

Обзор подводных курильщиков Срединно-Атлантического хребта

И. Г. Добрецова

АО «Полярная морская геологоразведочная экспедиция», Санкт-Петербург, Россия
dobro54@mail.ru

Видеонаблюдения и опробование дна Атлантического океана на Срединном хребте позволили выявить помимо известных чёрных и белых курильщиков неизвестные ранее зелёные, зеленовато-белые и оранжевые. Кроме того, выявлено многообразие минерального состава белых курильщиков. Показаны связь курильщиков с процессами дегазации и осадками, гидротермально-бактериальный генезис курильщиков.

Ключевые слова: Срединно-Атлантический хребет, курильщики, глубоководные полиметаллические сульфиды, дегазация

Review of underwater smokers on the Mid-Atlantic Ridge

I. G. Dobretsova

Polar Marine Geological Exploration Expedition, St. Petersburg, Russia

Video observations and sampling of the Atlantic Ocean floor on the Mid-Atlantic Ridge have revealed previously unknown green, greenish-white and orange smokers in addition to the well-known black and white ones. Besides, a variety of mineral compositions has been revealed among the white smokers. The connection between smokers and degassing processes and sediments, as well as their hydrothermal-bacterial genesis, has been shown.

Keywords: Mid-Atlantic Ridge, smokers, deep-sea polymetallic sulfides, degassing

Введение

Наиболее известными видами активных гидротермальных образований на дне океанов, получивших название «курильщики», являются так называемые чёрные курильщики — придонные глубоководные постройки, обогащенные медноколчеданными и полиметаллическими сульфидными минералами (ГПС). Такого же рода постройки, часто без наложенных сульфидных минералов — «белые курильщики» — имеют на дне океанов более ограниченное распространение, образуясь при меньших температурах и локализуясь на меньших глубинах.

АО «Полярная морская геологоразведочная экспедиция» (ПМГРЭ) более 30 лет ведёт исследования вулcano-гидротермальных образований на Срединном Атлантическом хребте (СAX), включая поиски и оценку глубоководных полиметаллических сульфидов (Силаев и др., 2022). С 2012 г. работы были сосредоточены в пределах Российского разведочного района (РРР) SAX в координатах от 20 до 13° с. ш. (рис. 1).

Объекты и методы исследования

К основным методам поисков гидротермальных проявлений на дне SAX, которые использовались во время рейсов научно-исследовательских судов «Профессор Логачев» и «Янтарь» с 2004 по 2023 год, относятся следующие: 1) видеонаблюдение дна с помощью специально оборудованных видеокамер (устройство для буксирования видео- и фотокамер над дном разработаны в ПМГРЭ); 2) гидрофизическое зондиро-

вание толщи воды с целью выявления аномалий в придонном слое воды; 3) шлихоминералогический метод поиска гидротермальных образований по минералам-индикаторам гидротермальной деятельности в биогенных карбонатных осадках (методика разработана автором); 4) геофизические методы поиска с помощью гидролокатора бокового обзора «МАК-1М», оснащён-

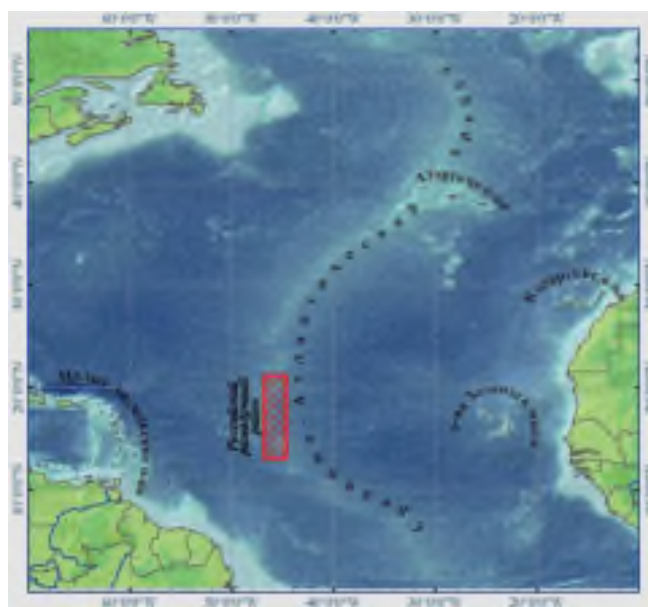


Рис. 1. Схема расположения Российского разведочного района в Атлантическом океане

Fig. 1. Map of the location of the Russian exploration area in the Atlantic Ocean

ного измерителем естественного электрического поля (ЕП) (оборудование для измерения ЕП сделано сотрудниками ПМГРЭ, оригинальная методика обработки геофизических данных разработана в ПМГРЭ). Выявленные с помощью вышеперечисленных методов гидротермальные объекты поднимались на борт судов с помощью грейфера, оборудованного телекамерой (точечный отбор вещества с площади 1 м²), драги (донно-каменный материал собирался с трека длиной в 300 м), коробчатого пробоотборника (точечный отбор осадков с площади 40 × 40 см) (рис. 2) и руки-манипулятора необитаемого подводного аппарата.

Вещественный состав поднятого материала подробно изучался и описывался на борту судна. При этом помимо чисто визуальных определений применялись оптические методы определения (в частности, иммерсионный метод) а также микрохимические реакции. В стационарных условиях при камеральной обработке полученного вещества применялись различные методы определения химического состава (атомно-эмиссионный с индуктивно связанной плазмой, масс-спектральный с индуктивно связанной плазмой, ИК-спектроскопия, силикатный анализ, кулонометрический метод), рентгенофазовый анализ для получения минерального состава, изучение аншлифов и прозрачно-полированных шлифов оптическими методами и под электронным микроскопом. Таким образом, были выявлены и подняты трубы разнообразных по цвету и минеральному составу курильщиков.

Геологическая позиция

В пределах РРР дно океана сложено базальтами, в том числе и молодых вулканов. Среди базальтов отмечаются локальные выходы ультраосновных пород габбро-перидотитового ряда и подводные горы офиолитового комплекса. При этом в бортах рифтовой долины выходы коренных пород перекрыты рыхлыми биогенными карбонатными осадками небольшой мощности — от первых десятков сантиметров до первых метров, в отдельных западинах до 20 м. Участки, ли-

шённые осадков в бортах рифтовой долины, практически не наблюдаются. Но и в самом днище долины также отмечены осадки небольшой мощности, как правило не превышающие 50 см. Рудные поля, выявленные в пределах РРР САХ, связаны как с подстилающими базальтами, так и ультраосновными породами. Разнообразные курильщики были подняты с рудных полей, а также с участков вне рудных полей.

Результаты исследования

В отличие от устоявшегося мнения, часто публикуемого в статьях, проведенные автором исследования показали, что гидротермальные постройки САХ приурочены не к осевому поднятию днища рифтовой долины, и даже не к самому ее днищу, а к бортам. Именно здесь, в бортах, и расположены 13 рудных полей, открытые специалистами ПМГРЭ. Исключением является 14-е рудное поле, выявленное в кальдере одноимённого вулкана Пюи де Фоль. Этот вулкан высотой около 1 км находится в днище рифтовой долины на широте 20°30' с. ш. и является более молодой структурой по отношению к днищу.

Исследования вещественного состава гидротермальных построек (автор) и дыма флюидов (институт «Океанологии» им. П. П. Ширшова и зарубежные исследователи) выявили в них микроорганизмы, которые также принимают активное участие в процессах образования построек курильщиков на дне океанов.

Изучение образцов под электронным микроскопом показало присутствие как самих фоссилизированных бактерий в сульфидах и гидроксидно-железистых метасоматитах рудных полей САХ, так и большого разнообразия бактериоморфных форм выделений среди сульфидов, сульфатов и гидроксидов железа и марганца. Ещё одним доказательством участия бактерий в гидротермальном процессе служит видеосъёмка активных чёрных курильщиков рудного поля Пюи де Фоль, на которой видно, как краб на стенке активной сульфидной постройки сидит в чёрном дыме и собирает на своём хитиновом покрове бактериальный мат



Рис. 2. Аппаратура для подъёма вещества со дна: а — коробчатый пробоотборник; б — скальная драга; с — грейфер с видеокamerой

Fig. 2. Equipment for lifting substances from the bottom: a — box sampler; b — rock dredge; c — grab with video camera

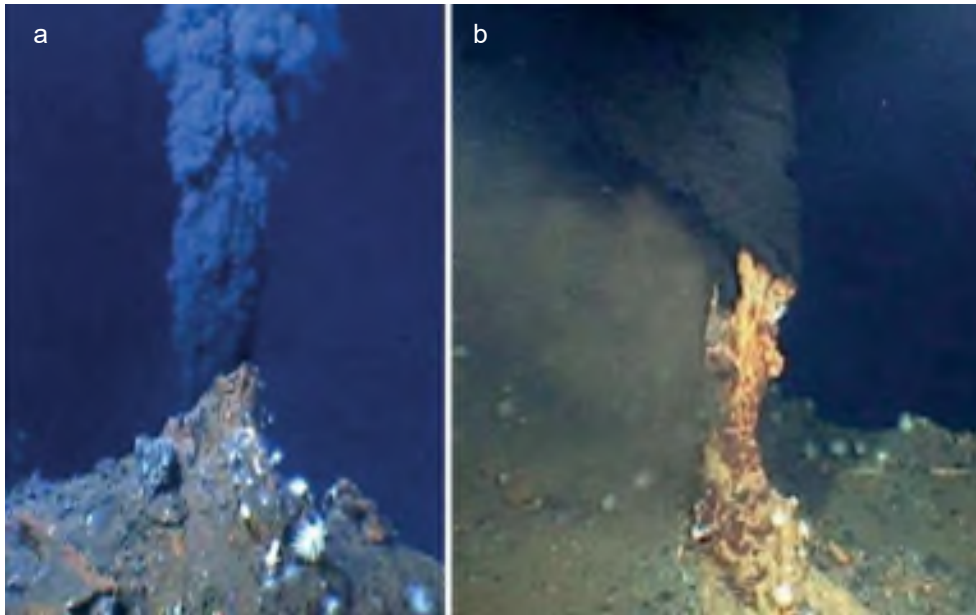


Рис. 3. Начальная стадия формирования (а) и окончательный вид (б) активной трубы черного курильщика. Стоп-кадры видеосъёмки на рудном поле Ашадзе-1 в ходе российско-французской экспедиции Serpentine, 2007

Fig. 3. Initial stage of formation (a) and final appearance (b) of the active chimney of a black smoker. Still frames from video filming at the Ashadze 1 ore field during the Russian-French Serpentine expedition, 2007

волокнистой структуры. Таким образом, минеральные новообразования курильщиков имеют бактериально-гидротермальный генезис.

Чёрные курильщики в форме труб впервые были обнаружены в 1977 г. при погружениях батискафа «Алвин» в Тихом океане. Позднее их выявили в Атлантическом и Индийском океанах, а также в Карибском море на глубинах от 1 до 5 км. Своё название они получили благодаря чёрному цвету флюида, выходящего в воду и напоминающего дым (рис. 3). Температура флюида на выходе может достигать 350–420 °С, а pH составляет 2–3. Трубы чёрных курильщиков сложены преимущественно сульфидами — пиритом (FeS_2), марказитом (FeS_2), изокубанитом (CuFe_2S_3), халькопиритом (CuFeS_2), борнитом (Cu_5FeS_4), минералами ряда «халькозин–ковеллин» (Cu_{1-x}S), сфалеритом и/или вюртцитом (ZnS). В качестве примеси выявлены сульфаты и самородные металлы (медь, золото, серебро).

Если рассматривать рудные поля как источник полезного ископаемого — глубоководных полиметаллических сульфидов (ГПС), то доля труб в них невероятно мала, не составляет даже 1 %, и трубы отмечены не на каждом рудном поле. Это первый важный факт. Точный подсчёт количества труб проведён пока только для 5 рудных полей, по остальным рудным полям статистика будет представлена в процессе подробного их изучения с помощью современной аппаратуры.

Вторым важным фактом является приуроченность ГПС не к осевому поднятию, и даже не к днищу рифтовой долины, а к бортам, где как раз и расположены найденные на сегодняшний день рудные объекты РРР САХ. Исключением, пожалуй, является рудное поле в кальдере одноимённого вулкана Пюи де Фоль. Срединный Атлантический хребет удалён на значительное расстояние от берегов, и до него не доходит обломочный материал из речных стоков. В его пределах накапливаются только пелагические биогенные карбонат-

ные осадки (БКО). Поскольку Атлантический хребет относится к медленносрединговому типу, то теоретически считается, что в днище долины осадков нет. Тем не менее и в днище, и в кальдере вулкана Пюи де Фоль (который является более молодой структурой по отношению к днищу долины), мы их наблюдаем практически повсеместно. А в бортах рифтовой долины участки, лишённые осадков, редки.

Независимо от того, с какими подстилающими породами связаны рудные поля, неперенным условием существования гидротермальных образований являются осадки, а не подстилающие породы. Именно связь пелагических осадков с сульфидами является ещё одной характерной особенностью гидротермальных рудных полей, что является третьим важным фактом. Практический опыт наблюдений показал, что там, где нет осадков, хотя и проявлена гидротермальная активность в виде выходящих в воду флюидов и наблюдаются характерные «оазисы жизни» в виде скоплений специфической гидротермальной фауны и бактериальных матов, сульфидные руды отсутствуют (рис. 4, 5). Более того, за более 20 лет работы на САХ, ни разу телегрейфером не были подняты сульфидные руды без вмещающих осадков.

Флюид — это пневматолитовое глубинное образование, температура которого на выходе может достигать 350–420 °С, а pH составляет 2–3 единицы. Из него и отлагаются сульфиды, находящиеся во взвеси. Кроме того, во флюиде содержится значительное количество сероводорода, водорода и метана, концентрации которых в океанской воде очень низки (Богданов, 2006). В настоящее время считается, что упомянутый выше флюид — это морская вода, проникшая вглубь по трещинам в вулканитах, нагретая вблизи магматической камеры до критического состояния и обогащенная химическими элементами, выщелоченными из глубинных магматических пород. Однако работами Г. И. Арсановой показано, что океанская вода не может

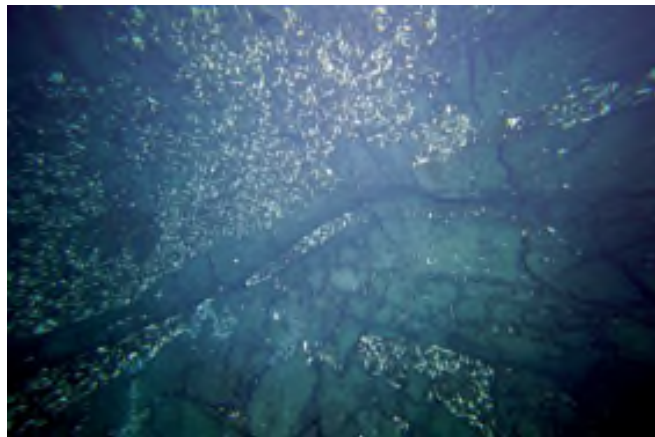


Рис. 4. Скопление типичной гидротермальной фауны (двустворчатых моллюсков) на базальтах, практически лишённых осадков. Кальдера вулкана Пюи де Фоль. Фотопрофиль 45L024t

Fig. 4. Accumulation of typical hydrothermal fauna (bivalves) on basalts, almost devoid of sediments. Puy de Fol volcano caldera. Photoprofile 45L024t

проникать вглубь, это противоречит законам физики (Арсанова, 2012; 2020). В своих работах она привела доказательства того, что выходящие на поверхность океанического дна флюиды имеют непосредственно вулканическое происхождение, образуясь вследствие дегазации планетных недр. Это подтверждается и данными Ю. А. Богданова о значительном превышении концентрации химических элементов в составе флюидов по сравнению с морской водой. Было показано, что во флюиде концентрируются химические элементы, отсутствующие как в морской воде, так и в подвергающихся выщелачиванию горных породах.

На особое происхождение рудообразующих флюидов также указывает значительная неоднородность вещественного состава гидротермальных построек в пределах не только САХ, но и отдельных рудных полей и даже отдельных рудных тел. Нам представляется, что просто нагретая океанская вода не могла бы дать столь высокое минеральное разнообразие, наблюдающееся в придонных оруденениях. Океанская вода имеет глобально устойчивый состав, магматические породы, из которых происходило предполагаемое выщелачивание, тоже устойчивы по химическому составу, поэтому не могут обеспечить наблюдающееся разнообразие минералов. Ещё одним фактом, ставящим под сомнение идею образования рудообразующего флюида за счет нагретой океанской воды, является приуроченность рудных объектов не к оси рифтовой долины, где и находится эпицентр нагревания, а к бортам рифтовой долины, удаленным от такого эпицентра. Однако именно эти зоны особенно обогащены продуктами современной гидротермальной активности, в том числе и в виде труб курильщиков.

Из жерла сульфидной трубы может выходить не только чёрный, но и бесцветный флюид, из которого также отлагаются сульфиды, но уже другого состава и структуры. Температура такого флюида ниже, чем у флюида чёрного цвета, она варьирует от 100 до 150 °С. В таком случае образуются преимущественно сульфиды цинка и железа, но сама сульфидная постройка тем не менее называется чёрным курильщиком (рис. 6).

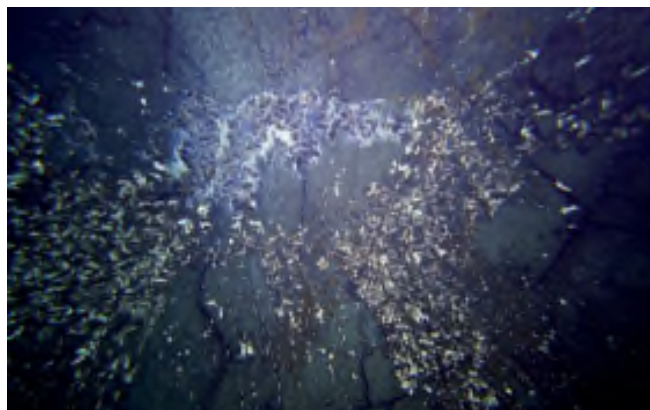


Рис. 5. Современная гидротермальная активность (муаровые высачивания). Скопление двустворчатых моллюсков и бактериальный мат (белое) на базальтах, практически лишённых осадков. Кальдера вулкана Пюи де Фоль. Фотопрофиль 45L024t

Fig. 5. Modern hydrothermal activity (moire seeps). Bivalves and bacterial mat (white) on sediment-free basalts. Puy de Fol volcano caldera. Photoprofile 45L024t

При этом, по наблюдениям Ю. А. Богданова, «дым», выходящий из одного жерла, может периодически менять свой цвет и температуру (Богданов, 2006).

Белые курильщики отличаются от чёрных не только цветом, но и физико-химическими параметрами флюида и минеральным составом новообразований. В Атлантическом океане они впервые были обнаружены в 2000 г. на расстоянии 15 км к западу от Срединно-Атлантического хребта, на глубине 750 м, где были названы рудным полем Лост Сити. Флюид белого цвета имеет температуру на выходе 40–95 °С и pH 9–9.8 единиц. Из этих дымов формировались брусит-арагонит-кальцитовые постройки разнообразной формы, в том числе трубы и колонны высотой до 60 м.

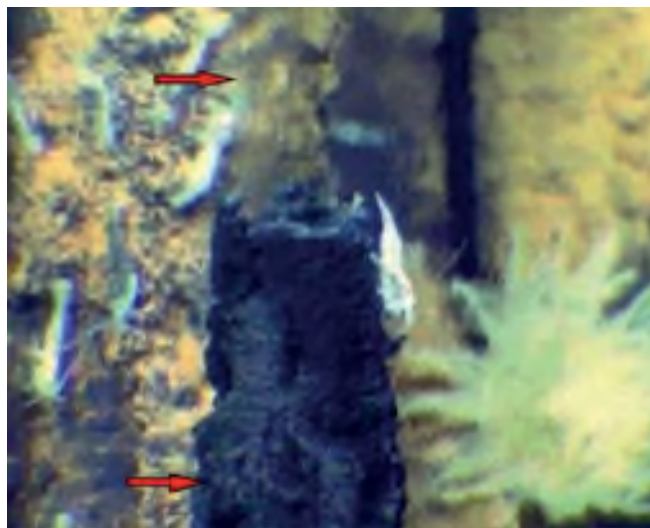


Рис. 6. Сульфидная труба и прозрачный бесцветный дым (показаны стрелками). Стоп-кадры видеосъёмки на рудном поле Ашадзе-1 в ходе российско-французской экспедиции Serpentine, 2007

Fig. 6. Sulfide pipe and transparent colorless smoke (shown by the arrow). Still frames from video filming at the Ashadze-1 ore field during the Russian-French Serpentine expedition, 2007

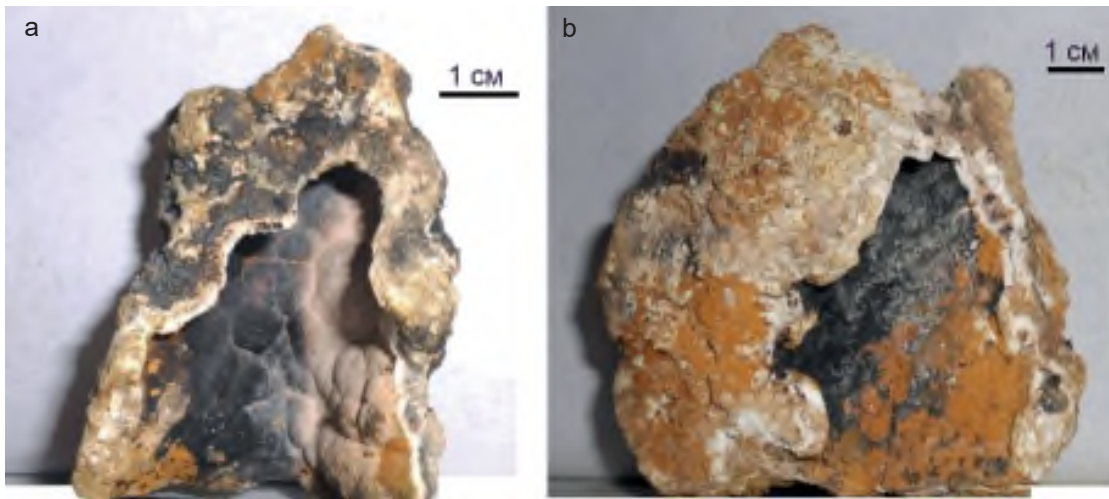


Рис. 7. Постройки белых курильщиков в виде труб с полым каналом. Передняя стенка обеих построек обломана, стенки внутренних каналов покрыты налётом вернадита (чёрное) с примесью гётита (бурое). По наружной стенке построек в виде налёта развиваются вернадит (а), гётит (б)

Fig. 7. White smoker structures in the form of pipes with a hollow channel. The front wall of both structures is broken off, the walls of the internal channels are covered with a coating of vernadite (black) with an admixture of goethite (brown). Vernadite (a) and Goethite (b) in the form of a coating, also develop on the outer wall of the structure

Описанные Ю. А. Богдановым ангидритовые постройки на гидротермальном поле ТАГ САХ также относятся к белым курильщикам. Заметим, что за более чем 30 лет исследований на САХ до этого аналогичные объекты не были найдены (Богданов, 2006).

В пределах РРР были выявлены разнообразные по минеральному составу неактивные белые курильщики. Так, на широте $17^{\circ}56'$ в восточном борту рифтовой долины установлены белые курильщики в виде построек высотой около 10 см, с полым каналом, состоящие из арагонита, кальцита и магнезиального кальцита с незначительной примесью гипса. На внутренних и наружных стенках канала отмечены вернадит и гётит в виде налёта, осевшего из дымов на заключительной стадии формирования постройки (рис. 7). Вещественный состав этих труб подтверждён рентгеновскими исследованиями.

К белым курильщикам относится и **баритовая** постройка, в состав которой включены три обломка хлоритизированного базальта (один большой — $7 \times 7 \times 5$ см — и два совсем мелких), покрытых железомарганцевыми «шубками» и корками (рис. 8). Эта постройка была поднята на южном склоне подводной горы в восточном борту рифтовой долины на широте $14^{\circ}40'$ вне рудных полей. Барит в ней сильно кавернозный и пористый, напоминает губку с большими ячейками, что более характерно для вулcano-фумарольных образований. Полости и каверны пусты. Отмечаются многочисленные флюидальные микротекстуры на внутренних поверхностях и стенках каверн. Барит диагностирован рентгенофазовым и оптическим методами.

Также к белым курильщикам относятся постройки белого цвета (с зеленоватым оттенком), имеющие тальковый, тальк-опаловый и опал-тальковый состав. В 2015 г. появилась публикация о находке глубоководных активных тальковых труб (Hodgkinson et al., 2015). Высота этих труб достигала 3 м, диаметр в основании составил 1 м. При температуре 215°C выделялся метан, осаждались тальк и кремнезём при pH раствора 5.8. Струи флюида были прозрачными, отложения таль-

ка имели светлый зеленоватый оттенок. Кроме того, были обнаружены конические холмы диаметром до 150 м и высотой до 75 м, сложенные на 85–90 % тальком. Это совершенно новый, ранее неизвестный минеральный тип придонных гидротермальных построек.

В настоящее время в пределах РРР со многих рудных полей были подняты тальковые гидротермальные постройки размером до 70 см. Тальк в них часто сопровождается минералами группы атакамита и/или гидроксидами железа и опалом, реже халькопиритом, сульфидами меди и пиритом.

На рудном поле Молодёжное в западном борту рифтовой долины были выявлены *тальк-опаловые* многоканальные постройки, фактически белые курильщики, в которых опал преобладает (рис. 9). Эти постройки насыщены фораминиферами, полностью замещёнными опалом и тальком, содержат включения свеже-



Рис. 8. Баритовая постройка, поднятая на станции 39L203g

Fig. 8. Barite structure raised at station 39L203g



Рис. 9. Многоканальная тальк-опаловая постройка. Рудное поле Молодёжное. Станция 41L159d

Fig. 9. Multichannel talc-opal structure. Molodezhnoye ore field. Station 41L159d

го вулканического стекла и пироксенов. На внутренних стенках каналов на завершающей гидротермальной стадии отложились налёты железомарганцевых минералов. Фрагменты постройки были изучены в спилах под сканирующим электронным микроскопом с определением элементного химического состава.

На юго-западном склоне горы, на $17^{\circ} 09'$ с. ш., в пределах рудного поля Победа была поднята небольшая труба белого курильщика опал-талькового состава, с преобладанием талька. В её наружной стенке наблюдаются замещённые тальком фораминиферы (рис. 10).

Таким образом, как минимум 7 разновидностей белых курильщиков уже выявлены (карбонатные, ангидритовые, баритовые, тальковые, тальк-опаловые, опал-тальковые, брусит-арAGONит-кальцитовые). Не исключено, что дальнейшие исследования приведут к открытию новых разновидностей.

В восточном борту рифтовой долины вне рудных полей, в координатах $17^{\circ} 54'$ с. ш. и $45^{\circ} 35'$ з. д. с глубины 3.3 км были подняты **зеленовато-белые курильщики**, которые реже, чем чёрные и белые, имеют формы труб. Такие постройки представлены двумя минеральными разновидностями — атакмит-тальковой (рис. 11) и атакмит-арAGONитовой (рис. 12).



Рис. 10. Полая труба опал-талькового состава. Станция 37L107k

Fig. 10. Hollow tube of opal-talc composition. Station 37L107k



Рис. 11. Гидротермальная атакмит-тальковая постройка с гидроксидами железа (бурое). Станция 36L241d

Fig. 11. Hydrothermal atacamite-talc structure with iron hydroxides (brown). Station 36L241d

На дне наблюдаются участки, где БКО пропитаны флюидами, несущими минералы группы атакмита. В них выявлено большое количество псевдоморфоз этих минералов по фораминиферам и трубкам червей. При движении аппаратуры над такими осадками поднимается их взвесь, окрашенная в характерные голубовато-зелёные тона. В составе атакмит-тальковой минерализации установлено высокое содержание Co — более 1 кг/т, Cu — более 8 кг/т и Cr — более 1 кг/т, а также присутствие Zn — более 200 г/т и Ni — более 600 г/т. И если медь содержат минералы группы атакмита, то присутствие Zn, Ni и высокие содержания Co и Cr, возможно, связаны с наноразмерными фазами этих элементов.

Постройка атакмит-арAGONитового состава, имеющая форму полой трубы, поднята на склоне подвальной горы $14^{\circ} 40'$. Стенки трубы сложены радиально-лучистым арагонитом с минералами группы атакмита и магнетитом. Необычным тут является тесное срастание низкотемпературного арагонита с магнетитом (рис. 12).

Зелёные курильщики сложены минералами группы атакмита, их трубы были подняты на рудных полях Ашадзе-2 и Петербургское (рис. 13). На поле Ашадзе-2 это были полые трубы, как одиночные, так и сросшиеся, причём пересекающиеся. Пересечение двух труб возможно лишь в рыхлых осадках, о чём и свидетельствуют многочисленные псевдоморфозы по фораминиферам, наблюдаемые в стенках труб.

На рудном поле Петербургское зелёный курильщик представлен запечатанной трубой, сложенной почти нацело ассоциацией атакмита с паратакмитом (рис. 14). Точный минеральный состав получен с использованием рентгенофазового метода.

Одним из наиболее интересных открытий в пределах РРР является находка построек и труб **оранжевых курильщиков**, сложенных нацело оксигидроксидами железа или в сочетании с железомарганцевыми оксидами. Важно отметить, что оксигидроксиды железа

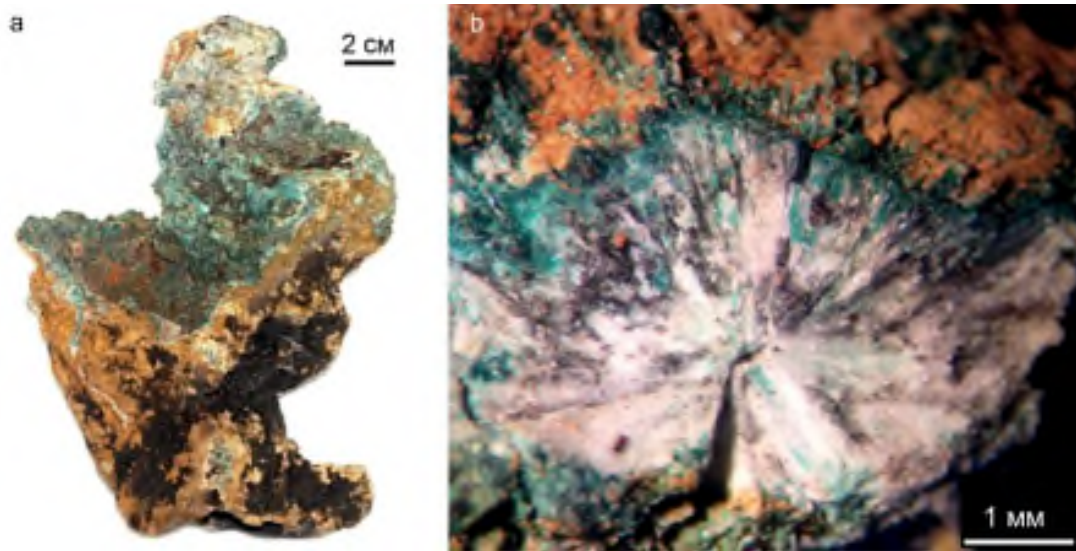


Рис. 12. Атакамит-арагонитовая постройка, станция 39L211d: а — форма с полым каналом, наружные стенки покрыты корочкой гётита (бурое) и минералами марганца (чёрное); б — радиально-лучистый арагонит с включениями магнетита (чёрное), атакамита (зеленое) и налётом оксигидроксидов железа (бурое). Увеличенный фрагмент торца стенки атакамит-арагонитовой постройки

Fig. 12. Atacamite-aragonite structure, station 39L211d: a — a form with a hollow channel, the outer walls are covered with a crust of goethite (brown) and manganese minerals (black); b — radial-rayed aragonite with inclusions of magnetite (black), atacamite (green) and a coating of iron oxyhydroxides (brown). Enlarged fragment of the end wall of the atacamite-aragonite structure

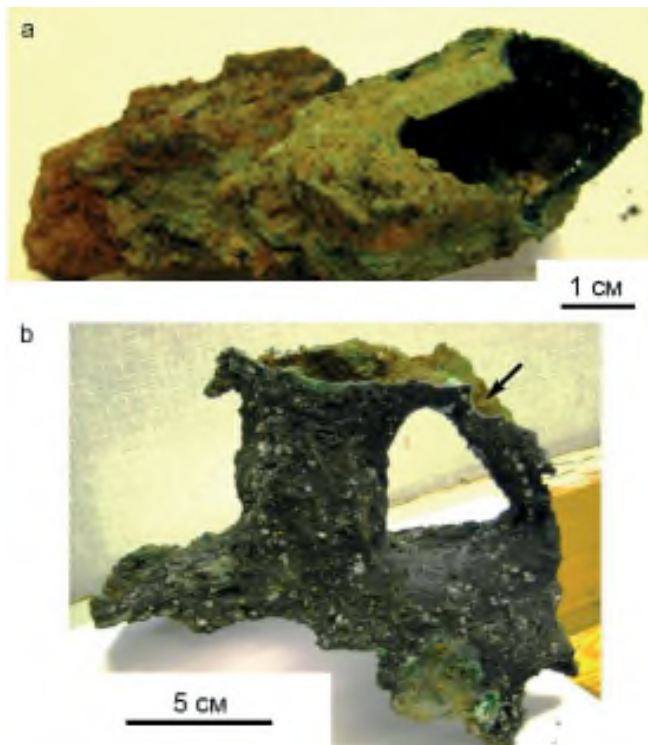


Рис. 13. Полая труба зелёного курильщика, сложенная минералами группы атакамита и оксигидроксидами железа (а), и сросток двух полых пересекающихся труб зелёного курильщика с реликтами замещенных фораминифер и налетом на стенках минералов марганца (черное). Стрелкой показан фрагмент трубы со сломанной стенкой (б). Рудное поле Ашадзе-2. Станция 30L233k

Fig. 13. A hollow chimney of a green smoker composed of atacamite group minerals and iron oxyhydroxides (a), and a splice of two hollow intersecting chimneys of a green smoker with relics of replaced foraminifera and a coating of manganese minerals on the walls (black), the arrow shows a fragment of a chimney with a broken wall (b). Ashadze-2 ore field. Station 30L233k



Рис. 14. Атакамит-паратакамитовая запечатанная труба. Рудное поле Петербургское. Станция 33L159g

Fig. 14. Atacamite-paratakamite tube without hollow channel. Petersburgskoe ore field. Station 33L159g

отлагались непосредственно из гидротермальных растворов и не имеют отношения к окислению сульфидов.

В восточном борту рифтовой долины, на рудном поле Зенит-Виктория и в кальдере подводного вулкана Пюи де Фоль, наблюдались и были подняты полые открытые и запечатанные трубы гидроксидов железа (рис. 15).

Почему курильщики именно оранжевые? В 1961 г. геолог К. К. Зеленов наблюдал подводное изверже-

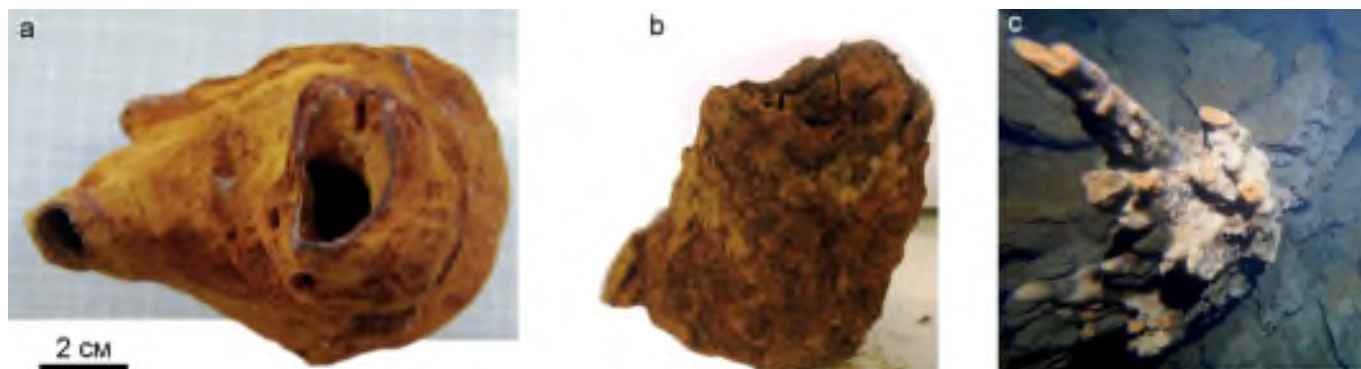


Рис. 15. Оранжевые курильщики: а — сроссток двух полых труб, состоящих из порошковых оксигидроксидов железа с бактериоморфными структурами, и концентрически-зональный прожилкок аморфного железосилиевого вещества (тёмно-коричневое), служащего каркасом, станция 31L347k; б — полая труба, сложенная порошкoватыми гидроксидами железа с бактериоморфными структурами, станция 33L063g; с — сроссток запечатанных труб оксигидроксидов железа с минералами марганца, фрагмент фотопрофиля дна на станции 45L013t, рудное поле Пюи де Фоль

Fig. 15. Orange smokers: a — intergrowth of two hollow pipes consisting of powdered iron oxyhydroxides with bacteriomorphic structures and concentric veins of amorphous iron-silicon substance (dark brown), serving as a framework, station 31L347k; b — hollow pipe composed of powdered iron hydroxides with bacteriomorphic structures, station 33L063g; c — intergrowth of sealed pipes of iron oxyhydroxides with manganese minerals, fragment of photoprofile of the bottom at station 45L013t, Puy de Fol ore field



Рис. 16. Вертикальная и горизонтальная (показана стрелкой) трубы железомарганцевого состава: а — общий вид; фрагменты вертикальной (б) и горизонтальной (с) труб. Рудное поле Холмистое

Fig. 16. Vertical and horizontal (shown by arrow) pipes of ferromanganese composition: a — general view; fragments of vertical (b) and horizontal (c) pipes. Kholmistoye ore field

ние вулкана Бану-Вуху (Индонезия) и обратил внимание, что из подводных фумарол поднимается муровая струя воды, которая, достигая 1 м над дном, начинает мутнеть, приобретать оранжевый цвет вследствие выпадения из неё гидроксидов железа. Последние при осаждении на свежих базальтах образовывали в основании плотные, легко ломающиеся сизо-чёрные корки железомарганцевого состава (Зеленов, 1965).

В восточном борту рифтовой долины на рудном поле Холмистое нами были выявлены значительные площади развития железомарганцевых образований, в том числе и неактивных труб оранжевых курильщиков. По минеральному составу трубы рудного поля Холмистое аналогичны железомарганцевым конкрециям Тихого океана.

Опробование труб оранжевых курильщиков рудного поля Холмистое проводилось с борта океанографического судна «Янтарь» с помощью подводного необитаемого аппарата. Трубы отбирались манипулятором при видеонаблюдении с борта судна (рис. 16).

Подобные постройки в Атлантике ранее не были известны, и все находки железомарганцевых образований были представлены корками и конкрециями, о генезисе которых споры не прекращаются по настоящее время. Анализы железомарганцевых труб и построек, поднятых на рудном поле Холмистое, показали высокие содержания Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Pb, а также повышенное содержание в них редкоземельных элементов. Выявленные с помощью видео большие площади распространения железомарганцевых труб и построек на склонах и вершинах холмов в восточном борту рифтовой долины в районе 17–18° с. ш. позволяют сделать вывод об уникальном новом типе гидротермальных рудных образований, обогащенных Cu, Zn, Co, Ni, Sr и редкоземельными элементами. Холмы исследуемого участка расположены на глубине 2.5–3 км и связаны с молодым вулканизмом взрывного типа, о чём свидетельствуют поднятые пирокластические породы. Склоны и вершины холмов сложены железомарганцевыми постройками и трубами, отлагавшимися в гидротермальную стадию, последовавшую за вулканической.



Выводы

Трубы чёрных курильщиков (глубоководных полиметаллических сульфидов) формируются при выходе сфокусированного источника флюидов из подстилающих пород, перекрытых осадками, непосредственно в океанскую воду и составляют ничтожно малую долю (менее 1 %) от общей массы ГПС. В основании труб чёрных курильщиков всегда видны реликты изменённых осадков.

Белые и цветные трубы курильщиков представляют не только минералогический интерес, а также позволяют познать процессы эндогенной дегазации на дне океана и оценить потенциальную рудоносность этого типа придонных гидротермальных построек.

К настоящему времени на дне Атлантического океана в пределах РРР САХ известно пять цветовых разновидностей курильщиков: чёрные, белые, зеленовато-белые, зелёные, оранжевые. В каждой цветовой разновидности выделяется несколько типов по минеральному составу.

Помимо глубоководных сульфидных оруденений выявлено два ранее неизвестных здесь попутных типа минерального сырья: сырьё на медь постройки минералов группы атакамита и сырьё на Fe, Mn и редкие земли (железомарганцевые образования).

Образование глубоководных полиметаллических сульфидов наблюдается только там, где есть осадки, которые служат биохимическим барьером для осаждения сульфидов.

Литература / References

- Арсанова Г. И. Вода гидротерм вулканических областей: метеорная или вулканическая? // Пространство и Время: Альманах: Электронное научное издание. Т. 1. Вып. 1. 2012. С. 1–12.
 Arsanova G. I. Water of hydrotherms from volcanic regions: meteoric or volcanic? Electronic scientific publi-

cation Almanac Space and Time. V. 1, 1, 2012, pp. 1–12. (in Russian)

Арсанова Г. И. Сверхкритическое состояние воды как причина геологических явлений // Earth Sciences. The scientific heritage, 2020. № 45. С. 7–17.

Arsanova G. I. Supercritical state of water as a cause of geological phenomena. Earth Sciences. The scientific heritage, 2020, No. 45, pp. 7–17. (in Russian)

Богданов Ю. А. Гидротермальный рудогенез океанского дна. М.: Наука, 2006. 527 с.

Bogdanov Yu. A. Hydrothermal ore genesis of the ocean floor. Moscow: Nauka, 2006, 527 p. (in Russian)

Зеленов К. К. Некоторые особенности подводного вулканизма на примере вулкана Бану Вуху (Индонезия) // Вулканогенно-осадочные формации и полезные ископаемые. М: Наука, 1965. С. 19–26.

Zelenov K. K. Some peculiarities of underwater volcanism on the example of the Banu Wuhu volcano (Indonesia). Volcanogenic-sedimentary formations and useful minerals. Moscow: Nauka, 1965, pp. 19–26. (in Russian)

Силаев В. И., Добрецова И. В., Антошкина А. И., Филиппов В. Н., Макеев Б. А., Смолева И. В., Хазов А. Ф. Гидротермальные сульфидные оруденения в Российском разведочном районе Срединно-Атлантического хребта // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении: Научные чтения памяти П. Н. Чирвинского. Вып. 25. Пермь, 2022. С. 226–238.

Silaev V. I., Dobretsova I. V., Antoshkina A. I., Filippov V. N., Makeev B. A., Smoleva I. V., Khazov A. F. Hydrothermal sulfide mineralizations in the Russian exploration area of the Mid-Atlantic Ridge. Problems of mineralogy, petrography and metallogeny. Scientific readings in memory of P. N. Chirvinsky. Issue 25. Perm, 2022, pp. 226–238. (in Russian)

Hodgkinson M. R. S., Webber A. P., Roberts S., Mills R. A., Connelly D. P., Murtom B. J. Talc-dominated sea floor deposits reveal a new class of hydrothermal system // Nature Communications, 2015. V. 6. No. 1. P. 1–11.

Поступила в редакцию / Received 17.08.2024