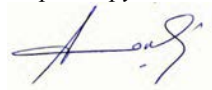


На правах рукописи



Аули Эссаид

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ И УСЛОВИЯ
ФОРМИРОВАНИЯ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ
МЕСТОРОЖДЕНИЯ АМЕСМЕССА
(АЛЖИРСКАЯ САХАРА)**

Специальность 25.00.11 – Геология, поиски и разведка твердых
полезных ископаемых, минерагения

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва-2016

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования Российском государственном геологоразведочном университете им. Серго Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ)

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук, профессор
Игнатов Пётр Алексеевич
(МГРИ-РГГРУ)

Официальные оппоненты:

кандидат геолого-минералогических наук,
Дорожкина Людмила Алексеевна
(ФГБУ ВИМС)

доктор геолого-минералогических наук,
Волков Александр Владимирович
(ИГЕМ РАН)

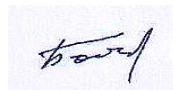
Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов» (РУДН)

Защита состоится «19» мая 2016 г. в 15-00 на заседании диссертационного совета ДС 212.121.04 при Российском государственном геологоразведочном университете им. Серго Орджоникидзе» (МГРИ-РГГРУ) по адресу: 117997, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23, ауд. 4-73.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного геологоразведочного университета (МГРИ-РГГРУ)

Автореферат разослан « » марта 2016 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат геолого-минералогических наук



Бобков А.И.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность.

Золотые месторождения привлекательный для инвесторов объект. Страны стремятся увеличить свой золотой запас, выявить новые месторождения и тем самым обрести экономическую стабильность. Не является исключением и Алжирская Народно-Демократическая Республика (АНДР), на юге которой находится рассматриваемое в диссертации золотое месторождение Амесмесса. Вклад алжирских геологов (работавших в содружестве с российскими) в создание минерально-сырьевой базы АНДР существенен. Именно их совместными усилиями создана основа горно-добывающего сектора Алжира, позволившего стране пережить период нестабильности и обрести перспективы развития в XXI веке.

В условиях глобализации началась экспансия компаний-недропользователей в зарубежный горно-геологический бизнес. В полной мере это относится и к Алжиру. После двадцатилетнего перерыва алжирско-российское сотрудничество в этой сфере возобновляется. На прошедшем в 2013 году заседании Российско-Алжирской межправительственной комиссии отмечалась важность прихода в страну российских геологических и горнорудных компаний. И этот процесс уже начался, в 2015 году подписано первое алжирско-российское соглашение в этой сфере.

Рассматриваемое в диссертации месторождение Амесмесса является не только наиболее значительным золоторудным объектом Алжира, но и ключевым для понимания всей геологии, расположенного на юге Сахары, Ин-Уззальского золоторудного района, перспективы которого не ограничиваются известными объектами. Диссертационное исследование, позволило не только расшифровать структурно-вещественные особенности и закономерности локализации оруденения на Амесмессе, но и провести обоснованные аналогии с известными канадскими и другими крупными золоторудными объектами того же рудно-формационного типа и тем самым обосновать перспективы и направления геологоразведочных работ для наращивания ресурсов золота. Это особенно важно в современных условиях, когда на золотодобычу влияют геополитические и социально-экономические факторы, а стоимость тройской унции золота превысила самые смелые прогнозы. Данная тенденция, очевидно, сохранится и в будущем. Все это делает настоящую работу весьма актуальной для горно-геологической отрасли Алжира, в том числе и для развития дальнейшего его сотрудничества с Россией.

Цель работы - установить структурно-вещественные закономерности локализации и условия формирования золотого оруденения на месторождении Амесмесса, оценить возможности и перспективы расширения сырьевой базы в Ин-Уззальском золоторудном районе.

Основные задачи.

1. Провести анализ геотектонической позиции месторождения Амесмесса в общей структуре района.
2. Расшифровать внутреннее строение месторождения, факторы рудоконтроля и закономерности локализации оруденения.
3. Изучить вещественный состав руд и последовательность минералообразования.
4. Проанализировать геодинамические условия формирования и пространственно-временную позицию золотого оруденения.
5. Оценить перспективы флангов и глубоких горизонтов месторождения Амесмеса, а также общие перспективы Ин-Узальского района.

Фактический материал и личный вклад автора. Автором, начиная со второй половины 80-х годов, и до завершения разведки в 1993 году. проводились полевые и камеральные и исследования на месторождении Амесмесса, и других перспективных площадях Ин-Узальского района в составе геологических партий руководимых российскими специалистами. Полевые и камеральные работы, осуществлявшиеся непосредственно автором включали в себя:

- поисковые маршруты, документацию канав и керна скважин, изучение условий залегания жил, даек, прожилков. Было изучено и задокументировано с отбором каменного материала для аналитических исследований около 850 п.м. керна скважин и более 1800 п.м. канав;
- отбор рудных штучных проб и образцов из жильных зон, гранито-гнейсов, сланцев, гидротермально-измененных пород докембрия, из которых изготавливались шлифы и аншлифы для последующих исследований;
- минераграфическое изучение вещественного состава руд и последовательности формирования связанных с ними минеральных комплексов.

Автор участвовал в составлении графики и глав завершенных производственных геологоразведочных отчетов по месторождению Амесмесса, проводил поисковые работы на прилегающих золотых рудопоявлениях. Впоследствии, в качестве генерального директора ORGM курировал вопросы подготовки объекта для промышленного освоения. Им опубликован ряд статей по закономерностям локализации, составу и условиям образования золотого оруденения на месторождении Амесмеса, а также по истории открытия золота в Ин-Узальском районе Алжирской Сахары.

Методы исследований. Региональное тектоническое положение объекта исследовалась путем анализа мелко- и среднемасштабных геологических и минерагенических карт Ахаггара, с привлечением данных дешифрирования космоснимков Landsat ETM+.

Структурная позиция оруденения исследовалась путем анализа детальных геолого-структурных карт, схем, разрезов. Выделение систем рудовмещающих трещин и определение этапов деформаций осуществлялось на основе документации обнажений, канав и керна, с последующей расшифровкой последовательности главных событий в истории формирования объекта. Позиция и статистические особенности рядового и богатого оруденения анализировалась на геолого-структурных схемах, разрезах, проекциях жил на вертикальную плоскость, гистограммах распределения содержаний золота.

Все аналитические исследования (рентгено-спектральный анализ, масс-спектропия с индуктивно-связанной плазмой и др.) проводились в аналитическом центре ORGM. Абсолютная датировка выполнялась U-Pb методом по цирконам на ионном микрозонде SHRIMP-II. Для характеристики минерального состава руд, последовательности минералообразования с помощью бинокуляра и микроскопа изучались взаимоотношения минералов в шлифах и аншлифах.

При оценке перспектив золотого оруденения в Ин-Узальском районе использовались принципы и подходы формационного анализа, разработанные М.М. Константиновым (ФГУП ЦНИГРИ), а также результаты поисковых и геолого-геофизических работ, проведённых ORGM на данной территории. В диссертации проанализированы опубликованные данные, а также фондовый материал советско-алжирских исследований, осуществлявшихся в XX веке по линии технического содействия Алжиру.

Научная новизна.

1. Расшифрована геологическая структура и позиция месторождения Амесмесса и рудного района в региональной тектонике длительно развивавшегося докембрийского щита Ахаггар.

2. Охарактеризованы структурно-деформационные парагенезисы и этапы развития структуры месторождения. Доказана ведущая роль в контроле золотого оруденения разрывных парагенезисов, возникших в ходе геодинамического развития регионального Восточно-Инузальского разлома, являющегося вбросо-сдвигом.

3. Охарактеризованы типовые обстановки рудолокализации и структурная позиция участков с высоким содержанием золота, обусловленная особенностями пространственного размещения рудовмещающих трещин в условиях субширотной ориентировки растяжения.

4. Показано, что оруденение имеет протерозойский возраст, располагается преимущественно в пределах протерозойского гранит-зеленокаменного пояса и тяготеет к полям развития метаморфизованных диоритов.

5. Охарактеризован минеральный состав руд и последовательность рудообразования, показано, что данный тип оруденения относится к золото-кварц-(мало)сульфидной рудной формации.

6. Количественно оценены перспективы глубоких горизонтов и флангов месторождения Амесмесса и других золотоносных площадей в Ин-Узальском районе, существенно увеличены общие ресурсы золота.

Практическая значимость. Установленные структурно-вещественные факторы рудоконтроля месторождения Амесмесса и шовной зоны Восточно-Инузальского разлома в целом позволили более целенаправленно ориентировать поисково-оценочные работы на флангах месторождения и в пределах ряда перспективных площадей в Ин-Узальском районе. Это нашло непосредственное отражение в конкретных проектах геологоразведочных работ проведённых ORGM.

Апробация работы и публикации. Результаты и основные положения работы докладывались и обсуждались на ряде совещаний, конференций и симпозиумов: Научно-техническом совете ОАО «Зарубежгеология» (Москва, 2012); Рабочей группе Российско-Алжирской межправительственной комиссии (Алжир, 2013); Всероссийской научной конференции с международным участием «Благородные, редкие и радиоактивные элементы в рудообразующих системах», к 120-летию члена-корреспондента АН СССР, Ф. Н.Шахова (Новосибирск, 2014); Научно-техническом совещании при Главном геологе ООО «ОЗГЕО» (Москва, 2014); на XII International Conference “New ideas in the Earth Sciences”, (Moscow, 2015); на VI Международной научно-практической школе-конференции молодых учёных и специалистов «Геология, поиски и комплексная оценка месторождений твёрдых полезных ископаемых» (Москва, 2015).

Основные положения диссертации опубликованы в 7 научных статьях и тезисах докладов, в том числе в 2 изданиях, входящих в перечень ВАК. Результаты работы использовались в долгосрочном и оперативном планировании деятельности Алжирской государственной горно-геологической компании (ORGM) и горнорудной компании ENOR.

Структура и объем работы. Работа состоит из 6 глав, введения, заключения, списка литературы из 46 наименований. Общий объем диссертации составляет 84 страницы, включая 43 рисунка и 6 таблиц.

Во введении обоснована актуальность работы, охарактеризована её цель и задачи, представлена научная новизна и практическая значимость, отражены методы исследований и личный вклад автора.

Первая глава посвящена особенностям геологического строения докембрийского шита Ахаггар, в пределах которого расположен исследуемый объект.

Во второй главе характеризуется тектоническая позиция и геологическое строение Ин-Узальского золоторудного района, в состав

которого входит месторождение Амесмесса, обосновывается первое защищаемое положение.

В третьей главе описано геологическое строение месторождения Амесмесса и закономерности локализации золотого оруденения, обосновывается основная часть второго защищаемого положения.

В четвёртой главе характеризуется минеральный состав руд и стадийность рудообразования, обосновывается третье защищаемое положение.

Пятая глава расшифровывает геодинамические и структурно-тектонические условия формирования месторождения Амесмесса обосновывается часть второго защищаемого положения, где речь идёт об геодинамике Восточно-Инузальской сдвиговой зоны, в ходе развития которой были сформированы рудовмещающие трещинные парагенезисы.

В шестой главе рассматриваются рудно-формационные особенности и оцениваются перспективы золотого оруденения Ин-Узальского района, обосновывается четвёртое защищаемое положение.

В заключении резюмируются основные результаты работ.

Благодарности. Автор признателен научному руководителю д.г.-м.н., профессору П.А. Игнатову, за наставничество над иностранным соискателем, а также д.г.-м.н С.В. Белову за консультации и содействие в корректуре работы на русском языке. Автор благодарит за поддержку и полезные контакты во МГРИ-РГГРУ проректора по международным делам В.С. Старикова, проректора по науке д.т.н., профессора В. А. Косьянова, директора института геологии минеральных ресурсов д.г.-м.н., профессора А.А. Верчёбу. Автор признателен за сотрудничество специалистам компании ООО «Озгео» И.И. Силаеву, А.А. Захаровой-Гавриловой, С.Н. Звереву, С.В. Пичугину, В.И. Титову а также сотрудникам ВИМСа: заместителю генерального директора д.г.-м.н. И.Г. Печенкину, к.г.-м.н О.А. Арманд и другим товарищам за дружеское содействие при его визитах в Россию.

Защищаемые положения

1. Структурно-тектоническая позиция наиболее значительного месторождения Амесмесса, а также более мелких объектов в Ин-Узальском золоторудном районе определяется их преимущественной приуроченностью к протерозойским зеленокаменным комплексам, среди которых развиты метаморфогенные диориты, как производные протерозойской гранитизации эбурнейского этапа, а в их пределах – к крупной зоне Восточно-Инузальского разлома, отделяющей их от архейских образований суггария.

2. Основу структуры месторождения Амесмесса и типовой геологической обстановкой нахождения рудных тел являются линейные разрывные парагенезисы, возникшие в ходе геодинамического развития регионального Восточно-Инузальского вбросо-сдвига. Наиболее продуктивное золотое оруденение локализуется в пределах продольных трещин скалывания, контролирующихся осевой плоскостью разлома, параллельных главному сместителю и тяготеющих к лежащему боку. Менее продуктивны поперечные сдвиги, располагающиеся под углами 60-75° к осевой плоскости этого разлома.
3. Доминирующим полезным компонентом на месторождении Амесмесса является самородное гипогенное золото, слагающее первичные легкообогатимые руды. Его основная масса представлена тонкой (от 0,005 редко до 0,5 мм) вкрапленностью. В рудах золото распределено неравномерно. Для минерального состава руд характерно небольшое количество сульфидов. Окисленные руды, несмотря на часто более высокие содержания и более крупное золото, имеют подчиненное значение. Попутным компонентом руд, представляющим промышленную ценность, является лишь серебро.
4. По особенностям минерального состава, структуры, геодинамики, возрасту, и морфологии рудных тел изученный золоторудный объект представляется металлогеническим аналогом значительных по масштабам золотых месторождений пояса Абитибид в Канаде (Хемло, Керклейд-Лейк) и месторождения Колар в Индии. Обоснование такой аналогии позволяет существенно увеличить прогнозные ресурсы и полагать, что Ин-Узальский золоторудный район имеет хорошие перспективы наращивания запасов при проведении целенаправленных геологоразведочных работ.

ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

Обоснование первого защищаемого положения

Ин-Узальский золоторудный район и месторождение Амесмесса, располагаются на юго-западе Ахаггара (рис.1), представляющего собой глыбово-складчатую область в центре Сахарской платформы, размерами 850 х 600 км. В строении его преобладают кристаллические и зеленокаменные комплексы архея-протерозоя, что позволяет рассматривать Ахаггар как типоморфную провинцию древних щитов (Туарегский щит). В геоморфологическом отношении это свод, возникший в ходе мезозойского воздымания территории.

Ахаггар сформирован в основном в результате архейско-раннепротерозойского и позднепротерозойского (рифейского) мегациклов, когда возникли новые складчатые зоны и были переработаны блоки ранней консолидации (Геология и полезные... (1973); Зигхми (2004); Салоп (1977); Чайка (1979); Шубер, Фор-Мюре (1973); Caby, Lelubre (1996), Ferkous, Monie, et. al. (1996); и др.

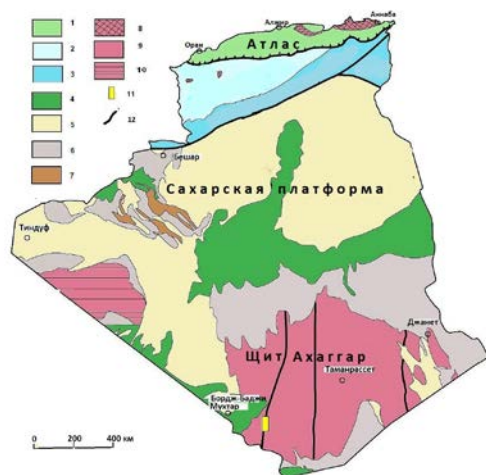


Рис.1 Схема геологического строения территории Алжира.

1-3 – область альпийской складчатости: 1 – область Атласа; 2 – Высокие плато; 3 – Сахарский Атлас. 4-6 – область Сахарской платформы: 4 – меловые отложения; 5 – неоген-четвертичные отложения; 6 – нерасчленённые палеозойские отложения; 7 – герциниды Угарты; 8-10 – выходы кристаллического основания: 8 – палеозоидов на севере Алжира; 9 – щита Ахаггар (Хоггар); 10 – древнего щита Эглаб; 11 – положение Ин-Узальского золоторудного района с месторождением Амессмесса; 12 – основные разломы.

Архейско-раннепротерозойскому циклу развития Ахаггара отвечают высоко метаморфизованные толщи суггария. К наиболее древним образованиям с возрастом 3300 млн. лет (Allegre, Caby, 1972) относятся породы инузальского комплекса, распространённые в Западно-Ахаггарском горст-антиклинории (Haddoum, 1992; Ferkous K., Monie P., et. al., 1996). В строении его участвуют метаморфизованные до гранулитовой фации гнейсы, кристаллические сланцы, кальцифиры и мрамора. Плутонические образования выражены ассоциацией чарнокитов и плагиогранитов. Нижнепротерозойские отложения представлены гнейсами, кварцитами, глинозёмистыми сланцами и мраморами, амфиболитами и железистыми кварцитами. Датировка гнейсов из нижней части разреза дала значения 2200 млн. лет (Bertrand, 1974). Отложения неопротерозойского этапа менее метаморфизованы и представлены вулканогенно-осадочными породами, сохранившимися в синклиналих и грабенах. Среди вышеуказанных толщ присутствуют синорогенные батолиты и дайки пёстрого состава, а также позднеорогенные панафриканские граниты с возрастом 620-580 млн лет (Gravelle, 1969; Caby, 1970), и посторогенные граниты Таурирт, возникшие в интервале 535-484 млн. лет в период раннепалеозойской тектономагматической активизации (Белов и др., 1991 Белов, 1999).

Тектонический облик Ахаггара определяет система меридиональных грабено- и горстообразных блоков разделенных глубинными разломами. Грабены сложены гранит-зеленокаменными комплексами протерозоя, а горсты – гранито-гнейсовыми породами архейско-раннепротерозойского возраста (суггарий). Границы этих структурно-формационных зон проходят по вышеуказанным разломам. Ин-Узальский золоторудный район, приурочен к одному из таких разломов (Восточно-Инузальскому). Он включает помимо месторождения Амессмеса, более мелкое месторождение Тирек, расположенное севернее и ряд находящихся между ними рудопоявлений (зона ZITA - Zone Intermediate Tirek Amesmessa). Район вытянут меридионально вдоль Восточно-Инузальского разлома (который является основным его структурным элементом), на 60-65 км при ширине 6-8 км (рис.2).

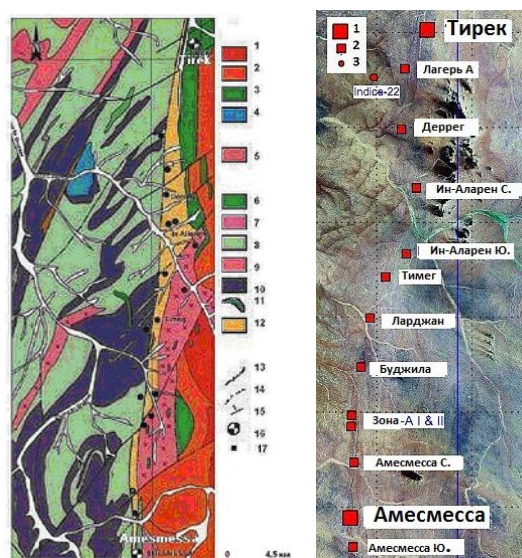


Рис. 2. Слева - Геологическая карта Ин-Узальского золоторудного района 1 – молассовые отложения кембрия; 2 – гранодиориты; 3–габбро, габбродиориты; 4 – ультрабазиты; 5 – гнейсы среднего протерозоя; 6 – 12 породы архейского возраста: 6 – монцодиориты; 7 – аляскиты (лептиниты); 8 - чарнокиты; 9 - гранулиты фельзитовые; 10 – гранулиты ожелезнённые; 11 – карбонатные отложения; 12 – милониты; 13 – разломы наблюдаемые; 14 – разломы предполагаемые; 15 – элементы залегания пород; 16 - месторождения золота (Тирек – на севере, Амессмеса – на юге площади); 17 - рудопоявления золота. **Справа - Размещение золотых кварцево-жильных рудопоявлений между месторождениями Амессмеса и Тирек.** 1 – разведанные месторождения; 2 – рудопоявления; 3 – точки минерализации. Основа – космоснимок Landsat.

Восточно-Инузальский разлом протягивается в меридиональном направлении более чем на 200 км, при ширине шовной зоны 0,5-2,0 км. Разлом является сочленением архейских гранулит-чарнокитовых пород инузальского комплекса развитых на западе, с протерозойскими гранит-зеленокаменными образованиями, располагающимися в восточной части золоторудного района (Аули, Белов, 2014; Бенбаха, Аули, 2015; Белов и др., 2015). В пределах последней, вдоль Восточно-Инузальского разлома,

локализуются дайкообразные тела протерозойских метаморфизованных габбро-диоритов, относящихся к эбурнейскому тектоно-магматическому циклу, который охватывает период 2170-1750 млн. лет (Allegre, Cabu, 1972; Cabu 1996). Десятки золотоносных кварцево-рудных жил, также тяготеющих к зоне этого разлома, формируют линейные жильные поля на месторождениях Амесмесса, Тирек, и на рудопроявлениях. Большинство золоторудных объектов приурочено к протерозойским метаморфическим толщам (рис.3).

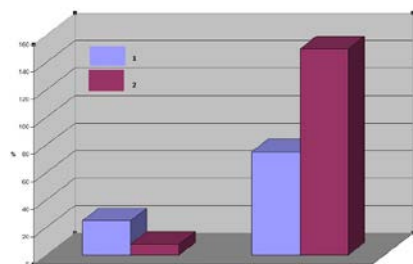


Рис. 3. Распределение (в %) жильных золоторудных объектов в Ин-Узальском районе: слева - залегающих среди архейских образований; справа – среди протерозойских толщ. 1 – общее число объектов; 2 – тоже, с учётом масштабов оруденения.

Это свидетельствует о решающем влиянии рудоконцентрации, происходившей в восточной части Ин-Узальского золоторудного района, входящей в состав протерозойского гранит-зеленокаменного пояса. При этом, проявившийся там магматизм Эбурнейского этапа, выразившийся во внедрении дайкообразных тел габбро-диоритов, а также локализация золотоносных кварцевых жил контролировались зоной регионального Восточно-Инузальского разлома. По-видимому, причиной этого является повышенная насыщенность протерозойского гранит-зеленокаменного пояса металлоносными флюидами, в условиях его большей структурной раздробленности, возникшей в ходе формирования данного дизъюнктивна.

Обоснование второго защищаемого положения.

Месторождение Амесмесса - основной объект Ин-Узальского золоторудного района находится в южном его окончании. Главным элементом месторождения, определяющим его структуру, является меридиональная зона Восточно-Инузальского разлома, которая делит площадь объекта на две части (рис. 4). В западной половине месторождение сложено архейскими метаморфическими образованиями Инузальской серии (AR_{in}), представленной гранулитами, гранито-гнейсами, кварцитами и кальцифирами. В восточной части развиты нижнепротерозойские породы серии Арешшум (PR_{lar}). Они представлены гнейсами и гранито-гнейсами с прослоями кварц-альбит-серицитовых и хлорит-биотит-эпидотовых сланцев.

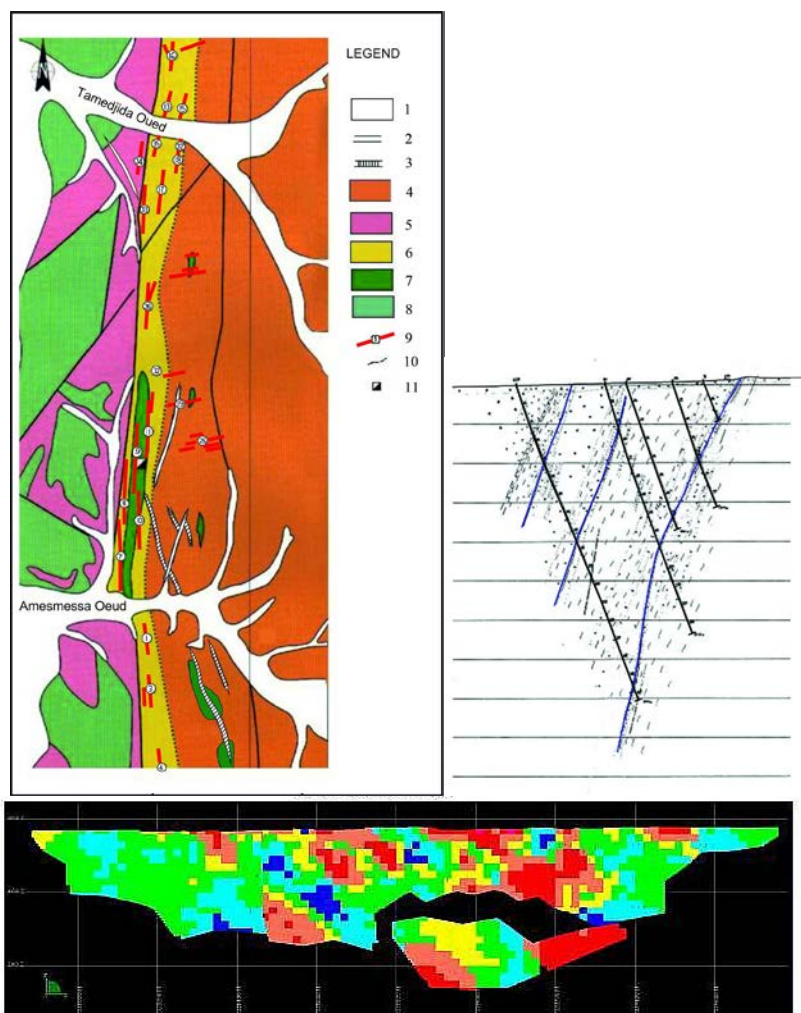


Рис. 4. Месторождение Амессмеса: слева - геологическая карта; справа - разрез в районе жилы 9; внизу - распределение золота в плоскости жилы 9, красное - наиболее богатые участки. (по данным ORGM с дополнениями автора).

1- четвертичные отложения; 2 - 4 - протерозойские породы; 2 - дайки диоритов; 3 - дайки фельзитов; 4 - породы серии Арешшум (PR_{lar}) гнейсы и гранито-гнейсы с прослоями амфиболитов и сланцев; 5 - архейские лейкократовые гнейсы Инузальской серии (AR_{in}); 6 - милониты в зоне Восточно-Инузальского разлома; 7 - протерозойские габбро-диориты; 8 - гранулиты основного состава Инузальской серии (AR_{in}); 9 - золотоносные кварцевые жилы и их номера; 10 - второстепенные разломы; 11 - разведочная шахта.

Восточно-Инузальский разлом, делящий месторождение на две части, представляет собой взбросо-сдвиг, что подтверждается приподнятым западным крылом, сложенным архейскими толщами и более значительной раздробленностью восточного лежачего бока разлома, выполненного протерозоем. Породы в его пределах расланцованы, милонитизированы и подвергнуты бластезу.

Главными рудовмещающими структурами месторождения Амесмесса являются крупные сколовые трещины параллельные Восточно-Инузальскому разлому и локализующиеся в его лежачем боку (Аули, Белов, 2014; Белов, Зверев, Аули, 2015). Именно они вмещают наиболее продуктивные золотоносные жилы - 9, 8, 7, 10 и 11 в центре месторождения. В них сосредоточено 75% запасов. Протяжённость этих жил достигает 3 км. Мощность от 2-3 до 25-30 метров. Падение их крутое, западное (см. рис. 4). Севернее находится ещё одна группа жил (12, 17, 18, 13, 15, 16), а югу от центра расположены небольшие жилы 1, 2, 3, 4. Все они по своей структурной позиции и морфологии аналогичны центральным: залегают в лежачем боку в сколовых крутопадающих трещинах, согласных с шовной зоной Восточно-Инузальского разлома и представляют собой северное и южное структурное продолжение продольных центральных жил. В них сосредоточено 19% запасов. Таким образом, подавляющая часть наиболее продуктивных жил контролируется осевой плоскостью субмеридионального Восточно-Инузальского разлома.

Особенностью структуры объекта является то, что в 300-500 м к востоку от центра месторождения имеется серия поперечных жил восток-северо-восточного направления (№26,19,32, и т.д.). Протяженность их от первых сотен до 800-900 м. Содержание золота в этих жилах, как и мощность, существенно ниже. В них сосредоточено лишь 6% запасов объекта.

Трещины, в которых они залегают, по морфологии, структурной позиции и параметрам могут идентифицироваться как оперяющие, поперечные R'-сдвиги или антитетические сдвиги по Риделю, которые, как свидетельствуют данные тектонофизического моделирования (Гзовский, 1975; Ramsay, 1980; Sylvester, 1988), неизбежно возникают в ходе геодинамического развития сдвиговых зон, располагаясь под углами 60-75° к главному сместителю (рис.5).

Более слабая рудоносность этих жил обусловлена худшими условиями их раскрытия в рудный этап, когда вектор растяжения был ориентирован субширотно, поперёк субмеридионального Восточно-Инузальского разлома.

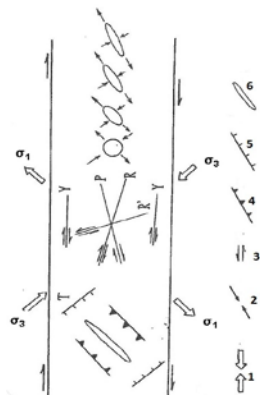


Рис. 5. Основные типы и ориентация структур возникающих в зоне динамического влияния сдвига (по Гзовский, 1975; Стоянов, 1977; Silvester, 1988; Ramsay, Huber, 1987).

1 - ориентация региональных напряжений; 2 - ориентация локальных напряжений; 3 - направление перемещений; 4 - надвиги; 5 - сбросы; 6 - складки. R - трещины Риделя (синтетические сдвиги), ориентированные под углом 10-20° к главному разлому; R' и P - антитетические сдвиги ориентированные под углом 60-75° к главному разлому; Т - трещины растяжения, сбросы ориентированные под углом около 45° к главному разлому; Y - сдвиги параллельные главному разлому;

Обоснование третьего защищаемого положения

Золото на месторождении Амесмесса является доминирующим компонентом и представлено гипогенной и гипергенной разновидностями. Возраст золотого оруденения по данным изотопии свинца 2050-1940 млн. лет, что отвечает эбурнейскому тектоно-магматическому циклу, который проявился в Африке в интервале 2170-1750 млн. лет. *Гипогенное золото* наиболее распространено. Оно образует такие минеральные формы, как самородное золото, электрум и купроаурит (Аули, Белов, 2015; Aouli, Belov, 2015; Белов, Зверев, Аули, 2015). *Самородное золото* - главный носитель благородного металла и присутствует в жилах, зонах березитизации и калишпатизации. Выделено четыре его генерации, которые очевидно отвечают пульсационным условиям раскрытия трещин. Самородное золото в кварце образует микропрожилки мощностью от 20, редко до 0,5 мм (рис. 6). В зонах березитизации оно встречается среди хлоритов. Пробность его от 820 до 870 (табл. 1). Характерны примеси серебра (11,4-15,6 %). Постоянная примесью является ртуть (0,67-2,32 %). В меньших количествах обнаруживается примесь железа (0,23-0,53%). В золотосодержащем кварце и березитах фиксируются повышенные содержания свинца, вольфрама, меди, цинка и сурьмы (табл. 2).

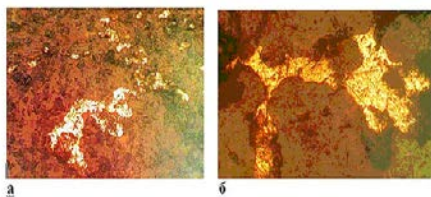


Рис. 6. Особенности проявления золотой минерализации (фото аншлифов): а - мелкие выделения золота размером 0,01-0,05 мм вдоль микротрещин (вверху) и более крупные его агрегаты (внизу) среди ожелезнённой и окварцованной породы; б - выделения золота размером около 0,25mm, приуроченные к границам кварцевых зёрен, тёмное – гематит.

Таблица 1

**Особенности золотой минерализации месторождения Амесмесса
(по данным микрозондового анализа на SUPERPROBE-733)**

Номер п/п	Минеральная форма	Содержание, %					Всего
		Au	Ag	Hg	Fe	Cu	
1	Гипогенное самородное золото	87,32	11,40	1,27			99,90
2	То же	84,64	13,95	1,42			100,01
3	“ “	83,55	14,13	2,32			100,00
4	“ “	84,55	14,29	1,18			99,97
5	“ “	83,86	14,70	1,43			99,99
6	“ “	82,52	15,27	1,38	0,52		99,68
7	“ “	82,51	15,39	1,27	0,83		100,00
8	“ “	82,89	15,62	0,92	0,57		100,00
9	“ “	83,11	15,23	0,67			100,01
10	Купроаурит	74,13	1,60			23,39	99,12
11	Электрум	70,42	28,16	2,30			100,88
12	Гипергенное самородное золото	77,62	20,52	1,96			100,10

Таблица 2

Содержания элементов в некоторых минеральных образованиях месторождения Амесмесса

Номер п/п	Описание породы	Содержание элементов, г/т										
		Pb	Bi	Cu	Ag	Zn	Cd	Co	Ni	Hg	Sb	W
1	Золотосодержащий кварц	61	30	109	66	<1	2	12	17	<1	66	183
2	Кварц с галенитом	15100	38	109	62	6500	59	13	16	39	22	164
3	Березит с пиритом	21	29	155	184	53	1	5	14	<1	151	50
4	Березит с эпидотом	34	115	68	280	<1	6	20	55	<1	357	180
5	Березит с карбонатом	20	70	141	294	<1	3	14	23	<1	267	130

Гипергенное самородное золото наблюдается редко. Его зерна изометричные, овальные, размером до 1 мм, связаны с лимонитом, гётитом, реже – с гидроксидами марганца. Оно имеет более низкую пробность по сравнению с гипергенным и более высокие содержания серебра. Характерно присутствие минералов висмута, представленных тетрадимитом, висмутином, самородным висмутом. Пирит, галенит, сфалерит, халькопирит, пирротин слабо распространены в кварц-золоторудных жилах. Количество сульфидов не превышает 5 %. Они локализируются в виде гнезд, размером от 0,1 мм до 1 см, иногда – в форме прожилков мощностью от 0,2 до 1-2 мм.

В целом можно выделить эндогенный и экзогенный этапы рудогенеза. В пределах эндогенного этапа были выделены дорудная, рудная и пострудная стадии минералообразования, отвечающими определённым минеральным ассоциациям (рис.7), которые отлагались в условиях пульсационного раскрытия рудовмещающей трещиной структуры.

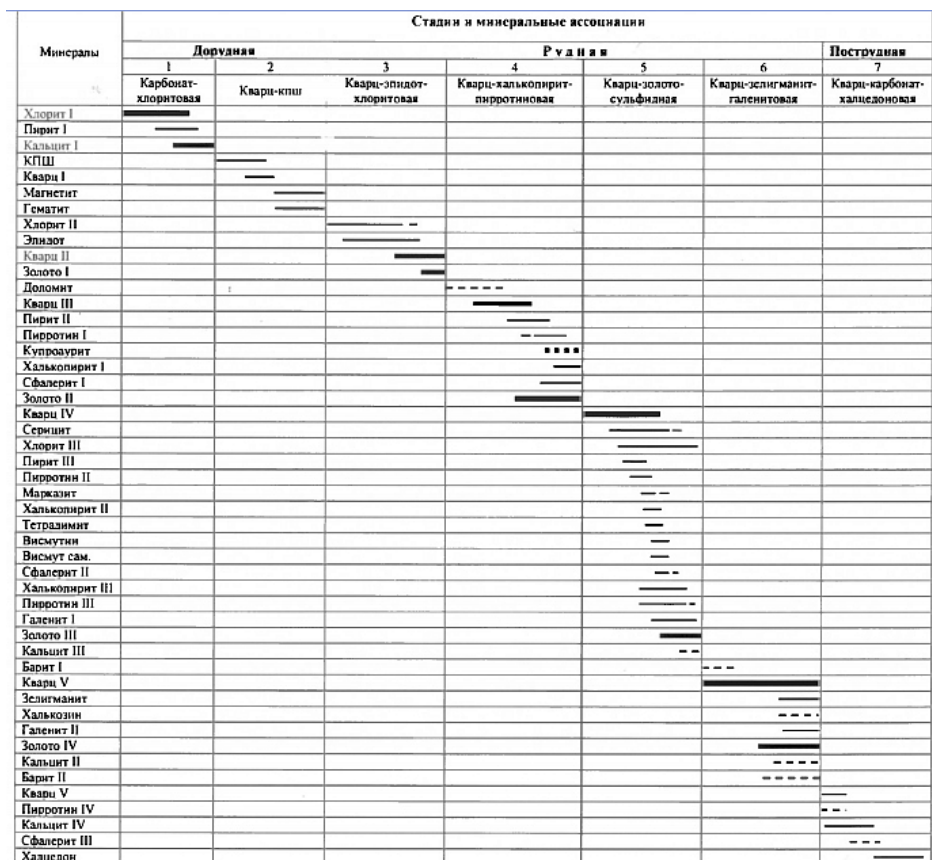


Рис.7. Схема последовательности гипогенного минералообразования на месторождении Амесмесса. Составлена Э. Аули с использованием данных С. Манкова (толщина, тип и длина линий отражают интенсивность и длительность процесса минералообразования).

Начало рудного процесса знаменует *кварц-эпидот-хлоритовая стадия*. В эту стадию, после процесса хлоритизации и эпидотизации происходит отложение золота I генерации, связанного с кварцем II. Следующая *кварц-халькопирит-пирротиновая стадия* является одной из основных в отложении золота. В начале оно выделяется в виде купроаврита (твёрдого раствора с содержанием меди 23,39% и серебра 1,6%). Самородное золото II генерации выделялось после отложения основной массы сульфидов, когда растворы содержали слабо связанную серу и были богаты медью. Это золото содержит повышенные содержания элементов-примесей.

Кварц-золото-сульфидная стадия по концентрации золота является самой значимой. Минеральные парагенезисы её обильны и разнообразны. Отложение минералов происходило в последовательности: кварц IV → (серицит + (хлорит III) → (пирит III + пирротин II) → марказит → (халькопирит II + тетрадимит) → висмутин → самородный висмут → (сфалерит II + халькопирит III) → (пирротин III + галенит) → самородное золото III → кальцит. Завершение гипогенного отложения золота происходит в *кварц-зелигманнит-галенитовую стадию*, когда выделяется золото IV генерации. Оно по данным микрозондового анализа часто соответствует электруму. Заканчивается гидротермальное рудообразование пострудной низкотемпературной *кварц-карбонат-халцедоновой стадией*. Помимо вышеописанных первичных руд на месторождении в небольшом объёме присутствуют окисленные руды, прослеживающиеся до глубин 20–30 м. Они состоят из кварца (до 25–30%), минералов березитов (до 70–75%), и небольшого количества гетита, гидрогетита, гематита, с налётами малахита, азурита, церуссита. В этом типе руд встречаются видимые золотины.

Распределение золота в жилах месторождения неравномерное, коэффициент вариации меняется от 100 до 250%, и преобладают содержания Au от 1 до 5 г/т. (рис. 8). В распределении содержаний золота имеется дополнительный максимум в интервале 10–40 г/т. Он отвечает центральным частям жил, которые часто существенно обогащены золотом (см. рис. 4).

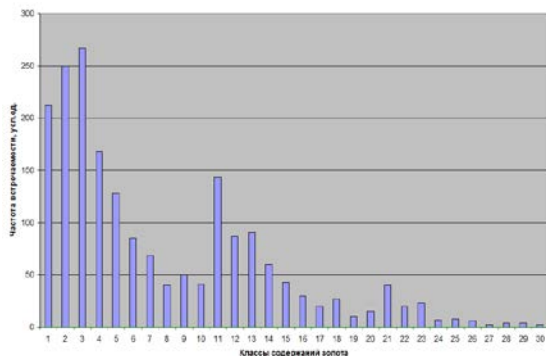


Рис.8. Гистограмма распределения содержаний золота на месторождении Амесмесса (для жил, включённых в подсчёт запасов); интервалы содержаний Au в г/т : 1 – менее1; 2 – 1-2; 3 – 2-3; 4 – 3-4; 5 – 4-5; 6 – 5-6; 7 – 6-7; 8 – 7-8; 9 – 8-9; 10 – 9-10; 11 – 10-15; 12 – 15-20; 13 – 20-30; 14 – 30-40; 15 – 40-50; 16 – 50-60; 17 – 60-70; 18 – 70-80; 19 – 80-90; 20 – 90-100; 21 – 100-150; 22 – 150-200; 23 – 200-300; 24 – 300-400; 25 – 400-500; 26 – 500-600; 27 – 600-700; 28 – 700-800; 29 – 800-900; 30 – 900-1000.

Обоснование четвёртого защищаемого положения.

Металлогенический облик Ин-Узальского района определяется широко развитой золотой минерализацией. Количество золотоносных жил в его пределах достигает двух сотен. Район можно рассматривать как специфичную историко-геологическую аномалию, характеризующуюся общностью геологического строения, истории развития и соответствующей металлогении. В формационном плане, по особенностям состава, структуры, геодинамики, возрасту и морфологическим типам рудных тел главное его месторождение Амесмесса, а также другие аналогичные золоторудные

объекты Ин-Узальского района (Тирек и др.), в соответствии с классификацией М.М. Константинова (2006), могут быть отнесены к золото-кварц-(мало)сульфидной формации. Она типична для металлогенических зон зеленокаменных поясов древних щитов, каковым собственно и является Ахаггар. В восточной части золоторудного района, фрагмент протерозойского зеленокаменного пояса, трассируемый субмеридиональной полосой амфиболизированных и серпентинизированных габброидов параллельных Восточно-Инузальскому разлому прослеживается от месторождения Тирек на севере до месторождения Амесмесса на юге.

Примечательно, что проявленный на Амесмессе тип рудных тел в виде серии жил, контролируемых зоной Восточно-Инузальского разлома, является типичным для всех золоторудных объектов Ин-Узальского района (рис.9). При этом высокосортные рудные тела также локализованы по простиранию рудоконтролирующего разлома, тяготея к его лежащему боку. Аналогичным для всех объектов оказывается и минеральный состав руд.

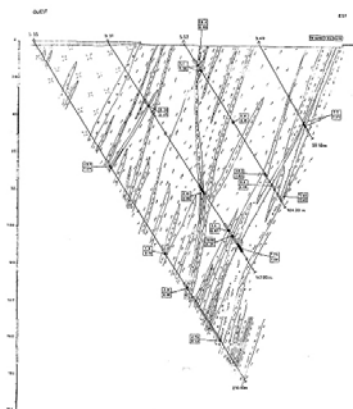


Рис. 9. Крутопадающие на запад жильные тела (рудопоявление Ларджан «Lardjane»), типичны для всех золоторудных объектов Ин-Узальского района.

Таким образом, месторождение Амесмесса и другие аналогичные золоторудные объекты Ин-Узальского района имеют сходный металлогенический облик и относятся к формационной группе золото-кварц-(мало)сульфидных месторождений, локализованных в крупных разрывных нарушениях, среди докембрийских зеленокаменных поясов древних щитов. Известными в мире примерами подобных объектов являются, например, месторождения Хемло, Керклейд-Лейк и др. пояса Абитибиде в Канаде, или месторождение Колар в Индии. Примечательно, что для таких объектов, как правило, характерны крупные рудоконцентрации и высокие содержания металла (Марченко, Левенко, 2014). При этом вертикальный размах оруденения (в связи с локализацией в зонах крупных разломов), оказывается весьма значительным. Высокие содержания золота (ср. сод. 18 г/т) типичны

и для месторождения Амесмесса. Проводя аналогии и идентифицируя месторождение Амесмесса и другие объекты Ин-Узальского района с вышеуказанным рудно-формационным типом золотых месторождений, развитых в других подобных золотоносных провинциях, есть все основания полагать, что район имеет хорошие перспективы наращивания ресурсного потенциала при проведении целенаправленных геологоразведочных работ. С этих позиций рассмотрены возможности расширения его сырьевой базы.

Месторождение Амесмесса. Средняя глубина подсчета запасов здесь около 200 м; от жилы к жиле она различается. Учитывая принадлежность месторождения к объектам, локализованным в крупных разрывных нарушениях, среди зеленокаменных поясов древних щитов, можно предполагать, что золотая минерализация на этом объекте прослеживается на большие глубины. Для крупнейшей жилы № 9 и сопряжённой с ней жилы № 8 (общая протяженность которых около 2000 м) эта глубина составит, по меньшей мере, 800-1000 м. Данный вывод вытекает из результатов изучения параметров разломов и их тектонофизического моделирования (Гзовский, 1975; Ramsay, 1980; Sylvester, 1988). Учитывая это, а также исходя из опыта разведки, осуществлена экстраполяция жильного оруденения на глубину. В крутопадающих жильных телах прирезки на глубину обычно идут на половину длины исследованной нижней части залежи. Для жилы № 9 и сопряжённой с ней жилы № 8 площадь прирезки будет приблизительно равной разведанной части (рис. 10). Следствием этого является увеличение ресурсов золота в этой жильной структуре вдвое. На рис. 10 можно видеть, что богатое оруденение (с содержанием Au 30 г/т и более) не выклинивается и должно прослеживаться глубже. Применением аналогичного подхода для других жильных зон месторождения Амесмесса, ресурсы золота также могут быть увеличены в той же пропорции (табл. 3). Таким образом, оцениваемые прогнозные ресурсы жил центральной части месторождения Амесмесса - 35,1 тонн золота. Суммарный же рудный потенциал золота только этой части месторождения составит 70,2 тонны. Учитывая, что на остальные жильные зоны приходится 25,9 тонн золота (эта цифра получается вычитанием из известных общих запасов в 61,0 т 35,1 т), то по аналогии, исходя из той же пропорции, прогнозные ресурсы жил, расположенных в остальной части месторождения, оцениваются нами также в 25,9 тонн золота. В этом случае общий рудный потенциал месторождения Амесмесса увеличивается вдвое, и составит 122 тонны.

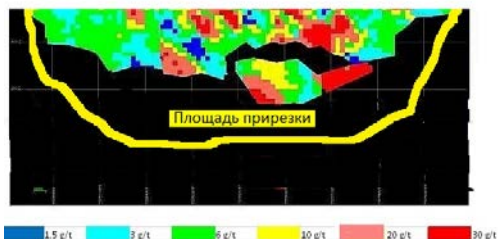


Рис. 10 Прогнозная прирезка к разведанным контурам по жилам № 9 и 8 (проекция на вертикальную плоскость).

Распределение разведанных запасов и вновь оцененных прогнозных ресурсов по жилам центральной группы месторождения Амесмесса

№ п/п	Наименование жил	Разведанные запасы Au, т.	Их доля от суммарных, %	Прогнозные ресурсы Au, т.
1	Жила № 9	24,4	40,0	24,4
2	Жила № 8	2,9	4,9	2,9
3	Сумма по жилам № 9 и № 8	27,3	44,9	27,3
4	Жила № 7	3,3	5,4	3,3
5	Жила № 10	0,6	1,0	0,6
6	Жила № 11	1,2	2,0	1,2
7	Жила № 1	1,6	2,6	1,6
8	Жила № 3	0,5	0,8	0,5
9	Жила № 4	0,8	1,3	0,8
10	Сумма по жилам в центральной части месторождения	35,1	57,5	35,1

Принимая во внимание, что изученность на глубину северной группы жил бурением несравненно ниже, чем жил центральной группы, а по своей протяженности они значительны (400-800 м) и характеризуются промышленными содержаниями, целесообразно ввести увеличивающий поправочный коэффициент 1,5 на их ресурсы, которые тогда возрастут и составят $25,9 \times 1,5 = 38,8$ тонн золота. Тогда в целом суммарный рудный потенциал месторождения Амесмесса будет 160 тонн золота (122 т + 38,8 т).

Рудопроявления зоны ZITA (Zone intermediate Tirek Amesmessa).

Цепочка из десяти золоторудных проявлений, входящих в Ин-Уззальский район, протягивается к северу от месторождения Амесмесса на 60 км до месторождения Тирек (см. рис. 2). Все они находятся в единой структурной позиции – в зоне Восточно-Инуззальского разлома и представлены линейными, крутопадающими на запад жильными телами аналогичными описанным на месторождении Амесмесса (см. рис.9). На рудопроявлениях проведены поисково-разведочные работы, подсчитаны запасы и прогнозные ресурсы (табл. 4). Единичные поисковые скважины подтвердили наличие промышленной золоторудной минерализации на глубине, в рудопроявлениях: 160м - в Lardjene; 140м - в Bouadjela; 120м - в Derreggh.

При прогнозе важен эрозионный срез зоны **ZITA**. По данным структурных наблюдений, величина вертикальной взбросовой составляющей порядка 0,5 м на 10 м длины Восточно-Инуззальского разлома. Исходя из этого и расстояния 60 км между месторождениями Амесмесса и Тирек, максимальный срез для последнего составит 3 км. Из-за неравномерности взбросовых движений введён поправочный коэффициент 0,5. С учётом его, по продвижению к северу, эрозионный срез нарастает, достигая 1,5 км на месторождении Тирек, где эрозией уничтожена значительная часть

продуктивной рудной колонны (рис.11). Отсюда и масштаб этого объекта невелик.

Табл.4.
Распределение разведанных запасов и прогнозных ресурсов золота по зоне ZITA по данным ORGM

п/п	Название рудопроявлений	Запасы Au по категориям, т			Общие $C_1 + C_2 + P_1$
		C_1	C_2	P_1	
1	Zone A-I (Зона A-I)	0,162	0,394	-	0,556
2	Zone A-II (Зона A-II)	-	0,125	-	0,125
3	Buadjela (Буджела)	0,482	1,546	1,216	3,244
4	Lardjene (Ларджан)	0,635	1,878	1,039	4,552
5	Timeg (Тимер)	0,079	0,716	0,798	1,593
6	In-Alarene – S (Ин-Аларен Ю.)	0,054	1,043	0,278	1,375
7	In-Alarene – N (Ин-Аларен С.)	0,344	0,697	-	1,041
8	Derreg (Дерер)	0,217	1,820	1,609	3,646
9	Champ – A (Лагерь А)	-	-	0,140	0,140
10	Промежуточная зона In-Alarene – N - Derreg	-	-	6,962	6,962
11	Всего:	1,975	8,218	12,042	22,235

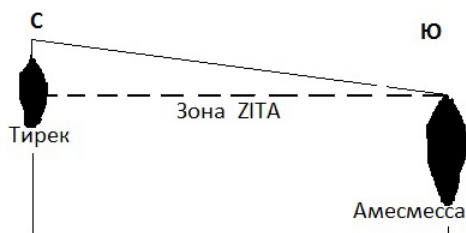


Рис. 11. Схематический принципиальный разрез различных эродированных золоторудных объектов Ин-Узальского района.

Поэтому рудопроявления зоны ZITA, локализующиеся ближе к месторождению Амесмесса, являются менее эродированными и будут иметь большие перспективы на глубину. Повышенное содержание ртути также указывает на малый срез Амесмесса. С этих позиций перспективы глубоких горизонтов и месторождения Амесмесса в целом ещё более возрастают. Это даёт основание ввести поправочный коэффициент 1,3. С его учётом ресурсный потенциал рассматриваемого объекта, составит $160 \times 1,3 = 208$, т.е. он будет около 200 тонн золота.

По благоприятности эрозионного среза рудопроявления зоны ZITA ранжированы в баллах пропорционально их расстоянию от наименее

эродированного месторождения Амесмесса. Балл, полученный тем или иным рудопроявлением, использован в качестве повышающего поправочного коэффициента к цифрам ресурсного потенциала золота полученного по результатам геологоразведочных работ. Таким образом, в производимой прогнозной оценке с одной стороны учтён масштаб рудопроявления, а с другой - степень благоприятности эрозионного среза. Очевидно, что эти параметры играют решающую роль, определяя перспективы объекта. В результате такого подхода суммарный ресурсный потенциал зоны ZITA оценён в 97,449 тонн золота. Округлённо 100 тонн. При этом по своей значимости наиболее приоритетные участки в зоне ZITA располагаются в следующем порядке: 1) Lardjene; Bouadjela; 2) промежуточная зона In-Alarene – N – Derreg; 3) Timeg. Именно они рекомендуются как первоочередные для дальнейших геологоразведочных работ.

Месторождение Тирек с запасами 14,8 тонн при ср. сод. Au 25 г/т также приурочено к Восточно-Инузальскому разлому. Особенностью Тирека является большее (по сравнению с Амесмессой) проявление косо секущих северо-восточных жил: № 13, 11, 3, 6 и др. Они, так же как и жилы № 19, 26, 32 на Амесмессе, являются оперяющими поперечными R' сдвигами, возникающими при развитии крупных сдвигов, располагаясь под 60-75° к главному сместителю. Примечательно, что для них, как и на Амесмессе, характерна более слабая (по сравнению с жилами в осевой зоне разлома) рудоносность (рис.12). Причина - худшие условия раскрытия в рудный этап, когда растяжение было ориентировано поперёк Восточно-Инузальского разлома.

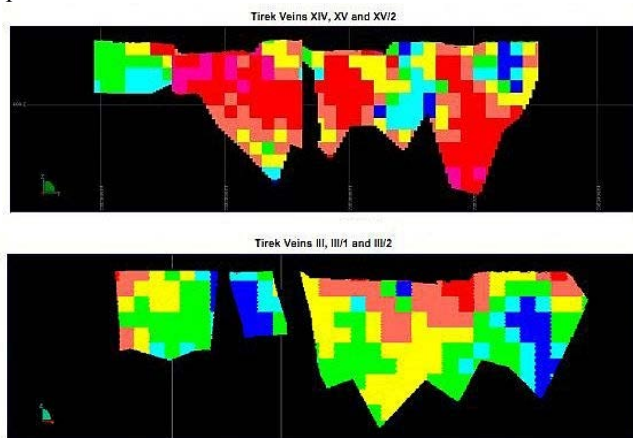


Рис.12. Месторождение Тирек. Более высокая продуктивность меридиональных жил № 14 и 15 (вверху) по сравнению с поперечными северо-восточными жилами № 3, 3/1, 3/2 (внизу). Шкала в содержаниях золота в г/т: голубое – менее 1,5; синее 1,5-3; зелёное 3-6; жёлтое 6-10; оранжевое 10-20; красное 20-50; пурпурное более 50.

В меридиональных жилах богатое оруденение не выклинивается с глубиной (см. рис.12). Поэтому для них использован прогнозный подход, аналогичный применённому на Амесмессе. С учётом более значительного среза месторождения Тирек, ресурсы золота этой группы жил составили 15,6 тонн. Из-за неблагоприятной структурной обстановки северо-восточных жил увеличение запасов (ресурсов) золота за счёт их глубины будет незначительно (не более 2 тонн). Поэтому суммарный рудный потенциал месторождения Тирек составит $(15,6 + 4,4 + 2,0) = 22$ тонны золота, т.е. он возрастёт примерно на 50%. Общий прогнозно-ресурсный потенциал золота Ин-Узальского рудного района будет складываться из ресурсов месторождения Амесмесса (200 т), объектов зоны ZITA (100 т), и ресурсов месторождения Тирек (22 т) и составит 322 тонны. И это, видимо, лишь его нижняя граница.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате сформулированы следующие основные выводы.

1. Месторождение Амесмесса - наиболее значительный объект Ин-Узальского золоторудного района, имеет протерозойский возраст, возникло в эбурнейский тектоно-магматический цикл и относится к золото-кварц-(мало)сульфидной формации, типичной для зеленокаменных поясов древних щитов.
2. Основу структуры месторождения и типовой геологической обстановкой нахождения рудных тел являются линейные разрывные парагенезисы, возникшие в ходе геодинамического развития регионального Восточно-Инузальского вбросо-сдвига.
3. Продуктивное золотое оруденение локализуется в пределах продольных трещин скалывания, контролирующихся осевой плоскостью Восточно-Инузальского разлома и параллельных главному сместителю. Менее рудопродуктивны оперяющие поперечные сдвиги, располагающиеся под углами $60-75^\circ$ к осевой плоскости Восточно-Инузальского разлома. Структура месторождения являет собой типовой пример возникновения в ходе развития геодинамики крупных сдвиговых зон.
4. Самородное гипогенное золото является на месторождении доминирующим и слагает первичные, легкообогащаемые руды. Его основная масса представлена вкрапленностью от 0,005 мм до 0,5 мм. В рудах золото распределено неравномерно. Характерно небольшое количество сульфидов. Окисленные руды имеют подчинённое значение. Попутным компонентом, имеющим промышленную значимость, является лишь серебро.
5. По особенностям минерального состава, структуры, геодинамики, возрасту и морфологии рудных тел данный золоторудный объект представляется аналогом, золотых месторождений пояса Абитиби на

- Канадском щите (Хемло, и др.) и других формационных аналогов, что является позитивным фактором, повышающим его значимость.
6. С учётом вышеизложенного, на основе аналогии, особенностей структуры и анализа эрозионного среза осуществлена оценка общего прогнозно-ресурсного потенциала Ин-Узальского золоторудного района, который составляет 322 т. золота. При этом 200 т. приходится на месторождение Амесмесса.
 7. Это даёт основание утверждать, что Ин-Узальский золоторудный район имеет хорошие перспективы наращивания ресурсного потенциала при целенаправленных геологоразведочных работах.

Публикации по теме диссертации

В изданиях входящих в перечень ВАК:

1. Белов С.В., Зверев С.Н., **Аули Э.** Структура и оруденение месторождения Амесмесса в Алжирской Сахаре // Разведка и охрана недр, 2015. №2. с. 11-17.
2. **Аули Э., Белов С.В.** Структурные и минералого-геохимические особенности золоторудного месторождения Амесмесса в Алжирской Сахаре // Изв. ВУЗов, Геология и разведка, 2015, № 3, с. 35 – 43.

В прочих изданиях:

3. **Аули Э., Белов С.В.** Сахарское золото (к истории открытия и освоения месторождений золота на юге Алжира) // Всеобщая история, № 2, 2014, с. 47-55.
4. **Аули Э., Белов С.В.** Геодинамические условия формирования золотого оруденения зоны Ин-Уззал в Алжирской Сахаре // В сб.: Благородные, редкие и радиоактивные элементы в рудообразующих системах. Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием. К 120-летию со дня рождения члена-корреспондента АН СССР, профессора Феликса Николаевича Шахова, Новосибирск, 2014 с. 37-56.
5. **Aouli E., Belov S.V.** Structural and mineralogical features of the Amesmessa mineral deposit in the Algerian Sahara // XII International Conference “New ideas in the Earth Sciences”, April 8-10, 2015, Moscow, Selected reports, S-V, p.106-107.
6. **Аули Э., Белов С.В.** Золото Алжирской Сахары // Золотодобывающая промышленность, 2015, №1, с. 39-42.
7. Бенбаха А., **Аули Э.** Закономерности локализации и условия формирования месторождения Амесмесса в Алжирской Сахаре // VI Международная научно-практическая школа-конференция молодых учёных и специалистов « Геология, поиски и комплексная оценка месторождений твёрдых полезных ископаемых», Тезисы докладов 19-20 мая, 2015 г. ВИМС, Москва, 2015, с. 33-36.

