

На правах рукописи



АВАД ХАМДИ АХМЕД МОХАМЕД

**РУДОНОСНЫЕ МАГМАТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ РАЙОНА
УМ-ТАГИР (ЦЕНТРАЛЬНАЯ ОБЛАСТЬ ВОСТОЧНОЙ
ПУСТЫНИ ЕГИПТА)**

Специальность 1.6.10 - Геология, поиски и разведка твердых полезных
ископаемых, минерагения (25.00.11)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Ростов-на-Дону – 2022

Работа выполнена на кафедре месторождений полезных ископаемых Института наук о Земле в ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет» (ЮФУ)

Научный руководитель: **Наставкин Алексей Валерьевич**

кандидат геолого-минералогических наук,
доцент, заведующий кафедрой месторождений
полезных ископаемых ФГАОУ ВО «Южный
федеральный университет» (ЮФУ)

Официальные оппоненты: **Парада Сергей Григорьевич**

главный научный сотрудник, заведующий
лабораторией региональной геологии Южного
научного центра РАН, д.г.-м.н., профессор

Котельников Александр Евгеньевич

директор департамента недропользования и
нефтегазового дела Инженерной академии
ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы
народов», к.г.-м.н.

Ведущая организация:

ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный
политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова».

Защита диссертации состоится «22» сентября 2022 года в 15.00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.364.02 (Д.212.121.04) при ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ) по адресу: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23, зал диссертационных советов.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке и на сайте Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе (МГРИ) по адресу: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23, <http://mgri.ru/>

Автореферат разослан «___» _____ 2022 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета 24.2.364.02 (Д.212.121.04)



С.Д. Ганова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы обусловлена необходимостью получения новых данных о полезных ископаемых Египта и расширения его минерально-сырьевой базы. Центральная область Восточной пустыни считается одним из самых важных мест залежей рудных полезных ископаемых, источником промышленной добычи минералов и металлов в Египте. Поскольку многие шахты являются градообразующими предприятиями, правительство Египта создало огромный проект в районе между городами Кена-Сафага и Эдфу-Марса Аллам. Исследования автора являются составной частью этого проекта создания горнодобывающего кластера региона. Объекты исследований представлены рудоносными магматическими породами, расположенными в Центрально-Восточной пустыне, перспективы которых связаны с минералами оксидов железа и радиоактивными элементами. Экономика Египта остро нуждается в воспроизводстве и использовании железных руд. Большие перспективы использования имеют облицовочные и строительные материалы, предполагаемые ресурсы которых имеются на исследованной территории.

Цель работы: минерагенический прогноз комплексной рудоносности магматических пород района Ум-Тагир.

Основные задачи работы.

1. Детальное изучение геологического строения района Ум-Тагир на основе полевых исследований, анализа результатов региональных геолого-съёмочных работ, применения методов дистанционного зондирования Земли.
2. Определение петрологических и геохимических типов горных пород района Ум-Тагир и выделение среди них магматических комплексов, перспективных на полезные ископаемые.
3. Выявление минералого-геохимических особенностей габброидов района Ум-Тагир и их перспектив на титан-магнетитовое оруденение.
4. Оценка радиационной безопасности гранитных пород района Ум-Тагир и их пригодности в качестве облицовочных и строительных материалов.

Научная новизна. Впервые в Центрально-Восточной пустыне Египта обнаружены и определены железорудные минералы (первая регистрация), которые связаны с габброидами в районе Ум-Тагир. На основе полевых наблюдений и данных дистанционного зондирования составлена новая геологическая карта исследуемой области масштаба 1:50 000 с выделением рудоносных комплексов горных пород и их структурных особенностей. Впервые выполнены анализы физико-механических свойств, радиоактивности гранитных пород района Ум-Тагир и определена пригодность этих пород в качестве строительных и облицовочных камней.

Фактический материал и методика исследований. В процессе полевых работ автором было выполнено более 400 км геологических маршрутов; для получения новых геологических карт исследуемой территории использованы аэрофотоснимки масштаба 1:40 000. В Ум-Тагирском районе отобрано 136 образцов горных пород для петрографических, минералогических и геохимических исследований. В процессе исследований автором описано 104 шлифа, 32 аншлифа. Выполнено 64 рентгенофлуоресцентных анализов (XRF) (АБиБ ЮФУ), 32 анализа микроэлементов методом ELAN-DRC-6100, ICP-MS (ЦЛ ВСЕГЕИ), 20 электронно-зондовых анализов минералов (ЦКП ЦИМС ЮФУ), 171 анализ физико-механических свойств гранитов Ум-Тагир (ДГТУ).

Личный вклад автора включает: проведение полевых исследований; отбор проб; выполнение петрографических описаний пород и руд; сбор и анализ данных геологии, дистанционного зондирования; геохимии; петрохимическую классификацию магматических пород, интерпретацию полученных результатов, обработку материалов с использованием компьютерных программ MS Excel, MS Word, Corel Draw, Surfer, Petrograph, PCI Geomatica 16 software, ArcGIS v10.2.2 software, Rockworks 17 software.

Апробация работы. Основные положения диссертации опубликованы в 20 статьях (2 в печати) и доложены автором на научных конференциях: Международных конференциях «Новые горизонты фундаментальных и прикладных наук» (Египет, Университет Аль-Азхар, 2017, 2019, 2021); Международной научной конференции «Ломоносов» (Москва, МГУ, 2019); конференциях «Неделя науки» Института наук о Земле (Ростов-на-Дону, ЮФУ, 2019, 2020, 2021); IX Международной научной конференции молодых ученых «Молодые - наукам о Земле» (Москва, РГГРУ-МГРИ, 2020); Международной конференции «Современные технологии и инновации в науке и промышленности» (Красноярск, 2020); Международной мультидисциплинарной конференции по промышленному инжинирингу и современным технологиям «FarEastConf» (Владивосток, ДВФУ, 2020); ежегодных молодежных научных конференциях «Юг России: вызовы времени, открытия, перспективы» (Ростов-на-Дону, ЮНЦ РАН, 2020, 2021); международных молодежных научных конференциях «Физика. Технологии. Инновации» (Екатеринбург, УрФУ, 2020, 2021); XV Международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле» (Москва, РГГРУ-МГРИ, 2021); XXII Зимней школе по механике сплошных сред (Пермь, ПФИЦ УрО РАН, 2021).

Структура и содержание работы. Диссертация состоит из введения, 6 глав и заключения, списка использованных источников из 165 наименований. Текст работы изложен на 119 страницах, включая 9 таблиц, 69 рисунков.

В *первой главе* обоснована постановка проблемы, дан краткий обзор и анализ предыдущих исследований, показана степень разработанности темы.

Во *второй главе* показана геология района Ум-Тагир Центрально-Восточной пустыни Египта с анализом данных дистанционного зондирования.

В *третьей главе* дана геохимия горных пород района Ум-Тагир, распределение редкоземельных элементов, по геохимическим данным анализируются типы магм и тектонические обстановки.

Четвертая глава посвящена результатам петрографических исследований неопротерозойских метавулканокластических и метагабброидных пород комплекса островной дуги, магматических пород раннеколлизийного, позднего и постколлизийного комплексов континентальной коры района Ум-Тагир.

В *пятой главе* приводятся данные по минералогии руд района Ум-Тагир с описанием титаново-железооксидной минерализации в габбро Абу-Мурат.

В *шестой главе* дается характеристика радиоактивности, декоративных и физико-механических свойств гранитоидных пород Ум-Тагирского района, их пригодности в качестве облицовочных материалов.

В автореферате материал изложен по защищаемым положениям.

Практическая значимость. В результате выполненных исследований установлен новый перспективный промышленный тип магматических железных руд района Ум-Тагир и определена локализация точек минерализации с оксидами титана и железа в габброидах на участке Абу-Мурат. Даны рекомендации для постановки оценочных работ на облицовочные гранитоиды в районе Ум-Тагир.

Основные защищаемые положения.

Тезис 1. В районе Ум-Тагир Центрально-Восточной пустыни Египта на основе интегрированной обработки результатов полевых наблюдений и дистанционного зондирования, анализа геохронологической последовательности, структурных отношений и петролого-геохимических данных выделено четыре комплекса неопротерозойских магматических пород. По данным проведенного геотектонического анализа региона им соответствуют: островодужный сланцево-метагаббровый; раннеколлизийный габбро-тоналит-гранодиоритовый; позднеколлизийный дацит-андезитовый и постколлизийный, представленный монцогранитами и щелочно-полевошпатовыми гранитами.

Тезис 2. Установлено, что габброиды Ум-Тагир включают массивные и рудоносные полосчатые разности. Пластообразные интрузии габбро на участке Абу-Мурат содержат густовкрапленные титаномagnetитовые руды. Рудные тела с содержанием оксидов железа до 17–42 % имеют форму полос и линз, мощностью до 3 м, видимой протяженностью 10–30 м, образуют рудные пачки,

мощностью 10-20 м. Рудные минералы представлены гомоильменитом, титаномагнетитом, ильменитом, магнетитом, гематитом и гётитом.

Тезис 3. К нерудным полезным ископаемым по декоративным и физико-механическим свойствам отнесены гранитоиды района Ум-Тагир, которые отличаются суммарным содержанием радионуклидов ЕРН ($A_{эфф}$) в среднем от 50,8 до 121 Бк/кг, что позволяет отнести их к I классу по радиационной опасности (СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности «ОСПОРБ 99/2010») и применять в качестве строительных материалов.

Все защищаемые положения соответствуют паспорту специальности 25.00.11 в области исследований 1: Условия образования месторождений твердых полезных ископаемых: геология и генетические модели, геодинамические и формационно-магматические условия образования и закономерности пространственного размещения эндогенных месторождений.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность своему научному руководителю, к.г.-м.н., заведующему кафедрой месторождений полезных ископаемых ЮФУ А.В. Наставкину; за помощь в исследованиях — директору Института наук о Земле ЮФУ, к.г.н. А.Н. Кузнецову, к.г.-м.н. Ю.В. Попову, к.г.-м.н. Т.В. Шаровой (ЮФУ), д.т.н. В.Д. Котляру (ДГТУ). Диссертант выражает признательность к.г.-м.н. Н.В. Грановской (ЮФУ) за ценные замечания и советы, улучшившие научное содержание диссертации. Особая благодарность профессорам И.А. Элиэлю, А. Ораби, доцентам А. Толбе, М. Камелю и ассистенту лектора Р.Э. Вардани (Аль-Азхар университет, Египет) за их труды во время полевых исследований.

ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

Тезис 1. В районе Ум-Тагир Центрально-Восточной пустыни Египта на основе интегрированной обработки результатов полевых наблюдений и дистанционного зондирования, анализа геохронологической последовательности, структурных отношений и петролого-геохимических данных выделено четыре комплекса неопротерозойских магматических пород. По данным проведенного геотектонического анализа региона им соответствуют: островодужный сланцево-метагаббровый; раннеколлизионный габбро-тоналит-гранодиоритовый; позднеколлизионный дацит-андезитовый и постколлизионный, представленный монцогранитами и щелочно-полевошпатовыми гранитами.

Основные исследования проводились на объектах района Ум-Тагир, расположенного на крайней северной границе Центрально-Восточной пустыни

Египта, к западу от города Сафага (рис. 1). Район Ум-Тагир является частью территории, представленной неопротерозойскими образованиями Северо-Аравийско-Нубийского (ANS) щита, который относится к Восточно-Африканскому орогену (Gass, 1982; Stern, 1994; Kröner et al., 1994; Abd Elsalam and Stern, 1996).

В исследованном районе наибольшим развитием пользуются магматические породы позднего криогения – эдиакария. Они представлены комплексом островных дуг (сланцы и метагаббро) (Johnson et al., 2011; Johnson, 2014) и территорией континентальной коры, сложенной магматическими породами, связанными с ранне-, поздне- и постколлизийными процессами (габбро, тоналит-гранодиорит, андезиты, дациты, монцограниты, щелочно-полевошпатовые граниты) (рис. 2).

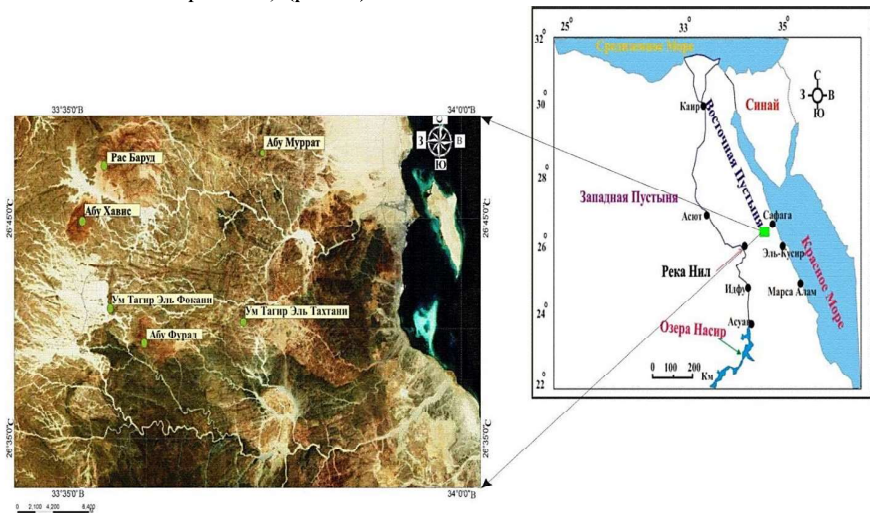


Рис. 1. Местоположение исследуемой области

Собранный набор данных дистанционного зондирования, включая данные Sentinel-2A и ASTER DEM, использовался для литологической идентификации и извлечения структурных линеаментов с полевой заверкой. Предлагаемые MNF-изображения Sentinel-2A (3, 2, 1) и (3, 4, 2) в RGB являются комбинациями ложных цветов MNF, используемыми для геологической дискриминации изучаемой области. На составном изображении MNF - (3, 4, 2) в RGB (рис. 3), литологические единицы легко различимы. Метагаббро хорошо выделены коричневато-зеленым и зеленым цветом. Гранитные породы дифференцированы на гранодиорит (темно-розовый), монцогранит (желтовато-зеленый) и щелочно-полевошпатовый гранит (зеленый цвет). Габброиды имеют светло-зеленый цвет,

в то время как вулканические образования Дохана отличаются фиолетовым цветом, четвертичные отложения речных долин имеют голубой цвет.

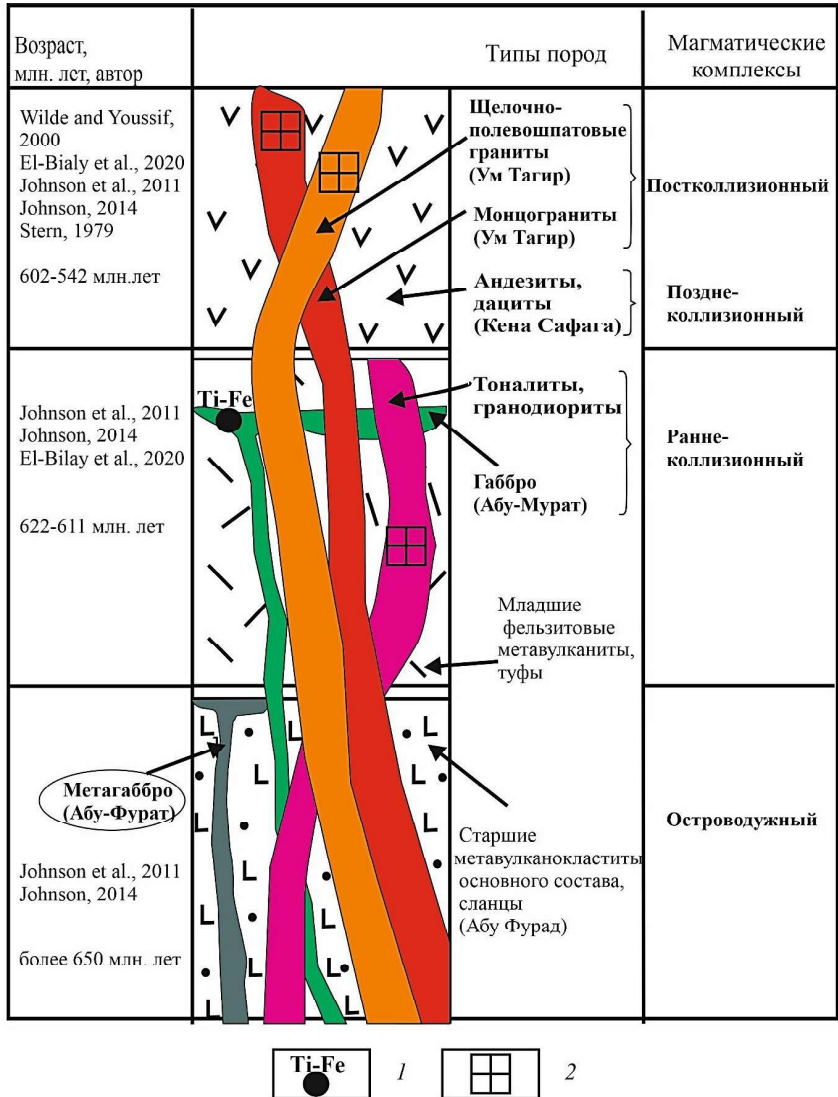


Рис. 2. Схема взаимоотношений неопротерозойских интрузивных и вулканогенных пород в районе Ум-Тагир Центрально-Восточной пустыни Египта:

1 – проявления титаномагнетитовой минерализации в габброидах; 2 – проявления облицовочных камней.

Преобладающие ориентации экстракции линеаментов из Sentinel-2A FCC - это ЗСЗ-ВЮВ, СВ-ЮЗ и С-Ю, за которыми следуют направления СЗ-ЮВ и В-З, в то время как линеаменты, извлеченные из данных ASTER DEM, ориентированы преимущественно в направлениях СЗ-ЮВ, ЗСЗ-ВЮВ, С-Ю и СВ-Ю, за которыми следуют направления В-З и СЗ-Ю-ЮВ (рис. 4).

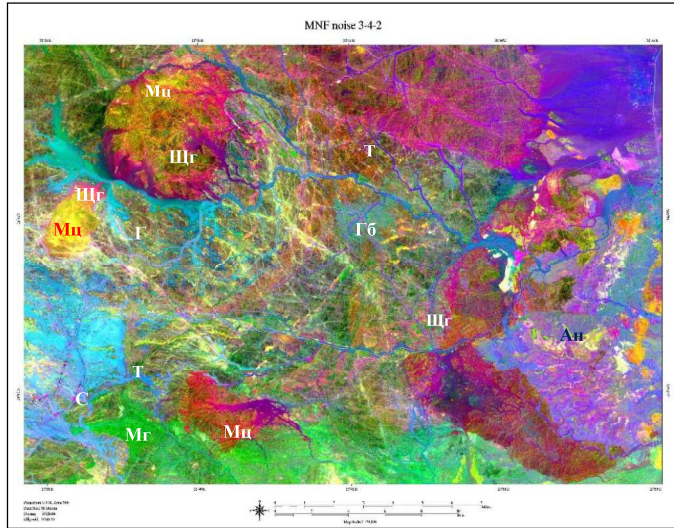


Рис. 3. Минимальная доля помех (3, 4, 2) изображения Sentinel-2A района Ум-Тагир: С – сланцы, Мг – метагаббро, Гб – неметаморфизованные габбро, Т – тоналиты, Г – гранодиориты, Мц – монцограниты, Шг – щелочные граниты, Ан – андезиты.

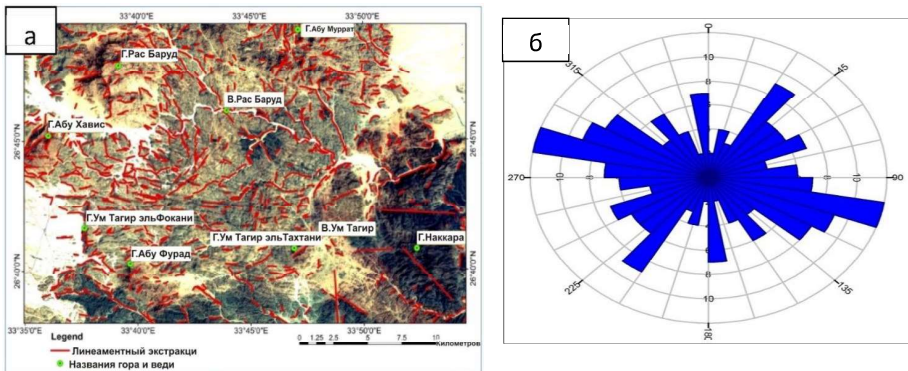


Рис. 4. Линеаменты, извлеченные FCC 432 в RGB (а); ориентация линеаментов, извлеченных из изображения FCC Sentinel-2A (б)

На основе интегрированной обработки данных дистанционного зондирования, анализа результатов региональных геолого-съёмочных работ и полевых наблюдений автором создана геологическая карта района Ум-Тагир масштаба 1:50 000, на которой представлены главные комплексы горных пород (рис. 5).

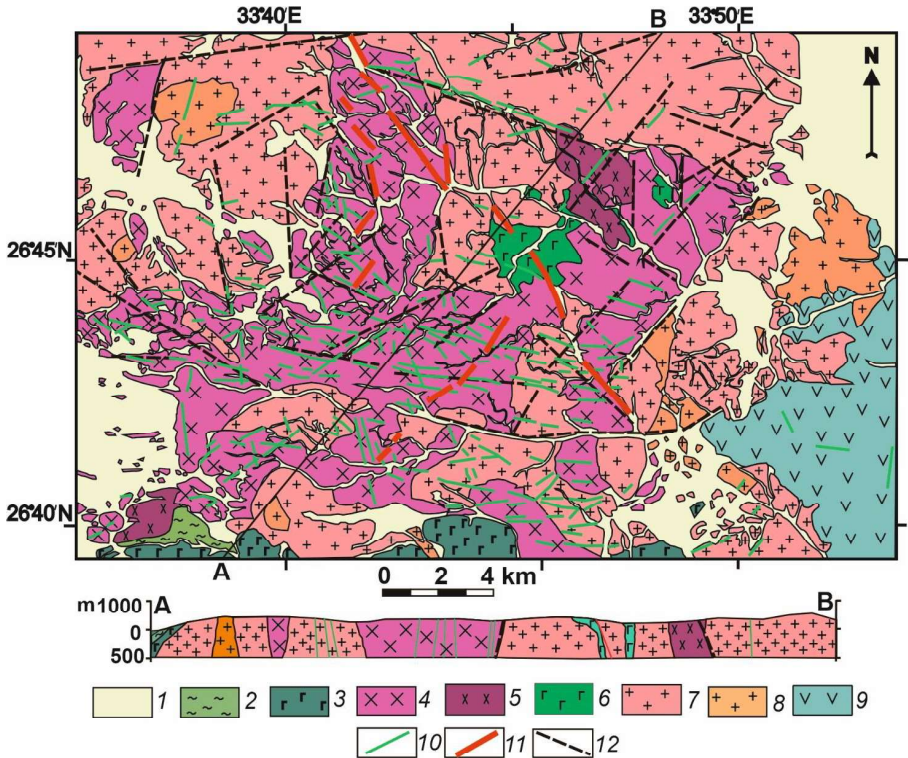


Рис. 5. Геологическая карта района Ум-Тагир, созданная на основе интегрированной обработки данных региональных геолого-съёмочных работ, дистанционного зондирования и полевых наблюдений

Четвертичные образования: 1 — песок, галечник, конгломераты. *Неопротерозойские образования:* 2 — метавулканокластиты (сланцы амфибол-роговообманковые); 3 — метагаббро рассланцованное; 4 — гранодиориты; 5 — тоналиты; 6 — габбро; 7 — монцограниты; 8 — щелочно-полевошпатовые граниты; 9 — андезиты, дациты вулкана Дохан; 10 — дайки основного состава; 11 — дайки кислого состава; 12 — разломы.

Островодужный комплекс. Океанический рельеф в районе исследования включает фрагменты островных дуг с метавулканокластической толщей и метагаббро. Метавулканокластические образования обычно представлены актинолит-роговообманковыми сланцами и являются самыми древними породами, составляющими около 2 % обнаженных скальных единиц,

встречающимися в южной части исследуемой территории в Гейбл Абу-Фурад. Метавулканокластические породы имеют полосчатую текстуру, тенденции расщеливания к юго-западу, имеют резкий контакт с монцогранитами. Метагаббро расположены в южной части исследуемой области, покрывают около 5% обнаженных пород площади, имеют массивные текстуры, пересекаются интрузиями тоналит-гранодиоритов. Породы островных дуг датируются возрастом более 650 млн. лет (Johnson et al., 2011; Johnson, 2014).

Коллизионные комплексы составляют собой большую часть нанесенной на карту территории (рис. 5).

Раннеколлизионный комплекс включает образования континентальной вулканической дуги – неметаморфизованные габбро Абу-Мурат и группу «древних» гранитов: тоналиты, гранодиориты. *Габбро* представлено двумя типами – крутопадающими и пластообразными телами (Augland et al., 2011). Для первого типа характерны малые интрузии северо-западного и северного простирания, они представлены массивными породами от средне- до крупнозернистых, от темно-серого до темно-зеленоватого цвета. Пластообразные тела габбро имеют мощность от малой до средней, часто содержат полосчатые скопления вкрапленной титаномагнетитовой минерализации, преобладающей в нижних частях пластообразных интрузий. Пространственно тела габбро сопряжены с массивами тоналитов и гранодиоритов, прорываются инъекциями тоналитов-гранодиоритов, а также встречаются в виде ксенолитов в монцогранитах.

Изученные раннеколлизионные гранитные породы покрывают центральную часть территории и делятся на *тоналит*, *мигматитовый гранодиорит* и *массивный гранодиорит*. Как правило, породы смешаны друг с другом, содержание гранодиорита увеличивается к западу вокруг Вади Ум-Тагир, Аль-Фукани. Тоналит-гранодиоритовые породы простираются дальше на восток, слагают собой западную часть огромного тоналитового батолита Баруда (Baroud Gneisses of Hume, 1935), простирающегося через всю территорию к западу от Сафаги (Fowler et al., 2006). Гранодиориты и тоналиты прорваны интрузиями более поздних монцогранитов. В монцогранитах встречаются ксенолиты тоналитов. По данным (Johnson et al., 2011; Johnson, 2014; El-Bialy, 2020), габбро-тоналит-гранодиоритовый комплекс имеет возраст 622–611 млн. лет.

Позднеколлизионный комплекс представлен вулканитами Дохана, которые могут быть разделены на древнюю серию, состоящую в основном из андезитов и дацитов, и молодую серию риодацит-риолитов, их субвулканических эквивалентов, а также риолитовых туфов и игнимбритов (Эль Габи, 1994). Однако в районе Ум-Тагир данный комплекс представлен только андезитовыми

и дацитовыми породами с преобладанием *андезитов*, которые занимают около 6 % обнаженных пород района Ум-Тагир, характеризуются массивной текстурой и порфировой структурой. Андезиты прорваны монцогранитами, щелочно-полевошпатовыми гранитами и непосредственно вклиниваются в гранодиориты. Возраст андезитов, по (Stern, 1979), составляет 602 ± 12 млн. лет.

Постколлизийный комплекс представлен «молодыми» гранитоидными породами — монцогранитами и щелочно-полевошпатовыми гранитами. *Монцограниты* слагают около 30% исследуемой территории, характеризуются крупно- и среднезернистой структурой, от белого до розоватого цвета, массивной текстурой, высоким положением в рельефе, пересечены трещинами в двух направлениях (меридиональном и широтном). Монцограниты занимают секущее положение к древним гранодиоритам и нарушаются более молодыми интрузиями щелочно-полевошпатовых гранитов. *Щелочно-полевошпатовые граниты* представляют последний тип гранитной магмы. Граниты с щелочными полевыми шпатами выделяются меридиональным поясом, простирающимся от Абу-Хавейс на севере до Вади-Ум-Тагир на юге (рис. 5). Они демонстрируют высокий рельеф с абсолютными отметками до ~ 890 м в Абу-Хависе. Щелочно-полевошпатовые граниты имеют цвет от розового до красного, массивные текстуры, средне- и крупнозернистые структуры. Щелочно-полевошпатовые граниты пересекают гранодиориты с магматическим контактом. Возраст монцогранитов и щелочно-полевошпатовых гранитов по (Johnson et al., 2011; Johnson, 2014; Wilde, Youssif, 2000), — 602–542 млн. лет, а по (Hashad, 1980; Stern and Hedge, 1985; Hassan and Hashad, 1990), — 610–550 млн. лет, что согласуется с представлениями об их формировании в эдиакарии.

Дайки и жилы на исследуемой территории представлены многочисленными телами, которые характеризуются различным составом и временем внедрения. Дайки имеют мощность от 30 см до 15 м, длину более 15 км. Они представлены мелкозернистыми гранитами, диоритами и долеритами. Жилы сложены пегматитами, кварцем, их мощность колеблется от нескольких сантиметров до 7 м, длина достигает иногда более 5 км.

Геохимическая классификация исследованных горных пород. Согласно классификации бинарной диаграммы $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ по сравнению с SiO_2 (Кокс и др., 1979), графики проанализированных образцов пород габбро, метагаббро и андезита погружаются в поля габбро и андезита (рис. 6 а, б), тогда как образцы гранитов, согласно Мидлмосту (1985), погружаются в поля тоналита, гранодиорита, монцогранита и щелочно-полевошпатового гранита (рис. 6 в).

Тип магмы изученных горных пород. Согласно диаграмме AFM Ирвина и Барагара (1971), габбро и метагаббро имеют тенденцию быть толеитовыми, в то время как гранитные породы и андезиты имеют известково-щелочной характер, что показано на рисунках 7 а, б, в.

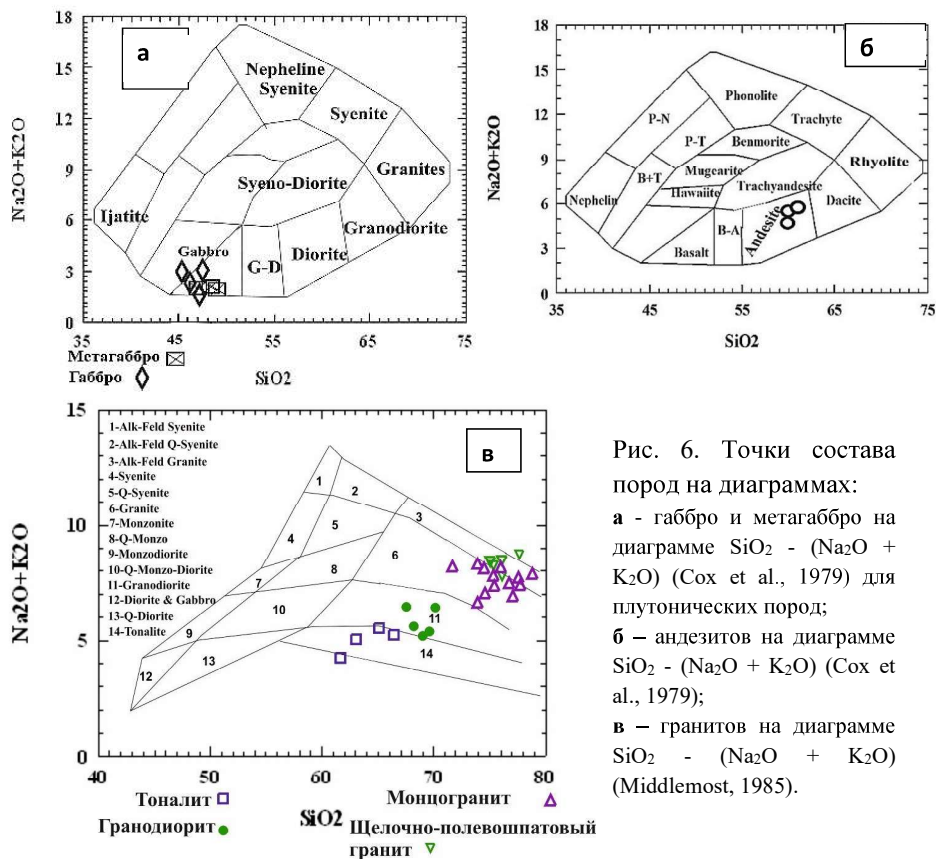


Рис. 6. Точки состава пород на диаграммах:
а - габбро и метагаббро на диаграмме SiO_2 - ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) (Cox et al., 1979) для plutonic пород;
б - андезитов на диаграмме SiO_2 - ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) (Cox et al., 1979);
в - гранитов на диаграмме SiO_2 - ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) (Middlemost, 1985).

Геотектоническая обстановка исследованных горных пород по геохимическим данным. Согласно соотношению Zr и TiO_2 на диаграмме Пирса (1982), видно, что исследуемые образцы метагаббро располагаются в поле серии островных дуг (рис. 8 а).

Pearce et al. (1984) использовали диаграмму Nb в зависимости от Y, чтобы показать тектоническую обстановку: (ORG) срединно-океанических хребтов, (Syn-COLG) синколлизонную, (VAG) вулканической дуги и (WPG) внутриплитных гранитных полей. Согласно этой диаграмме, образцы тоналита и гранодиорита попадают в поле вулканической дуги, сопряженное с синколлизонной обстановкой. Тогда как образцы более молодых гранитов района Ум-Тагир – моногранитов и щелочно-полевошпатовых гранитов – связаны с внутриплитным гранитным полем (рис. 8 б).

Исследуемые образцы габбро, которые мы отнесли к раннеколлизийному габбро-тоналит-гранодиоритовому комплексу согласно их локализации и возрастных характеристик, на данной диаграмме размещаются в поле вулканической дуги (рис. 8 в).

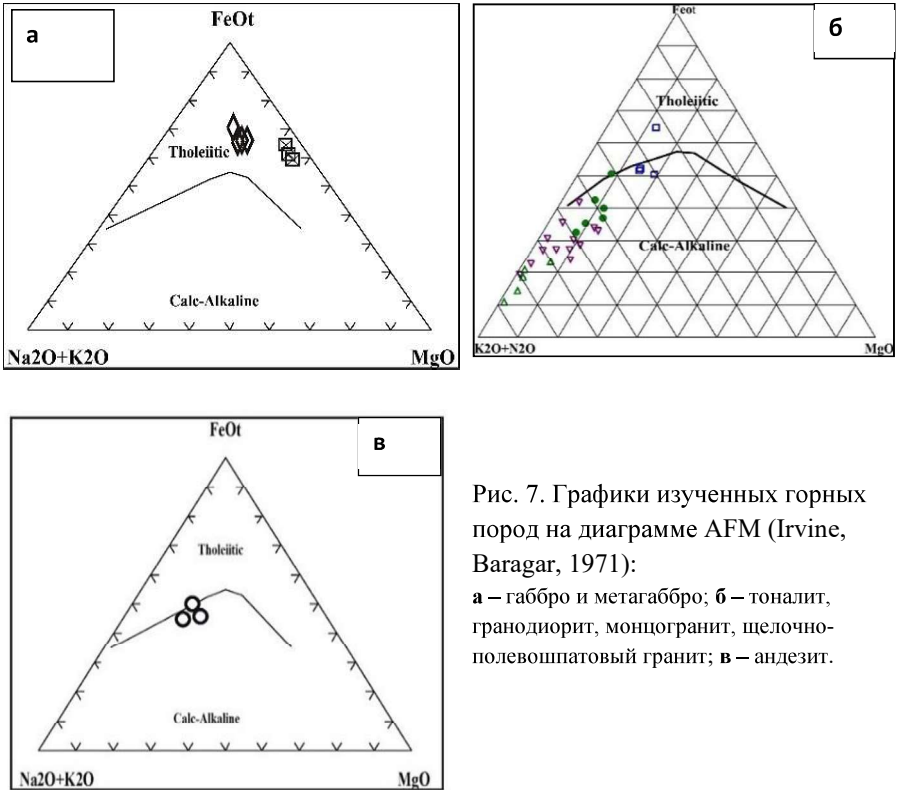


Рис. 7. Графики изученных горных пород на диаграмме AFM (Irvine, Baragar, 1971):

а – габбро и метагаббро; **б** – тоналит, гранодиорит, монцогранит, щелочно-полевошпатовый гранит; **в** – андезит.

Обстановки образования андезитов вулкана Дохан (Кена Сафага) на диаграмме Ti–Zr Пирса (1980) соответствуют полю внутриплитной обстановки (рис. 8 г), что не противоречит отнесению андезитов к позднеколлизийному магматическому комплексу.

Редкоземельные элементы исследованных горных пород. Метагаббро, габбро и андезит показывают небольшое обеднение структуры REE (La до Lu), также ясно, что метагаббро немного увеличилось в структуре REE (Tb до Lu), все они имеют небольшую аномалию Eu или не имеют ее.

Образцы редкоземельных элементов в гранитных породах (Boynnton, 1984) показывают небольшое истощение фракционированного образца от легких до тяжелых, со слегка положительными и отрицательными аномалиями Eu от тоналита до монцогранита и гранитов из щелочного полевого шпата.

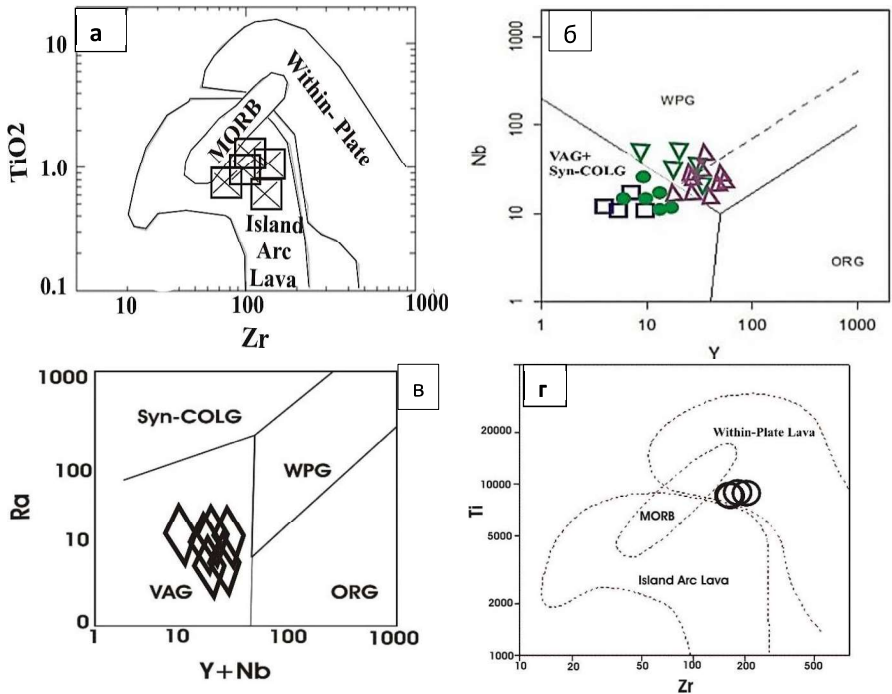


Рис. 8. Дискриминационные диаграммы для исследованных метагаббро (а); тоналитов, гранодиоритов, монцогранитов, щелочно-полевошпатовых гранитов (б); габбро (в); андезитов (г).

Геодинамические обстановки: MORB, ORG – срединно-океанических хребтов; Island Arc Lava – островодужные, VAG – вулканических дуг, Syn-COLG – синколлизионные; WPG, Within-Plate – внутриплитные.

Петрографическая характеристика исследуемых пород.

Метавулканокластические породы представлены актинолит-роговообманковыми сланцами. Они имеют сланцевую текстуру, сопровождающуюся чередованием темных полос из роговой обманки и хлорита, а также светлых полос – из плагиоклаза и кварца. Акцессорные минералы: оксиды железа и апатит. Основные вторичные минералы: актинолит, хлорит и эпидот.

Метагаббро отличается порфировой структурой. Согласно классификационной диаграмме габброидов IUGS Le Maitre (2002), породы соответствуют лейкогаббро (рис. 9 а) и состоят из битовнита и лабрадора (An₇₉-An₆₂) (~ 53,6%), авгита (12%), роговой обманки (15,78 %), с небольшим количеством оксидов железа и апатита (рис. 9 б); вторичные минералы – хлорит и эпидоты.

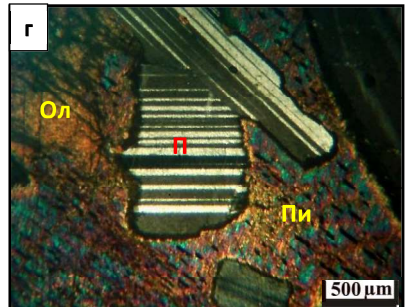
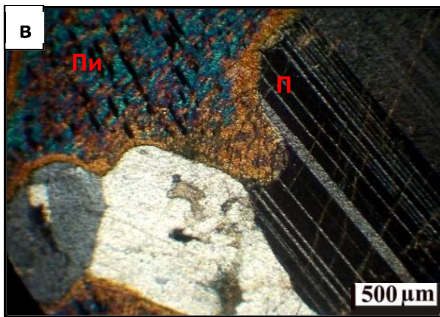
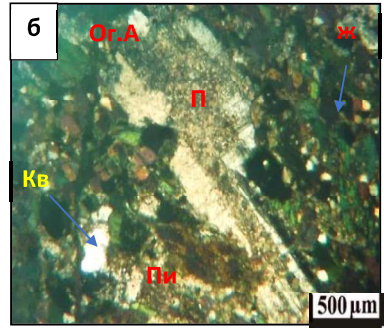
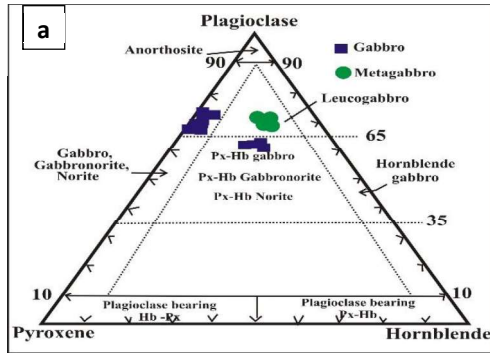


Рис. 9. Состав метагаббро и габбро:

а - по номенклатуре IUGS габброидов на классификационной диаграмме (Ле Мэтра, 2002); **б** - фотобластическая текстура плагиоклаза (П) внутри крупных корродированных зерен авгита (Пи) и роговой обманки (Ог.А) в метагаббро; **в** - гиперстеновая кайма (Пи), окружающая карловарско-альбитовые двойники плагиоклаза (П), демонстрирующие офитовые и субофитовые текстуры в пироксен-роговообманковом габбро; **г** - зерно авгита (Пи), включающее зерна плагиоклаза (П), демонстрирующее офитовые и субофитовые текстуры.

Неметаморфизованные габброидные породы, согласно диаграмме, классифицируются на пироксен-роговообманковое габбро и лейкогаббро (рис. 10 а). Пироксен-роговообманковое габбро включает плагиоклаз лабрадорского состава (An_{57-67}) (60%), авгит (18%), гиперстен (4%) и роговую обманку (13%), а также вторичные хлорит и актинолит (рис. 9 в). Лейкогаббро состоит из лабрадора ($An_{69-An_{65}}$) (~ 67,25%), авгита (~ 24,4%), гиперстена (~ 3,3%) и оливина (~ 2,4%), а хлорит и актинолит присутствуют в виде вторичных минералов (рис. 9 г).

Породы Доханского вулкана, согласно классификационной диаграмме QAPF вулканических пород (Streckeisen, 1976), имеют андезитовый состав (рис. 10 а). **Андезиты** состоят из андезина (~ 57,7%), кварца (~ 9,3%), щелочного полевого шпата (~ 4%), роговой обманки (~ 12%) и биотита (~ 12,3%) (рис. 10 б).

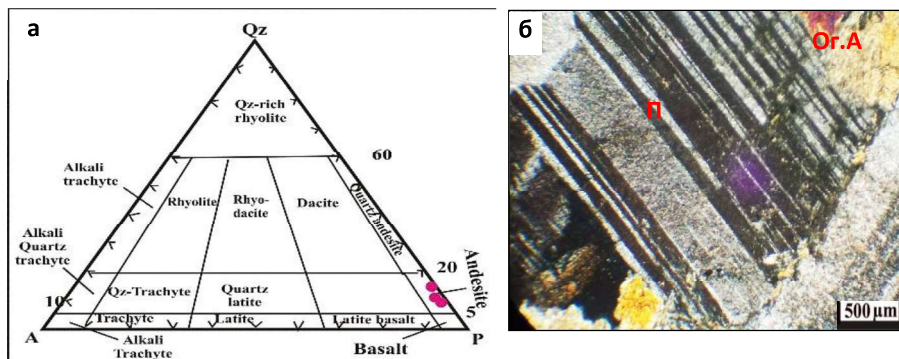


Рис. 10. Состав андезитовых пород: **а** - на QAP диаграмме вулканической классификации (Штреккейзен, 1976); **б** - вкрапленники плагиоклаза (П), окруженные мелкозернистой основной массой, демонстрируют порфировую структуру в андезите.

Гранитоиды представлены тоналитом, гранодиоритом, монцогранитом и щелочно-полевошпатовым гранитом в соответствии с классификационной диаграммой QAP Streckeisen (1976) (рис. 11 а).

Тоналиты сложены андезином (~50,3%), кварцем (~30%) и щелочным полевым шпатом (~ 3,15%) с небольшими количествами биотита и роговой обманки, акцессорные минералы – сфен, циркон и оксида железа (рис. 11 б).

Гранодиориты состоят из среднезернистого плагиоклаза, состав которого варьирует от олигоклаза до андезина ($An_{16}-An_{36}$) с содержанием 45,9%, кварца (~ 30,4%) и щелочного полевого шпата (~ 16,3%), а акцессорные минералы - апатит, биотит и оксид железа (рис. 11 в).

Монцограниты состоят из микроклина (~ 38,6%), ортоклаза и пертита, олигоклаза (~ 29,7%) и кварца (~ 27,8%); мусковит и биотит распространены как акцессорные минералы (рис. 11 г).

Щелочно-полевошпатовые граниты состоят из щелочного полевого шпата (~ 59,8%), пертита, микроклина и небольшого количества ортоклаза, кварца (~ 33,2%) и альбита (~ 3,4%), с небольшими количествами мусковита и оксида железа (рис. 11 д).

Тезис 2. Установлено, что габброиды Ум-Тагир включают массивные и рудоносные полосчатые разности. Пластообразные интрузии габбро на участке Абу-Мурат содержат густовкрапленные титаномагнетитовые руды. Рудные тела с содержанием оксидов железа до 17–42 % имеют форму полос и линз, мощностью до 3 м, видимой протяженностью 10–30 м, образуют рудные пачки, мощностью 10–20 м. Рудные минералы представлены гематитом, титаномагнетитом, ильменитом, магнетитом, гематитом и гетитом.

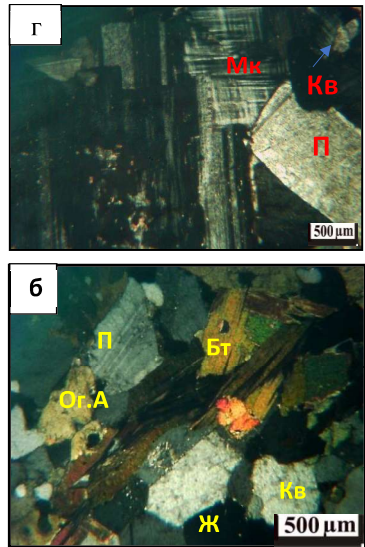
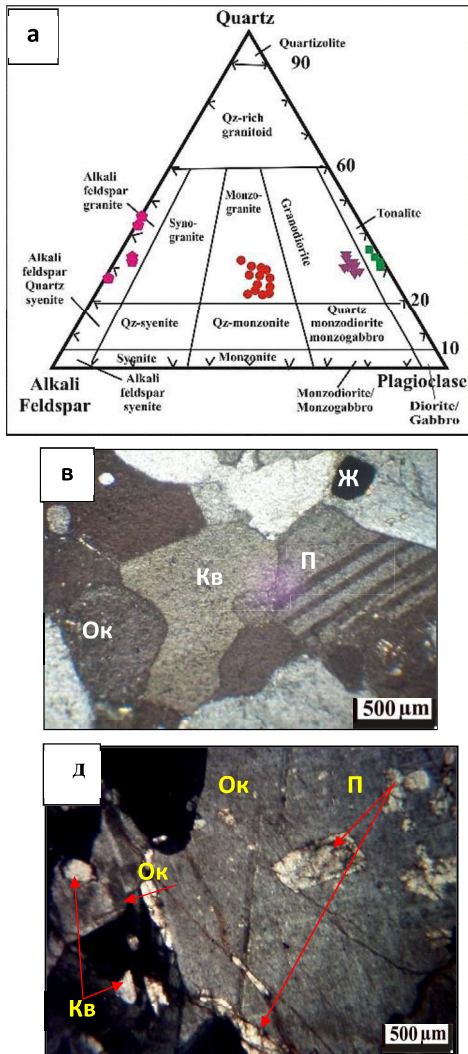


Рис. 11. Состав гранитных пород:

а - на диаграмме QAP (Streckeisen, 1976); **б** - чешуйчатые кристаллы биотита (Бт), связанные с плагиоклазом (П), зернами кварца (Кв) и роговой обманкой (Ог.А) в тоналите; **в** - альбитовый двойник плагиоклаза (П), связанный с зернами кварца (Кв) и кристаллом ортоклаза (Ок) в гранодиорите; **г** - поперечная штриховка микроклина (Мк), связанного с идиоморфным кристаллом плагиоклаза (П) и зернами кварца (Кв) в монzogabbро; **д** - кристалл ортоклаза (Ок) окружен мелкими зернами кварца (Кв), демонстрирующими пойкилитовую структуру.

В районе Ум-Тагир на участке Абу-Мурат автором обнаружены вкрапленные железные руды в полосчатом габбро. Рудные тела представлены полосами и линзами концентрированной густой вкрапленности, чередующимися с зонами рассеянной вкрапленности титан-железистых минералов. Мощность пластообразных рудных тел 1–3 м, протяженность в обнажениях не менее первых десятков метров, простираение субсогласное с вмещающими интрузиями, северо-западное, с углом падения 30–45°. Границы рудных тел слабо извилистые, переходы от богатых рудных полос к бедным и безрудным – постепенные, что

согласуется с представлением об их магматическом генезисе при кристаллизационной дифференциации (рис. 12). За счет повторения рудных тел в разрезе интрузии создаются рудные пачки мощностью 10-20 м.

Рудоносные габбро хорошо выделяются на картах магнитного поля района Ум-Тагир в виде контрастной положительной аномалии (рис. 13), в центре которой сильно магнитные породы ($> 60,5$ нТ).

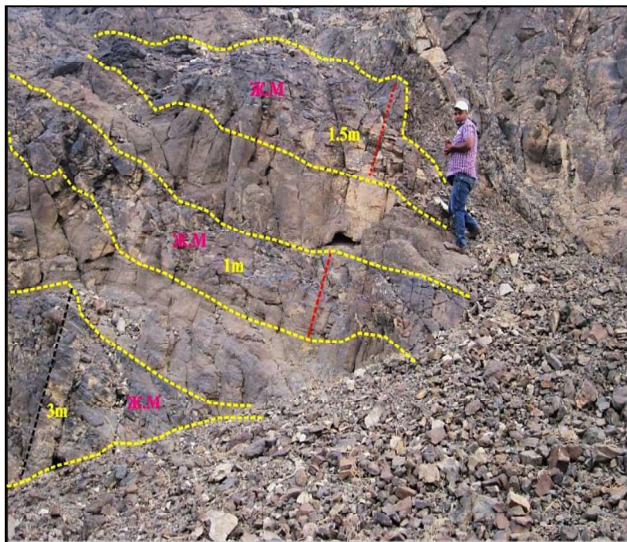


Рис. 12. Обнажение полосчатого габбро, с субпараллельными линзами и полосами густой вкрапленности минералов оксида железа (Ж.М.) в Абу-Мурат

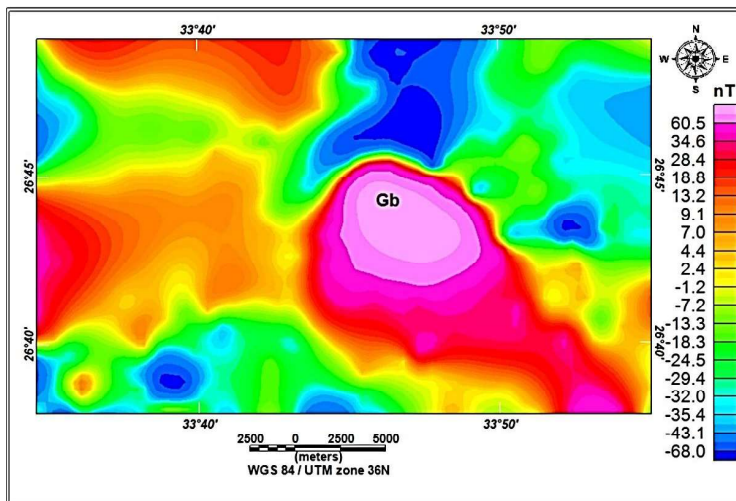


Рис. 13. Карта магнитного поля района Ум-Тагир.

Приведено к северному магнитному полюсу (RTP), в нТ исследуемой области (по Salem B.A., 2018, с изменениями)

Минералогические исследования с помощью рудного микроскопа и сканирующего электронного микроскопа (SEM) показали, что рудные минералы в габбро Абу-Мурат представлены вкрапленностью гемоильменита, титаномагнетита, ильменита, магнетита, гематита и гётита, а также небольшим количеством пирита (рис. 14).

Гемоильменит встречается в виде крупнозернистых, среднезернистых и пластинчатых кристаллов (рис. 14 в), является результатом распада твердого раствора ильменита-гематита, а ильменит содержит 50% гематита. В зернах гемоильменита видна текстура отжига из-за процесса рекристаллизации. Однако он показывает ту же ориентацию и ламели, что и ильменит до распада. Гемоильменит иногда включает идиоморфные кристаллы плагиоклаза. Между тем, он превращается в гетит (рис. 14 д), а иногда и во вторичный магнетит.

Титаномагнетит встречается в виде крупных и мелких идиоморфных или ангедральных зерен (рис. 14 а, г), часто массивный, но в некоторых случаях вкрапленный во вмещающую породу. Титаномагнетит обычно демонстрирует регулярную мартитизацию вдоль своих плоскостей ильменитом, в то время как вкрапленные кристаллы слегка мартитизированы, а также иногда расщепляются мелкими пластинками ильменита из-за процесса твердого растворения магнетита и ильменита (рис. 14 а).

Ильменит представляет собой коричневые с фиолетовым оттенком зерна от крупных до средней степени сцепления, обычно от идиоморфных до ангедральных, иногда удлиненных кристаллов. Он часто входит в плоскости титаномагнетита и показывает решетчатую или многослойную структуру, образованную быстрым охлаждением твердого раствора магнетита и ильменита. У ильменита хорошо развито пластинчатое двойникование, иногда он срастается с гематитом, становится темнее по цвету, переходя в гетит и гематит.

Магнетит встречается в виде средних и мелких субидиоморфных и идиоморфных кристаллов кубической формы серого цвета, иногда с коричневатым оттенком. Иногда вмещает часть зерен пирита (рис. 14 а, ж). Неравномерные пятна и мелкие агрегаты магнетита также регистрируются в составе вмещающих пород. Постоянная мартитизация до гематита явно заметна, особенно на его периферии. В этой регулярной мартитизации октаэдрические плоскости вступают в реакцию с образованием треугольных сетчатых ламелей гематита. Эта структура является такой же постоянной, как и структура, полученная в результате распада, в котором гематитовые пластинки имеют одинаковую ширину. В некоторых случаях вторичный магнетит является псевдоморфозой по гемоильмениту. Первичный магнетит превращается в гётит.

Гематит представлен серо-белыми средними и мелкими агрегатами с красновато-коричневыми внутренними рефlekсами и четким пластинчатым

двойникованием (рис. 14 б, з). Обычно это продукт изменения магнетита из-за мартитизации. Гематит слегка изменен на гетит и/или богатые железом оксигидроксиды с четкой колломорфной текстурой (рис. 14 д).

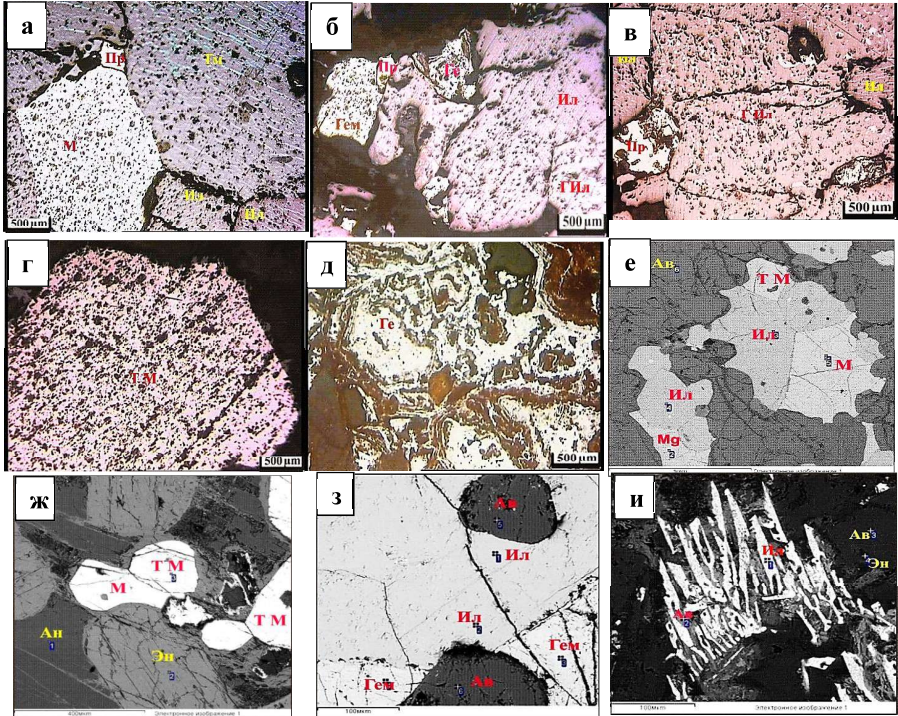


Рис. 14. Рудные минералы в габбро Ум-Тагир в аншлифах (а-д) и на микрофотографиях, сделанных с помощью SEM (е-и):

а - титаномagnetит (ТМ) с вращением ильменита (Ил), кристалл магнетита (М) и частицы пирита (Пр); **б** - гемоильменит (Г Ил), гематит (Гем), ильменит (Ил), гётит (Ге), псевдоморфозы по ильмениту и пятнышки пирита (Пр), рассеянные по минеральному составу руды; **в** - гемоильменит (Г Ил) (ильменит со сростками гематита 50%) включает в себя пятнышки пирита (Пр); **г** - кубический идиоморфный кристалл титаномagnetита (ТМ); **д** - колломорфная текстура гетита (Ге) по магнетиту; **е, ж** - массивные кристаллы ильменита (Ил), интеркалированные титаномagnetитом (ТМ), магнетитом (М) и окруженные кристаллами авгита (Ав) и андезина (Эн); **з** - массивная Fe-Ti руда состоит из ильменита (Ил) и гематита (Гем), включает зерна пироксена (Ав); **и** - ильменит (Ил), связанный с пироксеном (Ав, Эн).

Гётит – вторичный минерал, он встречается в основном в виде мелких кристаллов — псевдоморфоз по титаномagnetиту, гемоильмениту и магнетиту. Минерал имеет серый цвет от тускло-серого до ярко-серого с голубоватым оттенком. Гётит демонстрирует слабое двуотражение и отчетливую анизотропию с коричневато-желтыми или красновато-коричневыми внутренними рефlekсами. Псевдоморфозы гетита сохраняют характерные

формы минералов оксида железа, а также пирита. Тонкие прожилки гётита иногда встречаются в породообразующих минералах.

Пирит встречается в виде мелких вкраплений, рассеянных в минералах оксидов железа, особенно в ильмените, гемоильмените и магнетите; пирит обычно замещается гётитом (рис. 14 а, в).

В рудоносных габбро и рудных телах участка Абу-Мурат обнаружены содержания оксидов железа от 17 до 42 %, оксида титана от 3 до 12 % (табл. 1).

Таблица 1

Оксиды и следы РЗЭ в рудоносных габбро и рудных телах Абу-Мурат

	Рудоносное габбро Абу-Мурат								Рудные тела			
Обр.	6А	38А	39А	55	6В	38В	39В	40	Т-40А	Т-40В	Т-40С	Т-40Е
Основные оксиды, %												
SiO ₂	46.1	44.1	46.7	49.3	45.8	48.1	47.1	49.2	33	30	31	32
Al ₂ O ₃	15.2	16.5	16.4	14.8	14.5	13.4	14.2	13.1	4	4.5	3.5	2.5
Fe ₂ O ₃	17.3	19.2	17.3	13.7	16.6	15.4	16.3	16.7	32.4	31	33.3	31.5
FeO	0.3	0.27	1.37	3.7	0.4	3.1	1.4	1.8	5.4	7.8	8	8.5
CaO	9.8	5.42	7.68	7.2	10.3	9.2	8.5	9.2	8	7.7	9	6.3
MgO	3.88	4.17	3.47	4.27	3.52	3.5	3.7	3.1	4.6	5.71	3.7	6.5
TiO ₂	4.47	5.51	3.98	2.85	4.5	4.1	4.6	3.9	11.0	12	10.5	11
P ₂ O ₅	0.21	0.57	0.31	0.22	0.3	0.21	0.6	0.2	0.6	0.7	0.5	0.8
Na ₂ O	2.42	2.44	2.6	2.23	2.1	2.3	2.7	2.2	0.5	0.3	0.4	0.4
K ₂ O	0.26	0.71	0.63	0.34	0.5	0.4	0.3	0.26	0.2	0.1	0.04	0.03
L.O.I.	0.02	0.59	0.1	0.99	0.8	0.2	0.3	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1
Av	99.8								99.6			
Микроэлементы (ppm, г/т)												
Cr	66.9	68.3	66.3	345	65.7	65.3	67.1	64.5	76.6	109.9	73.7	52
Ni	16.8	14.1	13.7	22.8	17.9	14.4	15.7	16.4	27	26.3	33.8	40.2
Cu	-	-	-	200	-	-	-	-	3.2	-	7.7	9
Zn	173.7	178.5	166.8	109.3	181.7	180.2	171.8	159.3	188.6	195.4	180	210
Zr	42	45	60	54	47	46	58	51	65	71	62	74
Rb	19	18.7	17.5	5.2	17.8	17.8	16.5	15.2	1.4	1.6	1.8	1.7
Y	18	20	21	13.7	22	23	20.6	21.3	40	38	39.2	37
Ba	280	286	278	102	292	273	265	247	20	18.5	19.2	18
Pb	38	52.3	50.8	46.8	40	54.7	52	49.2	55	53	66.5	70.4
Sr	452.6	466.4	455.8	417.1	473.2	472.6	465.2	417.1	298	325	266.1	263
Ga	3	4	5	6	3.1	3.6	5.1	5.7	-	-	-	-
V	502.1	533.8	539.7	102.5	506.2	522.2	535	518.5	2332.8	2411.4	1679.2	1435.5
Nb	7	6	5	4	6.4	5.8	5	4.1	-	-	-	-
Co	291.3	312	305.8	129.4	286.2	317	310.2	329.4	653	791.5	587.7	567.5
U	0.2	0.25	0.23	0.18	0.25	0.3	0.24	0.19	0.2	0.1	.26	0.3
Th	0.75	0.8	0.6	0.54	0.8	0.7	0.4	0.44	0.22	0.2	.12	0.1
Mn	2943	2864	2870	2640	2845	2765	2723	2678	6285.5	6634.8	5712.7	5357.8

По данным анализа микроэлементов методом ICP-MS, в рудоносных габбро и титаномагнетитовых рудах участка Абу-Мурат впервые были зафиксированы повышенные содержания ванадия (табл. 1), вплоть до промышленных концентраций (от 0,05 до 0,24 %). Это свидетельствует о высоком качестве руд и возможной попутной добыче ванадия при разработке потенциальных месторождений исследуемого района.

Перспективы освоения месторождений железа магматического генезиса в габброидных интрузиях района Ум-Тагир связываются с участком Абу-Мурат, где автором впервые установлены многочисленные точки минерализации с повышенными содержаниями гидроксидов железа (рис. 15).

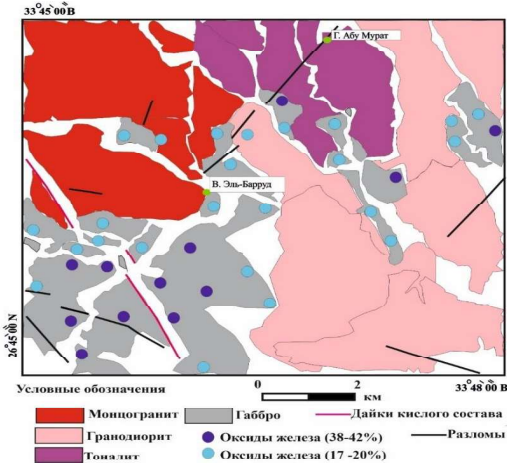


Рис. 15. Точки минерализации с оксидами железа в габброидном массиве участка Абу-Мурат

Тезис 3. К нерудным полезным ископаемым по декоративным и физико-механическим свойствам отнесены гранитоиды района Ум-Тагир, которые отличаются суммарным содержанием радионуклидов ЕРН (Аэфф) в среднем от 50,8 до 121 Бк/кг, что позволяет отнести их к I классу по радиационной опасности (СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности «ОСПОРБ 99/2010») и применять в качестве строительных материалов.

Для эталонных образцов гранитных пород, собранных в районе Ум-Тагир, методом ICP установлено, что концентрации ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K находятся в пределах средних мировых диапазонов (рис. 16). Все измеренные радиологические параметры ниже допустимого предела (НРБ-99/2009), следовательно, вредные радиационные эффекты в результате естественной радиоактивности гранитных пород не представляют опасности населению для всех видов строительства (ГОСТ 30108-94). Физико-механические свойства исследованных образцов гранита показаны в таблице 2.

Эталонные образцы гранитов имеют хорошую прочность, низкую пористость, допустимые значения теплового расширения (совместимые с международным стандартом для поделочных камней), низкое водопоглощение и могут использоваться в качестве габаритных камней из-за их высокой устойчивости к атмосферным воздействиям (Blyth and de Freitas, 1974). Образцы имеют удельный вес $\geq 2,5$, они подходят для тяжелых строительных работ (Blyth

and de Freitas, 1974). Образцы показывают хорошие результаты по стойкости к истиранию, атмосферостойкости и морозостойкости, а также кислотостойкости и имеют хорошие декоративные свойства.

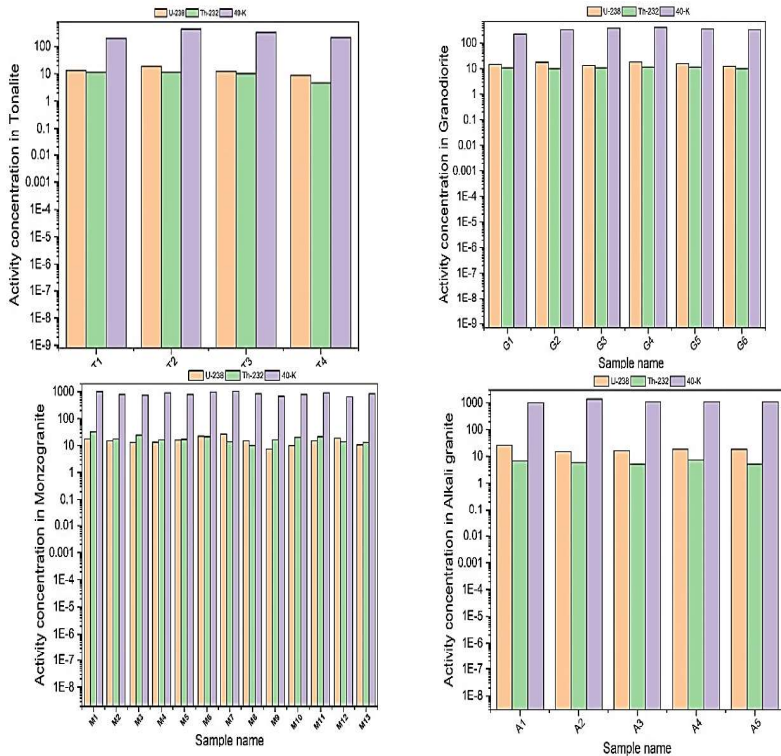


Рис. 16. Концентрации ^{238}U , ^{232}Th и ^{40}K (Бк/кг) для эталонных проб

Таблица 2

Технические свойства эталонных образцов гранита Ум-Тагирского района

№ образца	Насыпной удельный вес, г/см ³	Видимая пористость, %	Впитывание воды, %	Тепловое расширение, см	Прочность на сжатие, кг/см ²	Устойчивость к истиранию, кг/см ²	Атмосферостойкость	Морозостойкость	Кислотостойкость (HCl и H ₂ SO ₄)
46	2.40	0.50	0.31	0.02	1757	Хорошая	Хорошая	Хорошая	Хорошая
23	2.20	0.42	0.23	0.01	1873	Хорошая	Хорошая	Хорошая	Хорошая
28С	2.53	0.52	0.16	0.06	1747	Хорошая	Хорошая	Хорошая	Хорошая
34В	2.55	0.40	0.14	0.05	1822	Хорошая	Хорошая	Хорошая	Хорошая
54	2.57	0.38	0.2	0.03	1878	Хорошая	Хорошая	Хорошая	Хорошая
36В	2.51	0.39	0.22	0.09	1823	Хорошая	Хорошая	Хорошая	Хорошая

На рисунке 17 показаны рекомендуемые перспективные участки в районе Ум-Тагир для разработки облицовочных гранитоидов.

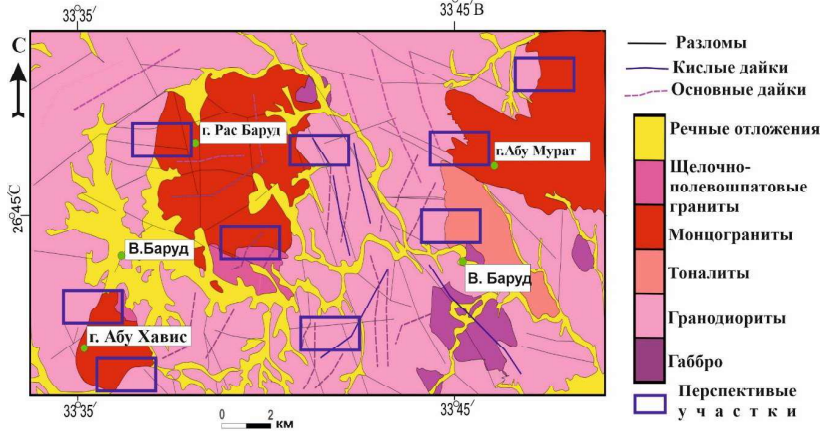


Рис. 17. Рекомендуемые перспективные участки с проявлениями облицовочных гранитоидов в районе Ум-Тагир

На перспективных участках района Ум-Тагир наблюдается пониженная трещиноватость гранитных пород с хорошими декоративными и техническими характеристиками и высокой блочностью. Средние размеры блоков составляют около 120 см в длину, 100 см в ширину и от 20 до 80 см по мощности.

Заключение

1. На изученной территории центральной области Восточной пустыни Египта определены геологическая позиция и минералого-геохимические особенности неопротерозойских магматических пород района Ум-Тагир с выделением рудоносных образований. Перспективы района связаны с рудоносными габбро, в которых впервые обнаружены проявления ванадийсодержащих титаново-железных руд магматического генезиса, а также с гранитоидными породами, пригодными в качестве строительных и облицовочных материалов.

2. Титаномagnetитовые руды на участке Абу-Мурат встречаются в виде субпараллельных пластообразных тел в полосчатых габбро, мощностью до 3 м, протяженностью более первых десятков метров с содержанием оксидов железа 17–42 %, оксида титана 3–12 %, ванадия 0,05–0,24 %.

3. Все разновидности гранитоидов района Ум-Тагир представляют интерес как строительное сырье и облицовочный материал, так как имеют хорошие технологические, декоративные свойства, высокую блочность и низкую радиоактивность, не представляющую опасность для населения.

ОСНОВНЫЕ ОПУБЛИКОВАННЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Входящие в базу данных Scopus

1. **Awad H.A.M.**, Zakaly H.M.H., Nastavkin A.V., El-Taher A. Radioactive content and radiological implication in granitic rocks by geochemical data and radiophysical factors, Central Eastern Desert, Egypt // *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 2020 (In press).
2. **Awad H.A.M.**, Zakaly H.M.H., Nastavkin A.V., El-Taher A. Radiological implication of the granitoid rocks and their associated jasperoid veins, El-Missikat area, Central Eastern Desert, Egypt // *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 2020 (In press).
3. **Awad H.A.**, Zakaly H.M.H., Nastavkin A.V., El-Taher A. Radioactive content in the investigated granites by geochemical analyses and radiophysical methods around Um Taghir, Central Eastern Desert, Egypt // *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. Vol. 1582(1). 012007.
4. **Awad H.A.**, Zakaly H.M.H., Nastavkin A.V., El-Taher A. Investigation of Radiological Hazards of Granitic Rocks, Central Eastern Desert, Egypt // *AIP Conference Proceedings*. 2020. Vol. 2313. 020001.
5. Ghoneim M.M., Panova E.G., Abdel Gawad A.E., **Awad H.A.**, Zakaly H.M.H., El-Taher A. Analytical methodology for geochemical features and radioactive elements for intrusive rocks in El Sela area, Eastern Desert, Egypt // *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 2021 (In press).
6. Ghoneim M.M., Abdel Gawad A.E., **Awad H.A.**, Zakaly H.M.H., Mira H.I., El-Taher A. Distribution patterns of natural radioactivity and rare earth elements in intrusive rocks (El Sela area, Eastern Desert, Egypt) // *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 2021 (In press).
7. **Awad H.A.**, Zakaly H.M.H., Nastavkin A.V., El Tohamy A.M., El-Taher A. Radioactive mineralizations on granitic rocks and silica veins on shear zone of El-Missikat area, Central Eastern Desert, Egypt // *Applied Radiation and Isotopes*. 2021. Vol. 168. 109493.
8. Tawfic A.F., Zakaly H.M.H., **Awad H.A.**, Tantawy H.R., Abbasi A., Abed N.S., Mostafa M. Natural radioactivity levels and radiological implications in the high natural radiation area of Wadi El Reddah, Egypt // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2021. Vol. 327. P. 643-652.
9. **Awad H.A.**, Nastavkin A.V. Geochemical and Geotectonic Setting for Island Arc Related rocks on Um Taghir area, Central Eastern Desert, Egypt // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 720. 012049.
10. **Awad H.A.M.**, Nastavkin A.V. Some Mechanical and Physical Studies of Granitic Rocks in Um Taghir, Eastern Desert, Egypt // *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 1945. 012012.
11. Moghazy N.M., El-Tohamy A.M., Fawzy M.M., **Awad H.A.**, Zakaly H.M.H., Issa S.A.M., Ene A. Natural Radioactivity, Radiological Hazard and Petrographical Studies on Aswan Granites Used as Building Materials in Egypt // *Applied Science*. 2021. Vol. 11. 6471.

12. Abed N.S., Abdel Monsif M., Zakaly H.M.H., **Awad H.A.**, Hessien M.M., Yap C.K. Assessing the radiological risks associated with high natural radioactivity of microgranite rocks: a case study in north-eastern desert of Egypt // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022. Vol. 19. 473.
13. **Awad H.A.**, Abu El-Leil I., Kamel M., Tolba A., Nastavkin A., El-Wardany R.M. Geological features from field observation and remote sensing data on the Um Taghir area, Eastern Desert, Egypt // Geodynamics and Tectonophysics. 2022 (On print).
14. **Awad H.A.**, Abu El-Leil I., El-Wardany R.M., Ene A., Tolba A., Kamel M., Nastavkin A., Zakaly H.M.H. Mineralogy and Radioactivity Level of the New Occurrence of Ilmenite Bearing Gabbro at Abu Murrat, Northeastern Desert, Egypt // Romanian Journal of Physics. 2022. Vol. 67. 803. P. 1-12.
15. **Awad H.A.**, Abu El-Leil I., Granovskaya N.V., Ene A., Tolba A., Kamel M., Nastavkin A., El-Wardany R.M., Zakaly H.M.H. Petrotectonic and Geochemistry of Abu Murrat Ilmenite Bearing Gabbro, NE Desert, Egypt // Romanian Journal of Physics. 2022 (On print).
16. **Awad H.A.**, El-Leil I.A., Nastavkin A.V., Tolba A., Kamel M., El-Wardany R.M., Rabie A., Ene A., Tekin H.O., Issa S.A.M., Zakaly H.M.H. Statistical analysis on the radiological assessment and geochemical studies of granite rocks in the north of Um Taghir area, Eastern Desert, Egypt // Open chemistry. 2022. Vol. 20. P. 1-13.
17. Kamar M.S., Salem I.A., El-Aassy I.E., El-Sayed A.A., **Awad H.A.**, Tekin H.O., Alzahrai A.M., Lasheen El Saeed R. Petrology and geochemistry of multiphase post-granitic dikes: A case study from the Gabal Serbal area, Southwestern Sinai, Egypt // Open chemistry. 2022. Vol. 20. P. 169-181.

В журналах из списка, рекомендованного ВАК

1. **Awad H.A.M.**, Ali I.A.El-L., Nastavkin A.V., Tolba A.S., Abdel Ghani M.K., Hassan M.A.A., Ghoneim M.M.F., Gawad A.El S.A. Geological and Tectonic Setting of Andesitic Rock in Central Eastern Desert, Egypt // Известия Уральского государственного горного университета. 2021. № 2 (62). С. 7-15.
2. **Awad H.A.M.**, Nastavkin A.V. Geological and petrographical studies around Um Taghir area, Central Eastern Desert, Egypt // Известия Уральского государственного горного университета. 2020. № 1 (57). С. 7-25.
3. **Авад Х.А.М.**, Наставкин А.В. Минералого-геохимические исследования габброидов в Центрально-Восточной пустыне, Египет // Известия Уральского государственного горного университета. 2020. № 3 (59). С. 41-51.
4. Abu El-Leil A.I., Tolba A.S., **Awad H.A.M.**, Nastavkin A.V., Omar S.A., El-Feky M.G. Geological and geochemical studies on El-Missikat granites, Central Eastern Desert, Egypt // Известия Уральского государственного горного университета. 2020. № 4 (60). С. 7-18.
5. Ghoneim M.M., Saleh G.M., Dawoud M.D., Azab M.S., Mohamed M.A., **Awad H.A.** Geochemistry, uranium, thorium, and rare earth elements of trachyte dykes of Umm Salatit mountain area, Central Eastern Desert, Egypt // Известия Уральского государственного горного университета. 2018. № 3 (51). С. 7-18.

Диссертационное исследование выполнено при поддержке Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет 2030»).