

ФГБОУ ВПО «Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе» (МГРИ-РГГРУ)

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

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

**Научный руководитель:
доктор геолого-минералогических наук,
профессор
П.А. Игнатов**

Москва-2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

	<i>Стр.</i>
Введение	3
Глава 1. Основные черты геологии Ахаггара.....	13
Глава 2. Тектоническая позиция и строение Ин-Уззальского золоторудного района.....	23
Глава 3. Геологическое строение месторождения Амесмесса и закономерности локализации золотого оруденения.....	32
Глава 4. Минеральный состав руд и стадийность рудообразования.....	41
Глава 5. Геодинамические и структурно-тектонические условия формирования месторождения Амесмесса.....	51
Глава 6. Металлогенические особенности и перспективы золотого оруденения Юго-Западного Ахаггара.....	61
Заключение	78
Литература	80

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Золотые месторождения во всём мире один из наиболее привлекательных для инвесторов высоколиквидных минерально-сырьевых объектов. Особенно это проявилось в последние годы, в связи с падением мировых цен на углеводородное сырьё. Страны мира всячески стремятся увеличить свой золотой запас, выявить на своей территории новые месторождения благородного металла, тем самым обрести экономическую стабильность, гарантирующую от разнообразных катаклизмов. Не исключение из этого правила и Алжирская народно-демократическая республика (АНДР), на юге которой находится рассматриваемый в диссертации объект – золоторудное месторождение Амесмесса. Вклад алжирских и работавших с ними в содружестве российских геологов, в создании минерально-сырьевой базы АНДР весьма существенен. Именно их усилиями создана основа национальной экономики Алжира, позволившая стране успешно пережить период нестабильности и обрести новые перспективы развития АНДР в XXI веке. Среди советских геологов внесших значительный вклад в изучении золотого месторождения Амесмесса следует упомянуть такие фамилии как: В. Кушев, А. Кинякин, А. Невретдинов, З. Абдурахманов, В. Сорокин, В. Денисов, Н. Поздняков, В. Варава, Н. Боцмановский, Ю.Филимонов, Ю. Давыдов, С. Манков и др. Из алжирских специалистов, участвовавших в изучении месторождения, укажем Э. Аули, М. Касед, М. Бенрабах, М. Бендали, А. Слуги, В. Фархад, С. Гасем, М. Салхи.

В условиях глобализации, которая особенно сильно затронула минерально-сырьевой сектор, начался процесс экспансии иностранных компаний в зарубежный горно-геологический бизнес. В полной мере это относится и к Алжиру. Так после двадцатилетнего перерыва алжирско-российское сотрудничество в горно-геологической сфере возобновляется. На прошедшем в 2013 году в Алжире заседании Российско-Алжирской

межправительственной комиссии отмечалась важность прихода в страну российских геологических и горнорудных компаний, обладающих большим опытом в данной сфере. И этот процесс уже начался, в 2015 году подписано первое алжирско-российское соглашение в данной сфере.

Рассматриваемое в диссертации месторождение Амесмесса по своим масштабам 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 представляются весьма существенными. Диссертационное исследование, позволило не только расшифровать структурно-вещественные особенности и закономерности локализации оруденения на Амесмессе, условия его формирования, но и дало возможность, провести обоснованные аналогии с известными канадскими и др. крупными золоторудными объектами и тем самым обосновать будущие направления геологоразведочных работ с целью наращивания ресурсов золота. Это особенно важно в современных условиях, когда на золотодобычу влияют геополитические и социально-экономические факторы, а стоимость тройской унции золота на мировых рынках превысила самые смелые прогнозы экспертов. Данная тенденция, очевидно, сохранится и в будущем. Все это делает настоящую работу весьма актуальной для горно-геологической отрасли Алжира, и дальнейшего развития международного сотрудничества в этой сфере и обуславливает её практическую направленность.

Цель и задачи исследований. Главная цель работы состояла в установлении структурно-вещественных закономерностей локализации и условий формирования золотого оруденения на ведущем для Ин-Уззальского золоторудного района месторождении Амесмесса, оценке возможностей и перспектив расширения сырьевой базы этого объекта и Ин-Уззальского района в целом.

Реализация данной цели предусматривала решение следующих **основных задач:**

1. Провести анализ геотектонической позиции месторождения Амесмесса в общей структуре района.
2. Расшифровать внутреннее строение и структуру месторождения, факторы рудоконтроля и закономерности локализации оруденения.
3. Изучить вещественный состав руд, последовательность и стадийность минералообразования.
4. Проанализировать геодинамические условия, геологическую историю и пространственно-временную позицию золотого оруденения.
5. Оценить перспективы флангов и глубоких горизонтов месторождения Амесмеса. Оценить общие перспективы Ин-Уззальского золоторудного района.
6. Разработать рекомендации по направлениям дальнейших геологоразведочных работ и повышению инвестиционной привлекательности объекта.

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

- поисковые маршруты, документацию канав и керн скважин (рисунок), зарисовки, изучение условий залегания тектонических элементов, жил, прожилков и даек. Было изучено и задокументировано отбором каменного материала для различных аналитических исследований около 850 п.м. керн скважин и более 1800 п.м. канав.

- отбор рудных штуфных проб и образцов из жильных зон, даек, гранито-гнейсов, сланцев, гидротермально-измененных пород докембрия, из которых

изготавливались шлифы и аншлифы для петрографических и минераграфических исследований.

- минералого-петрографическое изучение вещественного состава руд и последовательности формирования проявленных на месторождении минеральных ассоциаций.

Автор участвовал в составлении графики и написании глав завершенных производственных разведочных отчетов. Впоследствии, в качестве генерального директора ORGM автор курировал вопросы направлений геологоразведочных работ в Ахаггаре и подготовку месторождения Амесмесса для промышленного освоения, в котором с алжирской стороны выступала компания ENOR - горнодобывающее предприятие по добыче золота. Им опубликован ряд статей по закономерностям локализации и условиям образования золотого оруденения на месторождении Амесмесса, а также по истории открытия золота в Ин-Узальском районе Алжирской Сахары.



Рис. Автор (слева) за изучением керна разведочных скважин месторождения Амесмесса.

Методы исследований. Региональная структурно-тектоническая позиция объекта исследовалась путем анализа мелко- и среднемасштабных геологических, тектонических и минерагенических карт Ахаггара, с привлечением результатов дешифрирования космоснимков Landsat ETM+. Структурная позиция оруденения исследовалась путем анализа детальных геолого-структурных карт, схем, планов и разрезов, полученных в ходе разведки месторождения. Изучение этапности складчато-разрывных деформаций, приведших к формированию рудовмещающих структур, осуществлялось при помощи историко-геологического анализа с определением положения осей напряжений и деформаций. Позиция и статистические особенности локализации рядового и богатого оруденения анализировалась на геолого-структурных схемах, разрезах, проекциях жил на вертикальную плоскость, с построением гистограмм содержаний золота.

Все аналитические исследования (рентгено-спектральный анализ, масс-спектрометрия 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 вещественного состава руд месторождения и стадийности минералообразования под биноклем и микроскопом аншлифах и шлифах изучались взаимоотношения минералов и прожилков разного состава.

При оценке перспектив золотого оруденения использовались принципы и подходы формационного анализа, разработанные М.М. Константиновым с коллегами (ФГУП «ЦНИГРИ») для месторождений золота, а также результаты геолого-геофизических работ, проведенных в последние годы ORGM.

Научная новизна работы состоит в том, что:

1. Расшифровано геологическое строение и позиция месторождения Амесмесса и рудного района в региональной структуре длительно развивающегося докембрийского щита Ахаггар.

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

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

4. Установлено, что абсолютный возраст золотого оруденения находится в интервале 2050-1940 млн. лет, что отвечает, проявившемуся в Африке, так называемому Эбурнейскому тектоно-магматическому циклу, который охватывает период 2170-1750 млн.лет.

5. Показано, что золоторудные объекты часто приурочены к полям развития метаморфизованных габбро-диоритов, распространённых преимущественно в пределах протерозойского гранит-зеленокаменного пояса, который (по В.Я. Федчуку, А.К., Корсакову А.К. Соколовскому, 2006) по-видимому, может быть отнесён к зеленокаменным поясам третьего типа.

6. Охарактеризован минеральный состав руд, стадийность и последовательность рудообразования, показано, что данный тип золотого оруденения относится к золото-кварц-малосульфидной формации.

7. Проанализированы металлогенические особенности золотого оруденения Ин-Узальского района, обоснована его формационно-генетическая аналогичность золотым месторождениям пояса Абитиби в Канаде.

8. Разработан прогнозный аналоговый подход и осуществлена количественная оценка рудного потенциала глубоких горизонтов месторождения Амесмесса и других золоторудных объектов в Ин-Узальском районе, что весьма существенно увеличило его перспективы.

Практическая значимость. Установленные автором геолого-структурные и магматические факторы рудоконтроля золотого оруденения шовной зоны Восточно-Инуззальского разлома, а также разработанный им, с учетом рудно-формационных характеристик, прогнозно-аналоговый подход позволили осуществить количественную оценку рудного потенциала месторождения Амесмесса и других золоторудных объектов в Ин-Уззальском районе. Это дало возможность повысить инвестиционную привлекательность объекта и более целенаправленно в дальнейшем ориентировать поисково-оценочные и эксплуатационные работы. Данные результаты учитываются при оперативном планировании работ Алжирской государственной горно-геологической компании (ORGM) и золотодобывающей компании ENOR.

Апробация работы и публикации. Результаты исследований и основные положения работы докладывались и обсуждались на ряде совещаний научных конференций и симпозиумов: Научно-техническом совете ОАО «Зарубежгеология» (Москва, 2013); 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 со дня рождения члена-корреспондента АН СССР, профессора Феликса Николаевича Шахова (Новосибирск, 2014). Научно-техническом совещании при Главном геологе ООО «ОЗГЕО» (Москва, 2014); VI международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов «Геология, поиски и комплексная оценка месторождений твердых полезных ископаемых» (Москва, 2015); XII Международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле» (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 внедрены и используются в практической деятельности Алжирской государственной горно-геологической компании (ORGM).

Структура и объем работы. Работа состоит из 6 глав, введения, заключения, списка литературы из 46 наименований. Общий объем диссертации составляет 83 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-Уззальского 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, доказывывается третье защищаемое положение.

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

В шестой главе рассматриваются металлогенические особенности и оцениваются перспективы золотого оруденения Ин-Уззальского района, обосновывается четвёртое защищаемое положение.

В заключении резюмируются основные результаты работ.

Основные 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 сколовой 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 регионального разлома.*
- 3. Доминирующим полезным компонентом на месторождении Амесмесса является самородное гипогенное золото, которое слагает первичные легкообогатимые руды. Его основная масса представлена тонкой (от 0,005 редко до 0,5 мм) вкрапленностью. В рудах золото распределено весьма неравномерно. Для минерального состава руд характерно относительно 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 Абитибби в Канаде (Хемло, Кеклейд_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.*

Благодарности. Автор выражает искреннюю признательность своему научному руководителю д.г.-м.н., профессору П.А. Игнатову, взявшему на себя нелёгкий труд наставничества над иностранным соискателем, а также д.г.-м.н С.В. Белову за полезные 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 обсуждения проблемы и плодотворное сотрудничество специалистам компании по геологоразведке за рубежом - ООО «Озгео» И.И. Силаеву, А.А. Захаровой-Гавриловой, С.В. Пичугину, С.Н. Звереву В.И. Титову, сотрудникам ВИМСа: заместителю генерального директора д.г.-м.н. И.Г. Печенкину, к.г.-м.н О.А. Арманд и другим товарищам.

Глава 1. ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ГЕОЛОГИИ АХАГГАРА

Ахаггар (или Туарегский щит), где располагается Ин-Уззальский золоторудный район и месторождение Амесмесса, является древнейшим геологическим сооружением Алжира. Он представляет собой глыбово-складчатую область площадью около 0,5 млн. кв. км, находящуюся в центре Сахары, протягиваясь с запада на восток на 850 км и с севера на юг на 600 км (рис.1.1). Геологическому строению Ахаггара посвящены работы французских, российских и алжирских геологов (Ahmed-Said, Leake, et. al., 1995; Allegre, Cabu, 1972; Attoum, 1993; Bertrand, Gravelle, 1970; Black, latouche, et. al., 1994; Boubsa, Charoy, 1986; Cabu, 1978, 1996; Cabu, Lelubre 1996; Ferkous, Monie, et. al., 1996 Haddoum, 1992; Lelubre, 1952; Marignac, Semiani, Fourcade, et. al. 1996; Zaba, 1992; Белов, Квиникадзе, Гасем, 1991; Белов 1999; Геология и полезные...1973; Зигхми, 2004; Чайка, Ужгалис, 1976; Чайка, 1979; Салоп 1977; и др., Хаин, 1969) и др.

В его строении преобладают кристаллические и зеленокаменные комплексы архея-протерозоя, что позволяет рассматривать этот структурный элемент Африканской платформы как типоморфную провинцию древних щитов. Ахаггар имеет гетерогенное строение и сформирован в результате двух главных мегациклов: архейско-раннепротерозойского и позднепротерозойского (рифейского) (Геология и полезные...1973; Шубер, Фор-Мюре, 1973; Салоп, 1977; Marignac, Semiani, Fourcade, et. al. 1996). По мнению В.М. Чайки (1979) А.И. Ицкова и др. большую роль в его становлении сыграл рифейский цикл, в результате которого возникли не только новые позднепротерозойские складчатые зоны, но и частично были регенерированы и переработаны блоки ранней консолидации, что выразилось в их гранитизации, метаморфизме и дополнительных деформациях. Подобные представления дают основание ряду исследователей (Хаин, 1969; Bertrand, Cabu, 1978; 1981. и др.) считать, что Ахаггар - часть нигерийско-фарузийского подвижного пояса Африки.

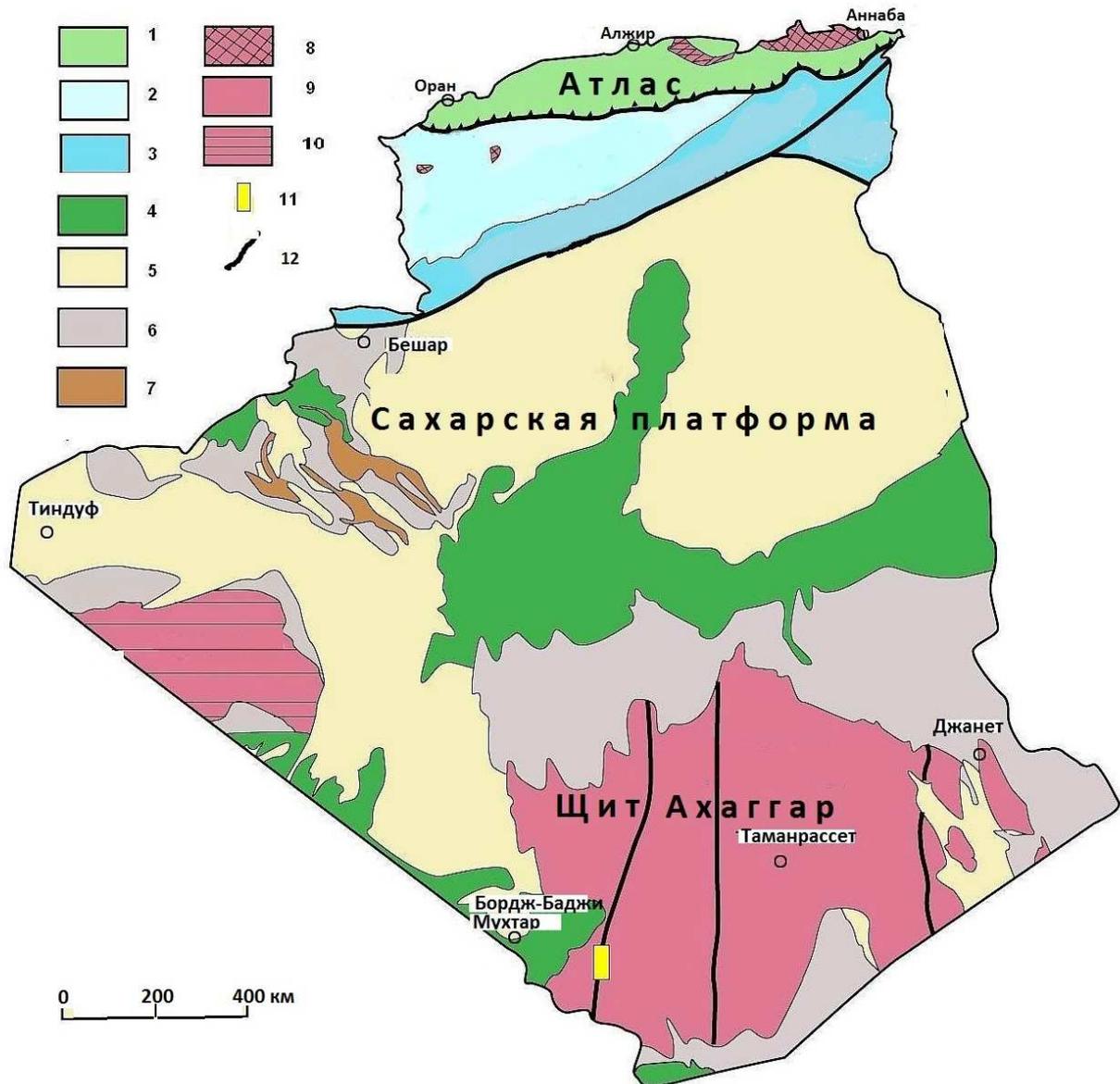


Рис.1.1. Схема геологического строения территории Алжира.

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-Уззальского золоторудного района с месторождением Амесмесса; 12 – основные разломы.

Архейско-раннепротерозойскому циклу развития Ахаггара отвечают наиболее глубокометаморфизованные до гранулитовой фации породы. К наиболее древним образованиям с возрастом 3300 млн. лет (Allegre, Caby, 1972) относятся породы инузальского комплекса, широко распространённые в Западно-Ахаггарском горст-антиклинории (Haddoum, 1992; Ferkous K., Monie P., et. al., 1996).

В строении стратифицированной части горст-антиклинория участвуют метаморфизованные в условиях гранулитовой фации разнообразные гнейсы, кристаллические сланцы, кальцифиры и мрамора. Плутонические образования представлены ассоциацией чарнокитов, плагиогранитов, с подчинённым развитием пегматитов. Нижнепротерозойские отложения представлены гнейсами (рис. 1.2), кварцитами, глинозёмистыми сланцами и мраморами, амфиболитами и железистыми кварцитами.



Рис. 1.2. Типичные нижнепротерозойские гнейсы в Западно-Ахаггарском горст-антиклинории

Датировка гнейсов из нижней части разреза дала значения 2200 млн. лет (Bertrand, 1974). Протерозойские отложения, отвечающие рифейскому этапу, менее метаморфизованы и представлены породами вулканогенно-осадочного происхождения, относящимися к островодужной формации и хорошо сохранившимися в синклинорных зонах и грабенообразных впадинах. Среди вышеуказанных толщ присутствуют синорогенные плутоны формации батолитов пёстрого состава, а также позднеорогенные панафриканские гранитные массивы с возрастом 620-580 млн лет (Gravelle, 1969; Caby, 1970) и редкометальные граниты Таурирт (рис.1.3-а), возникшие в интервале 535-484 млн. лет в период раннепалеозойской тектоно-магматической активизации (Белов и др., 1991; Белов, 1999; Boubsa, Charoy, 1986; Ahmed-Said, Leake, et. al., 1995).

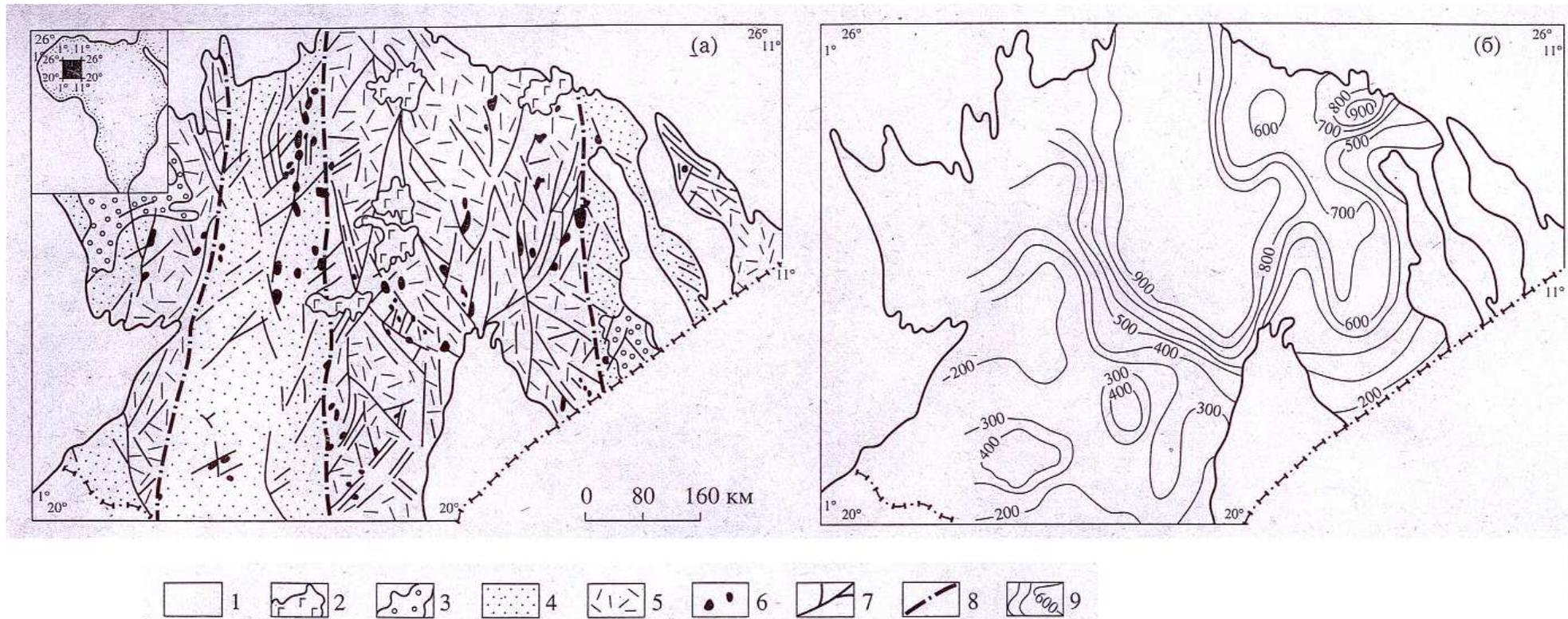


Рис. 1.3 Особенности строения щита Ахаггар

а – геолого-тектоническая схема, составленная с использованием данных Ж. Бертрана, Р. Каби, М. Слуги, С.В. Белова. б - схема Ахаггара в изолиниях коэффициента интенсивности расчленения рельефа, отражающая его сводовую структуру (по Белов, 1999).

1 – мезозойские и палеозойские («Тассили») отложения платформенного чехла; 2 – мезозойские-кайнозойские и четвертичные базальты; 3 - раннепалеозойские отложения межгорных прогибов серий: пурпурная, нигритьен, аннет, тирририн. 4 – область преимущественного развития верхнепалеозойских пород: слюдистые сланцы, филлиты, песчаники и вулканиты среднего и основного составов; 5 - область преимущественного развития нижнепалеозойских и архейских пород: гранулиты, лептиты, гнейсы, мигматиты, амфиболиты; 6 – массивы гранитов комплекса Таурирт; 7 – разломы; 8 – структурные швы, являющиеся границами структурно-формационных зон; 9 – изолинии коэффициента интенсивности расчленения рельефа.

В геоморфологическом отношении это горная область среди песчаных эргов Сахары, представляет собой сводовое поднятие (рис.1.3-б), сформировавшееся в период мезозойского орогенеза, в ходе которого фундамент докембрийской платформы местами был поднят до отметок 2500-3000 м (рис. 1.4). В горах, на плато и на равнинах Сахары развиты щебнистые галечниковые и глинистые пустыни. Пески занимают около 20% ее площади; крупные скопления грядовых песков выделяются в особый тип песчаных пустынь (эрги). В создании морфоскульптурных форм рельефа принимало участие, как физическое выветривание, так и эрозия, степень воздействия которой зависит от количества выпадающих осадков.



Рис. 1.4. Фундамент платформы на щите Ахаггар местами поднят до 2500-3000 м и образует горный рельеф

Тектонический облик щита Ахаггар определяет система меридионально вытянутых грабено- и горстообразных блоков (рис.1.5), разделенных глубинными разломами, представляющими собой зоны дробления, милонитизации и метасоматоза. Грабенообразные блоки сложены, преимущественно, гранит-зеленокаменными комплексами неопротерозоя, а горстообразные – гранито-гнейсовыми породами и гранитоидными образованиями архейско-раннепротерозойского возраста.

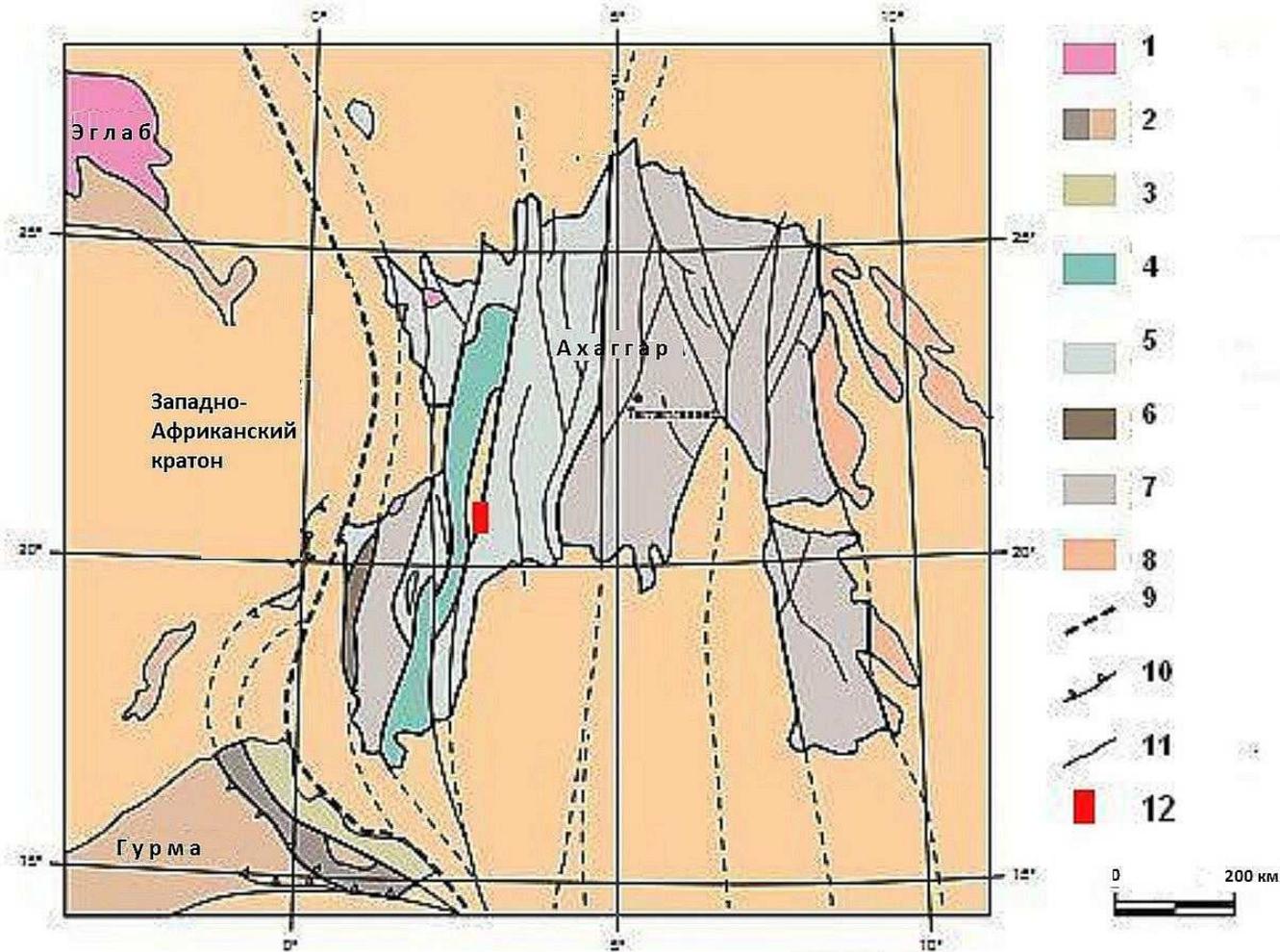


Рис. 1.5. Схема тектонического строения щита Ахаггар (R. Caby, 1996).

1 – выступы архейского основания западно-африканского кратона; 2 – верхнепротерозойские отложения западно-африканского кратона; 3 – покровные отложения серий Гурма (Gourma) и Тилемси (Tilensi); 4 – суггарийские (архейские) гранулитовые выступы Ин-Уззал и Ифорас; 5 – фарузийские отложения нижнего протерозоя; 6 – высокометаморфизованные панафриканские толщи; 7 – гнейсовые толщи Центрального Ахаггара; 8 – отложения Восточного Ахаггара; 9 – панафриканская сутура; 10 – главные надвиги; 11 – основные региональные разломы; 12 – положение Ин-Уззальского золоторудного района.

Эти образования формируют линейную складчато-блоковую структуру Ахаггара. В центре его находится Центрально-Ахаггарский горст-антиклинорий, сложенный преимущественно нижнепротерозойскими породами. С запада к нему примыкает Западно-Ахаггарский мегасинклинорий, а с востока – краевая переходная синклинорная зона; обе эти структуры выполнены в основном верхнепротерозойскими породами. На крайнем западе располагается Западно-Ахаггарский горст-антиклинорий, сложенный, как и Центрально-Ахаггарский, нижнепротерозойскими образованиями, а также наиболее древними отложениями архейского гранулит-чарнокитового инузальского комплекса, охарактеризованными выше. В самой восточной части Ахаггара находится Джанетская антиклинорная зона, где преимущественно также развиты нижнепротерозойские породы. Границы указанных структурно-формационных зон проходят по крупным древним тектоническим нарушениям преимущественно субмеридионального простирания. Особенно чётко в структуре и рельефе проявлен разлом $4^{\circ}50'$, образующий мощную зону милонитизации и рассланцевания шириной 2-3 км.

По мнению В.Е. Хаина (1969); А. Шуберта и Ю. Фор-Мюре (1973) J. Bertrand, R. Caby, (1978) и др. меридиональное направление тектонических структур Ахаггара является наиболее древним. В архее и раннем протерозое ему было подчинено простирание геосинклинально-складчатых зон. Со среднего протерозоя оно стало определять глыбовую тектонику, в результате которой, сформировалась сложная клавиатура меридиональных горстов и грабенов. Надо сказать, что меридиональная тектоническая структура Ахаггара по М.А. Фаворской с соавторами (1974) входит составной частью в трансрегиональную меридиональную зону, протягивающуюся от грабена Осло на севере до плато Джос на юге Нигерии. Магматическая деятельность докембрийского времени представлена массивами гипербазитов и процессами гранитизации с образованием древних гранитоидов. В

платформенную стадию развития территория Ахаггара вступила только в конце протерозоя (Caby, 1970; Bertrand, Caby, 1978). Последующая его подвижность проявлялась уже в условиях орогенного режима с оживлением восходящих движений в панафриканскую (байкальскую) тектоно-магматическую эпоху (Чайка, 1979; Black, Latouche, 1994).

Метаморфизм также длительно развивался на протяжении геологической истории региона. По данным Р. Caby (1996) архейско-протерозойскому циклу отвечает формирование гранулитовых фаций на западе Ахаггара в Ин-Уззальском блоке. Позднее метаморфизм амфиболитовой и зеленосланцевой фаций охватил более обширные области, располагающиеся восточнее (рис.1.6). В конце кембрия-начале ордовика, Ахаггар был вовлечён в процесс посторогенного сводового воздымания, когда в интервале 535-485 млн. лет по периферии свода произошло внедрение гранитов Таурирт (Белов и др., 1991; Белов, 1999; Ahmed-Said et al., 1995; Boubsa, Charoy, 1986). В юрское время внедрились щелочные кольцевые интрузии и карбонатитовые тела, образовавшие цепочку меридионального простирания. В верхнем мелу и затем в течение третичного времени в центральной части Ахаггара в рифтогенных структурах, тяготеющих к оси свода, происходило излияние базальтов, а в миоцене – излияния фонолитов (рис. 1.7).

Интересным феноменом геологического строения Ахаггара являются обрамляющие щит по периферии (с востока, севера и юга) платформенные отложения так называемых Тассилей, представленных преимущественно палеозойскими песчаниками, подвергшимися интенсивной эрозии и образующих в настоящее время причудливые формы выветривания (рис. 1.8). Подобная геологическая ситуация подчёркивает общую длительно воздымавшуюся сводовую структуру докембрийского щита Ахаггар.

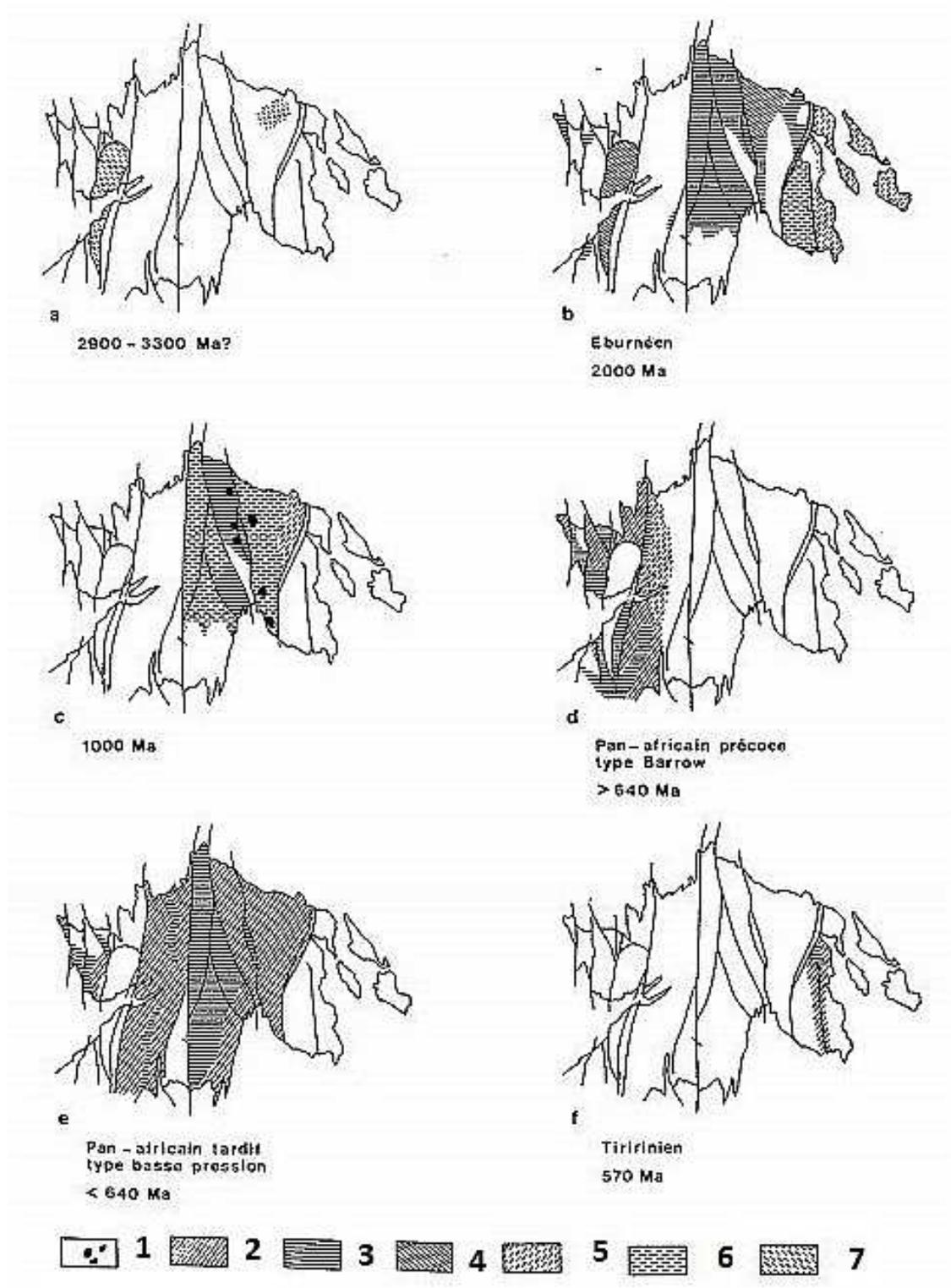


Рис. 1.6. Развитие процессов метаморфизма в Ахаггаре (по R. Saby)
 1 – эклогиты; 2 – фации зелёных сланцев; 3 – амфиболитовые фации; 4 – гранулитовые фации; 5 - фации зелёных сланцев, предполагаемые; 6 - амфиболитовые фации, предполагаемые; 7 – гранулитовые фации, предполагаемые.



Рис. 1.7. Типичный массив миоценовых фанолитов в Ахаггаре (на заднем плане)



Рис. 1.8. Платформенные отложения Тассилей, причудливые формы выветривания.

Глава 2. ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ И СТРОЕНИЕ ИН-УЗЗАЛЬСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО РАЙОНА

Настоящая глава в большей части посвящена обоснованию первого защищаемого положения. Ин-Уззальский золоторудный район, находится в юго-западной оконечности щита Ахаггар, в 350 км к юго-западу от неофициальной столицы Сахары города Таманрассет (рис. 2.1). Он включает помимо ведущего месторождения Амесмесса, более мелкое месторождение Тирек, расположенное в 60 км севернее и ряд находящихся между ними рудопроявлений. Территория с рудопроявлениями между двумя этими месторождениями носит местное провинциальное название ZITA (Zone intermediate Tirek Amesmessa).



Рис. 2.1. Положение на юге Алжира месторождения Амесмесса и месторождения Тирек, входящих в Ин-Уззальский золоторудный район.

По своей геотектонической позиции Ин-Уззальский золоторудный район тяготеет к блоку Ин-Уззал, являющимся наиболее древним образованием Ахаггара (Haddoum, 1992; Caby, 1996; Caby, Monie, 2003; Ferkous K., Monie P., et. al., 1996) и располагается в зоне регионального Восточно-Инуззальского разлома субмеридионального простирания,

который является сочленением архейских гранулит-чарнокитовых пород инузальского комплекса Западно-Ахаггарского горст-антиклинория развитых на западе, с протерозойскими гранит-зеленокаменными образованиями прогиба Западного Ахаггара располагающимися в восточной части золоторудного района (рис.2.2.).

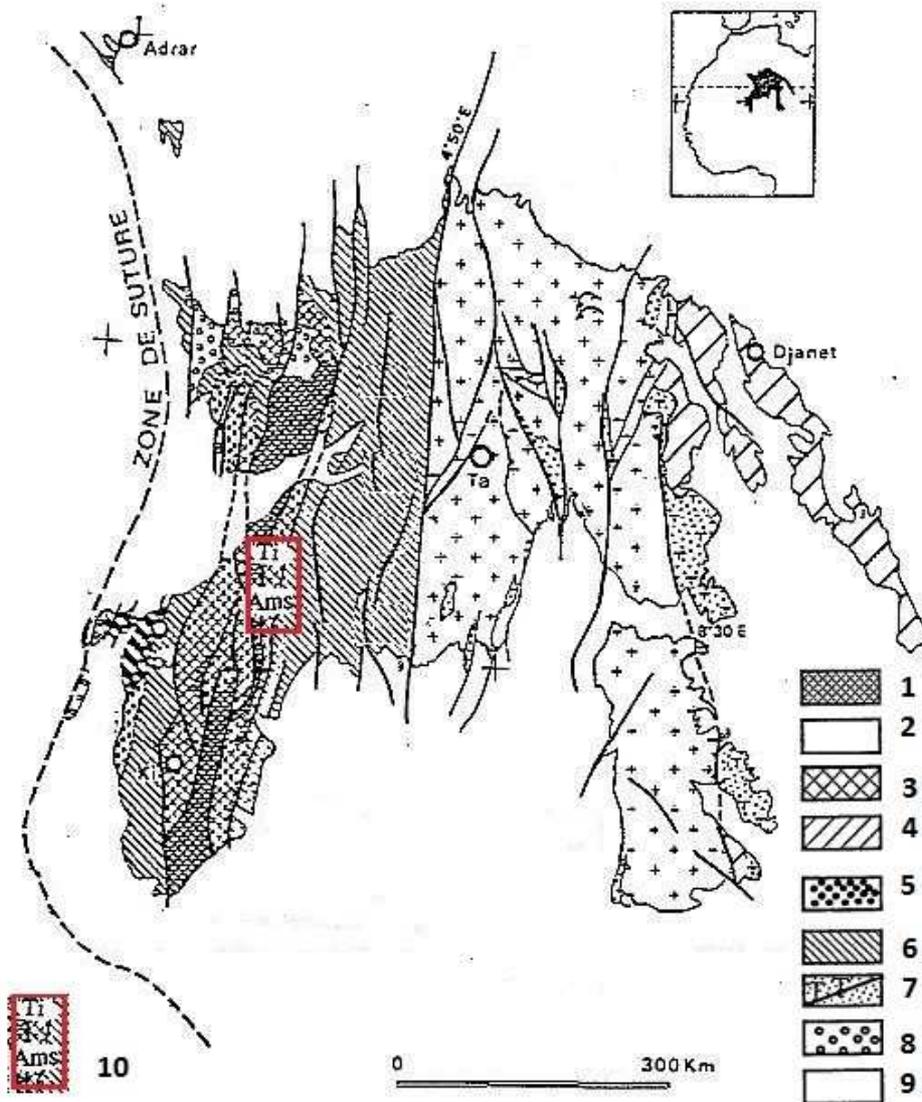


Рис. 2.2. Позиция Ин-Узальского золоторудного района в структурах Ахаггара (по Э. Аули, тектоническое строение по Caby, Monie, 2003) 1 – область архейских гранулит-чарнокитовых пород инузальского комплекса; 2 – область эбурнейской складчатости активизированной в Панафриканскую эпоху (на западе); 3 – гнейсы до-панафриканские; 4 – разнообразные породы восточного Ахаггара метаморфизованные в рифее; 5 – осадочные породы верхнепротерозойского платформенного чехла; 6 – протерозойские (фарузийские) гранит-зеленокаменные образования; 7 – вулканогенно-осадочные формации восточного и центрального Ахаггара; 8 – молассовая толща кембрийского возраста; 9 – покровные верхнепалеозойские и мезозойские отложения. 10 – Ин-Узальский золоторудный район (вне масштаба) с месторождениями: Тi -Тирек; Ams -Амесмесса.

Район вытянут в субмеридиональном направлении вдоль Восточно-Инуззальского разлома на 60-65 км при ширине 6-8 км. Основным структурным элементом, определяющим его облик, является региональный долгоживущий Восточно-Инуззальский разлом (рис.2.3), протягивающийся в субмеридиональном направлении более чем на 200 км.



Рис. 2.3. Проявление в рельефе осевой части Восточно-Инуззальского разлома

Ширина шовной зоны разлома колеблется от 0,5 до 2 км. В её пределах породы подверглись динамометаморфизму. По своей кинематике разлом представляет собой взбросо-сдвиг, что подтверждается приподнятым западным крылом, сложенным архейскими толщами и более значительной раздробленностью восточного лежащего бока разлома, выполненного протерозоем. Породы в его пределах расланцованы, милонитизированы и подвергнуты бластезу. В лежащем боку разлома присутствуют дайки диоритов и габброидов, возникших при гранитизации эбурнейского этапа. Плоскость сместителя погружается на запад под углами $70-85^\circ$. Характерно наличие оперяющих тектонических нарушений высших порядков, вмещающих разнообразные дайки и кварцево-рудные жилы.

Западная половина района входит в состав архейского гранулитового блока Ин-Уззал (Аули, Белов, 2014; Бенбаха, Аули, 2015; Белов и др., 2015). Ин-Уззальский блок исследователями интерпретируется как микроконтинент (Caby, 1970, 1996) или как террейн (Haddoum, 1996). Блок имеет в целом клиновидную форму, более широкую на юге в районе месторождения Амесмесса и сужающуюся на севере в районе месторождения Тирек. В пределах собственно Ин-Уззальского золоторудного района блок преимущественно сложен железистыми и в меньшей мере фельзитовыми гранулитами и чарнокитами. Присутствуют тела лептинитов и монцодиоритов. Для внутренней структуры Ин-Уззальского золоторудного района типично развитие линейных складок, ориентированных в северо-восточном направлении, секущихся разломами также преимущественно северо-восточного простирания. Характерно развитие интенсивной мигматизации. В северной половине района обнажается небольшой массив ультрабазитов (рис.2.4.).

Восточная часть Ин-Уззальского золоторудного района, входит в состав протерозойского гранит-зеленокаменного пояса. Она сложена протерозойскими гнейсами, амфиболитами, кварц-альбит-серицитовыми и хлорит-биотит-амфиболовыми сланцами, с прослоями кварцитов, мраморов и пироксенитов. В пределах собственно месторождений Амесмесса и Тирек присутствуют тела габбро и габбро-диоритов (Аули, Белов, 2014). Широкое развитие в рудном районе имеют дайки основного и кислого состава, залегающие как непосредственно в зоне субмеридионального Восточно-Инуззальского разлома, так и в оперяющих его трещинах северо-восточного и северо-западного простираний.

В пределах Ин-Уззальского золоторудного района развито большое количество кварцевых жил, которые формируют отдельные жильные поля и зоны сгущения в пределах месторождений Амесмесса и Тирек, а также в расположенных между ними рудопроявлениях. Так в контурах собственно

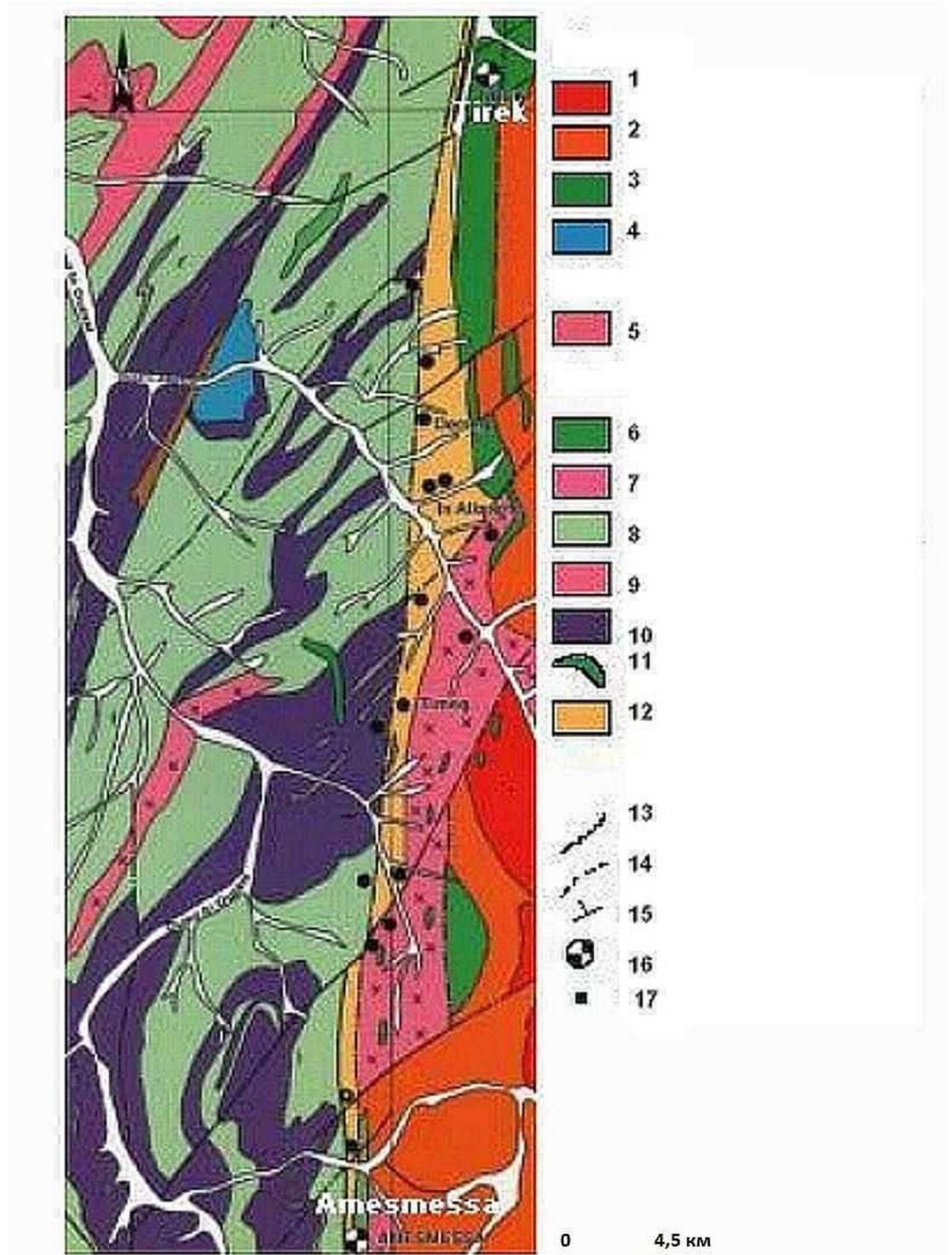


Рис. 2.4. Геологическая карта Ин-Узальского золоторудного района (по данным ORGM с дополнениями).

1 – молассовые отложения кембрия; 2 – гранодиориты; 3 – габбро, габбродиориты; 4 – ультрабазиты; 5 – гнейсы среднего протерозоя; 6 – 11 породы архейского возраста: 6 – монцодиориты; 7 – аляскиты (лептиниты); 8 – чарнокиты; 9 – гранулиты фельзитовые; 10 – гранулиты железные; 11 – карбонатные отложения; 12 – милониты; 13 – разломы наблюдаемые; 14 – разломы предполагаемые; 15 – элементы залегания пород; 16 – месторождения золота (Тирек – на севере, Амесмесса – на юге площади); 17 – рудопроявления золота.

месторождений Амессесса и Тирек выявлено соответственно 70 и 50 золото-кварцевых жил, тяготеющих к субмеридиональной зоне Восточно-Инуззальского разлома и располагающихся вдоль него. Кварцево-рудные жилы в количестве около полутора сотен встречаются и во всей субмеридиональной полосе между этими месторождениями (зона ZITA), в основном тяготея к лежащему боку разлома, и образуя в зонах сгущения относительно крупные рудопроявления Буаджила, Ларджан, Тимег, Даррег, Ин-Аллерен и др. (рис.2.5).

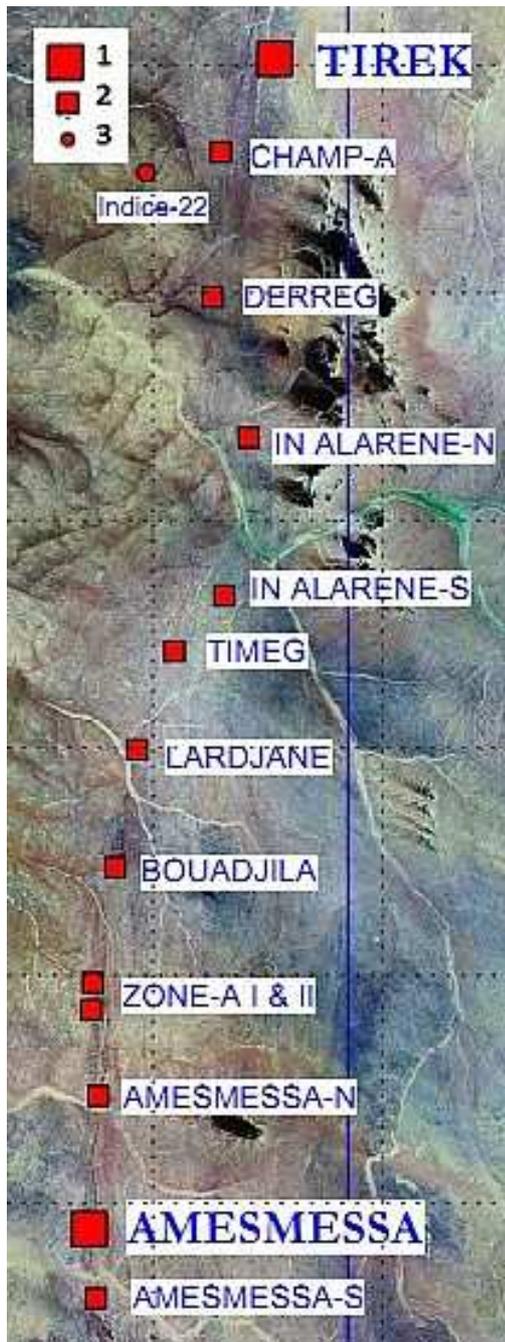


Рис. 2.5. Размещение золотых кварцево-жильных рудопроявлений между месторождениями Амессесса и Тирек в Ин-Уззальском золоторудном районе. 1 – разведанные месторождения; 2 – рудопроявления; 3 – точки минерализации. Основа – космоснимок Landsat.

Мощность жил на вышеуказанных рудопроявлениях варьирует от 0,1 м до 2-3 м. Протяженность их составляет от первых десятков метров до 1,5 км. Содержания золота от первых до десятков грамм на тонну. Отдельные скважины подтвердили наличие золоторудной минерализации со значительными содержаниями на глубинах 40-160 м. Жилы контролируются зоной субмеридионального Восточно-Инуззальского разлома и оперяющих его трещин. В них и в самой зоне разлома широко проявлены процессы милонитизации и ультрамилонитизации (рис. 2.6). Последние контролируют размещение зон развития березитов.

Таким образом, по особенностям своей структуры практически все золотоносные объекты Ин-Уззальского района относятся к типично линейному типу жильных полей. Усложняют структуру района пострудные тектонические нарушения, преимущественно северо-восточного простирания, горизонтальная амплитуда смещений по которым составляет десятки и сотни метров, а иногда превышает 1 км.

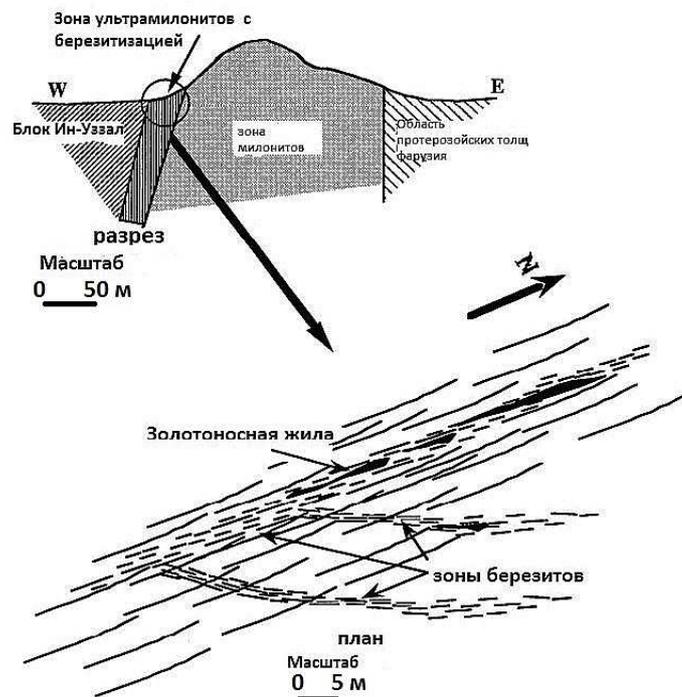


Рис. 2.6. Строение области сочленения восточной и западной частей Ин-Уззальского района и позиция золотоносных жил и зон березитизации.

Статистический анализ многочисленных разноранговых по масштабам проявлений золота, развитых в пределах Ин-Уззальского района показал, что подавляющее их большинство приурочено к протерозойским метаморфическим толщам (рис.2.7).

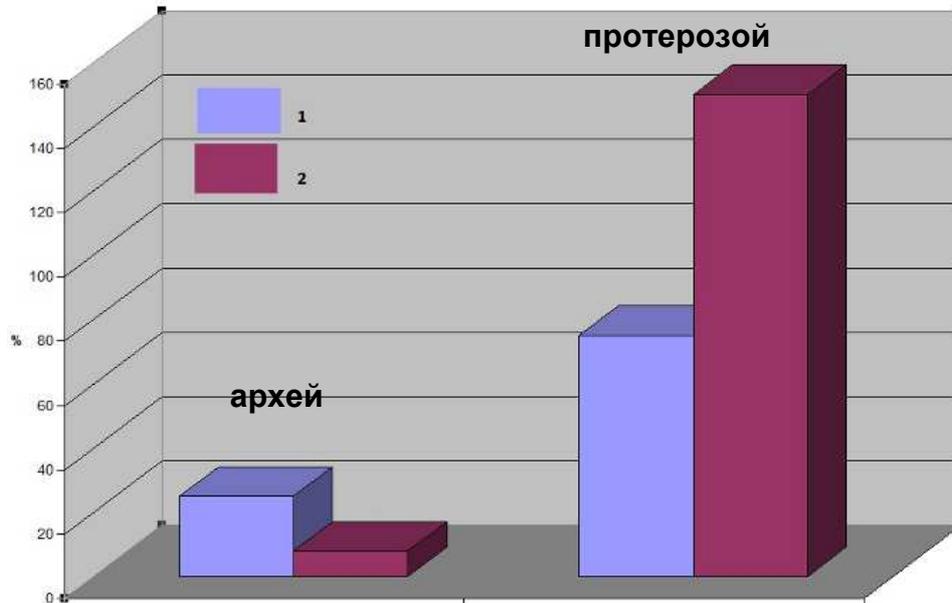


Рис. 2.7. Распределение (в %) жильных золоторудных объектов в Ин-Уззальском районе:

слева - залегающих среди архейских образований блока Ин-Уззал; справа – среди протерозойских толщ, в т.ч. 1 – общее число объектов; 2 – тоже, с учётом масштабов оруденения

Подобный статистически установленный факт стратиграфического контроля золотого оруденения, очевидно, свидетельствует о решающем влиянии процессов рудоконцентрации, длительно происходивших преимущественно в восточной части Ин-Уззальского золоторудного района, входящей в состав протерозойского гранит-зеленокаменного пояса. По В.Я Федчуку, А.К Корсакову, А.К Соколовскому (2006), подобные зеленокаменные пояса вероятно относятся к третьему типу поясов, наиболее поздних, по времени своего заложения.

Количественные данные по Ин-Уззальскому району (Аули, Белов, 2014) подтверждают ранее высказанное предположение В.М. Чайки (1979) о существенной роли зеленокаменных поясов в локализации золотого оруденения развитого в Ахаггаре.

Одной из причин преимущественной приуроченности золотого оруденения к протерозойским толщам по-видимому, является их большая раздробленность характерная для лежачего бока Восточно-Инуззальского разлома и повышенная насыщенность этих образований метаморфогенными водами при обогащении их металлоносными углекислотными мантийными растворами. Принципиальная модель строения Ин-Уззальского золоторудного района приведена на рис. 2.8.

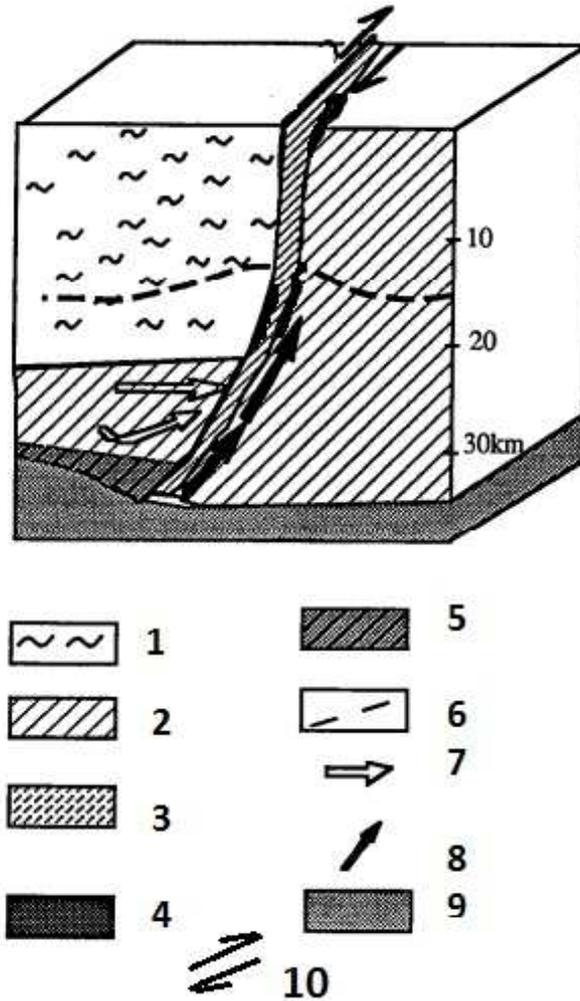


Рис. 2.8. Принципиальная модель строения и рудогенеза в Ин-Уззальском золоторудном районе. 1 – плотные архейские толщи блока Ин-Уззал; 2 – более раздробленные протерозойские образования фарузия; 3 – милониты; 4 – породы основного и среднего состава синкинематические; 5 – базитовая магма; 6 – предел дистилляции; 7 – вода метаморфическая; 8 – углекислота мантийная; 9 – мантия; 10 – направление перемещения блоков по Ин-Уззальскому разлому во время рудогенеза.

Глава 3. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ АМЕСМЕССА И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ

В главе обосновывается основная часть второго защищаемого положения. Месторождение Амесмесса является основным объектом Ин-Уззальского золоторудного района и находится в южной его части. Месторождение приурочено к зоне тектонического сочленения архейского Западно-Ахаггарского горст-антиклинория, расположенного на западе щита Ахаггар, с протерозойскими гранит-зеленокаменными образованиями синклинорного прогиба, находящимися восточнее.

Главным элементом строения месторождения, определяющим его структуру, является меридиональная всбросо-сдвиговая зона Восточно-Инуззальского разлома, которая делит площадь объекта на две части (рис. 3.1). В западной своей половине месторождение сложено архейскими ультраметаморфическими образованиями Инуззальской серии (AR_{in}), представленной лейкократовыми гранито-гнейсами, кварцитами и кальцифирами. В восточной части месторождения развиты нижнепротерозойские породы серии Арешшум (PR_{lar}). Они представлены гнейсами и гранито-гнейсами с прослоями амфиболитов, кварц-альбит-серицитовых и хлорит-биотит-амфиболовых сланцев. Ширина субмеридиональной разломной зоны колеблется от нескольких сотен метров до 2 км. Породы в её пределах рассланцованы, милонитизированы и подвергнуты бластезу. В шовной зоне разлома присутствуют дайки диоритов и габброидов (рис.3.2). Главными рудовмещающими структурами месторождения Амесмесса являются крупные сколовые трещины параллельные шовной зоне Восточно-Инуззальского разлома (Аули, Белов, 2014; Белов, Зверев, Аули, 2015). Именно они вмещают наиболее продуктивные золотоносные жильные зоны - 9, 8, 7, 10 и 11 в центре месторождения (см. рис.3.1).

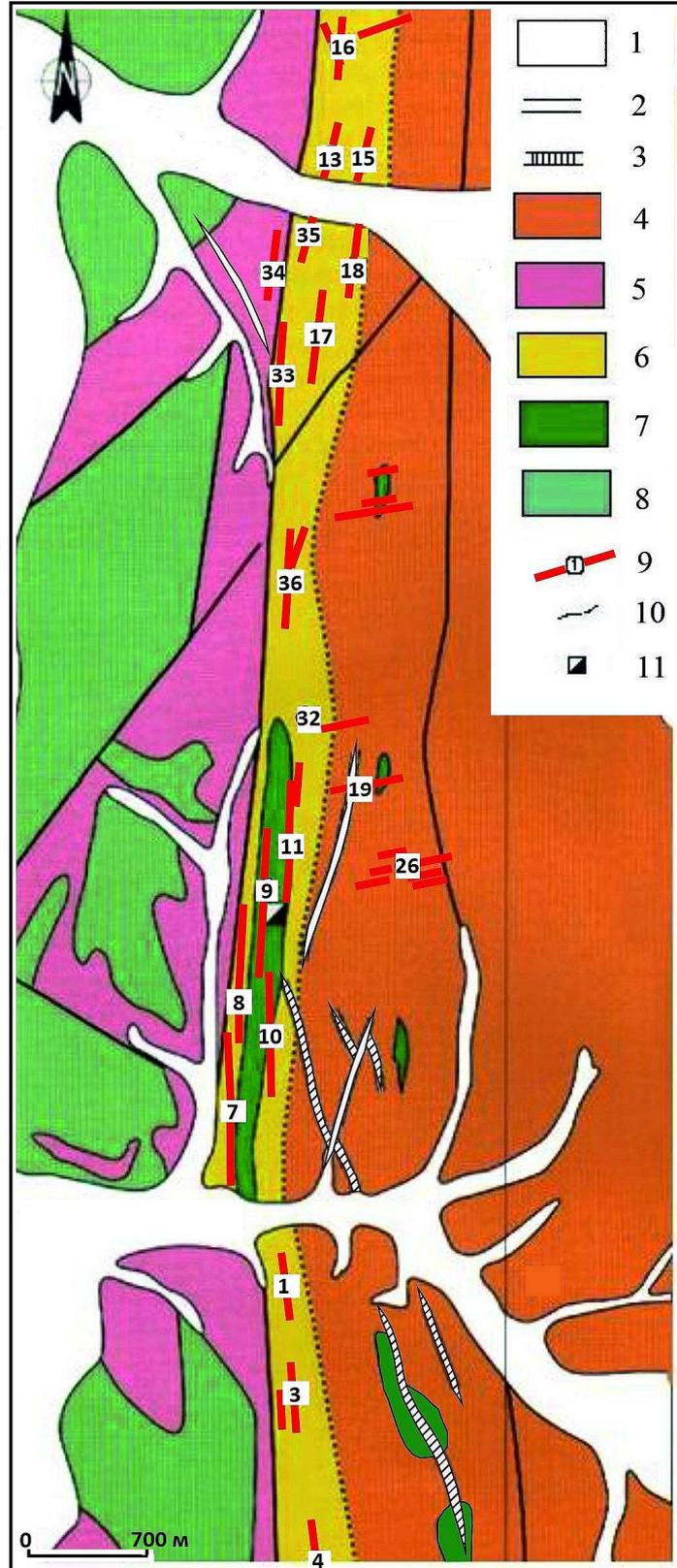


Рис. 3.1. Геологическое строение месторождения Амессеса (по данным ORGM с дополнениями). Условные обозначения см. ниже.

1- четвертичные отложения; 2 – 4 – протерозойские породы: 2 - дайки диоритов; 3 – дайки фельзитов; 4 - породы серии Арешшум (PR_{1ar}) гнейсы и гранито-гнейсы с прослоями амфиболитов, кварц-альбит-серицитовых и хлорит-биотит-амфиболовых сланцев; 5 – архейские лейкократовые гнейсы Инузальской серии (AR_{in}); 6 – милониты в зоне Восточно-Инузальского разлома; 7 – протерозойские габбродиориты; 8 - гранулиты основного состава Инузальской серии (AR_{in}) представленные габбро, габбро-диоритами, пироксенитами; 9 – золотиносные кварцевые жилы; 10 – второстепенные разломы; 11 - ствол разведочной шахты.



Рис.3.2. Апофиза крупной дайки габбро-диоритов в шовной зоне Восточно-Инузальского разлома

В них сосредоточено около 75% всех запасов руд. Протяжённость этих кварцево-жильных зон достигает 3 км. Мощность жильных зон от 2-3 до 25-30 метров. Падение их крутое, западное (рис. 3.3), параллельно шовной плоскости Восточно-Инузальского разлома. Жилы характеризуются наличием пережимов и раздувов, порой разделяясь на несколько фрагментов. Максимальная глубина промышленного оруденения составляет 440 метров. Она установлена по зоне 9, где скважиной подсечен интервал длиной 1,13 метра, с содержанием золота 34,7 г/т. В целом, распределение золота по жилам достаточно неравномерное, коэффициент вариации меняется от 100 до 250%, и преобладают содержания Au от 1 до 5 г/т. (рис. 3.4).

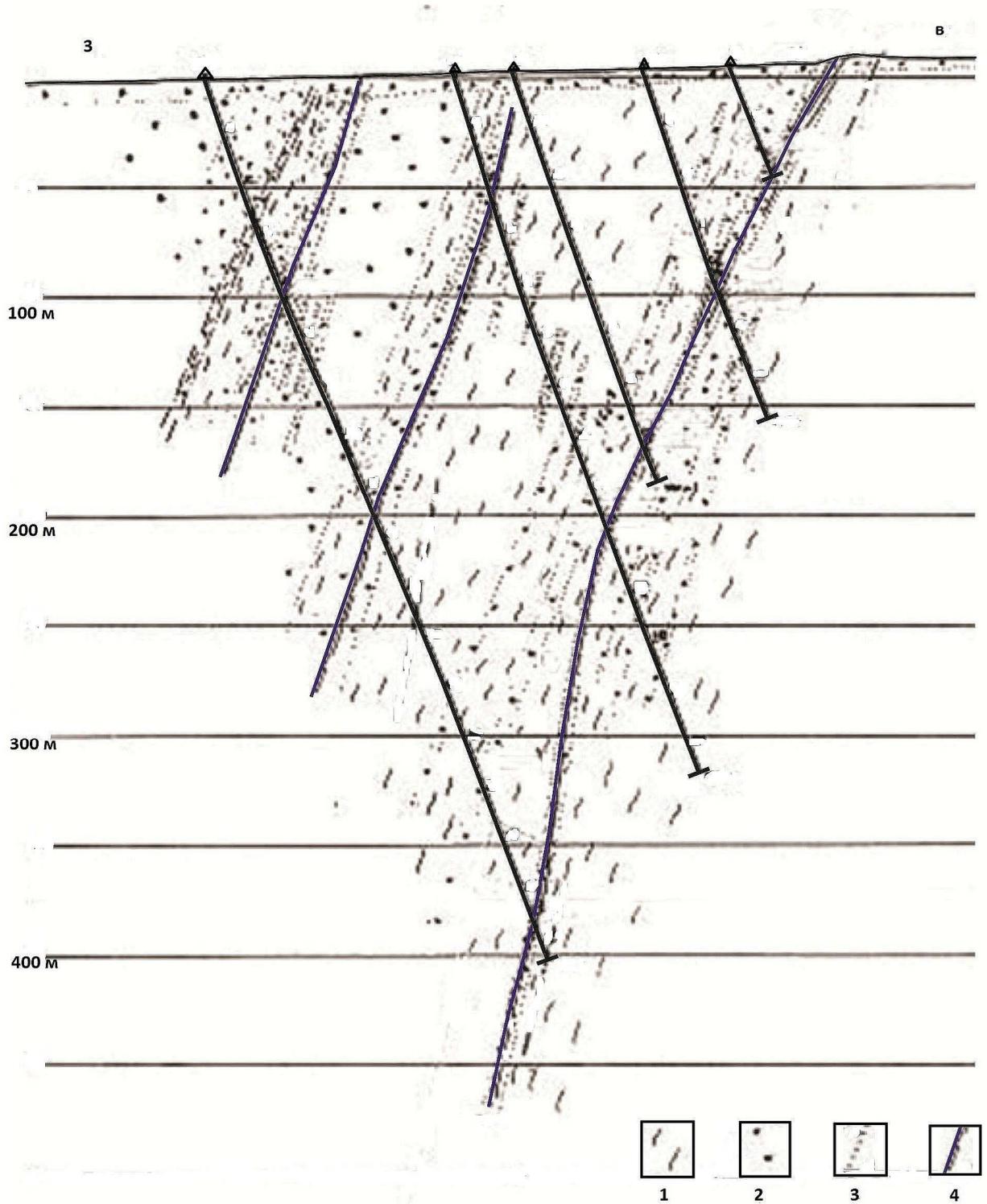


Рис. 3.3. Геологический разрез через жильную зону 9. 1 - гранито-гнейсы; 2 - габбро-диориты; 3 - контуры зон метасоматических изменений; 4 - золотоносный жильный кварц.

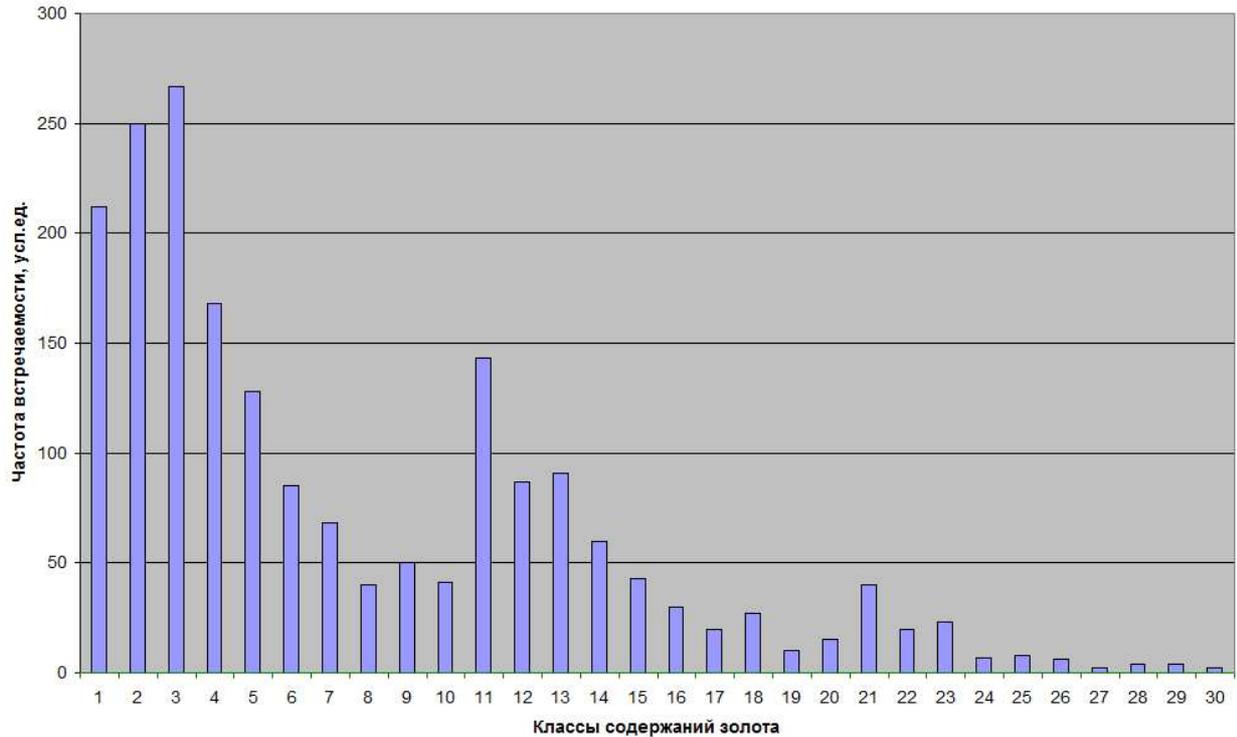


Рис. 3.4. Гистограмма распределения содержаний золота на месторождении Амесмесса (для жил, включённых в подсчёт запасов); интервалы содержаний Au в г\т : 1 – менее1; 2 – 1-2; 3 – 2-3; 4 – 3-4; 5 – 4-5; 6 – 5-6; 7 – 6-7; 8 – 7-8; 9 – 8-9; 10 – 9-10; 11 – 10-15; 12 – 15-20; 13 – 20-30; 14 – 30-40; 15 – 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.

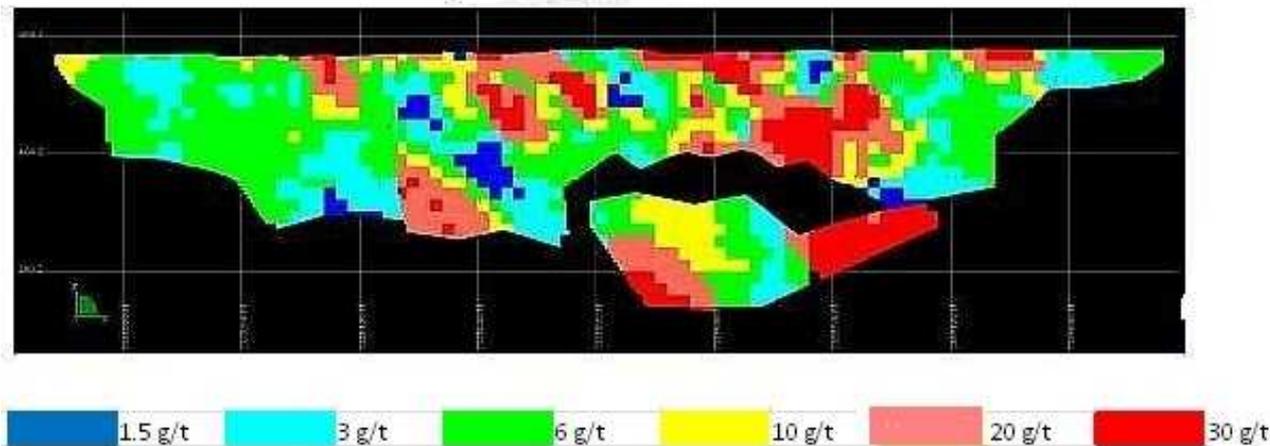


Рис. 3.5. Распределение золота в плоскости жил № 9 и № 8. Видно обогащение их центральных частей.

Вместе с тем, как можно видеть из рисунка 3.4 в статистическом распределении содержаний золота имеется дополнительный максимум в интервале 10-40 г/т. Геологически этот максимум отвечает центральным частям жил, которые часто существенно обогащены золотом. Здесь содержания, как правило, превышают 20 г/т, достигая 50 г/т и более (рис. 3.5).

В 3-4 км севернее находится ещё одна группа жильных зон (12, 17, 18, 13, 15, 16), по своей структурной позиции и морфологии аналогичных центральной группе жил. Они также залегают в сколовых крутопадающих трещинах, субсогласных с шовной зоной Восточно-Инуззальского разлома. В них сосредоточено 19,2% запасов месторождения. По направлению к югу от центральной группы жил расположены небольшие жильные зоны 1, 2, 3, 4. Они представляют собой структурное продолжение центральных жил и также залегают в сколовых крутопадающих трещинах, шовной зоны Восточно-Инуззальского разлома, развитых в основном в лежащем его боку. Таким образом, подавляющая часть наиболее продуктивных жил контролируется осевой плоскостью субмеридионального Восточно-Инуззальского разлома.

Следует подчеркнуть, что наиболее продуктивные жилы центральной части месторождения ассоциируют с субмеридиональным дайковым телом протерозойских габбро-диоритов. Можно предположить, что оно послужило дополнительной хрупкой средой, в которой возникло большее число рудовмещающих разломов.

Помимо субмеридиональных жил, в 300-500 м к востоку от центра месторождения в лежащем борту Восточно-Инуззальского разлома 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, в целом существенно ниже. Трещины, в которых они залегают, по своей морфологии (они также являются сколами), структурной позиции и параметрам могут идентифицироваться как

оперяющие, поперечные сдвиги (R' -сдвиги или антитетические сдвиги по Риделю), которые, как свидетельствуют данные тектонофизического моделирования (Гзовский, 1975; Ramsay, 1980; Sylvester, 1988), неизбежно возникают в ходе развития крупных сдвиговых зон, располагаясь под углами $60-75^\circ$ к главному разлому. В данном случае они возникли за счёт субгоризонтальных напряжений при взбросо-сдвиговых деформациях в зоне Восточно-Инуззальского разлома. Более слабая рудоносность этих жил обусловлена худшими условиями их раскрытия в рудный этап, когда вектор растяжения был ориентирован субширотно, поперёк субмеридионального Восточно-Инуззальского разлома.

Особенности внутреннего строения основных жил (рис. 3.6) свидетельствует о длительных и неоднократных движениях по Восточно-Инуззальскому разлому, результатом которых стало образование полосчатых структур руд, широкое проявление брекчирования жильного кварца (рис.3.7), особенно в лежащем боку, и милонитизация сульфидов. Характерной, явилась и серицитизация, проявленная в лежачих боках жил.

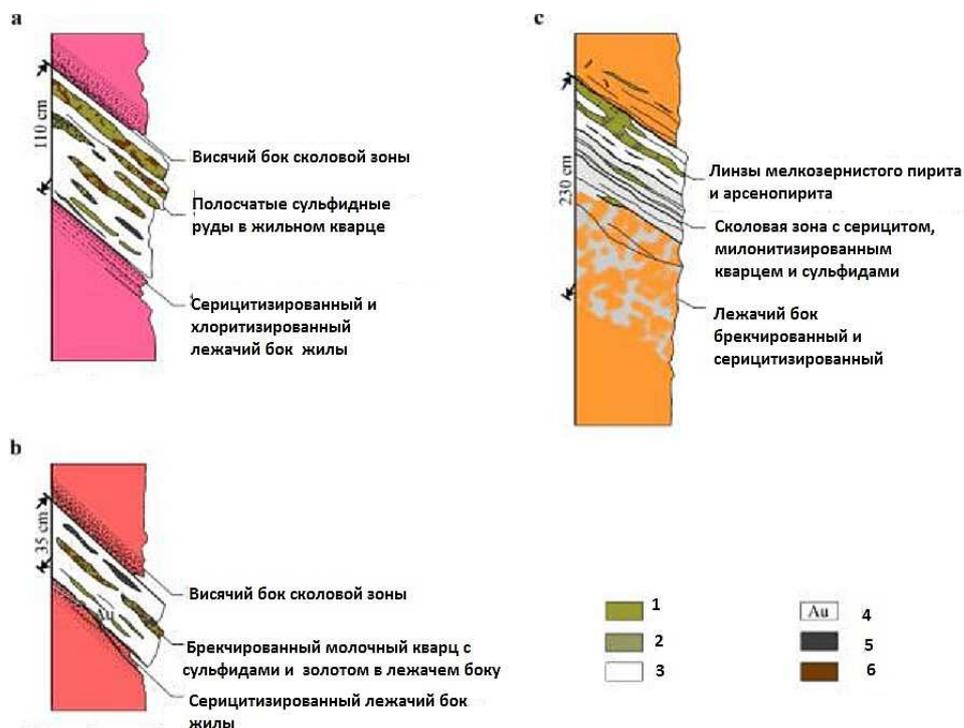


Рис. 3.6. Зарисовки строения рудных жил (кern скважин: а-в – центральная; с – северная часть месторождения Амесмесса). 1 – пирит; 2 – арсенопирит; 3 – кварц; 4 – видимое золото; 5 – галенит; 6 – сфалерит.



Рис. 3.7. Брекчированные и полосчатые структуры жильного кварца (карьер по жиле № 9).

В жилах нередко встречаются поздние кварцевые прожилки, секущие основной кварц-серицит-карбонатный с пиритом матрикс (рис.3.8).

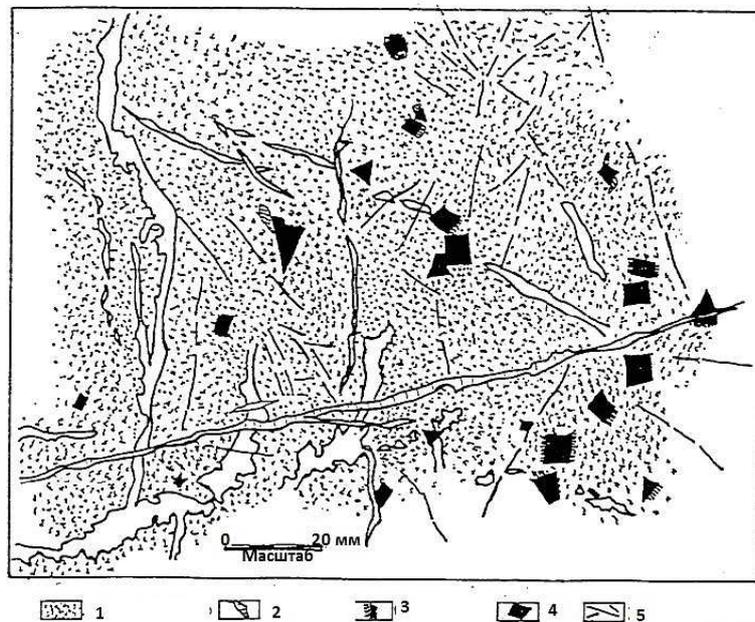


Рис. 3.8. Внутреннее строение жилы № 9. 1 - кварц-серицит-карбонатный матрикс; 2 – кварцевый прожилок; 3 – волокнистый кварц; 4 – пирит; 5 – микротрещины.

Возраст золотого оруденения ранне протерозойский (рис. 3.9). По данным U-Pb изотопии цирконов из околорудных зон серицитизации (микрозонд SHRIMP-II), он находится в интервале 2050-1940 млн. лет, что соответствует проявившемуся в Африке, так называемому, Эбурнейскому тектоно-магматическому циклу, который охватывает период 2170-1750 млн. лет (Allegre C.J., Caby, 1972; Bertrand, 1974; Ferkous K., Monie P., et. al. 1996).

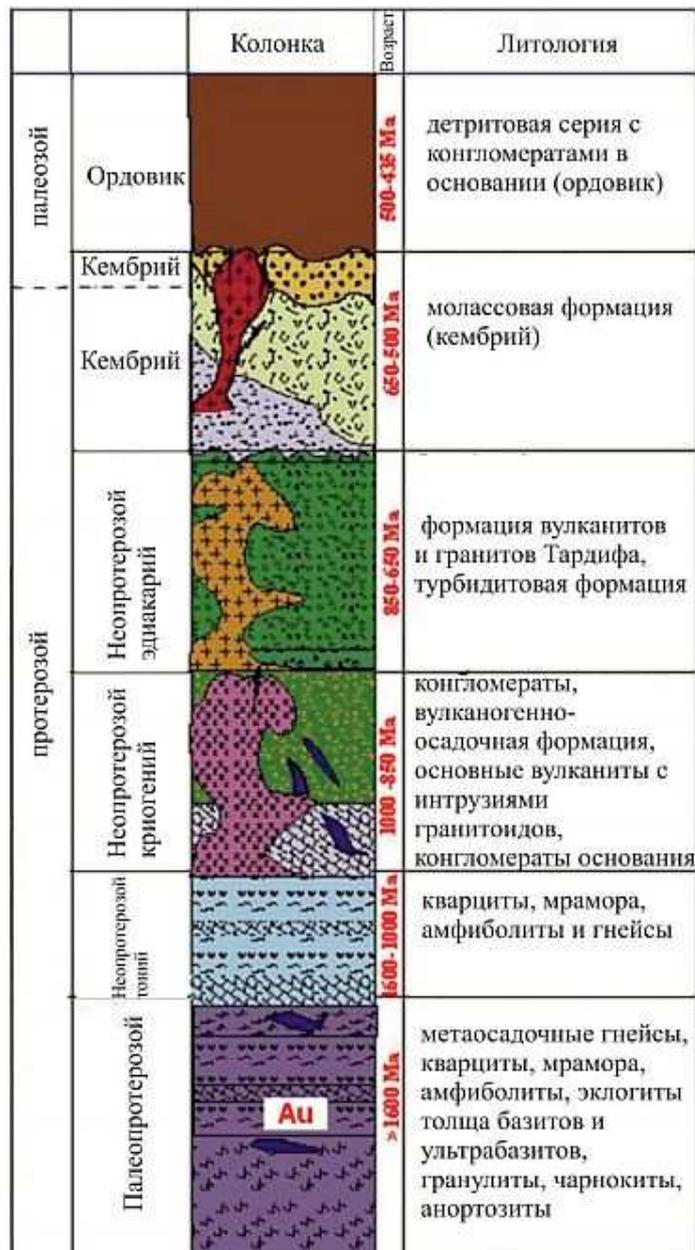


Рис. 3.9. Возрастная позиция золотого оруденения в общей колонке отложений развитых в Ахаггаре.

Глава 4. МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ РУД И СТАДИЙНОСТЬ РУДООБРАЗОВАНИЯ

В данной главе обосновывается третье защищаемое положение. Золото на месторождении Амесмесса является доминирующим полезным компонентом и представлено двумя разновидностями: гипогенной и гипергенной. *Гипогенное золото* пользуется наиболее широким распространением вследствие слабо развитой в условиях аридного климата Сахары зоны окисления и практически отсутствующей подзоне вторичного сульфидного обогащения. Оно образует такие минеральные формы, как самородное золото, электрум и купроаурит (Aouli, Belov, 2015; Белов, Зверев, Аули, 2015).

Самородное золото является главным носителем благородного металла и присутствует в кварцево-рудных жилах и околорудных гидротермально-измененных породах (зонах березитизации и калишпатизации). Выделено четыре его генерации. В виде неоднородной вкрапленности оно локализуется в кварце, пирите, пирротине, халькопирите, имея форму изометричных или овальных зерен размером $n \cdot 10$ мкм, а в виде микропрожилков и сетчатых агрегатов фиксируется в пирите, сфалерите, галените и висмутине. Чаще всего свободное самородное золото находится в микротрещинках кварца, где образует микропрожилки мощностью от 20 до 30 мкм, редко до 0,5 мм (рис. 4.1- а, б). В зонах березитизации оно встречается среди железосодержащих хлоритов. Гипогенное самородное золото имеет пробность от 820 до 870 (табл. 4.1). Характерно наличие серебра, которое присутствует в виде примеси в количестве от 11,4 до 15,6 %. Постоянной примесью в золоте также является ртуть, ее содержание колеблется от 0,67 до 2,32 %. В меньших количествах в качестве примеси обнаруживается железо (0,23-0,53 %). В золотосодержащем кварце и березитах фиксируются повышенные содержания свинца, вольфрама, меди, цинка и сурьмы (табл. 4.2).

Электрум очень редок, преимущественно он развит на северном фланге месторождения и связан с галенитом, первичным халькозином и

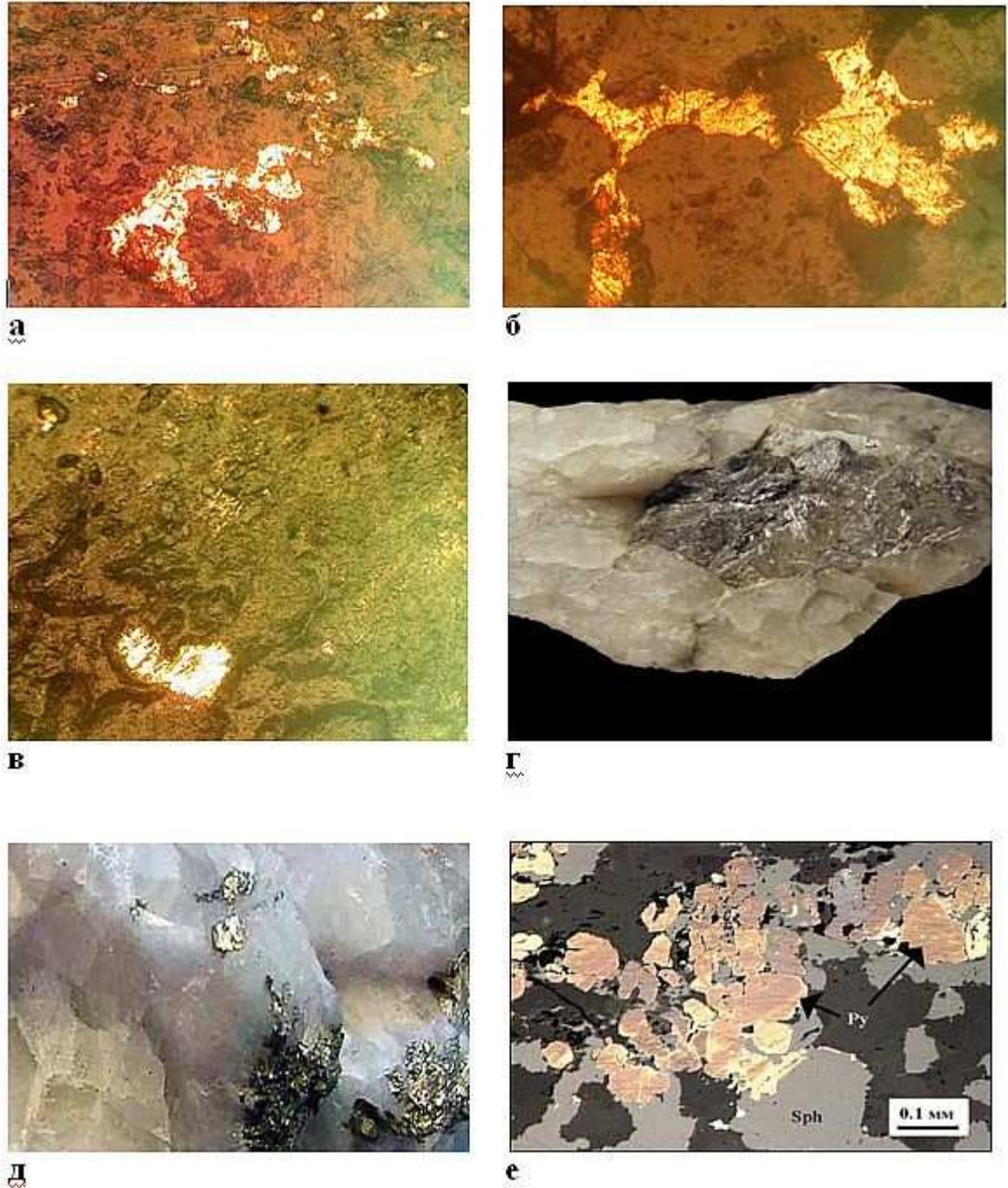


Рис.4.1. Особенности проявления рудной минерализации (а – в фото шлифов): а - мелкие выделения золота размером 0,01-0,05 мм вдоль микротрещин (вверху) и более крупные его агрегаты (внизу) среди ожелезнённой и окварцованной породы; б - выделения золота размером около 0,25mm, приуроченные к границам кварцевых зёрен, тёмное – гематит; в - крупное зерно гипергенного золота в ассоциации с гетитом и лимонитом; (г-д фото образцов): г - выделения висмутитина среди кварца; д -

кристаллы пирита среди кварца; е – фото шлифа, взаимоотношения сфалерита с пиритом.

зелигманитом. Электрум образует зернистые корродированные агрегаты среди кварца размером от 40-50 мкм до 1 мм. Цвет его – соломенно-желтый с бронзовым отливом. По данным микрозондового анализа (табл. 4.1), содержание золота в нем – 70,42 %, серебра - 28,16 %, ртути 2,30 %.

Табл. № 4.1

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

№ п/п	Минеральная форма	Содержание примесей, %					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	то же	83,55	14,13	2,32	-	-	100,00
4	то же	84,55	14,29	1,18	-	-	99,97
5	то же	83,86	14,70	1,43	-	-	99,99
6	то же	82,52	15,27	1,38	0,52	-	99,68
7	то же	82,51	15,39	1,27	0,83	-	100,00
8	то же	82,89	15,62	0,92	0,57	-	100,00
9	то же	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

Купроаурит также весьма редкий минерал золота. Для его состава типично полное отсутствие ртути, незначительное содержание серебра и существенное обогащение медью (23,39 %).

Гипергенное самородное золото наблюдается очень редко, в основном на северном фланге месторождения. Его небольшие зерна изометричные, порой, овальные, размером до 1 мм, связаны с лимонитом, гётитом, реже – с

гидроксидами марганца. По данным микрозондового анализа (табл. 4.1) оно имеет более низкую пробность по сравнению с гипергенным и более высокие содержания серебра.

Для месторождения Амесмесса характерно присутствие минералов висмута, представленных тетрадимитом, висмутином, самородным висмутом. *Тетрадимит* имеет форму неправильных зерен, образующих аллотриоморфную структуру, в отраженном свете - желтовато-белого цвета с соломенным оттенком. Он ассоциирует с пиритом, редко - с самородным висмутом. *Самородный висмут* – один из наиболее часто встречающихся на месторождении носителей висмута. Выделяется в виде коррозионных зерен, развивающихся по пекоит-гладит-висмутиновым агрегатам. Характерно практически полное отсутствие в самородном висмуте элементов-примесей. *Висмутин* является главным минералом висмута, находится в виде вкрапленности в кварце свинцово-серого цвета, кристаллизуясь в виде пластинчато-листоватых форм (рис. 4.1.г) Вместе с висмутином очень редко отмечаются *пекоит* и *гладит*, которые формируют с ним твердые растворы.

Сульфидные минералы (пирит, галенит, сфалерит, халькопирит, пирротин) относительно мало распространены в кварц-золоторудных жилах. Общее количество их не превышает 5 %. Они локализируются в виде гнезд, размером от $n \cdot 1$ мм до 1 см, иногда – в форме мелких прожилков мощностью от 0,2 до 1-2 мм.

Пирит является наиболее распространенным сульфидным минералом, образуя кристаллы и агрегаты хорошо ограненных кристаллов (рис. 4.1.д). В целом характерна обедненность его элементами-примесями. Однако в пирите часто несколько повышены содержания никеля и кобальта.

Галенит – единственный гипогенный минерал свинца на данном месторождении. Размеры его зерен нередко достигают 3-5 см. В них порой имеются включения теннантита, тетраэдрита, халькозина, редко – зелигманнита. Галенит часто корродирован самородным золотом III генерации, слагающим вокруг него агрегаты обрамления и микропрожилки

толщиной 60-80 мкм. В галените повышены содержания цинка, кадмия и вольфрама (табл. 4.2). В зоне окисления по галениту образуются вторичные минералы – англезит и церуссит.

Сфалерит является основным носителем цинка и проявлен в трех возрастных генерациях. Минерал тесно ассоциирует с пиритом (рис. 4.1 е), золотом II генерации и с галенитом. В нем присутствуют примеси кадмия и железа.

Табл. № 4.2

**Содержания элементов в некоторых минеральных образованиях
месторождения Амесмесса**

№ 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

Проведенное изучение состава, структур и текстур руд, взаимоотношений слагающих их минеральных ассоциаций позволило выявить общую последовательность и стадийность процессов минералообразования, происходивших при формировании месторождения Амесмесса. В целом можно выделить эндогенный и экзогенный периоды рудогенеза. В пределах эндогенного периода были выделены дорудный и пострудный этапы минералообразования, включающими соответственно две, четыре и одну стадии с соответствующими минеральными ассоциациями (табл. 4.3).

Дорудный этап на месторождении последовательно представлен карбонат-хлоритовой и кварц-полевошпатовой стадиями. Первая проявлена в виде маломощных хлорит-кальцитовых прожилков в милонитах и ультрамилонитах, а вторая - в образовании кварцевых прожилков и калишпатизации пород. В конце этой стадии происходит отложение тонко рассеянного магнетита и гематита.

Начало рудного этапа знаменует *кварц-эпидот-хлоритовая стадия*. В эту стадию, после процесса хлоритизации и эпидотизации происходит отложение золота I генерации, связанного с кварцем. Следующая *кварц-халькопирит-пирротиновая стадия* является одной из основных в отложении золота. Вначале оно выделяется в виде купроаурита (твёрдого раствора с содержанием меди 23,39 % и серебра 1,6 %), устойчивого при температурах ниже 410 °С. Самородное золото II генерации выделялось после отложения основной массы сульфидов, когда в растворах присутствовала слабо связанная сера и они были богаты медью. Это золото содержит повышенное количество элементов-примесей.

Кварц-золото-сульфидная стадия по концентрации золота является самой значимой. Минеральные парагенезисы этой стадии обильны и разнообразны. Отложение минералов происходило в такой последовательности: кварц IV → (серицит + хлорит III) → (пирит III + пирротин II) → марказит → (халькопирит II + тетрадимит) → висмутин → самородный висмут → (сфалерит II + халькопирит III) → (пирротин III + галенит I) → самородное золото III → кальцит.

Табл.4.3.

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).

Минералы	Этапы и стадии (минеральные ассоциации)						
	Дорудный		Рудный				Пострудный
	1	2	3	4	5	6	7
	Карбонат-хлоритовая	Кварц-КПШ	Кварц-эпидот-хлоритовая	Кварц-халькопирит-пирротиновая	Кварц-золото-сульфидная	Кварц-зелигманит-галенитовая	Кварц-карбонат-халцедоновая
Хлорит I	████████						
Пирит I	—						
Кальцит I	██████						
КПШ		██████					
Кварц I		—					
Магнетит		██████					
Гематит		██████					
Хлорит II			██████				
Эпидот			██████				
Кварц II			██████				
Золото I			██████				
Доломит				-----			
Кварц III				██████			
Пирит II				██████			
Пирротин I				—			
Купроаурит				■ ■ ■ ■			
Халькопирит I				—			
Сфалерит I				—			
Золото II				██████			
Кварц IV					██████		

Серицит					————— -		
Хлорит III					—————		
Пирит III					———		
Пирротин II					———		
Марказит					———		
Халькопирит II					———		
Тетрадимит					———		
Висмутин					———		
Висмут сам.					———		
Сфалерит II					———		
Халькопирит III					—————		
Пирротин III					————— -		
Галенит I					—————		
Золото III					—————		
Кальцит III					———		
Барит I						———	
Кварц V						—————	
Зелигманит						—————	
Халькозин						———	
Галенит II						—————	
Золото IV						—————	
Кальцит II						———	
Барит II						———	
Кварц V							———
Пирротин IV							———
Кальцит IV							—————
Сфалерит III							———
Халцедон							—————

Завершение гипогенного отложения золота происходит в *кварц-зелигманнит-галенитовую стадию*, когда выделяется золото IV генерации. Оно по данным микронзондового анализа часто соответствует электруму. Примечательно, что для всех главных генераций самородного золота (II-IV) постоянной примесью является ртуть (табл. 4.1). Иногда ее содержание достигает 4,2 %. Некоторыми исследователями считается, что это свидетельствует о мантийном источнике рудного вещества.

Завершается гидротермальное рудообразование пострудным этапом, с низкотемпературной *кварц-карбонат-халцедоновой стадией*, которая проявляется в образовании карбонатных, кварц-карбонатных, кварц-халцедоновых прожилков и жил с редкой вкрапленностью пирротина и сфалерита.

Помимо вышеописанных первичных руд на месторождении в небольшом объеме присутствуют окисленные руды, прослеживающиеся до незначительных глубин 20-30 м (рис.4.2). Они состоят из кварца (до 25-30 %), остаточных минералов березитов (до 70-75 %) и небольшого количества гипергенных минералов, в основном гётита, гидрогётита, гематита, иногда с налетами малахита, азурита, церуссита на стенках трещин и пустот выщелачивания. В этом типе руд встречаются крупные золотины, видимые невооруженным глазом (рис.4.3).



Рис. 4.2. Неглубоко и фрагментарно развитая зона окисления (бурый цвет) в условиях аридного климата Сахары, карьер по жиле № 9.



Рис. 4.3. Крупное видимое золото в пределах приповерхностной части месторождения, жила № 9.

Таким образом, самородное гипогенное золото является на месторождении Амесмесса доминирующим и слагает первичные, легкообогатимые руды. Его основная масса представлена тонкой вкрапленностью от 0,005 мм редко до 0,5 мм. В рудах золото распределено весьма неравномерно. Для минерального состава руд характерно относительно небольшое количество сульфидов (около 5%). Окисленные руды, не смотря на часто более высокие содержания и более крупное золото, имеют подчинённое значение. Попутным компонентом руд, имеющим промышленную значимость, является лишь серебро. В целом можно считать, что рассматриваемый объект относится к золото-кварц-(мало)сульфидной формации, типичной, как указывается М.М. Константиновым (2006), для металлогенических зон зеленокаменных поясов древних щитов.

Глава 5. ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ И СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ АМЕСМЕССА

В настоящей главе обосновывается часть второго защищаемого положения, где речь идёт об истории геодинамического развития Восточно-Инуззальской сдвиговой зоны (Аули, Белов, 2014). Как указывалось ранее, возраст золотого оруденения по данным изотопии свинца находится в интервале 2050-1940 млн. лет, что соответствует проявленному в Африке так называемому Эбурнейскому тектоно-магматическому циклу, который охватывает период 2170-1750 млн. лет (Allegre C.J., Cabu, 1972; Bertrand, 1974; Ferkous K., Monie P., et. al. 1996; Салоп, 1977).

Учитывая это, рассмотрим последовательно основные тектонические и геодинамические события в этой части Ахаггара, которые привели к формированию рудоносных структур района.

Наиболее древний возраст, зафиксированный для первичной базит-гранулитовой коры в массиве Ин-Уззал, находящемся в западной части Ахаггара (см. рис. 1.4), составляет 3,3 млрд. лет (Lelubre, 1952; Cabu, 1970, 1996). Линейно вытянутый гранулитовый пояс Ин-Уззал в это время представлял собой проторифтовую структуру, где происходило накопление осадочных, а также вулканогенных образований основного-ультраосновного состава, высокомагнезиальных вулканитов коматиит-базальтовой серии, которые возникли из деплетированной мантии. Гранулитовый пояс являлся областью погружения и осадконакопления, т.е. был древнейшим осадочным бассейном, который испытывал последующие сжатия. В это же время была заложена сопряженная гранит-зеленокаменная область Западно-Ахаггарского синклиория (Bertrand, Cabu, 1978; Haddum, 1992; Ferkous K., Monie P., et. al. 1996).

Очевидно, что геодинамическая ситуация этого периода была отлична от плейт-тектонической и может быть описана с позиции плюм-тектоники.

Можно предположить, что она определялась подъёмом мантийных суперплюмов первого (по терминологии Н.О. Сорохтина) поколения, образованных деплетированными ультрамафитами. По данным Н.О. Сорохтина, Н.Е. Козлова и др. (2009), развивающих концепцию зонного плавления земного вещества в архее, наибольшая эндогенная активность, проявлявшаяся в перегреве мантии, существовала в областях, тяготеющих к экватору.

Наиболее древний суперконтинент – Моногея имел возраст 2,6 млрд. лет. Учитывая данные палеореконокструкций (рис.5.1), можно полагать, что рассматриваемый нами район Африки в это время находился относительно недалеко от архейского экватора. Такая его позиция приводила к тому, что коматиит-базальтовые ассоциации Ахаггарских зеленокаменных поясов формировались в условиях большего перегрева мантии. Как следствие этого они оказались существенно обогащены сидерофильными и халькофильными элементами, что и повлияло в дальнейшем на формирование здесь месторождений золота. Таким образом, этот период может рассматриваться как начало рудоподготовительного этапа.

Эбурнейский тектоно-магматический цикл начался на рубеже 2 млрд. лет. Примечательно, что к этому времени, по мнению ряда исследователей, относятся первые геологические свидетельства тектоники плит (Кузьмин и др., 2004; Лобковский и др., 2004) и др. Можно предположить, что и в Ахаггаре в данное время стартовала плейт-тектоническая геодинамика, на что указывается, например, в работе (Caby, Monie, 2003). Примыкающий с запада к Ахаггару Западно-Африканский кратон, представлявший собой область ранней консолидации, испытывал воздействие с востока со стороны Фарузийско-Нигерийского подвижного пояса Африки, в составе которого и находился Ахаггар (Bertrand, Caby, Blak, 1981; Black, et. al.,1994).

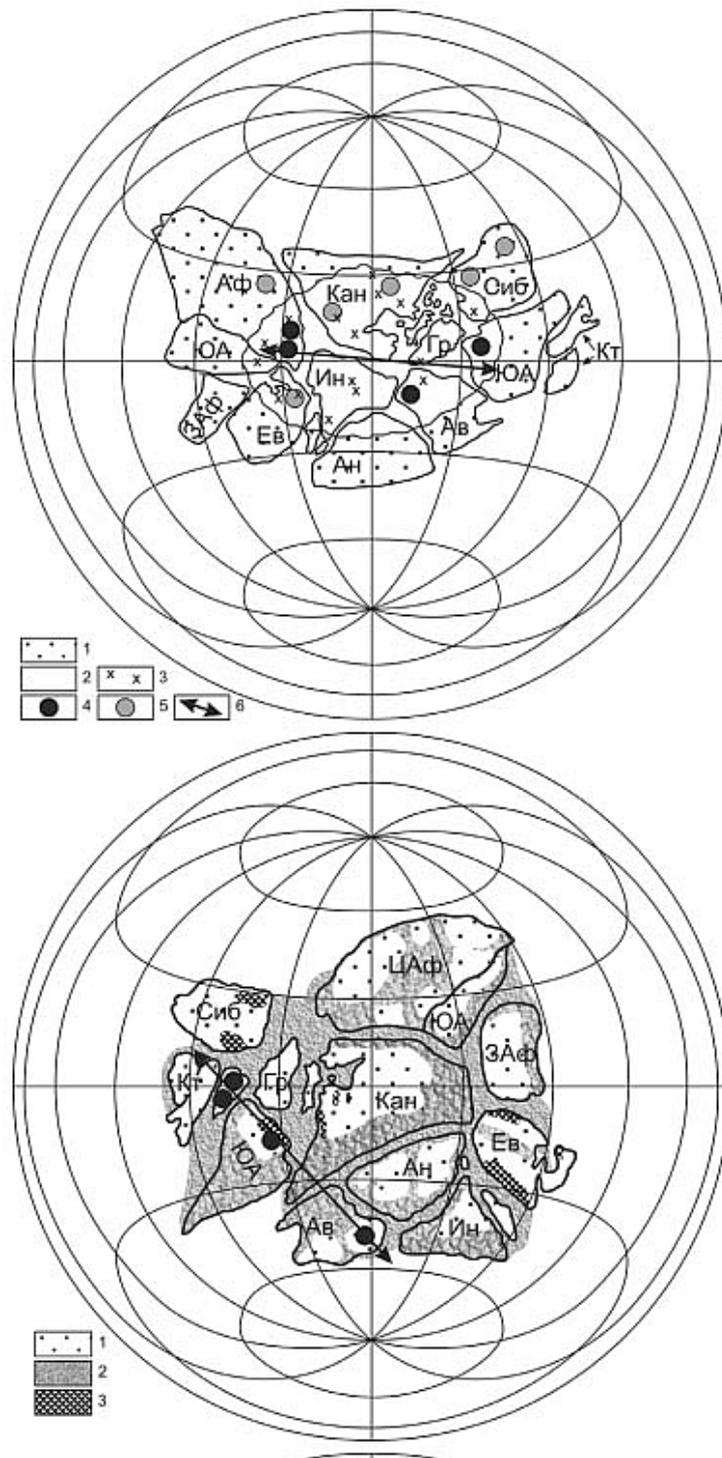


Рис. 5.1. Суперконтиненты (по Сорохтин, Козлов и др. 2009): сверху - Моногея 2,5-2,4 млрд. лет назад; внизу – Мегагея 1,8 млрд. лет назад.

Вверху: 1 - континентальная кора; 2 – область гуронского оледенения; 3 находки тиллитов и тиллоидов этого времени; 4 – области коры с существенным перегревом мантии; 5 - области коры с меньшим перегревом мантии; 6 – линия архейского экватора.

Внизу: 1 - 1 - континентальная кора; 2 – складчатые области; 3 – области формирования красноцветов.

АФ – Африка; ЮФ – Южная африка; ЗАФ – Западная Африка. Ев – Европа; Ин – Индостан; Кан – Канада; Гр – гренландия; Ар – Антарктида; Ав – Австралия; Сиб – Сибирь

Важным геодинамическим событием явилось заложение и развитие протерозойского гранит-зеленокаменного пояса прогиба Западного Ахаггара и возникновение серий изоклинальных складок в связи с подъёмом гнейсовых диапиров (Сабу, 1996). Следующая фаза деформации проявилась в образовании мощной зоны расланцевания и формировании Восточно-Инуззальского разлома, в шовную часть которого внедрились линзовидные тела диоритов и габбро-диоритов (рис.5.2).

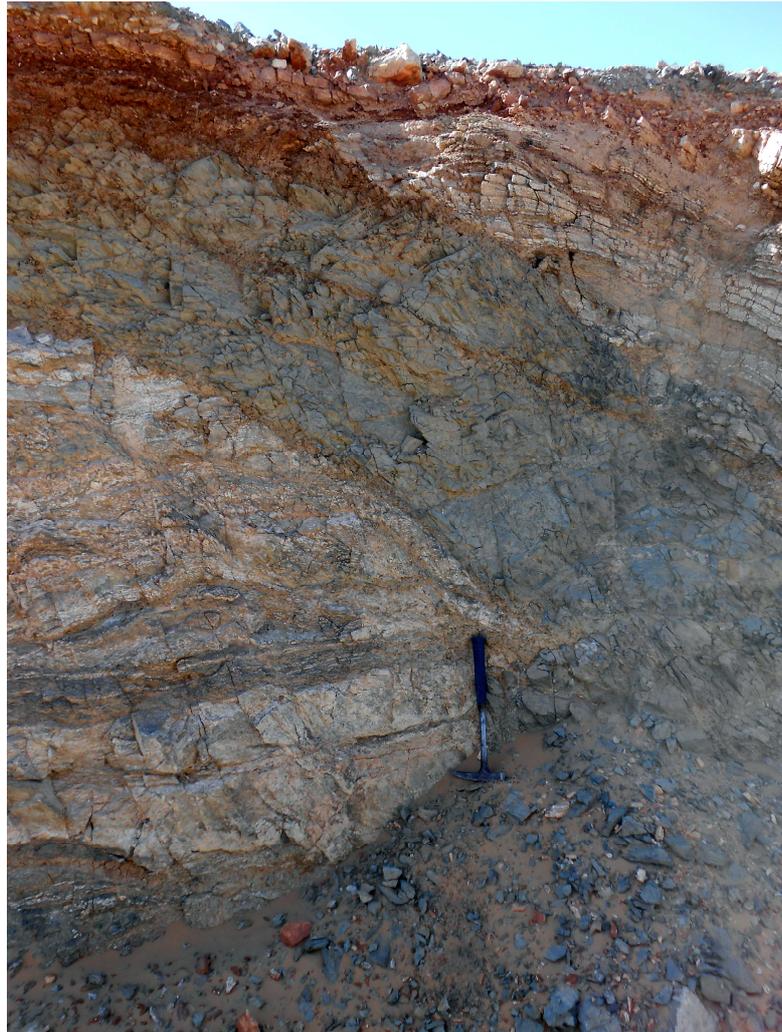


Рис. 5.2. Дайковое тело габбро-диоритов в шовной зоне Восточно-Инуззальского разлома

По мнению В. М. Чайки (1979), именно метаморфизованные диориты, как производные протерозойской гранитизации, являлись ответственными за процессы концентрации золота в Ахаггаре. Пространственно-парагенетическая связь диоритов и габбро-диоритов с рудными телами на

месторождении Амесмесса очевидна, что хорошо иллюстрируется геологической картой объекта. Собственно их внедрением и завершился рудоподготовительный этап. Линейно-вытянутая форма штокообразного тела диоритов и габбро-диоритов в шовной зоне Восточно-Инуззальского разлома даёт возможность сделать заключение об особенностях поля напряжений в этот период. Короткая ось штока совпадает с направлением оси σ_3 , а длинная - с осью σ_1 . Таким образом, вектор наибольшего сжатия в это время был ориентирован субширотно (рис.5.3).

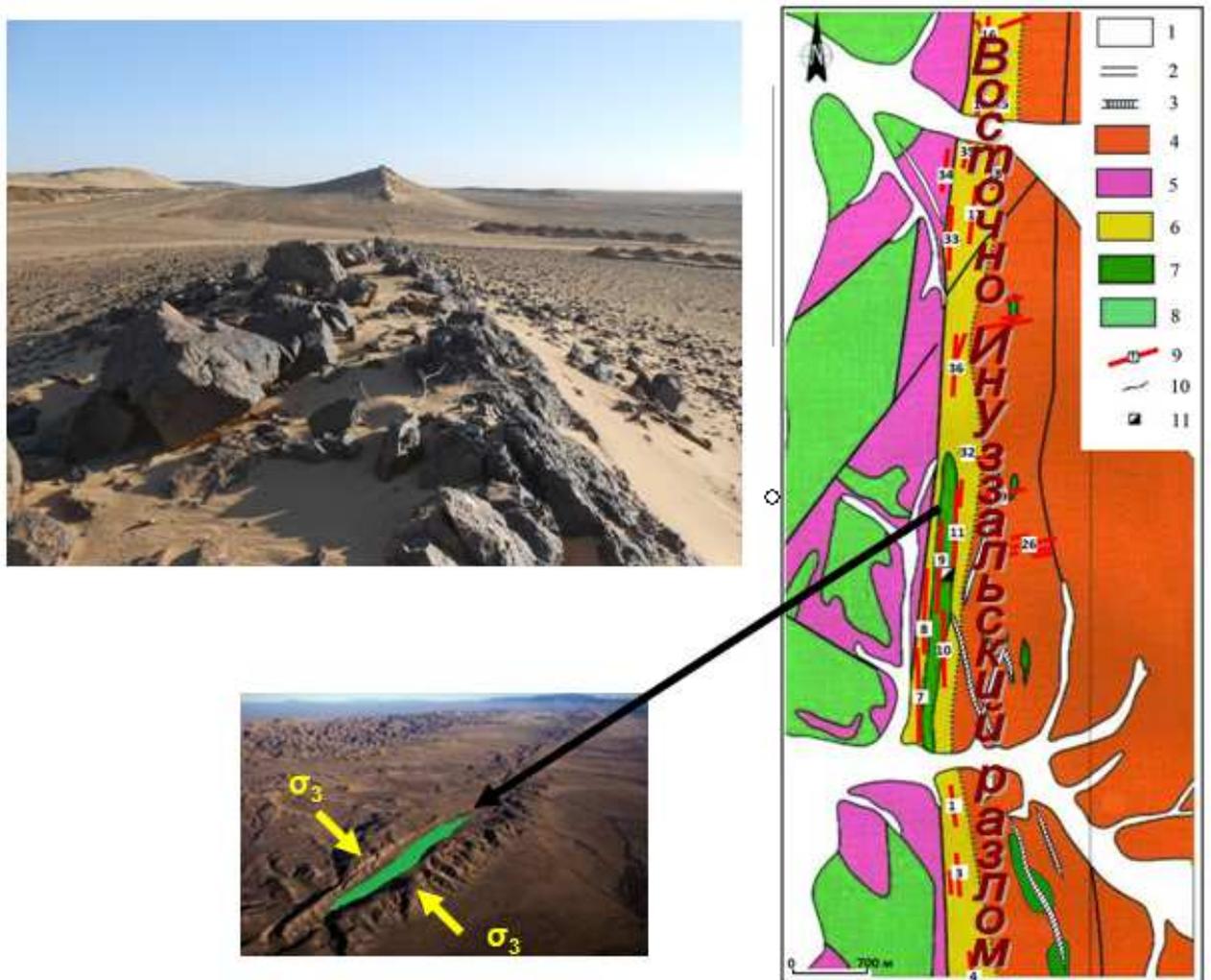


Рис.5.3. Структурно-геодинамическая обстановка и поле напряжений при внедрении линзовидных тел габбро-диоритов в шовную зону Восточно-Инуззальского разлома. Вверху – выходы габбро-диоритов в шовной зоне Восточно-Инуззальского разлома. Внизу – ориентировка осей σ_3 . Справа – карта месторождения Амесмесса, условные обозначения см. рис.3.1.

Геодинамика формирования рудовмещающих трещинных структур на месторождении Амесмесса связана с развитием Восточно-Инуззальского разлома, по которому происходила активизация тектонических движений. По своей кинематике он является взбросо-сдвигом. Западное его крыло, сложенное породами архея, приподнято, восточное, выполненное протерозоем, – опущено. В зоне разлома, в т.ч. среди более мелких оперяющих его структур, можно наблюдать привзбросовую складчатость (рис. 5.4). Породы в лежащем боку разлома деформированы более значительно.



Рис. 5.4. Приразломная (привзбросовая) складчатость в оперяющих структурах Восточно-Инуззальского разлома.

Механизм деформаций в зонах сдвига изучен теоретически и экспериментально (Гзовский, 1975; Стоянов, 1977; Silvester, 1988; Ramsay, Huber, 1987). Он, как правило, близок к простому сдвигу, что даёт возможность идентифицировать реально наблюдаемые структуры в зонах динамического влияния разломов с теоретическими и экспериментальными моделями. Именно такой подход принят нами при расшифровке геодинамического механизма формирования рудоносных структур на месторождении Амесмесса. Типы разрывных структур, возникающих в ходе развития геодинамики крупных сдвиговых зон, показаны на рис.5.5.

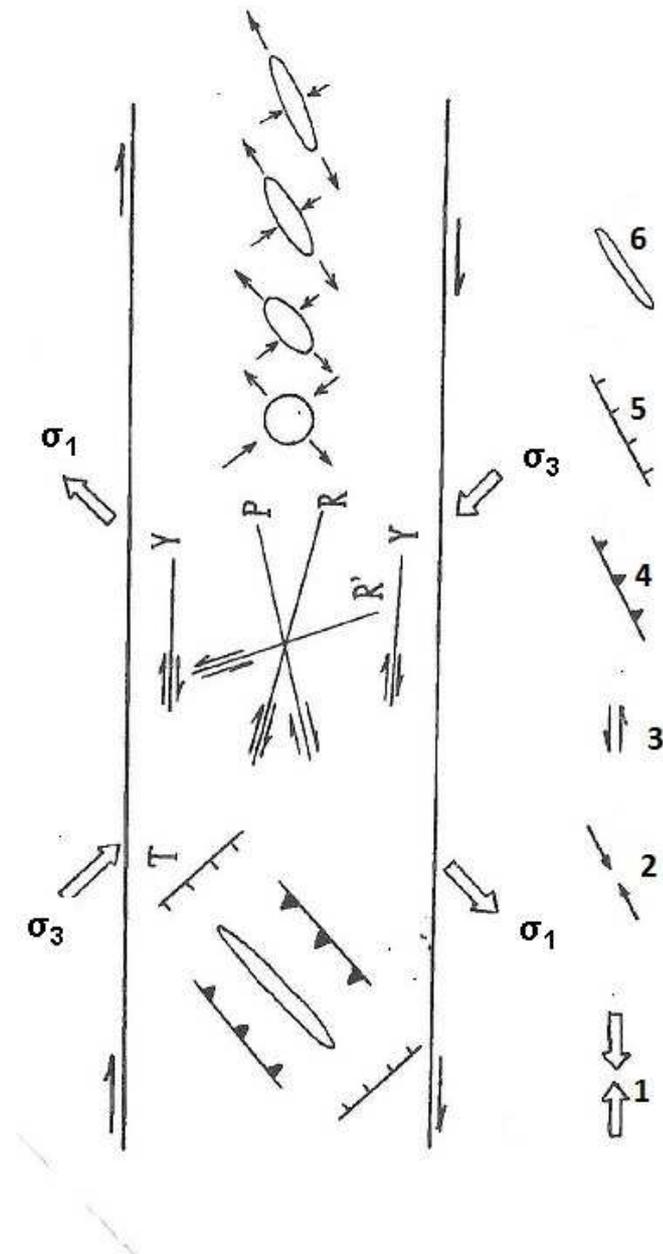


Рис. 5.5. Основные типы и ориентация структур возникающих в зоне динамического влияния сдвига (по Гзовский, 1975; Стоянов, 1977; Silvester, 1988; Ramsay, Huber, 1987).

1 - ориентация региональных напряжений; 2 - ориентация локальных напряжений; 3 - направление перемещений; 4 - надвижки; 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; T - трещины растяжения, сбросы ориентированные под углом около 45° к главному разлому; Y - сдвиги параллельные главному разлому.

Сопоставление картины золотоносных жил развитых на месторождении Амесмесса с данной экспериментально-теоретической моделью показывает, что основная часть рудопродуктивных жил локализуется в сколовых трещинах, параллельных шовной зоне Восточно-Инуззальского разлома и с тектонофизических позиций (Гзовский, 1975; Стоянов, 1977; Silvester, 1988; Ramsay, Huber, 1987), может быть отнесена к Y-сдвигам.

Серия менее продуктивных поперечных жил восток-северо-восточного направления (№ 25, 19 и др.), располагающихся под углами 60-75°, идентифицируются как оперяющие поперечные сдвиги (R'-сдвиги или антитетические сдвиги по Риделю), которые возникли практически одновременно с Y-сдвигам в ходе деформации сдвига происходившей по Восточно-Инуззальскому разлому. Поле тектонических напряжений этого времени, судя по экспериментально-теоретической модели, претерпело некоторые изменения: ось сжимающих напряжений σ_3 с субширотного положения несколько переместилась к северо-востоку, а соответственно ось σ_1 – к юго-востоку.

На рудном этапе в условиях непрекращающихся тектонических движений по Восточно-Инуззальскому разлому, о чём свидетельствует широкое развитие в рудах брекчий, в условиях поперечного растяжения (ось σ_1 располагается субширотно) происходит раскрытие трещин шовной зоны и активное выполнение их рудным веществом, которое было прерывисто-пульсационным, обеспечивая соответствующее поступление растворов. При этом очевидно, что такая ориентировка растягивающих усилий в рудный этап не способствовала аналогичному хорошему раскрытию оперяющих поперечных жил (антитетических сдвигов, возникших в зоне динамического влияния Восточно-Инуззальского разлома) вследствие чего они оказались менее рудопродуктивны.

Геодинамика пострудного этапа, учитывая длительную последующую геологическую историю, была сложной. В период мезозойского орогенеза она проявилась в общем воздымании и формировании сводового поднятия Ахаггара (Белов и др., 1991; Белов, 1999). Очевидно, что движения в зоне долгоживущего Восточно-Инуззальского разлома неоднократно возобновлялись. При этом происходила переориентация при повторных сдвиговых перемещениях по разлому. Так наблюдения в карьерах по жильным зонам, расположенным в его осевой плоскости свидетельствуют, о наиболее молодых лево-взбросо-сдвиговых движениях происходивших в шовной зоне Восточно-Инуззальского разлома, вертикальная составляющая которых относительно невелика (рис.5.6).



Рис. 5.6. Следы пологих лево-взбросо-сдвиговых движений в шовной зоне Восточно-Инуззальского разлома (стенка карьера вдоль жилы № 9, слева – север, справа - юг).

Примечательно, что лево-сдвиговые движения фиксируются и в наиболее поздних пострудных крупных разрывных структурах, заложившихся вдоль уэдов Амесмесса и Тамеджида, смещающих на десятки метров, как рудные жилы, так и саму шовную зону Восточно-Инуззальского разлома.

Таким образом геодинамическая ситуация и поле напряжений на протяжении Эбурнейского тектоно-магматического цикла в ходе которого формировались золоторудные тела, определялись коллизионными процессами между Западно-Африканским кратоном, представлявшим собой область ранней консолидации и Ахаггаром, входившим в состав Фарузийско-Нигерийского подвижного пояса Африки. Общая структура месторождения Амесмесса являет собой яркий пример возникновения в ходе развития геодинамики крупных сдвиговых зон, каковым является Восточно-Инуззальский разлом. При этом ориентировка сжимающих усилий при внедрении диоритовой магмы была субширотной, а впоследствии, при формировании рудовмещающих структурных парагенезисов она сменилась северо-восточной. Всё это обусловило возникновение вышеописанных многочисленных линейных жильных золоторудных тел, составляющих основу структуры месторождения Амесмесса.

Глава 6. МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ НАРАЩИВАНИЯ РУДНОГО ПОТЕНЦИАЛА

В данной главе обосновывается четвертое защищаемое положение. Металлогенический облик Ин-Уззальского района в подавляющей степени, определяется широко развитой золотой минерализацией, о чём впервые было сказано в работе (Marignac, Semiani, Fourcade, et. al., 1996). Это подтверждается и последними данными. Район, в соответствии с подходом М. М. Константинова (2006), в полной мере можно рассматривать как специфичную историко-геологическую аномалию, характеризующуюся, как описано в предшествующих главах, 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-Уззальского района (Тирек и др.), в соответствие с классификацией М.М. Константинова (2006), могут быть отнесены к золото-(мало)сульфидно-кварцевой формации. Она типична для металлогенических зон зеленокаменных поясов древних щитов, каковым собственно и является Ахаггар (Туарегский щит). Развитый в его пределах зеленокаменный пояс Ин-Уззала относится по классификации (Федчук, Корсаков, Соколовский, 2006) к третьему, наиболее позднему типу, характерному для раннего протерозоя. Следует отметить, что Ин-Уззальский золоторудный район как самостоятельная в металлогеническом плане таксономическая единица выделяется нами впервые.

Как указывалось выше, Восточная часть Ин-Уззальского золоторудного района, входит в состав протерозойского гранит-зеленокаменного пояса. Она сложена протерозойскими гнейсами, амфиболитами, кварц-альбит-серицитовыми и хлорит-биотит-амфиболовыми сланцами, с прослоями кварцитов, мраморов и

Таким образом, месторождение Амесмесса и другие аналогичные золоторудные объекты Ин-Уззальского района 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 Абитибби в Канаде, или месторождение Колар в Индии или же Калгурли в блоке Йилгарн в Австралии. Примечательно, что для таких объектов, как правило, весьма характерны крупные рудоконцентрации. Так месторождение Керклейд-Лейк имеет запасы золота в 552 тонны. Хемло - 600 тонн, а уникальный Колар – около 900 тонн (Некрасов, 1988; Марченко, Левенко, 2014). Типичны для таких месторождений и высокие содержания металла. Например, на месторождении Керклейд-Лейк среднее содержание золота составляет 15 г/т; на месторождении Хемло – 8 г/т; а на месторождении Колар в начальный период отработки (1880-1960 гг.) содержание золота было около 17 г/т. То есть оно почти такое же, как на месторождении Амесмесса (18 г/т). При этом на таких объектах вертикальный размах оруденения (в связи с локализацией в зонах крупных разломов), оказывается весьма значительным. Так на месторождении Керклейд-Лейк глубина эксплуатационных выработок в центральной части рудника достигает 2200 м; на месторождении Хемло оруденение по падению прослеживается на 2500 м; а на месторождении же Колар вертикальный размах оруденения достигает 4 км.

Проводя аналогии и идентифицируя месторождение Амесмесса и другие золоторудные объекты Ин-Уззальского района с вышеуказанным рудно-формационным типом золотых месторождений, развитых в других подобных золотоносных провинциях, есть все основания полагать, что рудный потенциал Ин-Уззальского района должен быть весьма значителен. Представляется, что он далеко не исчерпывается разведанными запасами

собственно месторождений Амесмесса и Тирек (в 61 и 14,8 тонны золота соответственно). Можно предполагать, что район имеет хорошие перспективы наращивания своего ресурсного потенциала при проведении в будущем целенаправленных геологоразведочных работ. Рассмотрим с этих позиций возможности расширения его сырьевой базы.

Месторождение Амесмесса. Непосредственно на месторождении Амесмесса средняя глубина подсчета запасов золота составляет около 200 м. Вместе с тем от жилы к жиле она существенно различается. Так по наиболее крупной жиле № 9 глубина подсчета составляет: для категории C_1 - 160 м; для категории C_2 - 440 метров, где скважиной № 233 на профиле XXII подсечен интервал длиной 1,13 метра, с содержанием золота 34,7 г/т; и для прогнозных ресурсов категории P_1 - 580 м. По остальным жилам глубина подсчета запасов золота существенно ниже. Так по жиле № 7 она составляет: для категории C_1 - 50 м; для категории C_2 - 160 метров, и для прогнозных ресурсов категории P_1 - 280 м. По жиле № 1 глубина подсчета запасов ещё меньше: для категории C_1 она 20 м; для категории C_2 - 150 метров, и для прогнозных ресурсов категории P_1 - 260 м. Аналогична ситуация и по другим жилам.

Учитывая принадлежность месторождения Амесмесса (и других золоторудных объектов Ин-Уззальского района), к формационной группе золото-кварц-(мало)сульфидных месторождений, локализованных в крупных разрывных нарушениях, среди докембрийских зеленокаменных поясов древних щитов, и проводя аналогию с подобными золотыми месторождениями, развитыми в других золотоносных провинциях, можно, вполне обоснованно предполагать, что золотая минерализация на месторождении Амесмесса прослеживается на существенно большие глубины. Для наиболее крупной жилы № 9 и сопряжённой с ней жилы № 8 (общая протяженность которых составляет около 2000 м) эта глубина составит, по меньшей мере, 800-1000 м. Данный вывод подтверждается результатами структурного изучения параметров разломов и их

тектонифизического моделирования (Гзовский, 1975; Ramsay, 1980; Sylvester, 1988). Учитывая это, а также исходя из опыта разведки, можно осуществить экстраполяцию жильного оруденения на глубину. В крутопадающих жильных телах прирезки на глубину обычно идут на половину или на четверть от длины исследованной нижней части залежи. Для жилы № 9 и сопряжённой с ней жилой № 8 площадь прирезки будет приблизительно равной разведанной части (рис. 6.2). Следствием этого является увеличение запасов (ресурсов) золота в этой крутопадающей жильной структуре вдвое. На рис. 6.2. можно видеть, что богатое оруденение (с содержанием Au 30 г/т и более) не выклинивается на глубину и должно прослеживаться глубже.

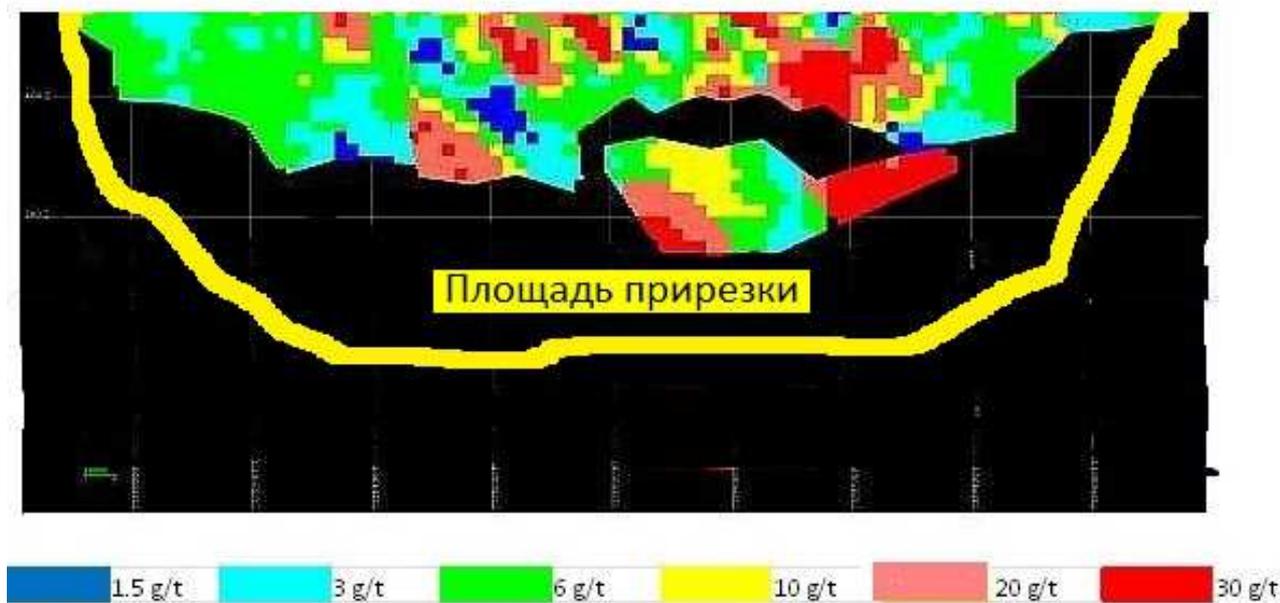


Рис. 6.2. Прогнозная прирезка к разведанным контурам по жилам № 9 и 8 (проекция на вертикальную плоскость).

Применением аналогичного подхода для других жильных зон центральной части месторождения Амесмесса, ресурсы золота также могут быть увеличены примерно в той же пропорции (табл. 6.1). По своим параметрам эти прогнозные ресурсы в наибольшей степени отвечают категории P_1 . Очевидно, что для их обоснования требуется проведение дополнительного бурения глубоких скважин.

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

Табл. 6.1

№ 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

Таким образом, оцениваемые диссертантом прогнозные ресурсы жил центральной части месторождения Амесмесса составят 35,1 тонн золота. Общий же рудный потенциал золота только этой части месторождения составит 70,2 тонны. Учитывая, что на остальные жилые зоны месторождения 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 собственно месторождения Амесмесса увеличивается вдвое, и составит 122 тонны.

В тоже время, принимая во внимание, что изученность на глубину северной группы жил бурением несравненно ниже жил центральной группы, а по своей протяженности они значительны (400-800 м) и характеризуются

промышленными содержаниями, можно ввести увеличивающий поправочный коэффициент - 1,5 на их ресурсы, которые возрастут и составят $25,9 \times 1,5 = 38,8$ тонн золота. Тогда в целом суммарный рудный потенциал месторождения Амесмесса может оцениваться цифрой порядка 160 тонн золота (122 т + 38,8 т). Диссертанту эта цифра представляется вполне реальной для золоторудных объектов данного рудно-формационного типа. Более того, это, по нашему мнению это лишь нижняя граница реальных масштабов рассматриваемого в диссертации золоторудного объекта. Очевидно, что целенаправленные геологоразведочные работы с бурением глубоких скважин в будущем смогут ещё более нарастить рудный потенциал данного месторождения.

* * *

Рудопроявления промежуточной зоны ZITA (Zone intermediate Tirek Amesmessa). Цепочка золоторудных проявления в количестве десяти объектов, входящих в Ин-Уззальский район, как уже указывалось, протягивается к северу от месторождения Амесмесса на расстояние 60 км до месторождения Тирек (см. рис. 2.5). Все они находятся в единой структурной позиции – в зоне Восточно-Инуззальского разлома и представлены линейными, крутопадающими на запад жильными телами аналогичными тем, что описаны на месторождении Амесмесса. Типовым примером может служить рудопроявление Ларджан (рис.6.3).

Надо сказать, что на всех рудопроявлениях ORGM проведены поисково-разведочные работы разной детальности, в т.ч. с использованием бурения, подсчитаны запасы и прогнозные ресурсы (табл. 6.2).

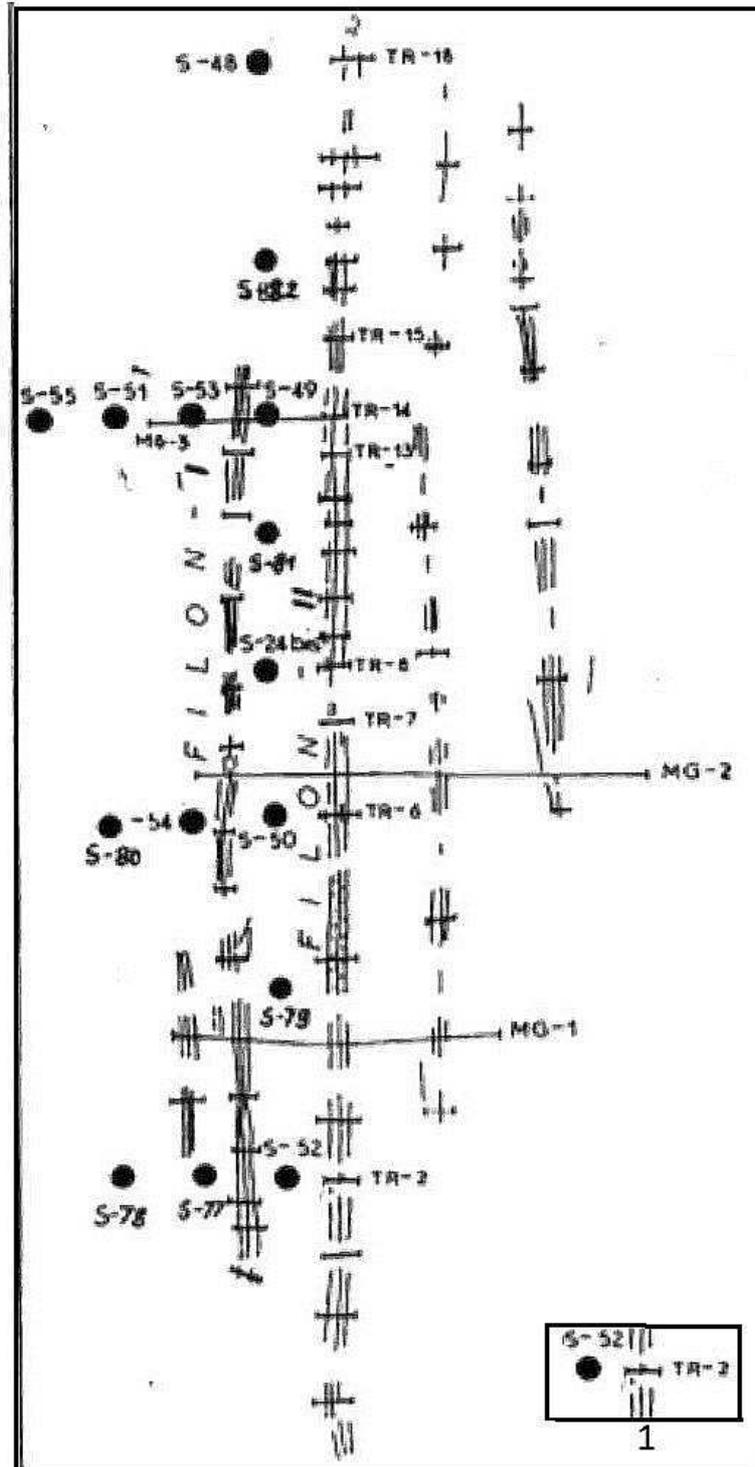


Рис. 6.3. План размещения поисково-разведочных профилей канав и скважин на рудопроявлении Ларджан. 1 – положение устьев скважин и траншей, вскрывших жилы.

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

Табл. 6.2

№ 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 А-I)	0,162	0,394	-	0,556
2	Zone A-II (Зона А-II)	-	0,125	-	0,125
3	Buadjela (Буджила)	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	0,344	0,697	-	1,041
8	Derreg (Деррег)	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

При этом скважины подтвердили наличие промышленной золоторудной минерализации на глубоких горизонтах, как например: по жиле II в Lardjene (- 160м), по жиле IV в Bouadjela (- 140м), для жилы V в Derreg (-120м). Данный факт является весьма показательным, свидетельствуя о потенциальных перспективах рудопроявлений, расположенных в зоне ZITA.

При прогнозе важна оценка относительной величины эрозионного среза различных участков зоны ZITA расположенных между месторождением Амесмесса на юге и Тирек на Севере. Осуществим такую оценку, исходя из следующих соображений:

Восточная часть Ин-Уззальского золоторудного района, (где собственно и локализуются рудные объекты), по данным полевых структурных наблюдений в пострудное время представляла собой

приподнятое крыло длительно развивавшегося Восточно-Инуззальского регионального взбросо-сдвига. По данным наших наблюдений к карьерам, величина вертикальной взбросовой составляющей была невелика и оценивается цифрой порядка 0,5 м на 10 м длины (рис. 6.4).



Рис. 6.4. Признаки пологого взбросо-сдвига в зоне Восточно-Инуззальского разлома, видна невысокая величина вертикальной взбросовой составляющей (фото стенок эксплуатационных карьеров)

Движение восточного крыла разлома осуществлялось с юга на север, и эрозии подвергалась наиболее приподнятая часть территории в районе месторождения Тирек. Так как расстояние между месторождениями Амесмесса и Тирек составляет 60 км, то максимальная оценка относительной величины среза, исходя из вышеуказанных значений взбросовой составляющей, для месторождения Тирек составит около 3 км. Учитывая неравномерность взбросовых движений вдоль Восточно-Инуззальского разлома можно ввести поправочный коэффициент 0,5. С учётом этого, а также основываясь на геологической ситуации и масштабах золотого оруденения Тирека, которое существенно уступает месторождению Амесмесса, относительная разница эрозии между этими объектами составит порядка 1,5 км. То есть по мере продвижения к северу от месторождения Амесмесса величина эрозионного среза нарастает, достигая 1,5 км на самом

месторождении Тирек, где эрозией, очевидно, уничтожена значительная часть продуктивной рудной колонны (рис.6.5). Отсюда и масштаб этого объекта невелик.

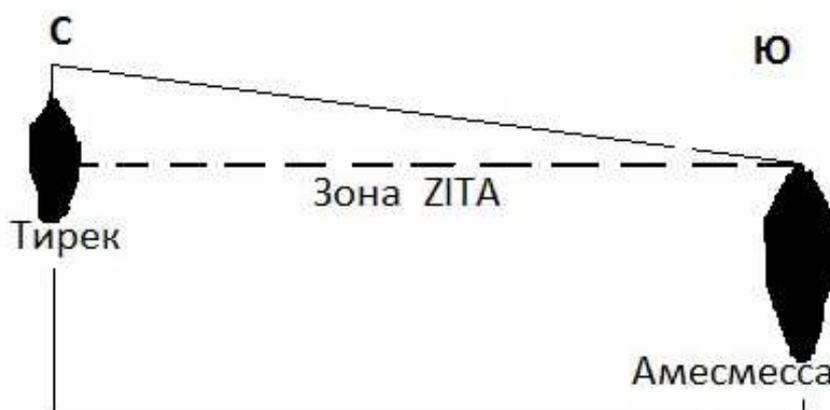


Рис. 6.5. Схематический принципиальный разрез различно эродированных золоторудных объектов Ин-Узальского района.

В этой связи, можно предположить, что рудопроявления зоны ZITA, локализующиеся ближе к месторождению Амесмесса, являются менее эродированными и (при общих равных условиях) будут иметь более существенные перспективы на глубину. В этой связи перспективы глубоких горизонтов и самого месторождения Амесмесса ещё более возрастают. Верхнерудный срез его подтверждается и повышенными содержаниями ртути. Принимая поправочный коэффициент 1,3 ресурсный потенциал этого объекта, составит $160 \times 1,3 = 208$, т.е. он будет около 200 тонн золота.

Осуществим ранжирование (в баллах от 1 до 10) рудопроявлений зоны ZITA по степени благоприятности эрозионного среза, двигаясь на север и присваивая балл, пропорционально их расстоянию от наименее эродированного месторождения Амесмесса (табл. 6,3). Балл, полученный тем или иным рудопроявлением, используем в качестве повышающего поправочного коэффициента к цифрам ресурсного потенциала золота, полученного по результатам геологоразведочных работ проведённых ORGM. Таким образом, в производимой прогнозной оценке с одной стороны мы учитываем масштаб рудопроявления, а с другой - степень

благоприятности эрозионного среза. Очевидно, что эти параметры играют решающую роль, определяя перспективы объектов.

**Результаты прогнозной оценки рудных объектов
зоны ZITA**

Табл. 6,3

№ п/п	Название рудопроявлений	Благоприятность эрозионного среза, в баллах	Запасы Au по кат. $C_1 + C_2 + P_1$ по данным ORGM, т	Запасы Au с учётом благоприятности эрозионного среза, т	Ряд приоритетности рудных объектов зоны ZITA
1	Amesmessa-N	10	Нет данных		
2	Zone A-I	9	0,556	5,004	7
3	Zone A-II	8	0,125	1,000	9
4	Buadjela	7	3,244	22,708	2
5	Lardjene	6	4,552	27,312	1
6	Timeg	5	1,593	7,965	4
7	In-Alarene - S	4	1,375	5,500	6
8	In-Alarene - N	3	1,041	3,123	8
9	Derreg	2	3,646	7,293	5
10	Champ - A	1	0,140	0,140	9
11	Промежуточная зона In-Alarene – N - Derreg	2,5	6,962	17,405	3
12	Всего		22,235	97,449	

В результате суммарный ресурсный потенциал зоны ZITA составит 97,449 тонн золота. С учётом отсутствующих данных по рудопроявлению Amesmessa-N мы округлённо принимаем его в размере 100 тонн. При этом по своей значимости наиболее приоритетные участки в зоне ZITA располагаются в следующем порядке: 1) Lardjene, 2) Bouadjela, 3) промежуточная зона In-Alarene – N – Derreg, 4) Timeg и т.д. Именно они

рекомендуются как первоочередные для дальнейших геологоразведочных работ.

* * *

Месторождение Тирек. Данный объект с разведанными запасами 14,8 тонн при среднем содержании золота 25 г/т располагается, как указывалось ранее, в северной части Ин-Уззальского золоторудного района. Данное месторождение, как и все объекты района, приурочено к зоне Восточно-Инуззальского разлома. Структурной особенностью Тирека является более широкое (по сравнению с Амесмессой) проявление (наряду с субмеридиональными) косо секущих жил северо-восточного направления: № 13, 11, 3, 6 и др. (рис. 6.6).

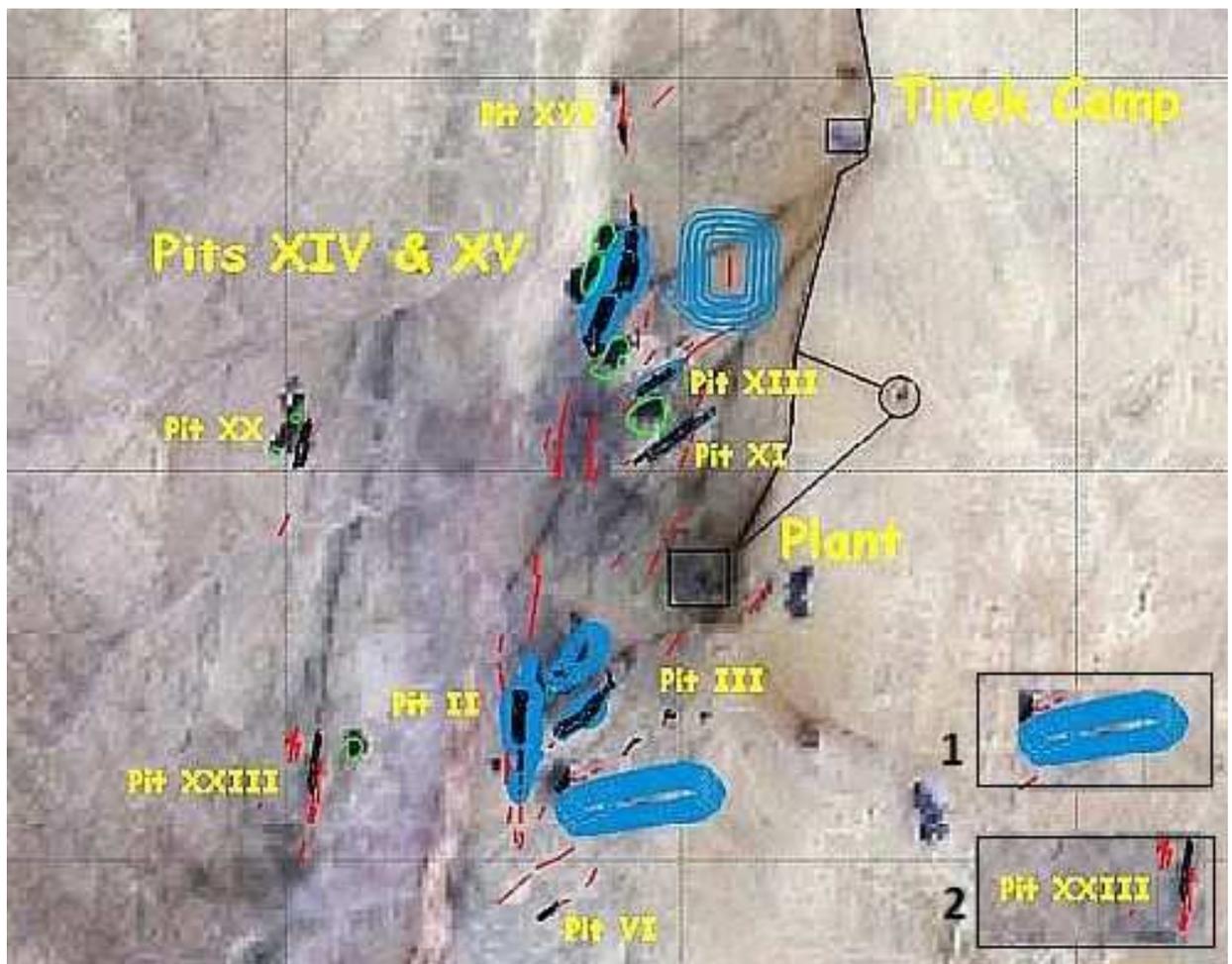


Рис. 6.6. План размещения жил на месторождении Тирек. 1 - контуры карьеров; 2 Золотоносные жилы и их номера.

Трещины, в которых они залегают, по своей морфологии, структурной позиции и параметрам (так же как и жилы № 19, 26, 32 на Амесмесе), являются оперяющимися поперечными сдвигами (R'-сдвиги или антитетические сдвиги по Риделю). Они, как свидетельствуют данные тектонофизического моделирования (Гзовский, 1975; Ramsay, 1980; Sylvester, 1988), неизбежно возникают в ходе развития крупных сдвиговых зон, располагаясь под углами 60-75° к главному разлому. Весьма примечательно, что и здесь, как и на Амесмесе для них характерна более слабая (по сравнению с меридиональными жилами в осевой зоне разлома) рудоносность (рис.6.7).

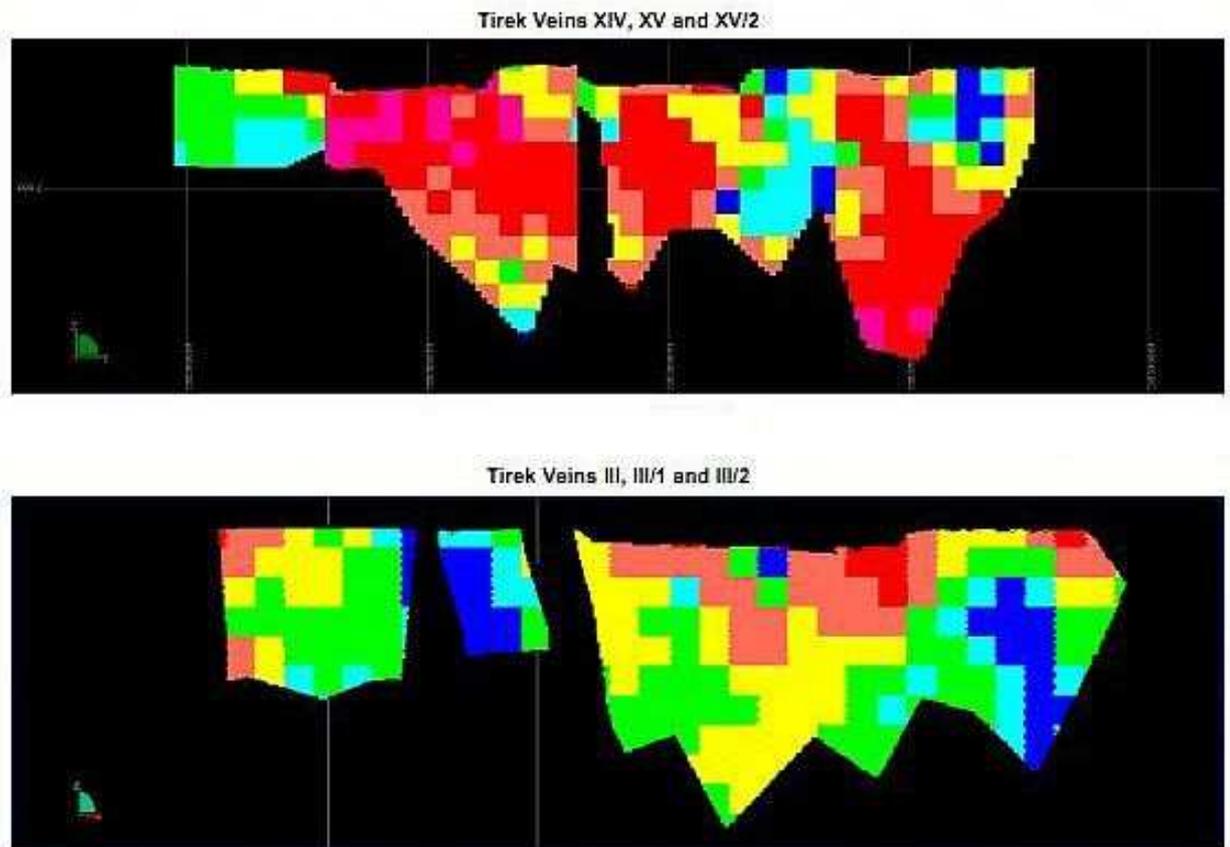


Рис.6.7. Месторождение Тирек. Более высокая продуктивность меридиональных жил № 14 и 15 (вверху) по сравнению с северо-восточными жилами № 3, 3/1, 3/ 2 (внизу). Шкала в содержаниях золота в г\т: голубое - менее 1,5; синее 1,5-3; зелёное 3-6; жёлтое 6-10; оранжевое 10-20; красное 20-50; пурпурное более 50.

Обусловлено это более худшими условиями их раскрытия в рудный этап, когда вектор растяжения был ориентирован субширотно, поперёк субмеридионального Восточно-Инуззальского разлома. В прогнозном отношении важно, что (и это хорошо видно из рисунка 6.7), в меридиональных жилах богатое оруденение не выклинивается с глубиной. Эти жилы, имеющие обычно мощность около 2-3 м, подсечены на глубине скважинами (рис. 6.8).



Рис. 6.8. Жила № 15 мощностью около 2 м вскрытая на глубине 105 м (кern по скважине 10).

Поэтому для меридиональных жил есть все основания использовать прогнозный подход, аналогичный применённому нами для месторождения Амесмесса. Доля таких жил и приходящихся на них запасов оценивается приблизительно в 70%. В количественном выражении это (из общих запасов 14,8 т) составит около 10,4 тонны золота. Осуществив для них, (как ранее для месторождения Амесмесса), прирезку на глубину приблизительно равную разведанным частям этих жил, получим увеличение ресурсов золота вдвое, т.е. до 20,8 тонн. Вместе с тем, более значительный эрозионный срез, характерный для месторождения Тирек, даёт основание установить понижающий коэффициент 0,75. С его учётом, ресурсы золота этой группы жил составят 15,6 тонн.

Около 30% разведанных запасов золота (4,4 т), приходится на поперечные косо секущие жилы северо-восточного направления. Ожидать существенного увеличения ресурсного потенциала за счёт их глубоких горизонтов нет больших оснований. Поэтому увеличение ресурсов золота за счёт их глубины мы оцениваем цифрой не более 2 тонн. Тогда суммарный рудный потенциал месторождения Тирек составит $(15,6 + 4,4 + 2,0) = 22$ тонны золота, т.е. он возрастёт примерно на 50%. При этом, необходимо учитывать, что на Тиреке эрозией вскрыты наиболее продуктивные части рудной колонны с богатыми рудами.

Общий прогнозно-ресурсный потенциал золота Ин-Уззальского рудного района будет складываться из запасов (ресурсов) месторождения Амесмесса (200 т), объектов зоны ZITA (100 т), и ресурсов месторождения Тирек (22 т) и составит 322 тонны. И это, по мнению диссертанта, лишь его нижняя граница.

Таким образом, проведённые исследования свидетельствуют о реальных перспективах наращивания рудного потенциала как на ведущем для Ин-Уззальского района месторождении Амесмесса, так и на других золоторудных объектов в его пределах. Несомненно, что целенаправленные геологоразведочные работы приведут в будущем к новым открытиям.

Учитывая национальные особенности и возможности алжирских горно-геологических компаний, целесообразна сокращённая стадийность геологоразведочных работ в Ин-Уззальском золоторудном районе, включающая поисково-оценочную стадию на наиболее перспективных объектах зоны ZITA и разведку глубоких горизонтов и флангов месторождения Амесмесса.

При этом в ходе выполнения таких работ целесообразным представляется:

- создание многофакторных (и интегрированных с ГИС) информационных баз данных по Ин-Уззальскому району;

- многоканальное аэрокосмодешифрирование с применением компьютерных технологий;
- анализ глубинного строения и истории развития территории;
- разработка систем прогноза и оценки. Совмещающих экспертно-аналитические и компьютерные подходы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ материалов, проведенный при выполнении диссертационной работы, позволил автору сформулировать следующие научно-практические выводы.

1. Месторождение Амесмесса расположенное в Юго-Западном Ахаггаре, является наиболее значительным объектом Ин-Уззальского золоторудного района. Оно имеет протерозойский возраст, возникло в ходе эбурнейского тектоно-магматического цикла и относится к золото-кварц-(мало)сульфидной формации, типичной, для металлогенических зон зеленокаменных поясов древних щитов.
2. Основу структуры месторождения и типовой геологической обстановкой нахождения рудных тел являются линейные разрывные структурные парагенезисы, возникшие в ходе геодинамического развития регионального Восточно-Инуззальского разлома, кинематика которого соответствует вбросо-сдвигу.
3. Наиболее продуктивное золотое оруденение локализуется в пределах продольных трещин скалывания, развитых в лежащем боку и контролирующихся осевой плоскостью Восточно-Инуззальского регионального разлома. Эти трещины в основном параллельны главному сместителю. Менее рудопродуктивны поперечные сдвиги, располагающиеся под углами $60-75^\circ$ к осевой плоскости Восточно-Инуззальского разлома. Таким образом, общая структура месторождения являет собой пример возникновения в ходе развития геодинамики крупных сдвиговых зон.
4. Самородное гипогенное золото является на месторождении доминирующим и слагает первичные, легкообогатимые руды. Его основная масса представлена тонкой вкрапленностью от 0,005 мм до 0,5 мм. В рудах золото распределено весьма неравномерно. Для минерального состава руд характерно относительно небольшое

количество сульфидов. Окисленные руды, не смотря на часто более высокие содержания и более крупное золото, имеют подчинённое значение. Попутным компонентом руд, 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. На основе вышеизложенного, автором с учётом анализа эрозионного среза осуществлена оценка общего прогнозно-ресурсного потенциала Ин-Узальского золоторудного района. Она складывается из запасов (ресурсов) месторождения Амесмесса (200 т), объектов зоны ZITA (100 т), и ресурсов месторождения Тирек (22 т) и в целом составляет 322 тонны золота, что более чем в три раза превышает разведанные запасы металла. По мнению автора, эта цифра характеризует нижнюю границу суммарного потенциала золота в Ин-Узальском районе.
7. Это даёт основание предполагать, что Ин-Узальский золоторудный район на юго-западе докембрийского щита Ахаггар имеет хорошие перспективы наращивания своего ресурсного потенциала при проведении в будущем целенаправленных геологоразведочных работ. Данный регион является приоритетным для увеличения в перспективе Алжирской Народно-Демократической Республикой своего золотого запаса, способствующего экономической стабильности страны.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Аули Э., Белов С.В. Золото Алжирской Сахары / Золотодобывающая промышленность, 2015, №1, с. 39-42.
3. Аули Э., Белов С.В. Сахарское Золото (к истории открытия и освоения месторождений золота на юге Алжира) / Всеобщая история, 2014, №2, 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. 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.
6. Белов С.В., Квиникадзе М.С., Гасем С. Граниты Таурирт в Алжирской Сахаре / Изв. АН СССР, серия Геологическая. 1991. № 10. С. 71-87.
7. 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.
8. 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.

9. Белов С.В. Хоггарская вольфрамоносная провинция (Центральная Африка) / Геология рудных месторождений. 1999. № 1. С.15-35.
10. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975, 540 с.
11. Геология и полезные ископаемые Африки. М., Недра, 1973.
12. Зигхми К. Некоторые особенности геологического строения щита Ахаггар (Алжир) \ Геолого-мінералогічний вісник. Киев, 2004, №2, с. 86-90.
13. Константинов М.М. Золоторудные провинции мира. М.: Научный мир, 2006, 355 с.
14. Кузьмин М. И., Корольков А. Т., Дриль С. И., Коваленко С. Н. Историческая геология с основами тектоники плит и металлогении. \ Иркутск: Иркут. ун-т, 2000, 288 с.
15. Лобковский Л. И., Никишин А. М., Хаин В. Е. Современные проблемы геотектоники и геодинамики. \ М.: Научный мир, 2004, 612 с.
16. Марченко Л.Г., Левенко Н.Г. Основные геолого-промышленные типы золоторудных месторождений мира. \ Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Сер.: Геологии и технических наук, 2014, №1, с. 22-42.
17. Некрасов Е.М. Зарубежные эндогенные месторождения золота \ М.. Недра, 1988, 286 с.
18. Салоп Л.И. Докембрий Африки \ Л., Недра, 1977;
19. Сорохтин Н.О. , Козлов Н.Е. и др. Коматииты позднего архея – некоторые аспекты рудоносности \ Вестник МГТУ, т.12, № 3, 2009, с. 447-455.
20. Хаин В.Е. Норгидо-Нигерийский позднедокембрийский подвижный пояс и условия заложения западного Тетиса \ Доклады АН СССР, 1969, т.189, №6, с.1340-1343.

21. Чайка В.М., Ужгалис Э.В. Орогенный магматизм Сахарских сводов и рифтов (Центральная часть Северной африки) \ Бюллетень Моск. о-ва испытателей природы. Отд. Геол., Т. LI (5) 1976, с.133-144.
22. Чайка В.М. Рифейды Центральной Сахары \ М.. Наука. 1979,
23. Шубер Ю., Фор-Мюре А. Тектоника Африки. \ М., Мир, 1973.
24. Фаворская М.А., Томсон И.Н., Баскина В.А и др. Глобальные закономерности размещения крупных рудных месторождений \ М Наука, 1974, 192 с.
25. Федчук В.Я., Корсаков А.К., Соколовский А.К. Изучение минерагенических ресурсов зеленокаменных поясов \М.: Недра. 2006. 90 с.
26. Ahmed-Said Y., Leake B.E., Bouabssa L., and Moulahoum O. The Central Hoggar Taourirt and albit-topaz post Pan-African granites (Southern Algeria); their petrology, geochemistry and petrogenesis \ Neues Jahrbuch Fuer Mineralogie. Abhandlungen, 1995, v. 170 p. 21-57.
27. 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.
28. Attoum A. Contribution à l' etude des zones de cisailment panafricaines; tectonique, microtectonique et cinématique des milonites de Tirek (Hoggar, Algerie) \ Bullenine Office National De la Geologie, 1993, v.4, p. 65-87.
29. Allegre C.J., Caby R. Cronologie du Precambrien de L' Ahaggar occidental \ C.R. Acad. Des. Sci., Paris, 1972, Ser. D.V. 275, p. 2095-2098.
30. Bouabssa L., Charoy B. Microgranites a albite-topaz et mineralisation Sn-W dan les granites «Taourirts» do Hoggar Central \ 11-eme R.A.S.T. Clrment-Ferrand (France) 1986.
31. Bertrand J. Evolution poliociclique des gneiss du precambrien de l' Aleksod (Hoggar Central Sahara Algerien) \ Aspects struturaux retrologies, geochimiques, et geochronologiques. Paris : Serv. Geol. CNRS, 1974, v.19.

32. Bertrand J., Caby R. Geodynamic evolution of the African cratogenic belt: new interpretation of the Hoggar Shield (Algerian Sahara) \ - Geol. Rundschau. 1978, v. 67, p. 357-388.
33. Bertrand J., Caby R. Blak R. Pan African closure and continental collision in the Hoggar-Iforas segment, central Sahara. Precambrian plate tectonics. \ Amsterdam, Elsevier, 1981, p.407-434.
34. Black R., Latouche L., Liegeois J., et. al. Pan-African displacement terranes in the Tuareg Shield (Central Sahara) \ Geology (Boulder), 1994, v.22, p. 641-644.
35. Caby R. La Chaîne pharusienne dans le Nord-Ouest de l'Ahaggar (Sahara Central Algerie), sa place dans l'orogénèse du précambrien supérieur en Afrique \ Montpellier : Thèse d'Etat Univ., 1970.
36. Caby R. A review of the In Ouzzal granulitic terrane (Tuareg Shield, Algeria); its significance within the Pan-African Trans-Saharan Belt; Special issue on the In Ouzzal granulite unit, Hoggar Algeria \ Journal of Metamorphic Geology, 1996, v.14, p. 659-666.
37. Caby R., Monie P. Neoproterozoic subduction and differential exhumation of western Hoggar (southwest Algeria): new structural, petrological and geochronological evidence \ Journal of African Sciences, 2003, v. 37 p. 269-293.
38. Ferkous K., Monie P., et. al. Le District aurifère Amesmes-Tirek de la zone de cisaillement Panafricaine lithosphérique in Ouzzal Est (Hoggar Algeria); évolution géodynamique et dépôt de l'or. \ 16-ème réunion des sciences de la Terre; géodynamique et économie de la Terre. 1996. v.16. p. 154.
39. Gravelle M. Les grandes étapes de l'histoire précambrien en Ahaggar (Sahara Algérien) . Correl. Précamb. \ Coll. Internat 1970. Rabat-Paris, 1972.
40. Haddoum H. Structural evolution of Archean terrain of the In-Ouzzal Block, western Ahaggar, Algeria \ 16-ème réunion des sciences de la Terre;

- geodynamique et economie de la Terre; macro et micro regards sur la terre.
1992. v.14. p.77.
41. Lelubre M. Recherches sur la gèologie de L' Ahaggar central et ocidental \ Bull. Serv. carte gèol. Algèrie, 1952, 1-2, N 22, 1- 354 p., II – 386 p.
42. Marignac, C., Semiani A., Fourcade S., et. al. Metallogenesis of the late Pan-African gold-bearing East Ouzzal shear zone (Hoggar, Algeria); Spesial issue on the In Ouzzal granulite unit, Hoggar, Algeria \ Journal of Metamorphic Geology, 1996, v.14, p. 783-801.
43. Kuhns R.J., Sawkins F.J., Ito E. Magmatism, metamorfism and deformation at Hemlo, Ontario, and timing of Au-Mo mineralization in the Golden Giant Mine \ Econ. Geol. 1984, v.85, 720-756.
44. Ramsay J.G. Shear zone geometry: a review \ J. of Struct. Geol., 1980, v.2, N 1-2, p. 83-99.
45. Sylvester A.G. Strike-slip faults \ Geol. Soc. Of Amer. Bull. , 1988, v. 100, N 11, p. 1666-1703.
46. Zaba J. Structural evolution of West Hoggar and Adrrar des Iforas in the Pan-African Orogey (Central Sahara, Algeria and Mali); a compilation; Geological problems of North-West Africa \ Technica Poszuriwan Geologicznych, 1992, v. 31, p. 45-46.