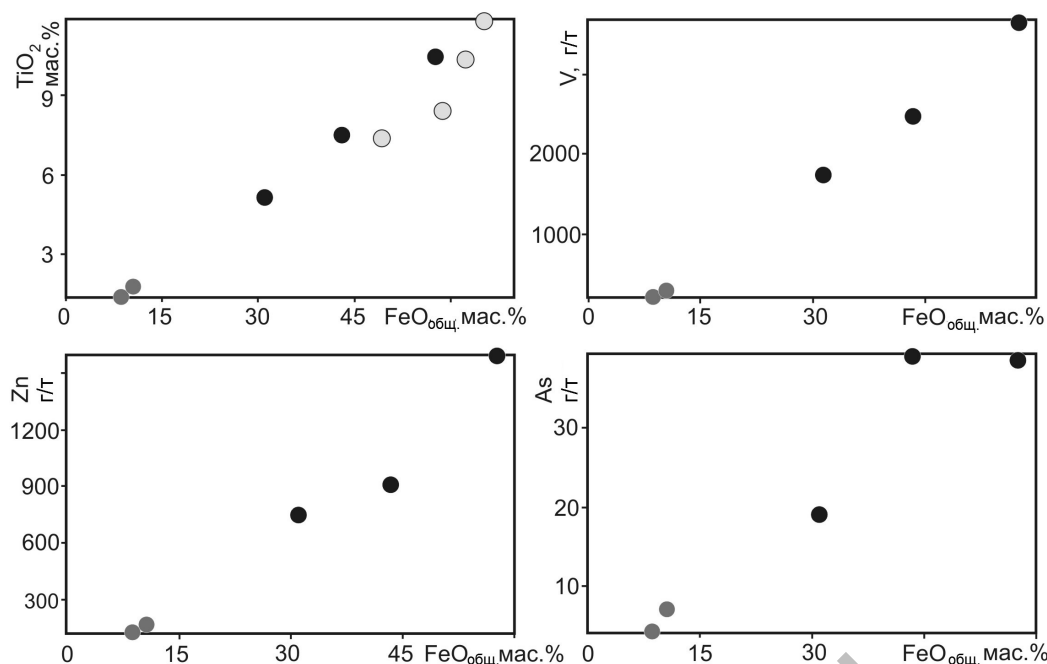


Рис. 11. Соотношение FeO_{общ.}, TiO₂, V, Zn и As в железистых песчаниках Агарцинского месторождения. Условные обозначения см. на рис. 7.

Fig. 11. Correlations of FeO_{total}, TiO₂, V, Zn and As in ferruginous sandstones of the Haghartsin deposit. For symbols, see Fig. 7.

казало сколько-нибудь значимого обогащения руд (1.8 г/т). Близкие концентрации Ge описаны в рудах Сваранцского титаномagnetитового месторождения. Полученные нами результаты отличаются на порядок и нуждаются в подтверждении. На повышенные содержания Ge в некоторых окисно-железистых рудах обращали внимание многие исследователи (Момджи, Григорьев, 1959; Бекмухаметов и др., 1973; Bernstein, 1985; Höll et al., 2007; Meng et al., 2017). В некоторых случаях (например, Fe-Mn руды атасуйского типа Каражальского месторождения в Казахстане), Ge является экономически важным компонентом. Мышьяк, Zn и Ge могут входить в структуру магнетита (Nadoll et al., 2014) и, таким образом, наследоваться из первичной рудной минерализации.

РЗЭ служат индикаторами состава питающих провинций для осадочных бассейнов (Стрекопытов и Дубинин, 1996). Источником РЗЭ в осадках являются как детритовая, так и гидрогенная компоненты. Содержание РЗЭ в морской воде пренебрежимо мало (Скляр и др., 2001), но в прибрежной зоне происходит массовое осаждение вещества влекомой взвеси рек, а также из коллоидных и истинных

растворов. Здесь происходит коагуляция коллоидного гидроксида Fe, который выносится реками с континента. Впоследствии РЗЭ сорбируются флоккулятом. Обогащение РЗЭ железистых осадков прибрежной зоны является их характерной чертой (Hoyle et al., 1984; Elderfield et al., 1990). Спектры РЗЭ изученных глауконитовых песчаников сходны с прибрежными осадками вулканических островов западной части Тихого океана (Стрекопытов, Дубинин, 1996). Железистые песчаники существенно отличаются. По уровню концентрирования РЗЭ железистые песчанки Агарцинского месторождения подобны оолитовым железнякам (рис. 12). На Марсятском месторождении (Северный Урал) железняки имеют близкие концентрации РЗЭ и сходный тип спектра (Белогуб и др., 2024). На месторождениях Керченской группы и Западно-Сибирского бассейна суммарная концентрация РЗЭ в несколько раз превышает стандарт РААС и обычно породы обогащены средними РЗЭ (Асочакова, 2013; Некипелова, 2023). Такой профиль спектра, в целом, типичен для молодых железистых осадков шельфовой области и объясняется динамикой процессов сорбции-десорбции лантаноидов на окси-гидроксидах Fe в

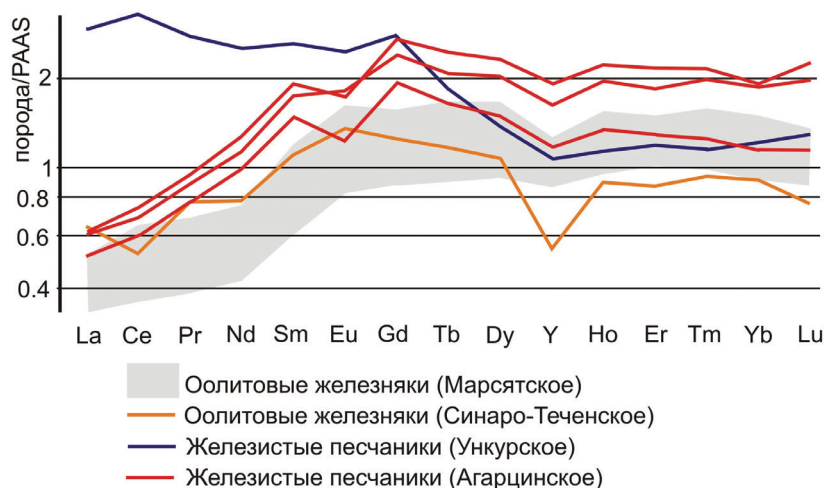


Рис. 12. Сопоставление РЗЭ спектров железистых песчаников и оолитовых железняков из других объектов (Новоселов и др., 2018; Novoselov et al., 2023, Belogub et al., 2026).

Fig. 12. Comparison of REE patterns of ferruginous sandstones and oolitic ironstones from other objects (Novoselov et al., 2018, 2023, Belogub et al., 2026).

осцилирующих условиях раннего диагенеза осадков (Некипелова, 2013).

Характерной чертой является отрицательная аномалия Y, которая фиксируется как в песчаниках Агарцинского месторождения, так и во многих фанерозойских оолитовых железняках (Асочакова, 2013; Некипелова, 2023). Иттрий обычно теряет мобильность при диагенетическом преобразовании осадка (Балашов, 1976), но в активной гидродинамической среде прибрежной зоны, вероятно, не создаются условия для разрушения подвижных комплексов Y и, как следствие, железистый осадок оказывается истощенным в отношении Y. Поведение Eu разительно отличается в глауконитовом и железистом песчанке. Положительная Eu аномалия в первом случае, вероятно, связана со значительным содержанием основного плагиоклаза. Отрицательная Eu аномалия в железистых песчаниках, скорее всего, наследуется от детритового апатита, т. к. она отчетливо проявлена на типичных РЗЭ спектрах апатита магматической природы (Sha, Chappella, 1999; Daliran, 2002). Железистые песчаники Ункурского месторождения (Удоканский бассейн), в которых основными концентраторами РЗЭ являются циркон, титанит и монацит, демонстрируют положительный наклон спектра с плохо проявленными положительной Ce аномалией и отрицательной Y аномалией.

ВЫВОДЫ

Таким образом, среднеэоценовые, преимущественно, вулканомиктовые песчаники Агарцинского месторождения титаномagnetитовых песчаников в Армении являются продуктом литификации пляжных отложений и, вероятно, фациально сменяются более глубинными глауконитовыми песчаниками. Рудообразующий Ti-содержащий magnetит имеет детритовую природу, его источником являлись вулканические породы основного состава среднего эоцена. Промышленное оруденение титаномagnetитовых руд в питающей провинции маловероятно ввиду слабого распространения в регионе пород, специфичных на этот тип промышленного оруденения (габбро, габбро-долеритов). Аутигенный железистый карбонат формировался в результате абиотических реакций окисления органического вещества, а также ассимиляции карбонат-иона из первичного растворенного карбоната. Железистые песчаники Агарцина обогащены Ti, V, Zn, As и Ge. Ассоциация $Fe_{общ.}$, Ti и V, очевидно, наследуется от первичной магматической титаномagnetитовой минерализации.

ЛИТЕРАТУРА

- Арутюнян Э.А. (1960) Опыт применения магниторазведки при исследовании железорудных месторождений северной части Армянской ССР. Дисс. на соиск. степ. канд. геол.-мин. наук. Ереван, Институт геологических наук АрССР, 196 с.
- Бекмухаметов А.Е., Замятина Г.М., Калинин С.К. (1973) К геохимии германия в железорудных месторождениях Казахстана. *Геохимия*, 3, 378–383.
- Белогуб Е.В., Новоселов К.А., Брусницын А.И., Перова Е.Н., Филиппова К.А., Жуков И.Г. (2024) Геохимия железных и марганцевых руд месторождений Северного Урала. *Металлогения древних и современных океанов–2024. Рудогенез*. Миасс, ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН, 101–104.
- Габлина И.Ф., Васильовская Л.В. (1988) О первичных формационных признаках пород удоканской серии. *Доклады Академии наук СССР*, 301, 1175–1178.
- Гогинян С.Е. (1963ф) Отчет партии по изучению древних металлургических шлаков и разработок за 1962 год. Ереван, 48 с.
- Гулян Э.Х. (1962ф) К вещественному составу руд основных железорудных месторождений АрССР. Ереван, 52 с.
- Гулян Э.Х., Гюрлжян А.А., Бартикян П.М. (1974ф) Объяснительная записка к карте расположения перспективных площадей на территории Армянской ССР (железные руды). Ереван, 24 с.
- Иноземцев Ю.И., Парышев А.А., Красножина З.В., Маслаков Н.А. (2019) Магнетит из прибрежно-морских россыпей Черного и Азовского морей. *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*, 15 (1), 74–86.
- Карапетян А.И. (1965ф) Германий в рудах месторождений железорудных формаций Армении. Ереван, 77 с.
- Кутырев Э.И. (1968) Условия образования и интерпретация кривой слоистости. Ленинград, Недра, 128 с.
- Магакян И.Г. (1947) Железорудные месторождения Северной Армении. *Известия АН АрССР*, 1, 3–17.
- Межлумян Г.Б. (1974) Сваренное железорудное месторождение. Ереван, АН Армянской ССР, 216 с.
- Мелкий В.А., Верхотуров А.А. (2019) Россыпи железосодержащих минералов Сахалинской области. *Известия Томского политехнического университета*, 330 (1), 6–18. <https://doi.org/10.18799/24131830/2019/1/46>
- Мурадян К.М. (1973) Палеогеновый вулканизм и некоторые особенности формирования вулканогенных месторождений / Вулканизм и формирование минеральных месторождений в Альпийской геосинклинальной зоне. Новосибирск, Наука, 92–102.
- Мкртчян К.А., Туманян Г.А. (1963ф) Отчет о поисковых работах, проведенных на Агарцинском месторождении титаномагнетитовых песчаников за 1959 г. Ереван, 49 с.
- Момджи Г.С., Григорьев В.М. (1959) Германий в железных рудах / Геология месторождений редких элементов, вып. 5. М., Госгеолтехиздат, 92–103.
- Новоселов К.А., Белогуб Е.В., Котляров В.А., Филиппова К.А., Садыков С.А. (2018) Минералогические и геохимические особенности оолитовых железняков Синаро-Теченского месторождения (Курганская обл., Россия). *Геология рудных месторождений*, 60 (3), 301–314. <https://doi.org/10.7868/S001677701803005X>
- Новоселов К.А., Белогуб Е.В., Блинов И.А., Артемьев Д.А. (2024) Детритовые хромшпинелиды Удоканского осадочного бассейна (Забайкалье). *Геология и геофизика*, 65 (5), 694–709. <https://doi.org/10.15372/GIG2023173>
- Пилюян Г.А., Даллакян О.Н., Семенова М.Я. (1955ф) Промежуточный отчет по геолого-поисковым и съемочным работам в Агарцинском районе Армянской ССР. Ереван, 183 с.
- Пилюян Г.А., Карапетян В.С. (1954ф) Отчет о геолого-поисковых и съемочных работах Фроловской ПСП в бассейне верхнего течения р. Агстев АрмССР за 1953 год. Ереван, 483 с.
- Саруханян Л.Б. (1970) Минералогия, геохимия и генезис Абовянского апатит-магнетитового месторождения. Ереван, АН Армянской ССР, 184 с.
- Сепоян Р.П. (1956ф) Отчет о магниторазведочных работах Агарцинской партии за 1955 год. Ереван, 94 с.
- Скляр Е.В., Гладкочуб Д.П., Донская Т.В., Иванов А.В., Летникова Е.Ф., Миронов А.Т., Бараш И.Г., Буланов В.А., Сизых А.И. (2001) Интерпретация геохимических данных. М., Интермет Инжиниринг, 288 с.
- Скурский М.Д., Вейц Р.А., Возная А.А., Грибанова Г.И., Кижаева Н.Н. (2021) Осадочные континентальные механогенные терригенные формации россыпных месторождений полезных ископаемых. *Техника и технология горного дела*, 15 (4), 4–12. <https://doi.org/10.26730/2618-7434-2021-4-4-39>
- Смирнов Г.М. (1910) Геологическое описание части Казахского уезда Елизаветопольской губернии. Материалы для геологии Кавказа, серия III, книга X.
- Теленков О.С., Масленников В.В. (1995) Автоматизированная экспертная система типизации кремнисто-железистых отложений палеогидротермальных полей Южного Урала. Миасс, ИМИН УрО РАН, 200 с.
- Хачатурян Э.А. (1953) Генетические типы железорудных месторождений Армянской ССР и перспективы их освоения. Ереван, АН Армянской ССР, 145 с.
- Холодов В.Н., Недумов Р.И., Голубовская Е.В. (2012) Фациальные типы осадочных железорудных месторождений и их геохимические особенности. Сообщение 1. Фациальные группы осадочных руд, их литология и генезис. *Литология и полезные ископаемые*, 6, 503–531.
- Юргенсон Г.А., Абрамов Б.Н. (2000) Минеральный состав железистых песчаников и источники обломочного материала меденосных отложений удоканской серии. *Записки РМО*, 129 (2), 44–53.
- Basu A., Molinaroli E. (1989) Provenance characteristics of detrital opaque Fe-Ti oxide minerals. *Journal of Sedimentary Petrology*, 59, 922–934. <https://doi.org/10.1306/212F90B6-2B24-11D7-8648000102C1865D>

- Bernstein L. (1985) Germanium geochemistry and mineralogy. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 49, 2409–2422. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(85\)90241-8](https://doi.org/10.1016/0016-7037(85)90241-8)
- Brenna J.Th, Corso Th.N., Tobias H.J., Caim R.J. (1997) High-precision continuous-flow isotope ratio mass spectrometry. *Mass Spectrometry Reviews*, 16, 227–258. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2787\(1997\)16:5<227::AID-MAS1>3.0.CO;2-J](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2787(1997)16:5<227::AID-MAS1>3.0.CO;2-J)
- Buddington A.F., Lindsley D.H. (1964) Iron-titanium oxide minerals and synthetic equivalents. *Journal of Petrology*, 5, 310–357. <https://doi.org/10.1093/petrology/5.2.310>
- Danelian T., Sosson M., Avagyan A., Galoyan G., Asatryan G., Rolland Y., Sahakyan L., Muller C., Grigoryan A., Person A., Corsini M., Jrbashyan R., Melkonyan R. (2011) A brief geological outline of the Lesser Caucasus: New insights on its Tethyan-Alpine evolution based on recent results of a French-Armenian collaboration. *Annales de la Société Géologique du Nord*, 18, 65–75.
- Dare S., Barnes S.-J., Meric J., Neron A. (2013) The use of trace elements in Fe-oxides as provenance and petrogenetic indicators in magmatic and hydrothermal environments. *Mineral Deposit Research for a High-Tech World. Proceedings of the 12th Biennial SGA Meeting*, vol. 1, 256–259.
- Dimroth E. (1977) Facies models 5. Models of physical sedimentation of iron formations. *Geoscience Canada*, 4 (1), 23–30.
- Gebru Y., Elueze A.A., Amare K., Wilfried F., Dongmo N. (2019) Compositional characteristics and genetic affinity of the ferricrete deposit in Adi Kokeb district, northwestern Tigray, Ethiopia. *Applied Earth Science. Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy: Section B*, 128, 146–157. <https://doi.org/10.1080/25726838.2019.1611089>
- Grigsby J. (1990) Detrital magnetite as a provenance indicator. *Journal of Sedimentary Research*, 60, 940–951. <https://doi.org/10.1306/D426764F-2B26-11D7-8648000102C1865D>
- Hendry J., Wilkinson M., Fallick A., Haszeldine R.S. (2000) Ankerite Cementation in Deeply Buried Jurassic Sandstone Reservoirs of the Central North Sea. *Journal of Sedimentary Research*, 70, 227–239. <https://doi.org/10.1306/2DC4090D-0E47-11D7-8643000102C1865D>
- Holl R., Kling M., Schroll E. (2007) Metallogenesis of germanium—A review. *Ore Geology Reviews*, 30, 145–180. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2005.07.034>
- Hulijeli L., Watanabe Y., Nishikawa O., Tupaz C.A. (2024) Primary source of titanomagnetite ores at the Orokolo Bay placer deposit: Implications for petrogenesis. *Resource Geology*, 74, e12337. <https://doi.org/10.1111/rge.12337>
- Irvin H., Curtis C.D., Coleman M. (1977) Isotopic evidence for source of diagenetic carbonates formed during burial of organic-rich sediments. *Nature*, 269, 209–213. <https://doi.org/10.1038/269209a0>
- Kantorowicz J.D. (1985) The origin of authigenic ankerite from the Ninian Field, UK North Sea. *Nature*, 315, 214–216. <https://doi.org/10.1038/315214a0>
- Klein C. (1974) Greenalite, stilpnomelane, minnesotaite, crocidolite and carbonates in a very low-grade metamorphic Precambrian iron formation. *Canadian Mineralogist*, 12, 475–498
- Klein C. (2005) Some Precambrian banded iron-formations (BIFs) from around the world: Their age, geologic setting, mineralogy, metamorphism, geochemistry, and origin. *American Mineralogist*, 90, 1473–1499. <https://doi.org/10.2138/am.2005.1871>
- Macaulay C., Haszeldine R.S., Fallick A. (1993) Distribution, chemistry, isotopic composition and origin of diagenetic carbonates; Magnus Sandstone, North Sea. *Journal of Sedimentary Petrology*, 63, 33–43. <https://doi.org/10.1306/D4267A82-2B26-11D7-8648000102C1865D>
- Maynard J. (1983) Geochemistry of sedimentary ore deposits, Berlin, Springer, 360 p.
- Meng Y., Hu R., Huang X., Gao J. (2017) Germanium in magnetite: a preliminary review. *Acta Geologica Sinica*, 91, 711–726. <https://doi.org/10.1111/1755-6724.13127>
- Moritz R., Melkonyan R., Selby D., Popkhadze N., Gugushvili V., Tayan R., Ramazanov V. (2016) Metallogeny of the Lesser Caucasus: from arc construction to postcollision evolution. *Society of Economic Geologist, Special Publication 19*, 157–192. <https://doi.org/10.5382/SP.19.06>
- Nadoll P., Angerer T., Mauk J., French D., Walshe J. (2014) The chemistry of hydrothermal magnetite: a review. *Ore Geology Reviews*, 61, 1–32. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2013.12.013>
- Pettijohn F.J. (1975) Sedimentary Rocks. New York, Harper & Row, 751 p.
- Putnis A., McConnell J. (1983) Principles of mineral behavior. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 304 p.
- Ramanaldou E.R., Wells M.A. (2014) Sedimentary hosted iron ores. *Treatise on Geochemistry, second edition*. Amsterdam, Elsevier, 313–355. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.01115-3>
- Shcheka S.A., Zabelin V.V., Chubarov V.M. (1982) Magnetites and ferric hydroxides in sediments of the Japan and Philippine seas and their genetic information. *Marine Geology*, 45, 23–29. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(82\)90176-1](https://doi.org/10.1016/0025-3227(82)90176-1)
- Sosson M., Rolland Y., Muller C., Danelian T., Melkonyan R., Kekelia S., Adamia S., Babazadeh V., Kangarli T., Avagyan A., Galoyan G., Mosar J. (2010) Subductions, obduction and collision in the Lesser Caucasus (Armenia, Azerbaijan, Georgia), new insights. *Geological Society, London, Special Publications 340*. 329–352.

REFERENCES

- Arutyunyan E.A. (1960) Experience of using magnetic exploration in the study of iron ore deposits in the northern part of the Armenian SSR. Dissertation of Cand. Sci. (Geol.-Mineral.). Yerevan, Institut geologicheskikh nauk ArSSR, 196 p. (in Russian)
- Basu A., Molinaroli E. (1989) Provenance characteristics of detrital opaque Fe-Ti oxide minerals. *Journal of Sedimentary Petrology*, 59, 922–934. <https://doi.org/10.1306/212F90B6-2B24-11D7-8648000102C1865D>
- Bekmukhametov A.E., Zamyatina G.M., Kalinin S.K. (1973) Ge geochemistry in iron deposits of Kazakhstan. *Geokhimiya (Geochemistry)*, 3, 378–383 (in Russian)
- Belogub E.V., Novoselov K.A., Brusnitsyn A.I., Perova E.N., Filippova K.A., Zhukov I.G. (2024) Geochemistry of iron and manganese ores of the Northern Urals deposits. *Metallogeny of Ancient and Modern Oceans-2024. Ore Genesis*. Miass, YuU FNTs MiG UrO RAN, 101–104. (in Russian)
- Bernstein L. (1985) Germanium geochemistry and mineralogy. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 49, 2409–2422. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(85\)90241-8](https://doi.org/10.1016/0016-7037(85)90241-8)
- Brenna J.Th., Corso Th.N., Tobias H.J., Caim R.J. (1997) High-precision continuous-flow isotope ratio mass spectrometry. *Mass Spectrometry Reviews*, 16, 227–258. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2787\(1997\)16:5<227::AID-MAS1>3.0.CO;2-J](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2787(1997)16:5<227::AID-MAS1>3.0.CO;2-J)
- Buddington A.F., Lindsley D.H. (1964) Iron-titanium oxide minerals and synthetic equivalents. *Journal of Petrology*, 5, 310–357. <https://doi.org/10.1093/petrology/5.2.310>
- Danelian T., Sosson M., Avagyan A., Galoyan G., Asatryan G., Rolland Y., Sahakyan L., Muller C., Grigoryan A., Person A., Corsini M., Jrbashyan R., Melconyan R. (2011) A brief geological outline of the Lesser Caucasus: New insights on its Tethyan-Alpine evolution based on recent results of a French-Armenian collaboration. *Annales de la Société Géologique du Nord*, 18, 65–75.
- Dare S., Barnes S.-J., Meric J., Neron A. (2013) The use of trace elements in Fe-oxides as provenance and petrogenetic indicators in magmatic and hydrothermal environments. *Mineral Deposit Research for a High-Tech World. Proceedings of the 12th Biennial SGA Meeting*, vol. 1, 256–259.
- Dimroth E. (1977) Facies models 5. Models of physical sedimentation of iron formations. *Geoscience Canada*, 4 (1), 23–30.
- Gablina I.F., Vasilovskaya L.V. (1988) Primary features of rocks of the Udokan Group. *Doklady Akademii nauk SSSR (Doklady Academy of Sciences USSR)*, 301, 1175–1178 (in Russian)
- Gebrey Y., Eluize A.A., Amare K., Wilfried F., Dongmo N. (2019) Compositional characteristics and genetic affinity of the ferricrete deposit in Adi Kokeb district, northwestern Tigray, Ethiopia. *Applied Earth Science. Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy: Section B*, 128, 146–157. <https://doi.org/10.1080/25726838.2019.1611089>
- Grigsby J. (1990) Detrital magnetite as a provenance indicator. *Journal of Sedimentary Research*, 60, 940–951. <https://doi.org/10.1306/D426764F-2B26-11D7-8648000102C1865D>
- Goginyan S.E. (1963) Unpublished report of a party on study of ancient metallurgical slags and minings for 1962. Yerevan, 48 p. (in Russian)
- Gulyan E.Kh. (1962) Composition of ores of main iron deposits of the Armenian SSR. Yerevan, 52 p. (in Russian)
- Gulyan E.Kh., Gyurlzhyan A.A., Bartikyan P.M. (1974) Explanatory note to the map of the location of prospective areas on the area of the Armenian SSR (iron ores). Yerevan, 24 p. (in Russian)
- Hendry J., Wilkinson M., Fallick A., Haszeldine R.S. (2000) Ankerite Cementation in Deeply Buried Jurassic Sandstone Reservoirs of the Central North Sea. *Journal of Sedimentary Research*, 70, 227–239. <https://doi.org/10.1306/2DC4090D-0E47-11D7-8643000102C1865D>
- Holl R., Kling M., Schroll E. (2007) Metallogenesis of germanium—A review. *Ore Geology Reviews*, 30, 145–180. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2005.07.034>
- Hulijeli L., Watanabe Y., Nishikawa O., Tupaz C.A. (2024) Primary source of titanomagnetite ores at the Orokolo Bay placer deposit: Implications for petrogenesis. *Resource Geology*, 74, e12337. <https://doi.org/10.1111/rge.12337>
- Inozemtsev Yu.I., Paryshev A.A., Krasnozhina Z.V., Maslakov N.A. (2019) Magnetite from coastal placers of the Black and Azov Seas. *Geologiya i poleznye iskopaemye mirovogo okeana (Geology and Mineral Resources of the World Ocean)*, 15 (1), 74–86 (in Russian)
- Irvin H., Curtis C.D., Coleman M. (1977) Isotopic evidence for source of diagenetic carbonates formed during burial of organic-rich sediments. *Nature*, 269, 209–213. <https://doi.org/10.1038/269209a0>
- Kantorowicz J.D. (1985) The origin of authigenic ankerite from the Ninian Field, UK North Sea. *Nature*, 315, 214–216. <https://doi.org/10.1038/315214a0>
- Karapetyan A.I. (1965) Germanium in ores of iron deposits of Armenia. Yerevan, 77 p. (in Russian)
- Khachatryan E.A. (1953) Genetic types of iron deposits of the Armenian SSR and prospects for their exploration. Yerevan, AN Armenyanskoy SSR, 145 p. (in Russian)
- Kholodov V.N., Nedumov R.I., Golubovskaya E.V. (2013) Facies types of sedimentary iron ore deposits and their geochemical features: Communication 2. Problems of the geochemistry of Phanerozoic iron ores. *Lithology and Mineral Resources*, 48, 14–47. <https://doi.org/10.1134/S0024490213010021>
- Klein C. (1974) Greenalite, stilpnomelane, minnesotaite, crocidolite and carbonates in a very low-grade metamorphic Precambrian iron formation. *Canadian Mineralogist*, 12, 475–498

- Klein C. (2005) Some Precambrian banded iron-formations (BIFs) from around the world: Their age, geologic setting, mineralogy, metamorphism, geochemistry, and origin. *American Mineralogist*, 90, 1473–1499. <https://doi.org/10.2138/am.2005.1871>
- Kutyrev E.I. (1968) Formation conditions and interpretation of cross bedding. Leningrad, Nedra, 128 p. (in Russian)
- Macaulay C., Haszeldine R.S., Fallick A. (1993) Distribution, chemistry, isotopic composition and origin of diagenetic carbonates; Magnus Sandstone, North Sea. *Journal of Sedimentary Petrology*, 63, 33–43. <https://doi.org/10.1306/D4267A82-2B26-11D7-8648000102C1865D>
- Magakyan I.G. (1947) Iron deposits of Northern Armenia. *Izvestiya AN ArSSR (Bulletin of the Academy of Sciences of the Armenian SSR)*, 1, 3–17 (in Russian)
- Maynard J. (1983) Geochemistry of sedimentary ore deposits, Berlin, Springer, 360 p.
- Meng Y., Hu R., Huang X., Gao J. (2017) Germanium in magnetite: a preliminary review. *Acta Geologica Sinica*, 91, 711–726. <https://doi.org/10.1111/1755-6724.13127>
- Mezhlumyan G.B. (1974) The Svarantz iron deposit. Yerevan, AN Armyanskoy SSR, 216 p. (in Russian)
- Melkii V.A., Verkhoturov A.A. (2019) Placers of iron-bearing minerals in the Sakhalin region. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta (Bulletin of Tomsk Polytechnic University)*, 330(1), 6–18. <https://doi.org/10.18799/24131830/2019/1/46> (in Russian)
- Mkrtychyan K.A., Tumanyan G.A. (1963) Unpublished report on prospecting work conducted at the Agartsin deposit of titanomagnetite sandstones in 1959. Yerevan, 49 p. (in Russian)
- Momdzh G.S., Grigoriev V.M. (1959) Germanium in iron ores. *Geology of Rare Element Deposits, Issue 5*. Moscow, Gosgeoltekhizdat, 92–103. (in Russian)
- Moritz R., Melkonyan R., Selby D., Popkhadze N., Gugushvili V., Tayan R., Ramazanov V. (2016) Metallogeny of the Lesser Caucasus: from arc construction to postcollision evolution. *Society of Economic Geologist, Special Publication 19*, 157–192. <https://doi.org/10.5382/SP.19.06>
- Muradyan K.M. (1973) Paleogene volcanism and some features of the formation of volcanogenic deposits. *Volcanism and Formation of Mineral Deposits in Alpine Geosynclinal Zone*. Novosibirsk, Nauka, 92–102. (in Russian)
- Nadoll P., Angerer T., Mauk J., French D., Walshe J. (2014) The chemistry of hydrothermal magnetite: a review. *Ore Geology Reviews*, 61, 1–32. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2013.12.013>
- Novoselov K.A., Belogub E.V., Kotlyarov V.A., Filippova K.A., Sadykov S.A. (2018) Mineralogical and geochemical features of oolitic ironstones from the Sinara-Techa deposit, Kurgan district, Russia. *Geology of Ore Deposits*, 60, 265–276. <https://doi.org/10.1134/S1075701518030066>
- Novoselov K., Belogub E., Shilovskikh V., Artemyev D., Blinov I., Filippova K. (2023) Origin of ironstones of the Udokan Cu deposit (Siberia, Russia): A key study using SEM and LA-ICP-MS. *Journal of Geochemical Exploration*, 249. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2023.107221>
- Novoselov K., Belogub E., Blinov I., Artemyev D. (2023) Detrital chrome spinels of the Udokan sedimentary basin in Transbaikalia. *Russian Geology and Geophysics*, 65, 609–622. <https://doi.org/10.2113/RGG20234632>
- Pettijohn F.J. (1975) Sedimentary rocks. New York, Harper & Row, 751 p.
- Putnis A., McConnell J. (1983) Principles of mineral behavior. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 304 p.
- Piloyan G.A., Dallakyan O.N., Semenova M.Ya. (1955) Unpublished report on geological prospecting and survey work in the Haghartsin region of the Armenian SSR. Yerevan, 183 p. (in Russian)
- Piloyan G.A., Karapetyan V.S. (1954f) Unpublished report on geological prospecting and survey work of the Frolovskaya surveying station in the upper reaches of the Aghstev river basin of the Armenian SSR in 1953. Yerevan, 483 p. (in Russian)
- Ramanaldou E.R., Wells M.A. (2014) Sedimentary hosted iron ores. *Treatise on Geochemistry, second edition*. Amsterdam, Elsevier, 313–355. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.01115-3>
- Sarukhanyan L.B. (1970) Mineralogy, geochemistry and genesis of the Abovyan apatite-magnetite deposit. Yerevan, AN Armyanskoy SSR, 184 p. (in Russian)
- Sepoyan R.P. (1956) Unpublished report on magnetic prospecting work of the Haghartsin party in 1955. Yerevan, 94 p. (in Russian)
- Shcheka S.A., Zabelin V.V., Chubarov V.M. (1982) Magnetites and ferric hydroxides in sediments of the Japan and Philippine seas and their genetic information. *Marine Geology*, 45, 23–29. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(82\)90176-1](https://doi.org/10.1016/0025-3227(82)90176-1)
- Sklyarov E.V., Gladkochub D.P., Donskaya T.V., Ivanov A.V., Letnikova E.F., Mironov A.T., Barash I.G., Bulanov V.A., Sizykh A.I. (2001) Interpretation of geochemical data. Moscow, Intermet Engineering, 288 p. (in Russian)
- Skursky M.D., Weitz R.A., Voznaya A.A., Gribova G.I., Kizhaeva N.N. (2021) Sedimentary continental mechanogenic terrigenous complexes of placer mineral deposits. *Tekhnika i tekhnologiya gornogo dela (Mining Engineering and Technology)*, 15(4), 4–12. <https://doi.org/10.26730/2618-7434-2021-4-4-39> (in Russian)
- Smirnov G.M. (1910) Geological description of a part of the Kazakh district of the Elizavetopol province. Materials for Geology of the Caucasus, series III, book X. (in Russian)
- Sosson M., Rolland Y., Muller C., Danelian T., Melkonyan R., Kekelia S., Adamia S., Babazadeh V., Kangarli T., Avagyan A., Galoyan G., Mosar J. (2010) Subductions, obduction and collision in the Lesser Caucasus

(Armenia, Azerbaijan, Georgia), new insights. *Geological Society, London, Special Publications* 340. 329–352.

Telenkov O.S., Maslennikov V.V. (1995) Automated expert system for classification of siliceous-ferruginous deposits of paleohydrothermal fields of the South Urals. Miass, IMin UrO RAN, 200 p. (in Russian)

Yurgenson G.A., Abramov B.N. (2000) Mineral composition of ferruginous sandstones and sources of detrital material from Cu-bearing deposits of the Udokan Group. *Zapiski RMO (Proceedings of the Russian Mineralogical Society)*, 129(2), 44–53 (in Russian)

Информация об авторах

Новоселов Константин Александрович – кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, г. Миасс, Россия; const31@yandex.ru

Белогуб Елена Витальевна – доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, г. Миасс, Россия; belogub@mineralogy.ru

Филиппова Ксения Александровна – кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник, Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, г. Миасс, Россия; kseniyafil@yandex.ru

Рассомахин Михаил Анатольевич – младший научный сотрудник, Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, г. Миасс, Россия; miha_rassomahin@mail.ru

Садыков Сергей Ахматович – кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник, Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, г. Миасс, Челябинская обл., Россия; sadykov@mineralogy.ru

Information about the authors

Konstantin A. Novoselov – Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), Leading Researcher, South Urals Federal Scientific Center of Mineralogy and Geoecology UB RAS, Miass, Russia; const31@yandex.ru

Elena V. Belogub – Doct. Sci. (Geol.-Mineral.), Key Researcher, South Urals Federal Scientific Center of Mineralogy and Geoecology UB RAS, Miass, Russia; belogub@mineralogy.ru

Kseniya A. Filippova – Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), Scientific Researcher, South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology UB RAS, Miass, Russia; kseniyafil@yandex.ru

Mikhail A. Rassomakhin – Junior Researcher, South Urals Federal Scientific Center of Mineralogy and Geoecology UB RAS, Miass, Russia; miha_rassomahin@mail.ru

Sergey A. Sadykov – Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), Scientific Researcher, South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology UB RAS, Miass, Russia; sadykov@mineralogy.ru