

Часть 1. ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕОЛОГИИ И МЕТАЛЛОГЕНИИ

*В. В. Масленников¹, А. Ю. Леин², С. П. Масленникова¹,
В. А. Котляров¹, А. С. Целуйко¹*

*¹ – Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс
maslennikov@mineralogy.ru*

² – Институт океанологии РАН, г. Москва

«Белые», «черные», «серые» и «мерцающие курильщики» современных и древних океанов (обзор)

К настоящему времени в современных океанах обнаружено более 160 гидротермальных систем действующих и потухших «черных курильщиков». Наиболее значительные результаты по минералогии и геохимии современных сульфидных руд приводятся в работах Ю. А. Богданова, Н. С. Бортникова, А. Ю. Леин, А. П. Лисицына, И. В. Викентьева, И. Ф. Габлиной, Н. Н. Мозговой, Г. А. Черкашева, И. Ю. Мелекесцевой, И. Джонассона, М. Хэннингтона, И. Фуке, С. Скотта, П. Хальбаха, М. Тиви, С. Петерсена, К. де Ронде, Х. Беркенбош, Р. Хеймон и др. Гораздо меньше сведений имеется о минералогии и геохимии древних «черных курильщиков», фрагменты которых в последние годы обнаружены сотрудниками Института минералогии УрО РАН в рудах более 30 колчеданных месторождений Урала, Рудного Алтая, Понтид, Кипра, Калифорнии, Аппалачей и Хокуроко. Гидротермальные трубы «черных курильщиков» нередко обнаруживают существенные различия в минеральной зональности и типохимизме сульфидов. При изучении минерального и микроэлементного составов древних «черных курильщиков» стало ясно, что высказанное ранее предположение об их идентичности современным гидротермальным трубам подтверждается не полностью. Поэтому назрела необходимость объяснения причин многообразия гидротермальных колчеданообразующих систем не только с позиций рудно-формационного анализа, но и на основе минералого-геохимических исследований гидротермальных труб, зашифровавших различия в условиях минералообразования.

Решение этой задачи предусматривает изучение минералогии и геохимии гидротермальных труб, обнаруженных в рудах метаморфизованных колчеданных месторождений Урала (Дергамышское, Бурибайское, Султановское, Юбилейное, Яман-Касы, Молодежное, Узельгинское-1 и -4, Талганское, Валенторское, Сафьяновское, Александринское, Джусинское и др.), Рудного Алтая (Николаевское, Артемьевское, Зареченское), Понтид (Чейли, Лаханос, Киллик, Кызылкая, Кутлулар), Хокуроко (Мацуки, Мацумине, Аинай, Фурутобе, Эзури, Косака-Учинотай, Косака-Мотояма, Ханавэ), Аппалачей (Кид-Крик). Эта уникальная по разнообразию труб коллекция «палеокурильщиков», насчитывающая более 1000 образцов, находится в Институте минералогии УрО РАН. В музеях других стран (Япония, Турция, Англия) имеются лишь единичные фрагменты труб «палеокурильщиков», не отражающие всего их многообразия. Для сравнения привлечены данные по гидротермальным постройкам Атлантического (поля Рейнбоу, Брокен Спур, Лаки Страйк, Снейк Пит, Менез Гвен,

Логачев и др.) и Тихого (Хакурей, Суйо, Сюзетта, Пакманус, Северный и Центральный Лау, Галапагосский центр, ВТП 9° с.ш., Гуаймас, Эсканаба) океанов, предоставленных А. Ю. Леин, Ю. А. Богдановым, А. П. Лисицыным, И. Джонассоном, Т. Урабе, П. Херцигом (проекты Президиума РАН, ЮНЕСКО, MinUrals и др.).

В современных гидротермальных системах выделяются, в основном, «белые» и «черные курильщики», реже упоминаются «серые» и «прозрачные (мерцающие) курильщики». Каждый тип характеризуется своими минералогическими особенностями. В пределах каждого типа выделяются различные по составу минеральные разновидности.

«Белые курильщики» поставляют в гидротермальный плюм частички ангидрита, опала или барита. Соответственно, выделяются ангидритовые, опаловые и баритовые трубы с незначительной примесью сульфидов. Ангидритовые трубы формируются по соседству с трубами «черных курильщиков», в основном, на базальтовом или серпентинитовом основаниях СОХ. Предполагается, что температуры формирования «белых курильщиков» самые низкие (до 200 °С). Однако, ангидрит, обладающий ретроградной растворимостью, начинает формироваться при температуре 160 °С и отлагается при гораздо более высоких температурах, достигающих температур «черных курильщиков». Вероятно, следует различать среднетемпературные (160–270 °С) и высокотемпературные (>270 °С) разновидности ангидритовых труб «белых курильщиков». Первые эволюционируют в сфалерит-пиритовые и пирит-сфалеритовые трубы, вторые – в пирит-сфалерит-халькопиритовые трубы в соответствии с моделью [Наумов, 1983]. Суть модели состоит в первоначальном формировании пористой ангидритовой трубки, в которой осуществляется почти свободная циркуляция холодной, насыщенной кислородом, морской воды, поставляющей и продуцирующей сульфат, осаждающий гидротермальный кальций. По мере запечатывания пор на внутренней стенке такой трубы отлагаются сульфиды в соответствии с температурой гидротермальных сульфидов. Одна из таких изученных нами труб из гидротермального поля 9° с.ш. Восточно-Тихоокеанского поднятия состоит из гематит-ангидритовой оболочки. Внутренняя часть покрыта тонкой корочкой халькопирита, частично замещенного борнитом. Повышенные содержания Se (579–2734 г/т) в халькопирите свидетельствуют о высоких температурах минералообразования, сопоставимых с температурой «черных курильщиков». Следует отметить, что ангидрит быстро растворяется в морской воде, и его трубы в древних колчеданных месторождениях не найдены.

В отличие от ангидритовых труб баритовые и опаловые трубы «белых курильщиков», скорее всего, формируются в средне- и низкотемпературных условиях, поскольку барит и опал не обладают ретроградной растворимостью. Опаловые трубы имеют более широкое распространение, чем баритовые. Формирование опаловых труб, в основном, происходит за счет кондуктивного остывания флюидов при умеренном участии окружающей океанской воды, недосыщенной кремнеземом. Баритовые трубы «белых курильщиков» распространены на поле Ваи Лили в южной части задугового бассейна Лау Западной Пацифики. Гораздо реже они встречаются на гидротермальных полях СОХ. Исключение представляют гидротермальные поля сегментов СОХ, подверженные влиянию горячих точек (Гора Осевая хребта Хуан-де-Фука, поля Лаки Страйк и Менез Гвен в Атлантике). Другие обстановки, благоприятные для формирования баритовых труб, связаны с рифтами, покрытыми осадками (хребты Эндевор и Эксплорер, трог Эсканаба в Тихом океане). Баритовые трубы «курильщиков» без реликтов ангидрита описаны в рудах месторождений куроко типа

[Shimazaki, Horikoshi, 1990]. Опаловые трубы в рудах колчеданных месторождений пока не обнаружены. Возможно, отложение «скорлупы» ангидрита не происходило ввиду первоначально низких температур гидротермальных струй (<160 °С). В отличие от опаловых, баритовые трубы формируются в конвективном потоке смешения гидротермальных флюидов с морской водой. Барит выпадает либо при избытке Ba^{2+} , либо при доминировании SO_4^{2-} по сравнению с океанской водой. Можно предполагать, что, в отличие от ангидритовых труб, формирование баритовых «белых курильщиков» связано с более зрелыми гидротермальными системами, достигшими стадии разложения полевых шпатов в реакционной зоне, продуцирующей гидротермальные флюиды. В горячих точках благоприятные условия для формирования баритовых труб также обеспечиваются повышенными содержаниями Ba в исходных базальтах. Избыток сульфата мог обеспечиваться окислением H_2S при взаимодействии его с морской водой.

Ангидритовые, баритовые и опаловые трубы при запечатывании пор и повышении температуры могут эволюционировать в сульфидные трубы «черных», «серых» и «мерцающих курильщиков» или диффузеров. Очевидно, часть зрелых «белых курильщиков» образована сульфидными трубами. Скорее всего, они представлены кварц-пиритовыми или барит-сфалеритовыми трубами с незначительным количеством халькопирита. Необходимо отделение таких «белых курильщиков» от других типов сульфидных труб.

«Черные курильщики» являются наиболее изученными. Температура их дыма достигает 350–400 °С, а сам дым представляет собой взвесь частичек пирротина, пирита, халькопирита и других сульфидов. Строение труб «черных курильщиков», сформированных на базальтовом, серпентинитовом и осадочном субстратах имеет свои особенности. Наружный слой оболочки труб, формирующихся на базальтах, обычно сложен колломорфным пиритом. В среднем слое встречаются марказит и кристаллы пирротина и сфалерита. Во внутренней части оболочки доминирует эвгедральный пирит, сцементированный халькопиритом. Внутренняя стенка трубы последовательно обрастает халькопиритом в ассоциации с изокубанитом, пиритом и сфалеритом. Аналогичное строение имеют пирит-халькопиритовые трубы месторождений кипрского типа (Фигаро, Скуриотисс, Мусулос, Матиатис, Перистерка, Питарокма и Агрокипия) [Oudin, Constantinou, 1984; Little et al., 1999], а также на месторождении Яман-Касы, относящегося к уральскому типу [Maslennikov et al., 2013]. Для этих труб древних и современных «черных курильщиков» редкие минералы не характерны.

Оболочка типичной трубы «черного курильщика», формирующегося на серпентинитах, редко содержит колломорфный пирит. Его место занимают ангидрит, псевдоколломорфный халькопирит, а также дигенит и борнит, каналы заполнены халькопиритом и продуктами распада твердых растворов, близких по составу к изокубаниту и халькопириту. В халькопирите встречаются пентландит, самородное золото, редко арсениды Fe и Co и теллуриды Hg [Богданов и др., 2015], а также станнин [Evrard et al., 2015]. На Дергамышском месторождении (Южный Урал), залегающем среди серпентинитов, нами обнаружены богатые халькопиритом трубы – возможные аналоги современных «черных курильщиков». В некоторых оболочках присутствует колломорфный пирит, псевдоморфозы пирита по пирротину или вторичный кальцит. В халькопирите, заполнившем каналы труб, предварительно определены станнин, кобальтовый пирит и электрум.

Оболочки труб «черных курильщиков», формирующихся на осадочном и базальтовом основаниях СОХ, обычно сложены или карбонатами и ангидритом, или баритом. В каналах доминируют пирротин, высокожелезистый вюртцит, халькопирит и изокубанит. Среди редких минералов встречаются алтаит, тетрадимит, галенит, самородное серебро, блеклые руды, сульфосоли Pb, арсенопирит, сульфиды Bi и Ag, касситерит [Богданов и др., 2006]. Древние аналоги этих труб пока не обнаружены.

«Черные курильщики» формируются на дацитах и осадках трога Окинава [Halbach, Pracejus, 1993]. В своем составе они несут черты характерные, как для «черных» (пирротин, арсенопирит, изокубанит), так и для «серых» (галенит, барит, блеклые руды, сульфиды мышьяка, сульфосоли Pb) «курильщиков», сформированных на дацитовом основании. Близкими древними аналогами являются пирит-сфалерит-халькопиритовые трубы Николаевского (Рудный Алтай) и Сафьяновского (Урал) колчеданных месторождений, залегающих на дацитах, переслаивающихся с черными сланцами.

«Серые курильщики». Пирит-халькопирит-сфалеритовые «серые курильщики» встречены также на поле 9° с.ш. Восточно-Тихоокеанского поднятия [Леин, Иванов, 2009]. Также как и в «черных курильщиках», в оболочке труб угадываются псевдоморфозы сфалерита по пирротину. По сравнению с типичными «черными» и «белыми курильщиками» халькопирит «серых курильщиков» содержит на два-три порядка больше сильно варьирующих Sb (7–304 г/т), As (1–385 г/т) и Pb (0.1–311 г/т) (при умеренных содержаниях Se от 66–684 до 1084 г/т). Судя по высоким варьирующим содержаниям Mo (72–2084 г/т) и V (1–579 г/т), гидротермальные флюиды «серых курильщиков» смешивались с океанской водой.

П. Хальбах с соавторами [Halbach et al., 2003] отнес золотосодержащие халькопирит-опал-марказит-пирит-сфалеритовые трубы «серовато-белых (*grayish white*) курильщиков» бассейна Северный Фиджи к специфической разновидности «белых курильщиков». Каналы труб инкрустированы тонкими сростаниями халькопирита, сфалерита и опала, а оболочки, кроме опала, содержат марказит и пирит. В трубах присутствуют обильные сульфосоли Pb, As, Ag и S. В отличие от типичных «белых курильщиков» СОХ они имеют другой механизм формирования [Halbach et al., 2003]. Опираясь на данные о высоких содержаниях хлора во флюидных включениях, авторы заключили, что сфалерит этих труб отлагается из среднетемпературных, бедных сероводородом рассолов, возникших в условиях фазовой сепарации флюидов. Очевидно, к этой же группе относятся обогащенные халькопирит-барит-сфалеритовые «светло-серые» и «белые курильщики» гидротермального поля Пакманус и других островодужных комплексов. Близкие по составу «серые курильщики» имеются на гидротермальных полях Горы Осевой [Богданов и др., 2006]. Их особенностью является ассоциация барита и опала в оболочке труб с кристалликами пирротина, наряду с иорданитом и галенитом. В целом, эти «курильщики», в отличие от «серых курильщиков» СОХ, характеризуются еще более высокими концентрациями Pb, Ag, Au, As и Sb. Очевидно, такие «курильщики» являются единственными представителями на Александринском месторождении (Урал), а также на месторождении Косака-Мотояма (Хокуроко). Халькопирит-пирит-сфалеритовые и сфалеритовые трубы с кварцем или баритом нам удалось обнаружить почти на всех месторождения уральского и куроко (баймакского) типов в качестве конечных членов минералогических рядов труб от разновидностей, богатых халькопиритом, к разновидностям, богатым сфалеритом, кварцем и баритом. Для всех этих труб характерна богатая золото-галенит-блекловорудная ассоциация. Их другая особенность – крайне низкие содер-

жания Se (<100 г/т) и Те (<1 г/т) в халькопирите по сравнению с типичными «черными курильщиками».

Богатые халькопиритом трубы высокотемпературных разновидностей «серых» или «темно-серых курильщиков» встречаются в островодужных комплексах Западной Пацифики (например, поля Бразерс и Сюзетта). Температура гидротермальных флюидов «темно-серых курильщиков» достигает 274–302 °С [Berkenbosch et al., 2012]. Предполагается, что темно-серые дымы, в отличие от черных, не содержат частичек пирротина или содержат их в незначительных количествах. В кальдере вулкана Бразерс выделены барит-ангидрит-халькопиритовые и барит-борнит-халькопиритовые трубы «темно-серых курильщиков». В них наблюдается парадоксальное сочетание минералов, характеризующих высокую фугитивность серы (энаргит, теннантит, галенит, иорданит, реальгар, аурипигмент, борнит) с минералами, формирующимися при низкой и умеренной фугитивности серы (пирротин, теллуриды висмута и золота, самородные висмут и теллур) [Berkenbosch et al., 2012]. В борнит-халькопиритовых трубах, кроме пирита, барита, марказита, сфалерита, галенита, теннантита и самородного золота, нами обнаружены многочисленные микровключения теллуrowисмутита, гессита и самородного теллура. Предполагается, что формирование этого типа «темно-серых курильщиков» сопровождалось эманациями магматических газов, включающих Te_2 , Bi , Au и другие летучие компоненты. В отличие от «черных курильщиков» СОХ халькопирит охарактеризованных «серых курильщиков» содержит на два порядка меньше Se и Co. Вероятно, степень окисления флюидов, формирующих «серые курильщики», гораздо выше, чем флюидов «черных курильщиков». Очевидно, близкими древними аналогами «темно-серых курильщиков» и являются пирит-сфалерит-халькопиритовые трубы с теллуридами (Урал, Понтиды) [Revan et al., 2014]. Однако большинство из них формировалось при низкой фугитивности серы [Масленников и др., 2010; Maslennikov et al., 2013].

«*Мерцающие курильщики*» или диффузеры выпускают теплые бесцветные растворы (<10–50 °С) и формируются на поздних стадиях развития «черных» и «серых курильщиков». Нередко их объединяют в одну группу с «белыми курильщиками». Теплые истощенные флюиды просачиваются сквозь стенки ульевидных построек, а также куполовидных или шпилевидных окончаний труб «черных» и «серых курильщиков». Низкие температуры выходящих на поверхность флюидов (<10–50 °С) не позволяют транспортировать значительные количества растворенных металлов. Однако в недрах постройки (трубы) температуры и свойства растворов могут существенно отличаться от флюидов, выходящих на поверхность. Это доказывается при искусственном разрушении диффузеров, когда бесцветные эманации вдруг сменяются черными, серыми и белыми. Характерная особенность диффузеров, запечатывающих трубы «черных курильщиков» – значительное количество вюртцита, пирротина и изокубанита при минимальных количествах халькопирита, кристаллы которого могут оконтуривать поры, по которым сочится флюид. Диффузеры, завершившие рост «серых курильщиков», кроме доминирующего сфалерита и барита, содержат немного халькопирита, обильные включения сульфосолей, галенита, аурипигмента и реальгара. В рудных брекчиях древних колчеданных месторождений фрагменты диффузеров обычно не распознаются, поскольку не имеют отчетливой зональности. Однако при определенных навыках в них можно выделить оболочки и небольшие каналы диаметром меньше 1 см. На месторождениях кипрского типа встречаются, в основном, марказит-пиритовые диффузеры со сфалеритом, на месторождениях куроко типа найдены барит-сфалеритовые разновидности, на месторождениях уральского типа

обнаружены обе разновидности. Отделить их от труб «белых (светло-серых) курильщиков» можно по размерам осевых каналов, диаметр которых в диффузерах обычно <1 см. Среди современных «мерцающих курильщиков» следует отметить карбонатные и серные разновидности. Они пока слабо изучены и не имеют древних аналогов.

Таким образом, нами разработаны критерии диагностики древних аналогов «черных, серых, белых» и «мерцающих курильщиков», или диффузеров. Аналоги «черных курильщиков» встречаются лишь на месторождениях атлантического и кипрского типов, залегающих на базальтах и серпентинитах, соответственно. На месторождениях уральского и куроко типов, связанных с бимодальными мафическими и фельзитовыми комплексами, присутствуют, главным образом, аналоги «темно-серых» и «светло-серых курильщиков». Однако аналоги «черных курильщиков» могут быть встречены на некоторых месторождениях алтайского типа, залегающих не только над дацитами, но и над черными сланцами. Аналоги «белых курильщиков» на месторождениях атлантического и кипрского типов отсутствуют в виду растворения ангидрита. На месторождениях уральского и куроко типов они представлены барит-сфалеритовыми и баритовыми разновидностями. В рудно-формационном ряду от месторождений атлантического и кипрского типов к уральскому и куроко типам в трубах и диффузерах уменьшается количество пирита, марказита и халькопирита, изокубанита и псевдоморфоз пирита по пирротину при возрастании количества сфалерита, кварца и барита. В этом же направлении исчезают теллуриды и сульфоарсениды, нарастает роль золото-галенит-блекловорудной ассоциации, концентрации Se, Sn, Te, Co и увеличиваются содержания As, Sb, Tl и Pb.

Работы выполнялись по гранту РФФИ № 14-05-00630. Авторы благодарят А. П. Лисицына, Ю. А. Богданова, Я. Джонассона, Т. Урабе, П. Херцига за возможность изучения коллекции труб современных «черных курильщиков», а также Р. Ларжа и Л. Данюшевского за методическую помощь в изучении состава сульфидов методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и лазерной абляцией.

Литература

- Богданов Ю. А., Лисицын А. П., Сагалевиц А. М., Гурвич Е. Г.* Гидротермальный рудогенез океанского дна. М.: Наука, 2006. 527 с.
- Богданов Ю. А., Леин А. Ю., Лисицын А. П.* Полиметаллические руды в рифтах Срединно-Атлантического хребта (15–40° с.ш.): минералогия, геохимия, генезис. М.: ГЕОС, 2015. 256 с.
- Леин А. Ю., Иванов М. В.* Биохимический цикл метана в океане. М.: Наука, 2009. 576 с.
- Масленников В. В., Леин А. Ю., Масленникова С. П., Богданов Ю. А.* Фанерозойские «черные курильщики» как индикаторы состава рудовмещающих комплексов // Литосфера. 2010. № 3. С. 153–162.
- Berkenbosch H. A., de Ronde C. E. J., Gemmel B. J. B., McNeil A. W., Goemann K.* Mineralogy and formation of black smoker chimneys from Brothers submarine volcano, Kermadec arc // Economic Geology. 2012. Vol. 107. P. 1613–1633.
- Evrard C., Fouquet Y., Moëlo Y., Rinnert E., Etoubleau J., Langlade J. A.* Tin concentration in hydrothermal sulphides related to ultramafic rocks along the Mid-Atlantic Ridge: a mineralogical study // European Journal of Mineralogy. 2015. Vol. 27. P. 627–638.
- Halbach P., Pracejus B.* Geology and mineralogy of massive ores from the Central Okinawa Trough, Japan // Economic Geology. 1993. Vol. 88. P. 2210–2225.
- Halbach P. E., Tunnicliffe V., Hein J. R.* Energy and mass transfer in marine hydrothermal systems // 89th Dahlem Workshop, Berlin, October 14–19, 2003. 365 p.
- Haymon R. M.* Growth history of hydrothermal black smoker // Nature. 1983. Vol. 301. P. 695–698.

Little C. T. S., Herrington R. J., Haymon R. M., Danelian T. Early Jurassic hydrothermal vent community from the Franciscan Complex, San Rafael Mountains, California // *Geology*. 1999. Vol. 27. № 2. P. 167–170.

Maslennikov V. V., Maslennikova S. P., Large R. R., Danyushevsky L. V., Herrington R. J., Stanley C. J. Tellurium-bearing minerals in zoned sulfide chimneys from Cu-Zn massive sulfide deposits of the Urals, Russia // *Mineralogy and Petrology, Special Issue: Ore deposits of the Urals*, 2013. Vol. 107 (1). P. 67–99.

Oudin E., Constantinou G. Black smoker chimney fragments in Cyprus sulphide deposits // *Nature*. 1984. Vol. 308. P. 349–353.

Revan M. K., Genc Y., Maslennikov V. V., Maslennikova S. P., Large R. R., Danyushevsky L. D. Mineralogy and trace element geochemistry of sulfide minerals in hydrothermal chimneys from Upper-Cretaceous VMS deposits of the eastern Pontide orogenic belt (NE Turkey) // *Ore Geology Reviews*. 2014. Vol. 63. P. 129–149.

Shimazaki H., Horikoshi E. Black ore chimney from the Hanaoka Kuroko deposits, Japan // *Mining Geology*. 1990. Vol. 40. № 5. P. 313–321.

В. Н. Анфилов

*Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс
anfilov@mineralogy.ru*

Тектоника плит: величайшее заблуждение и выдающиеся открытия

Концепция тектоники плит как альтернатива стабильному положению континентов зародилась в 1915 г. после публикации немецким геофизиком Альфредом Вегенером книги «Происхождение материков и океанов». Идея А. Вегенера о раздвигании океанического дна базировалась на сходстве очертаний береговых линий Африки и Южной Америки. Второе рождение концепции, после которого она овладела умами многих выдающихся геологов и геофизиков, произошло в 1962 г. после публикации статей Р. Дица и Г. Хесса. Идея, высказанная Р. Дицем и Г. Хессом, сводится к тому, что по оси срединно-океанического хребта происходит образование океанической коры, которая симметрично растекается в стороны. Авторами было высказано предположение, что причиной этих движений является тепловая конвекция в мантии. Одним из первых авторов, который попытался обосновать тепловую конвекцию в мантии, был Д. Маккензи с соавторами [McKenzie et al., 1974]. С этого момента, как считает В. Н. Жарков, впервые появилась модель, благодаря которой геология сделала шаг «по переходу из разряда описательных наук в разряд точных наук» [Жарков, 1983]. Прежде чем рассматривать обоснованность модели тепловой конвекции в мантии, рассмотрим некоторые геологические факты, которые категорически не согласуются с концепцией тектоники плит.

1. Идея раздвигания континентов родилась на основе сходства очертаний береговых линий Африки и Южной Америки. Удивительно, что до настоящего времени никто, кроме Е. М. Рудича [1984], не сделал серьезной попытки сравнить геологические разрезы этих материков, которые, согласно идее спрединга, должны совпадать вплоть до мелового или юрского периодов. На рисунке 1 приведена палеотектоническая схема для раннего и среднего рифея, из которой видно, что ни о каком совпадении разрезов рифея для Америки и Африки не может быть речи.