



М.В. Шумилин
д-р геол.-мин. наук
профессор
член-корреспондент РАН
Атомредметзолото
советник генерального директора
shumilin.zbk@gmail.com

О генезисе медно-золото-уранового месторождения Олимпик-Дэм

Выявление в России крупных и особо крупных месторождений типа Олимпик автор связывает с оценкой рудоносности древних, докембрийских формаций. Перспективы новых открытий он видит в предварительном изучении глубинного строения закрытых территорий, большом объеме геолого-геофизических исследований с составлением 3-мерных моделей по специальной программе правительства

Identification in Russia large and very large fields like Olympic author connects with the assessment of ore ancient Precambrian formations. Prospects for new discoveries he sees in a preliminary study of the deep structure of closed areas, the large amount of geological and geophysical studies with the preparation of three-dimensional models in a special program of the Government

Ключевые слова: медно-золото-урановые месторождения, Олимпик-Дэм, брекчии, докембрийские формации, рудоносность

Keywords: copper-gold-uranium mine, Olympic Dam, breccia, Precambrian formations, ore content

Медно-золото-урановое месторождение Олимпик-Дэм в Южной Австралии является крупнейшим в мире источником сырья для получения этих металлов. Оценка его ресурсов на 2011 г. приведена в табл. 1 [1].

Месторождение разрабатывается австралийской компанией *BHP Billiton*, располагающей лицензией на добычу до 2036 г. с правом продления еще на 50 лет. Годовое производство металлов в 2011 г. составило: медь – 194 100 т, U_3O_8 – 4045 т, золото – 3452 кг, серебро – 30 442 кг.

Оценка ресурсов месторождения
Олимпик Дэм на 2011 г.

Таблица 1

Категория	Руда, млн т	Средние содержания			
		Медь, %	U ₃ O ₈ , кг/т	Золото, г/т	Серебро, г/т
Proven reserve	146	1,98	0,58	0,65	4,01
Probabal reserve	406	1,79	0,57	0,78	3,19
Measured recourses	1408	1,08	0,32	0,34	2,07
Indicated recourses	4571	0,88	0,28	0,34	1,56
Всего	6531	1,00	0,31	0,37	1,83

Месторождение было открыто в 1975 г. при проверке бурением крупной гравитационной и магнитной аномалии. Оно является полностью слепым и залегает под покровом осадков венд-кембрия мощностью около 300 м.

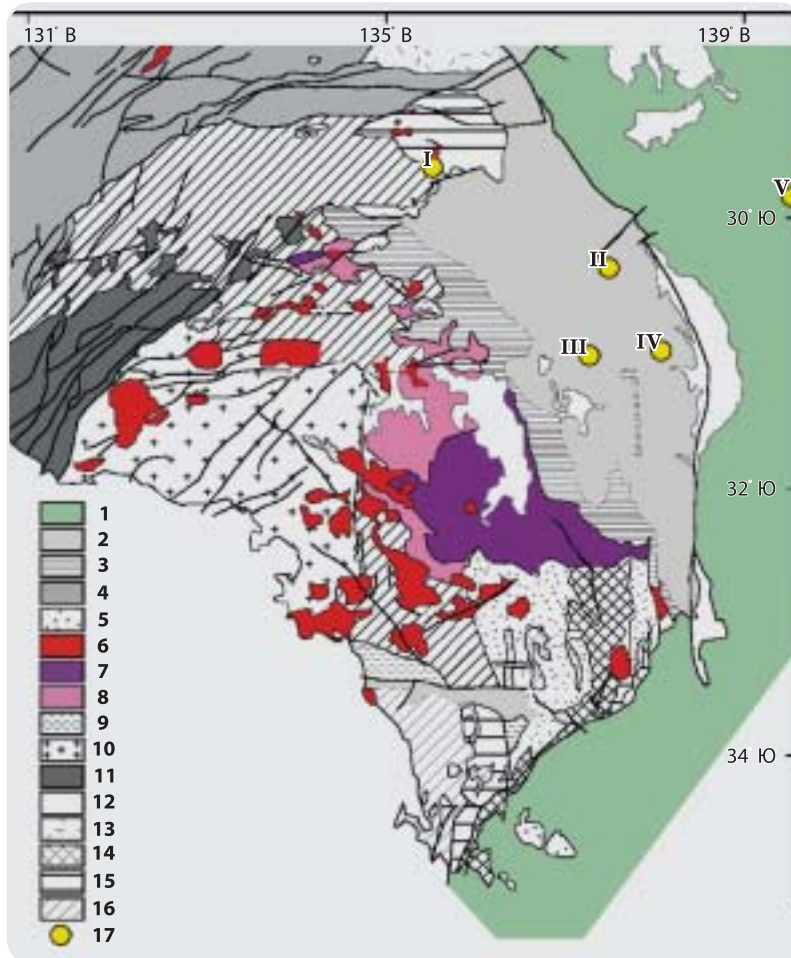


Рис. 1.

Геологическая карта района кратона Gawler, Южная Австралия [2].
1 – эпипалеозойский платформенный чехол (мезозой-кайнозой);
2 – протоплатформенный чехол (неопротерозой-кембрий);
3–8 – мезопротерозой: 3 – формация Pandura (песчаники, сланцы);
4 – метаморфиты 1,56–1,54 млрд лет;
5 – граниты Spilby; 6 – граниты Hiltaba; 7 – вулканы Gawler Range, верхние; 8 – то же, нижние;
9 – промежуточный комплекс (конгломераты Corinna, формации Tarcoola, Labyrinth);
10–14 – палеопротерозой:
10 – граниты Tunkilla-S. Peter;
11 – формация West Gawler;
12 – осадки и вулканы 1,76–1,73 млрд лет; 13 – метаморфиты Peak; 14 – граниты Lincoln;
15 – метаморфиты Hutchison Group;
16 – архей (нейсы, гранулиты);
17 – месторождения типа Олимпик-Дэм:
I – Prominent Hill; II – Olympic Dam;
III – Carrapateena; IV – Emmie Bluff;
V – Mounth Gee

Разработка осуществляется подземным способом, однако компанией рассматривается проект расширения производства с вскрытием месторождения гигантским карьером глубиной до 900 м.

Несмотря на то, что изучение месторождения продолжается уже более 30 лет, не все вопросы его строения и генезиса получили однозначное решение. Обычно оно трактуется, как объект, относящийся к совершенно особому типу месторождений в «гематитовых брекчиях». В последние годы получена информация, существенно уточняющая прежние представления и показывающая, что данный объект, как геологическое явление, не уникален и аналогичен ему, как в Южной Австралии, так и в мире, имеются.

Месторождение приурочено к краевой части древнего кратона Gawler¹, ядро которого образуют архейские орто- и парагнейсы и гранулиты. Это ядро обрамляется нижнепротерозойскими метаосадками и деформированными гранитами комплексов Huthson и Lincoln (2–1,8 млрд лет). Все указанные образования

с несогласием перекрываются вулканиками Gawler Range и прорываются телами гранитов Hiltaba, датируемыми 1590 млн лет. Выше несогласно залегает толща красноцветных песчаников и сланцев формации Pandura, возраст которой определяется

¹ Здесь и далее мы считаем целесообразным приводить названия на языке оригиналов в связи с неоднозначностью транскрипции в переводах.

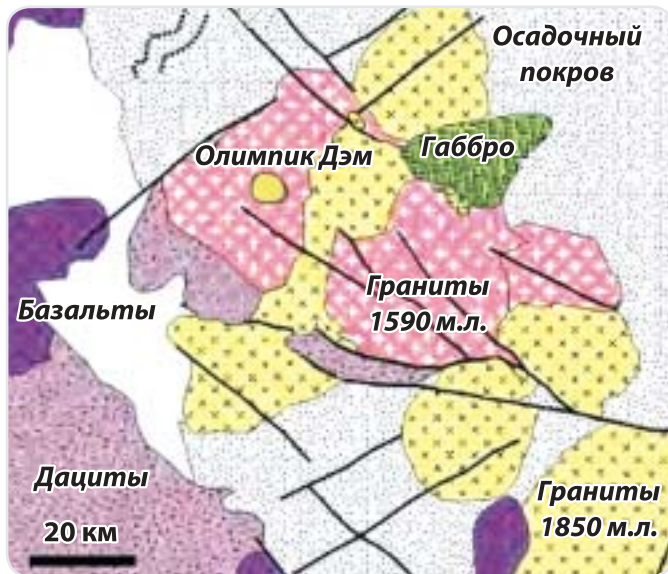


Рис. 2.
Геологическая карта района Олимпик-Дэм (покров осадков Pz_3 - Pz_1 , частично удален) [4]

в 1424 млн лет. Последняя, в свою очередь, также несогласно перекрывается осадками неопротерозоя-кембрия, включающими (снизу-вверх): углеродистые сланцы (*Tarplys*), песчаники (*Whyalla*), сланцы (*Coorbarra*), кварциты (*Arcoona*) и кембрийские известняки (**рис. 1**) [2, 3].

Месторождение локализуется в гранитах *Roxby Downs*, относимых к комплексу *Hiltaba*. Они развиваются, прорывая массивы более древних гранитов (1800 млн лет) и, в свою очередь, прорываются интрузией габбро, с возрастом 1560 млн лет. В районе развиты разломы СВ, СЗ и ВСВ направления, причем месторождение тяготеет к зоне крупного СЗ разлома (**рис. 2**) [4, 5].

По данным глубинного сейсмического зондирования район месторождения характеризуется залеганием поверхности Мохо на глубинах 40–42 км, причем непосредственно под районом фиксируется разрыв этой поверхности, над которым устанавливается объемная

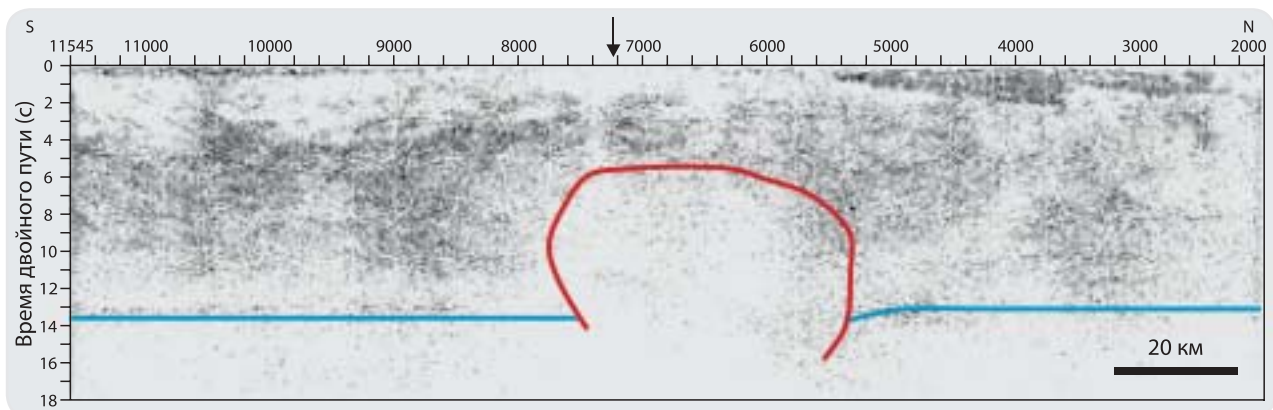
область затухания сейсмических волн, интерпретируемая как магматический очаг, сохраняющий высокую температуру ($>1000\text{ }^\circ\text{C}$) (**рис. 3**) [6].

Вмещающей руды структурой является сложная зона брекчий. В плане она имеет неправильную форму с изометрической «головной» частью и отходящими от нее к северо-западу линейными апофизами, явно наследующими разломы этого направления. Диаметр зоны интенсивного брекчирования в ядерной части около 2,5 км, а протяженность с апофизами с СЗ на ЮВ более 5 км (**рис. 4**). Вокруг нее наблюдается фрагментарное развитие брекчиевых швов, распространяющееся еще на несколько сотен метров [7].

В разрезе зона интенсивного брекчирования, постепенно уменьшаясь в сечении, почти вертикально уходит на глубину и до выклинивания не прослежена. Вскрытая вертикальная протяженность ее от палеоповерхности гранитов составляет около 700 м. Залежь рассечена серией даек долеритов, прорывающих как граниты, так и брекчии, однако проникновения их в перекрывающие осадки не зафиксировано [3, 7].

Выделяется несколько типов брекчий: 1 – гранитные (в обломках только граниты, в матрице серицит-хлорит), 2 – гранитные с гематитовой матрицей, 3 – богатые гематитовые (гематит развивается не только в матрице, но и по обломкам гранитов), 4 – гетеролитные гематитовые (в обломках граниты, вулканиты, песчаники, гематит и в матрице, и по обломкам), 5 – гематит-кварцевые (сплошная гематитовая масса с прожилками кварца). В головной части залежи располагается также блок вулканокластических пород, вероятно, являющихся останцом смытого покрова [6, 7, 8, 9].

Рис. 3.
Сейсмопрофиль через район месторождения Олимпик Дэм [6]. Синяя линия – поверхность Мохо. Красный контур – область затухания сейсмических волн. Черная стрелка – положение Олимпик-Дэм



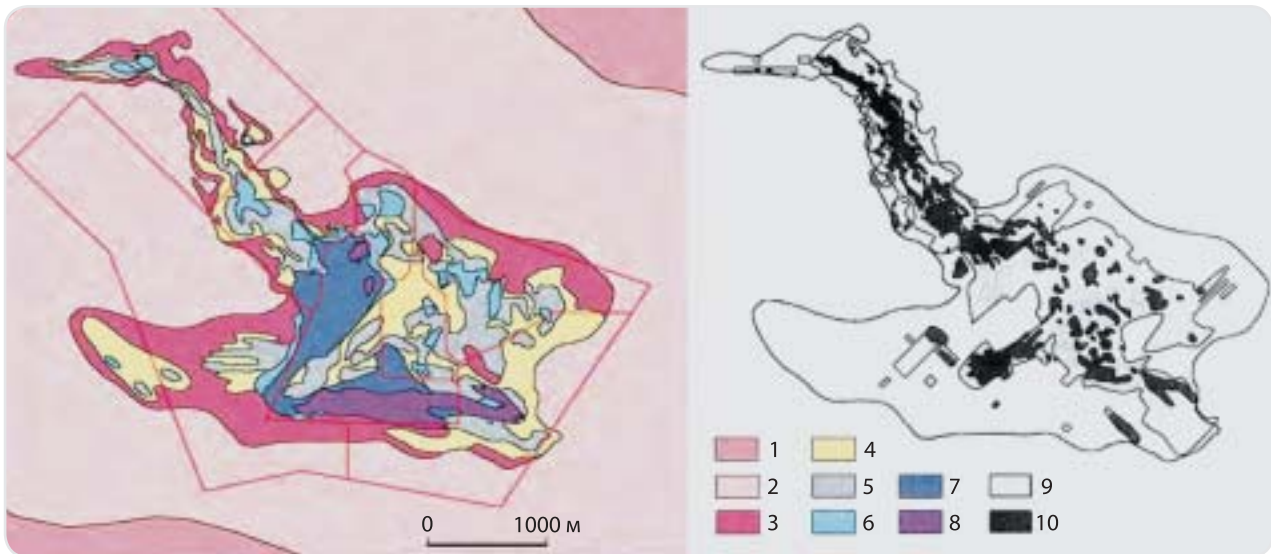


Рис. 4.

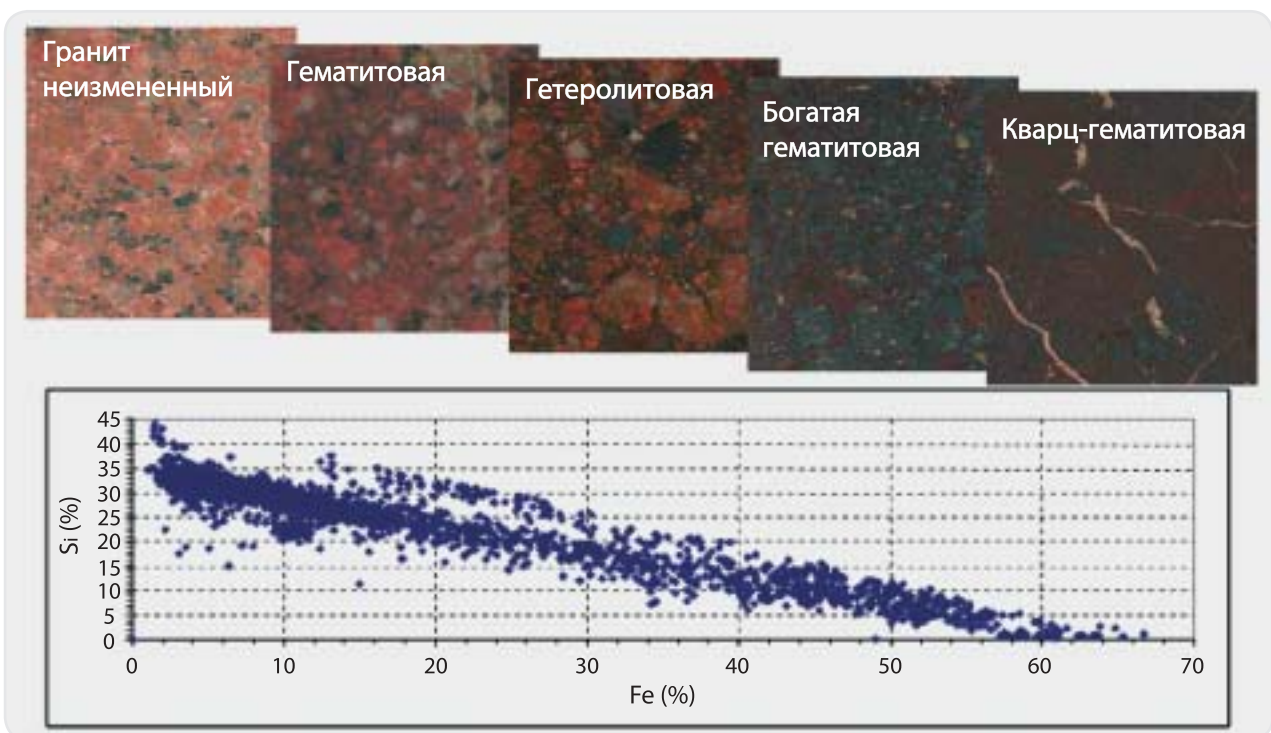
План горизонта 500 м месторождения Олимпик-Дэм [7]. Слева – геологические типы брекчий, справа – контуры промышленных рудных тел. 1 – граниты; 2 – зона спорадического развития брекчиевых швов; 3 – брекчированные граниты; 4 – брекчии с обогащенной гематитом матрицей; 5 – гетеролитовые брекчии; 6 – гематитовые брекчии (гематит в матрице и обломках); 7 – гематит-кварцевые брекчии; 8 – вулканокластические породы; 9 – контур учтенных запасов на 1999 г.; 10 – промышленные рудные тела

Хотя на приводимых в публикациях рисунках разновидности брекчий показываются в виде обособленных геометризуемых тел, в текстах работ постоянно подчеркивается, что переходы между ними являются постепенными². На плавность пространственной изменчи-

вости содержания гематита указывают и результаты анализа большого количества малых

Рис. 5.

Вверху – фото штуфов различных типов брекчий; внизу – график соотношения содержаний кремния и железа по пробам [8]



² Следует отметить, что практически во всех публикациях строение месторождения иллюстрируется одними и теми же двумя рисунками: схематизированным планом и разрезом, которые приводятся здесь и нами.

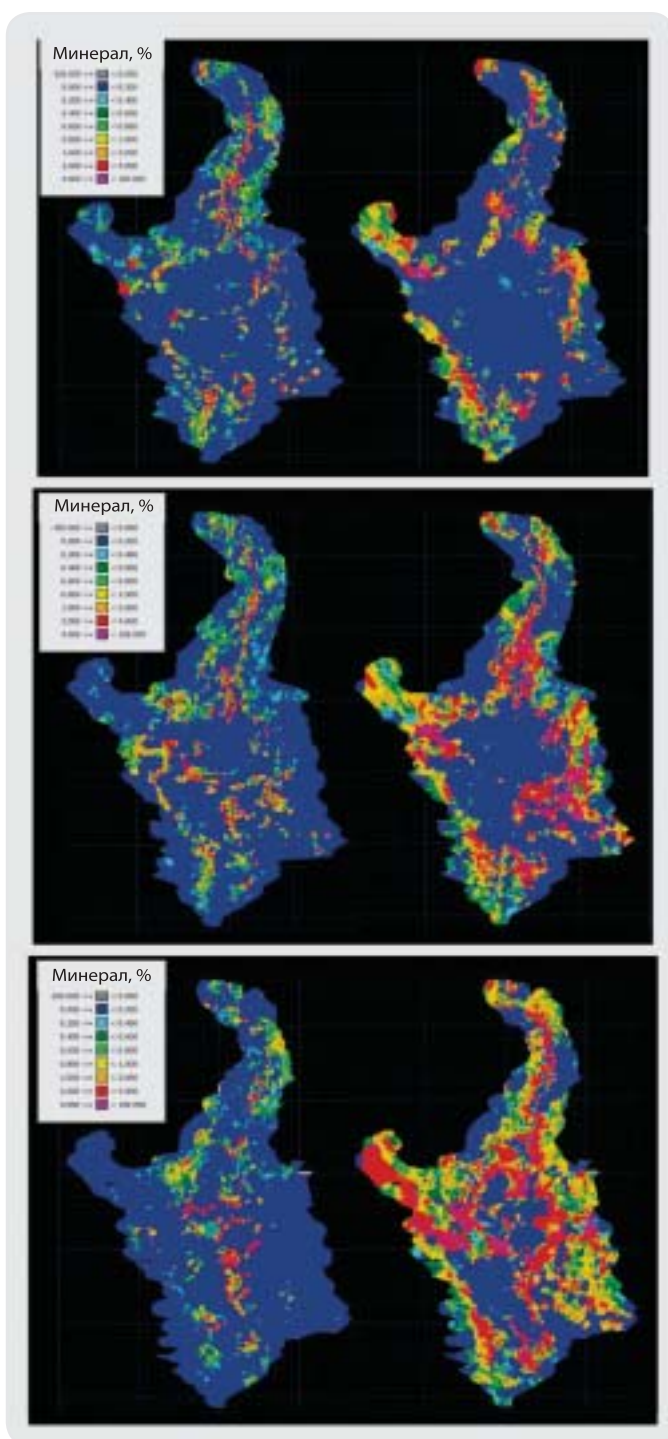
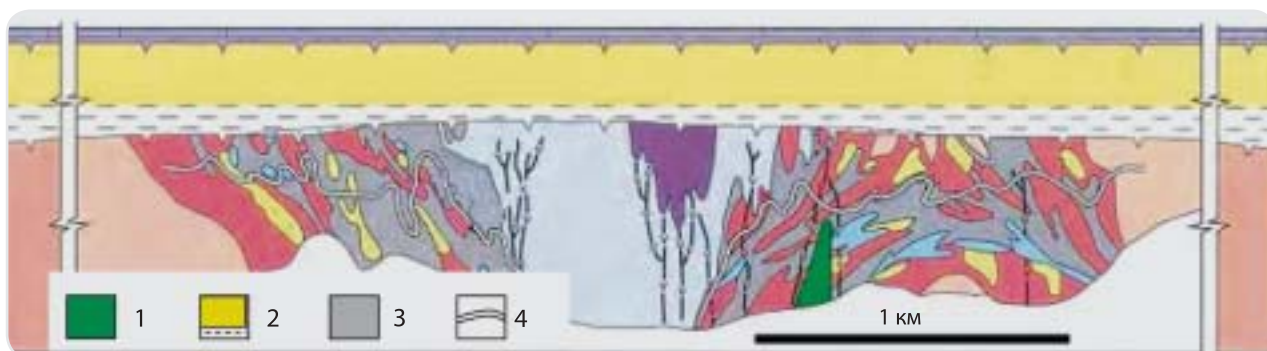


Рис. 6.

Схематизированный разрез по месторождению Олимпик Дэм [7]. 1 – дайки долеритов; 2 – неопротерозой: углеродистые сланцы-песчаники-кварциты; 3 – кембрий – известняки; 4 – граница борнит-халькозиновых (сверху) и пирит-халькопиритовых руд

технологических проб, по которым график отношения Si/Fe для брекчий разных типов выглядит как практически непрерывное линейное поле (рис. 5) [8].

Медно-сульфидная минерализация развивается не во всех типах брекчий. Гематит-кварцевые брекчии, а также вулканокластические породы являются практически пустыми. Прочие типы брекчий минерализованы неравномерно. Промышленные рудные тела, границы которых устанавливаются опробованием, представляют собой сложные жилы, линзо- и амебообразные участки, локализующиеся преимущественно в гетеролитных брекчиях, но захватывающие также гранитные, включая гематитовые и богатые гематитом их разности [6]. При этом контуры рудных тел в «головной» части местами оказываются секущими относительно положения брекчий различных типов.

В целом рудные тела тяготеют к осевым частям апофиз общего контура брекчий, а в его головной части – к периферии блоков пустых кварц-гематитовых брекчий и вулканокластических пород.

Выделяются три стадии образования рудных минералов [7, 8]:

1 – начальная (магнетит, гематит, хлорит, серицит, сидерит, пирит, халькопирит, уранинит);

2 – основная рудная (гематит, серицит, халькозин, борнит, настуран, коффинит, барит, флюорит, хлорит);

3 – пострудная (гематит, кварц, барит).

По данным изучения газовой-жидкой включений температура образования минералов

Рис. 7.

Минералогические планы горизонтов 400, 550 и 700 м (сверху вниз) месторождения Олимпик-Дэм [8]. Слева – борнит, справа – халькопирит

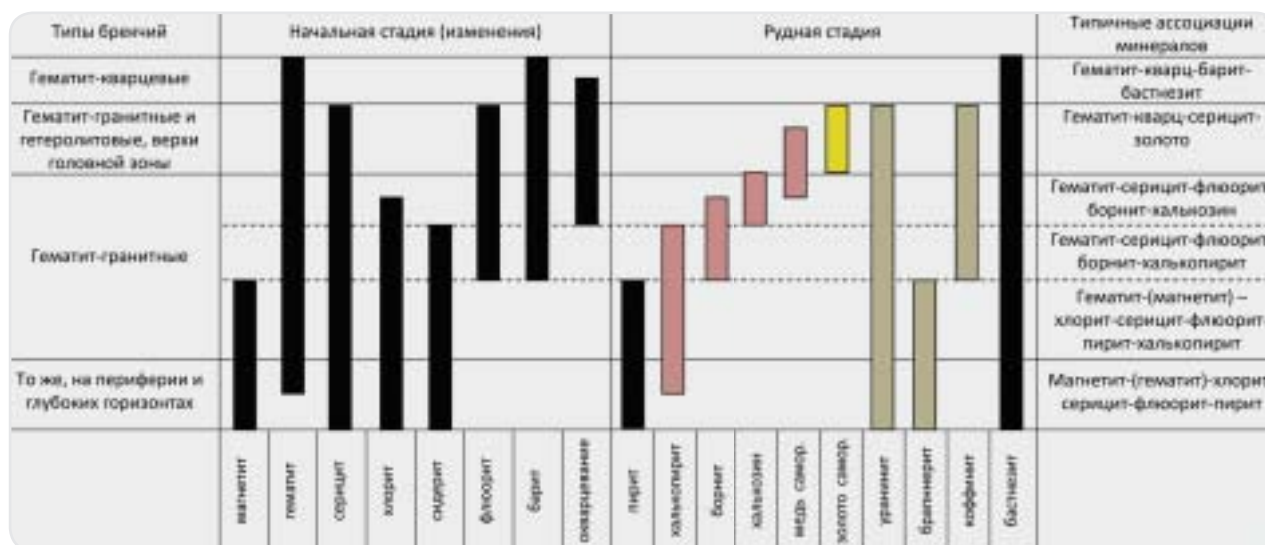


Рис. 8. Схема последовательности минералообразования месторождения Олимптик-Дэм [8]

начальной стадии оценивается в 400 °С, а рудной – в 200 °С [9].

Борнит-халькозиновые руды развиваются в верхней части месторождения, сменяясь в глубине пирит-халькопиритовыми. Граница между этими типами руд является резкой. На приводимых разрезах она показывается в целом субгоризонтальной, хотя и со значительными колебаниями по вертикали (рис. 6). Резкое погружение этой границы отмечается только в экзоконтактах тела кварц-гематитовых брекчий, которые, напомним, рудной минерализации не несут.

По данным минералогического картирования изученных горизонтов распространенность борнита с глубиной уменьшается, а халькопирита – возрастает. Одновременно общее содержание меди снижается, т.е. является пропорциональным величине отношения борнит/халькопирит. Халькопирит тяготеет к краевым (апофизным) областям общего контура брекчий, в то время как борнит такой тенденции не проявляет (рис. 7) [8].

Урановые минералы присутствуют как в борнитовых, так и в халькопиритовых рудах, но содержание урана с глубиной также убывает. В их составе описаны уранинит, настурин, браннерит и коффинит. Наиболее распространены первые два из них, причем настурин и коффинит тяготеют к верхним, а уранинит и браннерит – к нижним горизонтам. Бастнезит, являющийся основным носителем редких земель, отмечается в некотором количестве повсеместно.

Основными жильными минералами являются гематит, кварц, серицит, хлорит, сидерит

и флюорит. При этом хлорит и сидерит тяготеют к низам, а кварц и барит – к верхам разреза. Гематит на глубине частично замещается магнетитом. Флюорит распространен повсеместно.

Общая схема минералообразования приводится в следующем виде (рис. 8).

Преобладающие текстуры руд – вкрапленная и мелко-прожилковая, но на верхних горизонтах местами встречаются массивные скопления борнита, в которых содержание меди достигает 35%.

В целом особенности развития рудной минерализации имеют явные признаки переработки первичных руд гипергенными процессами, развивавшимися от доверхнепротерозойской палеоповерхности.

Несмотря на то, что изучение месторождения продолжается уже более 30 лет, не все вопросы его строения и генезиса получили однозначное решение

До недавнего времени модель образования месторождения представлялась так. После того, как гранитный массив был вскрыт эрозией, магматическая деятельность в районе возобновилась. В начале на его поверхности сформировался покров вулканитов, а затем произошел прорыв газов от глубинного магматического очага, приведший к формированию полости брекчирования (трубки взрыва), венчаемой кратерными вулканокластами и осадками. В эту полость затем поступали гидротермальные растворы, формировавшие магнетит-гематит-халькопиритовые руды. Одновременно

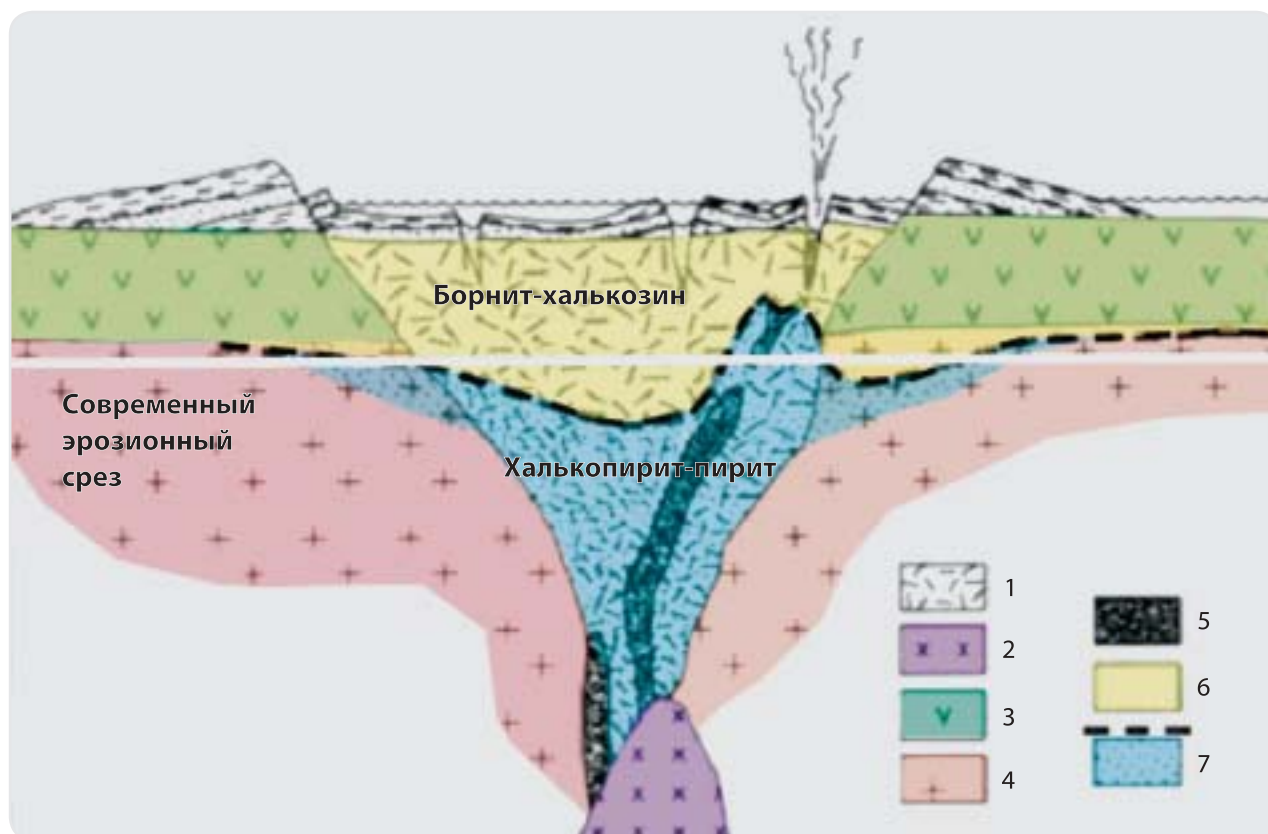


Рис. 9. Модель образования месторождения Олимпик-Дэм (разрез) [4]. 1 – брекчии; 2 – предполагаемая интрузия; 3 – базальтовый покров; 4 – граниты; 5 – дайки; 6 – зона циркуляции атмосферных вод; 7 – зона циркуляции глубинных гидротерм

в ее верхнюю часть поступали кислородные атмосферные воды, смешивание которых с гидротермами обусловило образование борнит-халькозиновых руд. В дальнейшем вулканическая постройка, покров вулканитов и частично «шапка» борнит-халькозиновых руд были смыты, а вся область захоронена под осадками верхнего протерозоя-кембрия (рис. 9)³ [4].

Однако в 2011 г. появилась работа, оспаривающая эту позицию [9]. Ее авторами установлены два факта, не укладывающиеся, по их мнению, в «эксплозивную» модель формирования брекчий. Во-первых, в тяжелой фракции вулканокластических пород ими обнаружен хромит, несомненно, являющийся аллохтонным, дальнепривносным минералом, что не позволяет трактовать эти породы как автолитовые, кратерные образования вулканической постройки. Во-вторых, обломки песчаников покрова,

причем обломки остроугольные, свидетельствующие о том, что при брекчировании они являлись скальными породами, установлены в рудных брекчиях. Получается, таким образом, что образование брекчий происходило после формирования и полной литификации осадочного покрова, под его покрывкой, и их можно считать только тектоническими, глубинными образованиями. При этом возраст руд должен считаться значительно более молодым, по мнению авторов, порядка 800 млн лет.

Взгляд на брекчии, как глубинные образования, сформированные за счет гидроударов при прорыве по разломам высоконапорных глубинных флюидов, высказывались и ранее [10].

Однако с позиций образования месторождения под мощным покровом осадков невозможно объяснить наблюдаемую вертикальную минералогическую зональность и субгоризонтальное положение границы борнит-халькозиновых и «первичных» пирит-халькопиритовых руд. Минеральный состав «верхних» руд, где, кроме сульфидов присутствуют самородная медь и золото, явно свидетельствует об их образовании в условиях воздействия по-

³ Следует заметить, что в этой модели механизм «смешивания» гидротерм с атмосферными водами представляется вовсе не обязательным. Вполне возможно, что сформированные гидротермами руды просто были выведены эрозией на дневную поверхность и подверглись изменению по общей схеме окисление-вторичное сульфидное обогащение.

верхностных процессов окисления–вторичного восстановления, что могло происходить только в условиях, когда «покрышка» осадков или отсутствовала, или была сравнительно маломощной. При этом дневная палеоповерхность должна была оставаться сухой. Таким образом, минералогические данные свидетельствуют, что если не образование, то преобразование руд могло происходить только на денудационной поверхности.

В геологической летописи района можно выделить два этапа формирования такой поверхности: перед и после образования формации *Pandura* (т.е. или около 1600, или около 1400 млн лет). Развитый на Олимпике покров представлен осадками неопротерозоя-кембрия, в основании которого залегают углеродистые сланцы. Обломки этих сланцев в брекчиях не отмечены. Можно, конечно, допустить, что в брекчии каким-то образом попали песчаники из вышележащих слоев. Однако более вероятно, что песчаники в обломках вообще относятся к какой-то иной, древней формации, покров которой, перед отложением неопротерозойских осадков, был полностью смыт, например – к формации *Pandura*, представленной сходными красноцветными песчаниками и сланцами. Поэтому наблюдения авторов [9], на наш взгляд, не могут быть приняты за доказательство формирования брекчий после отложения осадочного покрова.

По месторождению имеется немало радиологических датировок, сделанных различными методами. Для брекчий эти определения укладываются в интервал 1590–1584 млн лет. Однако все они выполнены по цирконам, возможно, аксессуарного характера, вследствие чего их надо рассматривать, скорее как возраст гранитов, а не руд. Определений возраста урановых минералов, вероятно, в связи с их тонкодисперсным характером, не имеется. По возрастам даек, секущих брекчии, получены цифры, близкие к возрасту гранитов. Временной интервал образования как брекчий, так и руд при сопоставлении этих данных оценивается очень коротким – менее 10 млн лет [11]. Это также не согласуется с возможностью принадлежности обломков песчаника в брекчиях к породам осадочного покрова, возраст которых – неопротерозой.

Среди российских геологов распространено представление об уникальности месторождения Олимпик-Дэм. Однако это далеко не так. Во-первых, непосредственно в том же районе Южной Австралии, имеется ряд месторождений, которые есть все основания считать аналогами Олимпика.

Так, в 2001 г., в 160 км к СЗ от него было открыто и с 2008 г. введено в эксплуатацию медно-золоторудное месторождение *Prominent Hill*, локализованное в таких же гематитовых брекчиях (владелец – *Minotaur Resources*) [12]. В отличие от Олимпика, брекчии развиты здесь по метаморфическим породам нижнего протерозоя, но также перекрыты чехлом осадков неопротерозоя, только несколько меньшей мощности (100 м). Месторождению свойственна та же минералогическая зональность со сменой борнит-халькозиновых руд (в верхней части) халькопирит-пиритовыми (на глубине). Однако содержания урана здесь ниже, чем на Олимпике, и составляют лишь около 0,01%, что определяет нерентабельность его извлечения при современных ценах.

Уникальность Олимпика определяют два фактора: необычайно большой объем рудовмещающей брекчиевой структуры и присутствие в рудах относительно высоких концентраций урана

В 2005 г. еще одно подобное месторождение – *Carrapateena* – было открыто в 100 км к ЮЗ от Олимпик-Дэм (владелец *OZ Minerals*) [13]. Его изучение еще продолжается и публикуемые сведения по геологии пока крайне скудны. Однако известно, что оно приурочено к таким же гематитовым брекчиям, залегающим под «покрышкой» осадочных пород, мощностью 470 м. Брекчии слагают тут два сближенных столбообразных тела, верхняя часть которых сложена борнитовыми, а нижняя – халькопиритовыми рудами.

Предварительно ресурсы месторождения оцениваются в 203 млн т руды, при содержании меди – 1,3%, золота – 0,56 г/т и урана – около 0,027%.

В 50 км к западу от *Carrapateena* установлено еще одно подобное месторождение – *Emmie Bluff*, интересное тем, что в его районе под покровом неопротерозоя сохранились осадки *Pandura*, а само оно залегает не в гранитах, а в толще метаосадков *Wallaroo*, датированных 1738–1790 млн лет и содержащих, в т.ч. и прослойки песчаников (*рис. 10*) [14, 15]. При этом формация *Pandura* рудным процессом не захватывается. Можно полагать, что и на Олимпике этот процесс имел место еще до образования не только неопротерозоя, но и форма-

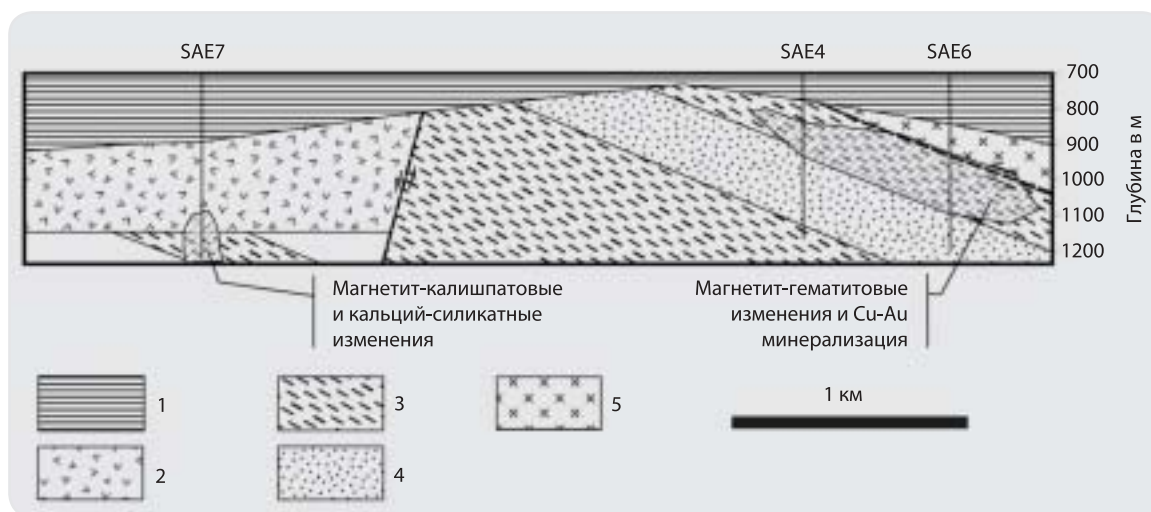


Рис. 10.
Схематизированный разрез по району месторождения Emmie Bluff [15]. 1 – осадки формации Pandura; 2 – вулканиты Gawler Range; 3–4 – метасадки формации Wallaroo: 3 – тонкослоистые; 4 – аркозовые; 5 – граниты Danington; SAE – буровые скважины

ции Pandura, а время предшествовавшей ей пенеупленации как раз и было временем приповерхностного преобразования первичных халькопиритовых руд.

Таким образом, месторождение Олимпик-Дэм по совокупности всех перечисленных сведений следует рассматривать как медно-сульфидное, частично преобразованное древней зоной окисления-цементации в конце мезопротерозоя. Механизм образования рудовмещающих брекчий мог быть как эксплозивным, так и глубинным, и этот вопрос еще требует дальнейших исследований.

В целом Южная Австралия представляется сейчас в качестве крупной провинции медно-золото-урановых месторождений, локализованных в гематитовых брекчиях. Однако основным компонентом руд здесь все-таки остается медь. Золото является естественной примесью в сульфидных рудах, уран же – экзотической, причем его наличие в значимых концентрациях устанавливается не везде. Можно предположить, что в развитии медно-золотой и урановой минерализации в районе существуют некоторые, еще не познанные закономерности. Так в меридиональном направлении содержание урана от Олимпика и к *Prominent Hill*, и к *Carrapateena* – падает. Но в направлении на восток располагается еще одно сходное месторождение *Mounth Gee*, где содержание урана выше, чем на Олимпике (0,06%).

Структуры типа объемных тел брекчирования (трубок взрыва) в геологии рудных мес-

торождений – явление нередкое, хотя в большинстве случаев это месторождения железорудные (*Kiruna* в Швеции, Коршуновское в России и др.). Однако известны такие объекты и медно-сульфидных руд [11]. Очень интересны, в частности, месторождения района *Tarajós* в Бразилии, в некотором отношении сходные с объектами Южной Австралии [16].

Как и в районе Олимпик орудуение здесь приурочено к телам брекчий, генезис которых однозначно связывается с прорывом флюидов от слепой интрузии порфиров, внедрившейся в древние граниты. На глубине эти брекчии несут кварц-сульфидную минерализацию, сменяемую у поверхности кварц-гематитовой, с обогащенной золотом «шляпой». В отличие от Олимпик содержания меди здесь относительно низкие, т.к. сульфидная часть представлена в основном пиритом. Уран практически отсутствует, но золотая «шляпка» существенно богаче. Время образования брекчий и сульфидных руд определяется нижним протерозоем, но развитие свободного золота связывается с кайнозойскими процессами химического выветривания.

В целом, есть все основания полагать, что месторождения типа Олимпик-Дэм могут быть распространены в мире достаточно широко. Уникальность собственно Олимпика определяют, на наш взгляд, два фактора: необычайно большой объем рудовмещающей брекчиевой структуры и присутствие в рудах относительно высоких концентраций урана. Однако, как видно из изложенного, уран вовсе не обязательный компонент медно-золото-сульфидных руд таких месторождений. По-видимому, в районе *Gawler* мы наблюдаем редкий случай пространственного совмещения медно-золотой и урановой геохимических провинций. На урановую геохимическую специализацию рай-

она указывает здесь наличие монометалльных, собственно урановых месторождений того же возраста (≈ 1600 млн лет), примером которых является *Radium Hill*.

Причины совпадения урановой и медной геохимической специализации для провинции Южной Австралии пока остаются неясными, но вполне вероятно, что в этом отношении она является в мире единственной.

По-видимому, решая проблему прогноза аналогов Олимпик-Дэм за пределами Австралии и в том числе в России, важно конкретизировать целевую установку: что, собственно, мы хотим найти – меднорудный или урановорудный объект? Критерии прогноза при этом могут оказаться отнюдь не одинаковыми.

Необходимо отметить и еще один важный момент: содержание урана в месторождениях этого типа является очень низким, причем снижается с глубиной. Имеются расчеты, показывающие, что при предполагаемом переходе к добыче руды на Олимпик-Дэм суперкарьером извлечение урана из более бедных руд вообще может оказаться нерациональным [17].

Проблема выявления в России крупных и особо крупных месторождений типа Олимпик

или других представляется связанной, прежде всего, с оценкой рудоносности древних, докембрийских формаций. К сожалению, в целом на нашей территории такие формации или слабо обнажены (Русская и Сибирская платформы), или очень сильно эродированы (Балтийский и Алданский щиты). Очевидно, что перспективы новых открытий в этих условиях могут реально связываться только с предварительным изучением глубинного строения закрытых территорий. Подобные исследования требуют больших затрат при весьма высоких рисках, что почти исключает заинтересованность в них со стороны горных компаний. В этой связи интересно отметить, что в Южной Австралии открытию, в частности, месторождения *Emmie Bluff*, залегающего на глубинах 900–1000 м, предшествовал большой объем геолого-геофизических исследований с составлением 3-мерных моделей строения территории, выполнявшихся по специальной программе правительства. Разработка и осуществление таких программ в России представляются необходимыми шагами в решении задачи дальнейшего развития рудной базы, темпы погашения которой нарастают. ❊

Литература

1. Olympic Dam Copper-Uranium Mine, Adelaide Australia. Business Car. Mining-technology.com. 2009.
2. Agangi A., McPhie J., Kamenetsky V. et al. The Gawler Volcanic-Hiltaba silicic large igneous province and Olympic Dam deposit – new research developments. Large igneous province commission. Int. ass. of volcanology and chemistry. Oct. 2011 LIP of the month.
3. Reid A.J., Hand M. Mesoproterozoic evolution of the southern Gawler Craton. Episodes Vol. 35, № 1. 2012.
4. Skirrow R.G. IOCG Mineralisation and Alteration. Australian Government. IOCG Workshop. Ad.Aus. 24 febr. 2006.
5. Skirrow R.G., Bastrakov E.N. Thining of Iron oxide Cu-Au(U) hydrothermal Activity and Nd isotope constraints on Metal Sources in the Gawler Craton, S.A. Economic Geology Vol. 102 №8.
6. Hahn T. The Olympic Dam Cu-U-Au-Ag-REE Mine. Adelaide Australia Business Car. mining technology.com 2011.
7. Enghardt J., Seifert T. The Olympic Dam Cu-U-Au-Ag-REE deposit, South Australia. Institute of Geology, University of Mining and Technology Freiberg, Germany. 2003.
8. Ehrig K. Geometallurgy at Olympic Dam. 8-th SA Exploration and Mining Conference. 2 dec. 2011.
9. McPhe J., Kamenetsky V., Chambeford I. et al. Origin of the supergiant Olympic Dam Cu-U-Au-Ag deposit, South Australia: Was a sedimentary basin involved? Geology published online, July 2011, as doi 10.1130/G311952.1.
10. Conon C.H.H. Hydraulic jacking and stoping – an Explanation in Mine Area A, Olympic Dam. Geological Note, Mesa Journal 33, apr. 2004.
11. Williams P.J., Barton M.D., Jonson D.A. et al. Iron Oxide Copper-Gold deposits: Geology, Space Time Distribution, and possible Models of Origin. Society of Economic Geologist Inc. Economic Geology 100-th Anniversary Volume. 2005.
12. Wallace D. Geological Aspect of the Prominent Hill feasibility study. St. Barbara Explore Conference dec. 2005.
13. First drilling results from Carrapateena copper project. OZ Minerals ASX release 12 febr. 2012.
14. Emmie Bluff deposit description. Porter Geoconsultancy Database.
15. Bastrakov N., Skirrow R. Fluid Evolution and Iron Oxide Cu-Au prospects in the Olympic Dam district, Gawler Craton, South Australia. Economic Geology Vol. 108 №1 2013.
16. Jacobi P. The discovery of the first epithermal Au-Cu-Mo province in the Tapajos region, Brazil. Revista Brasileira de Geociencias, V 29, 1999.
17. Mudd G.M. The Olympic Dam Mega-Expansion without Uranium Recovery. Environmental Engineering. Monash University dec. 2010.