

С.В. Нечаев

Киев

ОСОБЕННОСТИ МЕТАЛЛОГЕНИИ ОБЛАСТИ СТЫКОВКИ КОНТИНЕНТАЛЬНОГО И ОКЕАНИЧЕСКОГО СЕГМЕНТОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ – СЕВЕРНЫХ ЧАСТЕЙ АФРИКАНСКОГО РОГА И ИНДИЙСКОГО ОКЕАНА

Цель. Обсуждение геологических обстановок структур Африканского Рога и Аравийско-Индийского срединноокеанического хребта.

Методика. Комплексная интерпретация и сопоставление данных по составу донных осадков, полученных в 19 рейсе НИС «Академик Вернадский», а также опубликованных впоследствии.

Результаты. Установлено, что особенности металлогении континентального и океанического сегментов земной коры в области тектонической стыковки Африканского Рога и дна Индийского океана определяются двумя циклами концентрации марганца, меди и олова – раннепалеозойским и антропогеновым.

Научная новизна. С позиций теории геохимических циклов объяснены особенности металлогении области стыка континентального и океанического сегментов земной коры.

Практическая значимость. В связи с возросшим значением геологических поисковых исследований дна океана сформулированы важные конкретные рекомендации по определению зон поиска определенных рудных проявлений.

Ключевые слова: геохимические циклы, биогенные осадки, олово.

Введение

Предыстория данной статьи не совсем обычна. В 1967 году при драгировании подводного хребта Карлсберг – северо-западного фланга Аравийско-Индийского хребта (АИХ) были подняты серпентинизированные перидотиты с касситеритом [13] – ассоциация, в парагенетическом смысле, скажем прямо – нетрадиционная, даже «запрещенная». Позже появилась публикация тех же авторов «О роли мантийных источников рудного вещества в формировании и размещении некоторых месторождений полезных ископаемых». Согласно последней: «... в узколокальных зонах срединно-океанических хребтов с блоками субконтинентальной коры отмечается частичная реализация заложенных в мантии Земли потенциальных возможностей источника рудного вещества ... экстрагируют-

© С.В. НЕЧАЕВ, 2017

ся при этом не только халькофильные, но и литофильные рудные элементы, в общем не свойственные основному магматизму» [1, с. 19].

Однако, кроме только визуального восприятия пространственного сонахождения олово- и меднорудной минерализации с выявленными драгированием ультрабазитами, тяготеющими к пересечениям рифтовой долины АИХ трансформными разломами, доказательная аргументация «заложённых в мантии потенциальных возможностей» отсутствует. Обмен вещества между земной корой и «мантийными флюидами», равно как и индикация природы последних, не установлены, при том, что состав мантии просто идентифицируется с породами ультраосновного состава.

Напомним – еще в 1924 году В.И. Вернадский в знаменитых «Очерках геохимии» сформулировал главные положения теории геохимических циклов, показав, что основной областью обмена веществ, геохимических циклов является земная кора: «История большинства химических элементов в земной коре ... характеризуется замкнутыми круговыми процессами ... Земная кора является самодовлеющим целым, обладает определенной организованностью, автаркией; процессы в ней начинаются и в ней кончаются» [2].

В 1976 году по предложению руководства Мингео СССР состоялась планируемая на три года командировка автора в Сомалийскую Демократическую Республику (СДР). В связи с подготовкой к работе в этой стране Советской геологической экспедиции (СГЭ) требовался, прежде всего, аналитический обзор состояния минерально-сырьевой базы.

При активном содействии руководителя Министерства минеральных и водных ресурсов СДР джалли Хусейн Шейх Абдулкадр Кассима был обеспечен доступ ко всей имеющейся в Министерстве информации, а также передвижение, с начала января по март 1977 года, по территории страны с целью знакомства с геологией районов, интересующих сомалийскую сторону.

Информация Е.Ф. Шнюкова о планируемом рейсе научно-исследовательского судна (НИС) «Академик Вернадский» АНУ «к берегам Сомали» инициировала согласование с местной властью сухопутного геологического маршрута, начиная от порта Бербера в Аденском заливе до Кисмаю на экваториальном побережье Индийского океана.

Но... Начало работ геологической экспедиции совпало с обострением сомалийско-эфиопского конфликта, переросшим в войну и приведшим к расторжению в ноябре 1977 года всех отношений с СССР.

Об итогах 19-го рейса НИС «Академик Вернадский», состоявшегося в конце 1978 – начале 1979 г. довелось узнать из предложенной на рецензию в конце 1983 года монографии «Геология и металлогения северной и экваториальной частей Индийского океана» [12].

19-й рейс НИС «Академик Вернадский» являлся комплексным геолого-геофизическим, и станции драгировок были приурочены преимущественно к стыкам осевого рифта АИХ с трансформными разломами, а основой для построения геологических разрезов земной коры служила плотностная модель. Вместе с тем, руководитель исследований геологического направления Е.Ф. Шнюков четко определял целевое назначение рейса: изучение особенностей геологического строения и эволюции блоков земной коры, являющихся контролирующими факторами развития эндогенных и экзогенных процессов, фациальной и геохимической специализации пород и осадков и в конечном итоге – рудообразования.

Исходя из реальности литосферных плит, сложенных как континентальной, так и океанической земной корой [10], главное внимание в предлагаемой статье сосредоточено на геологических обстановках сопредельных структур – Африканского Рога и Аравийско-Индийского срединноокеанического хребта. Представление о характере коры в области их стыковки основаны на данных опубликованной в 1973 г. работы «Структура и вопросы связи континентального и океанического сегментов земной коры в районе Восточной Африки» [6].

В противовес рассуждениям и умозаключениям о «металлоносных мантийных флюидах», на вполне конкретных фактах рассмотрены потенциальные возможности источника рудного вещества, заложенные в надкларковых содержаниях рудогенных элементов в горных породах.

Именно в этом аспекте внимание привлекли выявленное в результате 19-го рейса высокоаномальное содержание олова в биогенных илах, наибольшие концентрации которого обусловлены раковинами вида *Globorotalia menardii*. Содержание в них Sn ($350 \cdot 10^{-3} \%$) на два порядка (!) превышает его кларк для осадочных пород ($1 \cdot 10^{-3} \%$).

Чтобы оценить значение этого, прошедшего незамеченным (?), открытия, напомним: в современной мировой практике нижний предел содержания Sn в упорных рудах составляет 0,2 % мас, а касситерита в оловоносных песках – 150 г/м³ [5].

Констатированное в монографии [12] явление – химический состав осадков дна океана регулируется биогенным чудом природы, а не «мантийными флюидами» – согласуется с учением В.И. Вернадского: «Биогенные породы идут далеко за пределы биосферы ... Гранитная оболочка Земли есть область былых биосфер» [3, стр. 325].

Именно В.И. Вернадский также впервые обосновал особое значение воды в геологических процессах. Вода не только связывает все оболочки земной коры, гидросферы и атмосферы, являясь переносчиком химических элементов, определяя их миграцию, рассеяние и концентрацию, но и определяет условия существования и развития живого вещества, всей биосферы. Вода – это самый активный и подвижный компонент верхних оболочек нашей планеты, а закономерности формирования химического состава земной коры не могут быть поняты без учета геологической деятельности живого вещества. При этом подчеркивается, что вода, которая определяет механизм всей биосферы, регулирует геолого-геохимические циклы земной коры.

Гетерогенность и масштабы рассматриваемых структур дали основание впервые анализировать имеющиеся факты с позиций учения В.И. Вернадского о геохимическом круговороте элементов – геохимических циклах, в которых участвует все вещество земной коры, но в разных масштабах и с различной интенсивностью. На фоне глобального цикла присутствуют многочисленные более локальные перемещения вещества – это «метки» геологических событий, включая тектоорогенические этапы. В локальных геохимических циклах разного порядка на отдельных участках может происходить концентрирование отдельных элементов или их групп.

Процессы вовлечения химических элементов в миграцию по своей природе различны – как эндо-, так и экзогенные, при том – полицикличны.

Результаты обстоятельного анализа фактического материала не оправдывают реальность концепции «мантийных источников рудного вещества», но полнос-

тью согласуются с учением В. И. Вернадского о круговороте вещества земной коры – геохимических циклах.

Континентальный сегмент

Металлоносность сегмента определяют разномасштабные концентрации марганца (Mn), меди (Cu) и олова (Sn) в северной части Африканского Рога в пределах восточного фланга Аденской [7] или Северносомалийской [9] структурно-фациальной зоны (рис. 1). Западный фланг этой зоны примыкает к Красноморско-Индокоеанскому линеаменту, простирающемуся параллельно АИХ.

К юго-западу от порта Бербера В.Е. Хаин усматривает наличие реликтов океанской коры [9]. В обнаженной реальности здесь отчетливо проявлен надвиго-поддвиговый стиль тектоники с красноморским простиранием при северо-восточно-субмеридиональном направлении падения плоскостей сместителей. Последнее согласуется с вектором «абсолютных» движений Африканской и Аравийской литосферных плит [10].

Восточный фланг Аденской зоны представляет собой широтно ориентированную антиформу протяженностью 250 км и шириной до 20 км, сложенную неметаморфизованными флишоидами серии Инда Ад кембрийского возраста [7], интродуцированными габброидно-гранитоидным плутоном Лас Бар. Проанализированные в ИГФМ НАНУ калий-аргоновым методом пробы пород зафиксировали изотопный возраст (млн лет): гранитоида гранодиоритового состава – 515 ± 25 , мусковита из оловорудного пегматита – 500, тогда как биотитового роговика из экзоконтакта касситерит-кварцевых жил со сланцами серии Инда Ад – 415.

Особенность названной серии – стратифицированная марганцево- и меднорудная минерализация, проявленная в западной части антиформы, тогда как оловорудный район расположен в восточной (см. рис. 1).

Тонкослоистые аргиллиты мощностью до нескольких сотен метров имеют повышенное до 1–2 % мас. содержание Mn, а редкие прослои – до 15–20 % [7]. Согласно этим же данным, в 12 км от Аденского побережья находится месторождение Кудут, представленное массивными метасоматическими залежами пиролюзит-браунитового состава, в их брекчированных разностях содержание оксидов Mn достигает 33–45 %.

В плане данной статьи (и одного из целевых заданий 19-го рейса – исследование марганцевых конкреций на дне Индийского океана) Mn специализация отложений серии Инда Ад рассматривается как представляющая раннепалеозойский геохимический цикл концентрации элемента.

То же относится к меди. Прослои пород с медной минерализацией (малахит, тенорит) прослежены на всю 12-километровую ширину обнаженных пород серии Инда Ад с особо выделяющейся ассоциацией («свитой» [7]) туфогенных песчаников, переслаивающихся с кремнистыми алевролитами. В месторождении Сейнат, расположенном в 10 км от Аденского побережья, содержание Cu в бороздовых пробах, отобранных на дневной поверхности, колеблется от 0,2 до 2–3 % мас.

В оловорудном районе известны два месторождения – Маджиян и в 30 км западнее – Далан. Их оценкой занималась Сомалийско-Болгарская экспедиция, возглавляемая Тодором Владовым, благодаря которому состоялось довольно об-

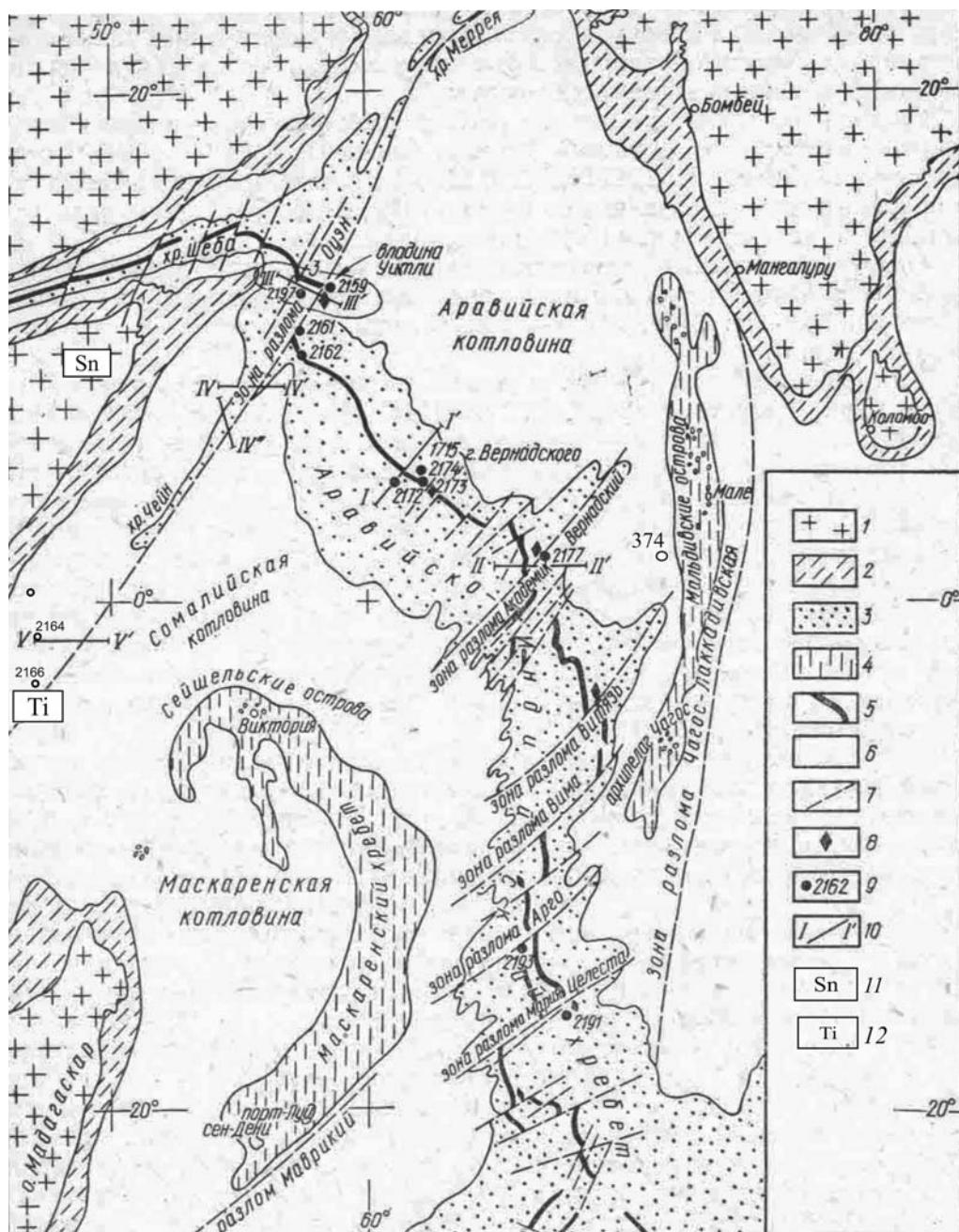


Рис. 1. Тектоническая схема Аравийско-Индийского хребта [12]: 1 – области континентальной коры; 2 – шельфовые зоны; 3 – срединно-океанические хребты; 4 – асейсмические хребты; 5 – рифтовая долина; 6 – океанические котловины; 7 – трансформные разломы; 8 – установленные драгированием ультрабазиты; 9 – станции драгирования и их номера (19-й рейс НИС «Академик Вернадский»); 10 – положение профилей, вдоль которых составлены плотностные разрезы, 11 – оловорудный район на Африканском Роге; 12 – титаноносные россыпи на побережье океана, район Кисмаю



Фото 1. Месторождение Маджиян. Дальний план — серия Инда Ад в поднадвиговой зоне (ниже двух вершин); передний — сохранившаяся база итальянской компании «Комина»

Фото 2. Месторождение Далан. У входа в штольню, вкрывшую в габброидах плутона Лас Бар кварцевые жилы с касситеритом; Тодор Владов (в кепке) с болгарскими проходчиками

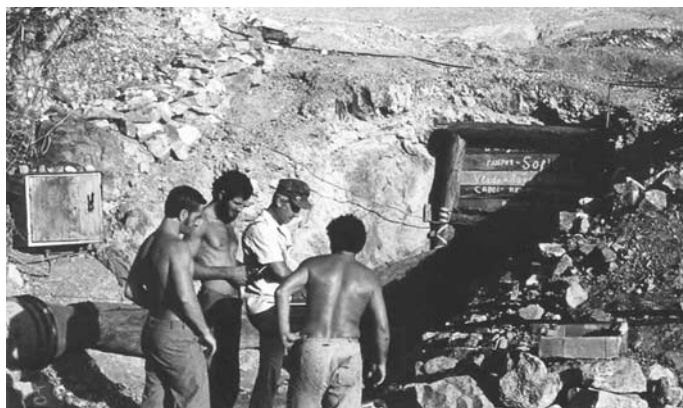


Фото 3. Ручная рудоразборка дезинтегрированных оловорудных пегматитов; слева — сомалийский рабочий с обломком кристалла касситерита

стоятельное знакомство с малоизвестным оловорудным районом и названными месторождениями (фото 1–4).

Разработка месторождения Маджиян еще в колониальные годы осуществлялась итальянской компанией «Комина» и прекращена накануне Второй мировой войны. Следы деятельности «Комины» очевидны: отвалы горных выработок, развалины обогатительного цеха и насыпи добытой руды.

В рудном поле месторождения Маджиян площадью 2,5x0,8 км выделено пять зон оловорудной минерализации, представленных кварц-полевошпатовыми, обычно грейзенизированными, трещинными жилами мощностью 0,2–1,0 м, про-



Фото 4. Касситерит из месторождения Далан: монокристаллы из пегматита (справа) и друза из кварцевой жилы, вскрытой штольней (слева). Масштаб – спичечный коробок (в центре)

Фото 5. На переднем плане слева – черные титаноносные пески в волноприбойной зоне экваториального побережья Индийского океана (район порта Кисмаю). Январь – февраль 1977 г.



тяжностью 500–700 м, секущими переслаивающиеся сланцы и кварцито-песчаники серии Инда Ад.

Касситерит в жилах мелкокристаллический, как рассеянный, так и образующий индивидуальные сегрегации; содержание его на рудную массу относительно высокое по объему – обычно до 1 % и локально – до 3–5 % по данным «Комины».

Основное внимание болгарских специалистов сосредоточилось на рудном поле Далан, в отличие от Маджиян, приуроченном к породам плутона Лас Бар. Здесь определилась площадь около 36 кв. км с центральной частью 9 кв. км, в пределах которой находились коренные рудные тела и россыпи. По данным шливовой съемки, содержание в пробах касситерита не было представительным, поскольку опробовалась поверхностная часть рыхлых отложений, но проходкой шурфов до плотика были установлены высокие содержания минерала, причем в 2 км ниже известной главной россыпи рудного поля. О значительном механическом перемещении касситерита от коренного источника свидетельствовали нерализованные данные «Комины» о находках минерала в песках Аденского побережья, а это – 40 км. Указывались, кроме того, два небольших сухих речных русла («уади»), выполненные аллювием, дренирующим оловорудный район и достигающие побережья.

Неожиданным оказался применяемый болгарскими геологами поисковый «первый признак» коренных руд – отсутствие касситерита (!!) в обнажающихся кварцевых жилах. Явление, как выяснилось, связанное с селективным извлечением минерала, но без ответа кем и когда?

Для убедительности «первого признака» мы посетили штольню «Sofia-1» (см. фото 2), пройденную под «пустые» на дневной поверхности кварцевые жилы, и вскрывшую в этих жилах оловорудную минерализацию даже на незначительной глубине от дневной поверхности. Неравномерно рассеянный в кварце мелкокристаллический касситерит в зальбандах жил с мусковитовой оторочкой переходил в сегрегационные сростки и друзы кристаллов (см. фото 4).

Естественно возникал вопрос о связи оруденения с плутоном — другие варианты не просматривались.

На площади около 110 кв. км обнажены роговообманково-биотитовые гранодиориты плутона Лас Бар, вдоль западной периферии которого локализованы мелкие (до 80x120 м) тела габброидов, а в контуре плутона констатирован незаконномерный постепенный переход гранодиоритов в граниты. Отмечается спорадическая аутометасоматическая микроклинизация плагиоклаза, а также частично замещение биотита мусковитом в эндоконтактной зоне плутона.

Габброиды, сложенные плагиоклазом (андезин — лабрадор), пироксеном, роговой обманкой и биотитом, характеризуются типичной габбровой и габбро-офитовой структурой. Плагиоклаз иногда серицитизирован и пелитизирован, пироксен почти целиком замещен амфиболом, а разновеликие зерна роговой обманки частично биотитизированы; отмечается трансформация ромбоэдрических субпорфириновых индивидумов роговой обманки в агрегат биотита, эпидота и титанита. Дайковые породы, рассматриваемые как финальный продукт магматической дифференциации плутона, немногочисленны; они представлены роговообманково-биотито-кварцевым диоритом и гранодиорит-порфиритом. Кроме того, установлены дайки спессартитов и керсантитов, не имеющие доказательной связи с плутоном. Как считает Тодор Владов, помимо очевидного пространственного сонахождения оловорудной минерализации с плутоном, имеются геохимические признаки парагенетической их связи — высокоаномально содержание Sn в габбро и диоритах от 0,02 до 0,06 % мас в первых и 0,068 % мас (в среднем) во вторых.

Все это оказалось не просто интересным и поучительным. Но о скоплениях крупных кристаллов касситерита весом в десятки — до 80 кг в зоне поверхностной дезинтеграции пегматитовых тел довелось узнать впервые. На одном из участков разведки осуществлялась попутная примитивна ручная добыча рабочими сомалийцами (см. фото 3) обломков и монокристаллов касситерита весом до первых кг, на которые просто невозможно не обратить внимания. Один из таких монокристаллов — «на выбор» — был нам подарен и сохранился (фото 4).

В первом томе исследований немецкого географа Рихарда Хеннинга «Неведомые земли» — «Terra incognita» привлекла внимание цитата: «где молчат люди, заговорят камни» [11, с. 17]. Оказывается, ученые-египтологи вели весьма продолжительный спор о местонахождении загадочной страны Пунт, приводя самые различные аргументы, хотя сам Хеннинг был уверен, что под Пунтом древнее египтяне подразумевали «... современное Сомали, самую восточную оконечность Африки» [11, с. 23], а «одна из первых экспедиций в Пунт была отправлена фараоном IV династии — Снофру около 2900 г. до н.э. [11, с. 25]. К эпохе этой династии относятся «... самые древние изделия из несомненно испанской бронзы, найденные в Египте, в которой содержится еще слишком много олова (около 20 %)... Это — бронзовый посох из Медума, кольцо из Дашура и бронзовая бритва» [11, с. 454], хранящиеся в Каирском музее.

Как очевидно, экспедиция в Пунт, расположенный на Африканском Роге, не согласуется с «испанской бронзой». Доказательства «испанского» происхождения бронзы, стало быть и олова, отсутствуют, тогда как данные о добыче меди, необходимой для этого сплава, в эпоху Древнего царства (около 2800-2250 гг. до н.э.) из месторождений в египетских владениях известны и даже отмечено, что к середине 2-го тысячелетия до н.э. было выплавлено не менее 5,5 тыс. т меди [4, с. 293].

Не исключено, что и этот металл, хотя бы частично, происходит из Пунта.

Оловорудный район, как и меднорудный, вполне доступен. От побережья Аденского залива в гористую местность ведут караванные тропы от современных мелких портов-причалов у поселений Лас Хор и Босасо. По пути встречаются группы «ладанных деревьев», смолу которых «для благовоний» [11] привозили древние египтяне. И еще одна деталь. На пути от Босасо к участку разведки оловянных руд находится поселение Карин Кул, название которого в переводе с сомалийского определяется как «краска для глаз»: местные женщины используют для этого истертый до состояния черной пудры галенит – свинцовый блеск. Благо «косметическое сырье» в избытке находится в обнажающихся кварцевых, кальцитовых и баритовых жилах; только у Хеннинга подразумевалась сурьма, минералы которой в Сомали не известны.

Океанический сегмент

Металлоносность его согласуется с рудоэлементным составом континентального в пределах Африканского Рога – это Sn, Mn и Cu. Привязка геологических станций (ст.) с драгированным материалом для исследований океанического дна приведена на рис. 1.

Высококонтрастные геохимические аномалии Sn установлены в пробах осадочных отложений станций в зоне разлома Оуэн (ст. 2159 и 2197), в районе горы Вернадского (ст. 2173) и шельфовой зоны Мальдивских островов (ст. 374).

Следует отметить факт отсутствия среди отложений с аномальным содержанием Sn «мантийных» пород, кроме ст. 2159, где они представлены дресвой. И это единственная «зацепка» за какую-то, но явно не парагенетическую связь обнаруженного здесь ранее касситерита в серпентинизированных перидотитах [13]: в дресве опознаются смешанные осадки – биогенные фораминиферо-нанопланктонные илы с рифтогенным материалом [12].

Наиболее высокая точка, в которой были подняты Sn-аномальные донные осадки, глубина 1520 м (ст. 2177). Это плотные пески, состоящие на 70–95 % из фораминиферовых раковин, которые переслаиваются с песчано-алевролитовыми илами, состоящими на 70% из фораминифер. Аналогичные пески были подняты на ст. 2162 (глуб. 1615 м), что указывает на их развитие в «карманах» на склонах и плоских вершинах в наиболее высокой части АИХ. Поэтому не удивительна аномалия Sn в отложениях шельфовой зоны Мальдивских островов.

Обращает внимание аномальная оловоносность биогенного компонента осадка с весьма показательной концентрацией элемента в раковинах вида *Globorotalia menardii* – $350 \cdot 10^3$ %.

Магматические и метаморфические породы коренного дна представлены петротипами, как не известными в оловорудном районе на Африканском Роге, так и во многом сходными. К первым относятся ультраосновные. Все образцы драгированных ультрабазитов имеют явные следы тектонических движений в виде зер-

кал скольжения, брекчий с кальцитовым цементом и тектонитов, связанных с дислокационным метаморфизмом. Возраст перидотитов не превышает 20 млн лет. Ни в одной станции с биогеохимическими аномалиями Sn перидотиты не встречены.

Вторые петротипы представлены габброидами и долеритами. Габброиды секутся дайками и небольшими телами долеритов и мелкозернистых диорито-габбро. Непосредственно наблюдаемые взаимоотношения свидетельствуют о смене габброидов долеритами, включая претерпевшие зеленокаменные изменения.

Полностью измененные долериты подняты в северо-западной части АИХ, по широте – напротив оловорудного района (ст. 2162); преобладают существенно актинолитовые и хлоритовые парагенезисы. Метаморфические сланцы основного состава подняты в средней части АИХ вблизи разлома Вернадского (ст. 2177), где выявлены геохимические аномалии Sn в биогенных отложениях; сланцы представлены двумя минеральными разновидностями – титанит-актинолит-хлоритовой и титанит-хлоритовой. В статье [13] обращено внимание на поднятые с хребта Карлсберг сильно «озелененные» базальты и долериты с сульфидно-кварцевыми прожилками, содержащими до 5 % Cu.

На западном склоне АИХ (ст. 2176/1) подняты алевроито-пелитовые илы, в крупноалевритовой и песчанистой фракциях которых установлены сравнительно крупные угловатые и полуокатанные зерна минералов; при этом обращает внимание большое содержание слюд, особенно биотита. В нижней части разреза терригенные минералы представлены зернами кварца и плагиоклаза размером 0,35–0,8 мм; последняя ассоциация свидетельствует о континентальном ее источнике, а крупный размер зерен и плохая их окатанность – о короткой транспортировке.

Однозначно доказана природа выявленных 19-м рейсом повышенных концентраций TiO_2 в донных осадках Сомалийской котловины (см. рис. 1, ст. 2164 и 2166), куда в заметных количествах с турбидитовыми потоками поступает материал континентального происхождения со стороны Африки. В экваториальной части индоокеанского побережья автору довелось непосредственно участвовать в переоценке титаносных россыпей, рудные концентраты которых оказались преимущественно титаномагнетитовыми, а не ильменитовыми (согласно заключению экспертов ООН) [7]. Россыпи района Кисмаю в дельте р. Джуба, впадающей в океан, приурочены к четвертичным и современным береговым валам, включая зону прибоя (фото 5); указанные выше станции пробоотбора расположены напротив этого района (см. рис. 1). Очевидно, эти россыпи представляют собой промежуточный цикл концентрации титана на пути к следующему – в донных осадках океана.

Обсуждение

Как можно видеть (см. рис. 1), максимальное географическое сближение оловорудного района в континентальном сегмента с АИХ, где был обнаружен касситерит [13], намечается между меридианами 49^0 и 60^0 в.д. Таким образом определяется реальность тектонического сочленения шельфовой зоны острия Африканского Рога, включая о. Сокотра, с «узлом», образованным пересечением рифтовой долины АИХ трансформным разломом Оуэн (впадина Уитли).

Весьма примечательны поднятия океанического дна без магнитных аномалий, присущих АИХ, и границы континентального склона около о. Сокотра [13],

а также аналогия минералов в терригенных отложениях дна океана на западном склоне АИХ и в коренных диафторированных габброидах и гранитоидах оловорудного района: амфиболы, биотит, эпидот, хлорит, титанит.

Минералогический критерий подобия не должно игнорировать — здесь он очевиден, и поэтому не исключены коренные проявления оловорудной минерализации — касситерита — на восточном подводном продолжении Аденской зоны.

Помимо аргументации косвенной связи оловоносности в океаническом и континентальном сегментах земной коры, имеются и прямые свидетельства — аналитические данные о высокоаномальных содержаниях Sn в коренных габброидах и гранитоидах (диоритах) оловорудного района. Это явление, «не свойственное основному магматизму» [1, с. 19], оказывается реальным как прекурсор/предшественник месторождений олова и вольфрама [15], традиционно считавшихся ассоциирующими с лейкогранитами. При этом обращает внимание характер земной коры в рудных районах Средней Европы: ассинская геосинклиналь развивалась на границе кор континентального и океанического типов [14, 16].

К сожалению, ни зеленокаменно измененные диориты, ни сланцы основного состава, ни ультрабазиты, поднятые со дна океана, не имеют аналитических характеристик в части Sn.

Вместе с тем, петрографическими исследованиями установлено, что низкотемпературный динамотермальный метаморфизм диоритов и габбро имеет региональное развитие, хотя проявляется неравномерно и контролируется зонами расщепления, куда мог проникать в достаточном количестве водный флюид. При этом вполне естественна гидратация породообразующих силикатов и алюмосиликатов под воздействием океанической воды, обусловившей миграцию Sn, вынесенного из потенциально металлоносных пород.

Учитывая «подвижки» литосферных плит как мощнейший энергетический фактор, определяющий тепломассоперенос, а стало быть — и миграцию химических элементов, отпадает потребность в недоказуемой «частичной реализации» и т.д. [1, с. 19].

Источник Sn в океаническом сегменте усматривается нами в связи с каледонским тектоорогеническим этапом раннепалеозойского цикла, в породах, претерпевших зеленосланцевый метаморфизм на дне океана. В придонных осадках очевиден геохимический барьер, притом пространственно значительно более распространенный и явно стратифицированный как биогенный карбонатный компонент.

В результате 19-го рейса установлено, что одной из главных составляющих седиментационного материала в северной и экваториальной частях Индийского океана является биогенная, слагаемая в основном раковинами планктонных фораминифер. Наибольшая концентрация Sn ($350 \cdot 10^{-3} \%$ мас) обнаружена в раковинах вида *Globorotalia menardii*.

В Индийском океане этот вид распространен весьма широко и его раковины часто доминируют в биогенных илах. Такой же природы оловоносность установлена на северном фланге Восточноиндийского подводного хребта в Бенгальском заливе — вдоль меридиана 90^0 (ст. 2181 и 2184) [12, с. 109].

Результаты изучения химического состава раковин в разрезах колонок в разных седиментационных зонах океана показывают [12], что количественное содержание микроэлементов, входящих в состав раковин, отображает изменения

абиотических условий в определенные временные интервалы, в том числе эволюцию геохимической обстановки среды обитания в течение геологического времени. Если учесть, что стратификация голоцен-плейстоценовых отложений основана на периодических климатических изменениях, становится очевидным – изменение климата влияло и на геохимическую среду, а последняя отражалась на особенностях микроэлементного состава раковин фораминифер.

Так, во время оледенения позднего висконсина в карбонатном веществе раковин исчезли Ag, Bi, Sn, хотя выше и ниже по разрезу они встречаются; в период межледниковья позднего висконсина увеличилось содержание Ni, Zn, Cu, Pb, Ag, Bi, и количество Sn резко возросло.

По сути, речь идет о новейшем, фактически современном геохимическом цикле концентрации Sn с очевидным участием биогеохимических барьеров, возникающих на путях миграции или на границах их перехода от косного вещества к живому, и – наоборот: тяжелые элементы также либо поглощаются организмами и их остатками, либо сорбируются на глинистых частицах.

Анализируя карту-схему глобального размещения руд Sn [5], нельзя не обратить внимание на сосредоточенность главных мировых ресурсов и максимальную добычу олова в шельфовой и континентальной частях стран юго-восточной Азии (Индонезия, Малайзия, Тайланд). В зоне шельфа и континентального склона в экваториальной части Океании ведущую роль играют кайнозойские оловоносные россыпи, связанные с эрозией касситерито-кварцевого формационного типа минерализации в меридиональном мезо-кайнозойском поясе, продолжающемся на территорию Тайланда.

Снос материала в бенгальскую часть Индийского океана также, вероятно, предопределяет аномальную оловоносность фораминиферовых илов. При этом выявляется мезозойский эндогенный и кайнозойский экзогенный циклы концентрации Sn, предшествовавшие новейшему антропогенному его накоплению в биогенных илах.

Возвращаясь к биогенному карбонатному компоненту новейшего цикла Sn, обращает внимание отдаленное во времени его макрохимическое родство – кальциевая основа – с оловорудными стратифицированными горизонтами раннепалеозойского цикла в обрамлении Богемского/Чешского срединного массива [8, 9].

Различие состоит в том, что в зоне шельфа обычная морская вода, как известно, недосыщена CaCO_3 , и все отложение карбонатных пород идет через скелеты организмов, тогда как в континентальной части очевиден резкий контраст термодинамической обстановки.

В Европе претерпевшие каледонский региональный метаморфизм и биметасоматоз горизонты переслаивания карбонатных и силикатных отложений характеризуются типичной известково-скарновой минеральной ассоциацией: диопсид, волластонит, плагиоклаз, скаполит, андрадит-гроссуляровый гранат, нередко – более поздний эпидот.

Показательно, что на Африканском Роге, где метаморфизм флишоидов кембрийской серии Инда Ад ограничился маломощным ореолом экзоконтактовых биотитовых роговиков с низкопродуктивными трещинными кварцевыми жилами (рудное поле Маджиян), тогда как основной потенциал Sn оказался «законсервированным» в породах плутона Лас Бар и рудном поле Далан.

Ввиду физической неустойчивости, неметаморфизованные отложения серии Инда Ад вряд ли могли быть обнаружены драгированием океанического дна. Од-

нако, «отголосками» стратифицированного марганцевого и медного оруденения, к ней приуроченного, скорее всего, являются железомарганцевые конкреции в северо-западной и прилегающей экваториальной частях Индийского океана, выявленные в полях тектонически активной зоны АИХ и Сомалийской котловины [12]. Многопластовые конкреционные залежи, указывающие на значительно большие масштабы оруденения Mn, согласуются с высокой Mn-продуктивностью отложений серии Инда Ад.

На реальность преемственности/унаследованности указывают результаты изучения геохимических и генетических особенностей конкреций и вмещающих осадков, а также исследования биохимии жидкой фазы донных осадков в областях развития захороненных конкреционных прослоев, свидетельствующие о седиментационно-диагенетическом происхождении конкреций. При этом примечательно некоторое увеличение содержания Cu в конкрециях Сомалийской котловины [12].

Что касается распределения меди, то обособленность ее от остальных элементов, по-видимому, объясняется существованием сульфидных форм, возможность образования которых подтверждается наличием локальных участков с резко восстановительными условиями. Свидетельство: гидротермальное ремобилизованная халькопиритовая минерализация, установленная при опробовании пород дна океана [1, 4].

Выводы

1. Особенности металлогении континентального и океанического сегментов земной коры в области тектонической стыковки Африканского Рога и дна Индийского океана определяются двумя циклами концентрации марганца, меди и олова – раннепалеозойским и антропогеновым.

2. С первым циклом связана стратифицированная марганцево- и меднорудная минерализация во флишоидных кембрийских отложениях серии Инда Ад и оловорудная, обусловленная становлением габброидно-гранитоидного плутона Лас Бар с надкларковыми содержаниями Sn в породах и эпигенетическим оруденением каледонского тектоогенетического этапа.

3. В области тектонической стыковки вода океана обеспечила флюидный режим метаморфизма с выносом Sn из коренных пород дна, включающих аналоги потенциально продуктивных пород оловорудного района на Африканском Роге.

4. Второй цикл включает стратифицированную концентрацию Sn на биохимическом барьере – раковинах фораминифер, слагающих голоценовые и плейстоценовые отложения на дне океана; с этим же циклом связана реконцентрация марганцеворудной минерализации вплоть до новообразования конкреционных залежей, а также гидротермальное переотложение меди в сульфидной форме.

5. В более широком плане масса рудогенных элементов переносится через океан в литосферу, тогда как химический состав самого океана регулируется гравитационным, химическим и биогенным осаждением поступающего взвешенного и растворенного вещества.

Автор глубоко признателен профессору Георгию Борисовичу Наумову, сотруднику государственного геологического музея им. В.И. Вернадского РАН, известному специалисту в области геохимии процессов рудообразования и исследователю фундаментальных трудов В.И. Вернадского, за ценные советы, касающиеся современного применения идей Великого ученого.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барсуков В.Л., Дмитриев Л.В. О роли мантийных источников рудного вещества в формировании и размещении некоторых месторождений полезных ископаемых. *Геология руд месторождений*. 1975. № 4. С. 17–19.
2. Вернадский В.И. Очерки геохимии. Избр. сочинения. 1. М. –Л.: Изд. АН СССР, 1954. С. 11–392.
3. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Наука, 1965. 339 с.
4. Горная энциклопедия. М.: Советская энциклопедия. 2. 1986. 293 с.
5. Горная энциклопедия. М.: Советская энциклопедия. 3. С. 564–566.
6. Елизарьев Ю.З., Чиков Б.М. Структура и вопросы связи континентального и океанического сегментов земной коры в районе Восточной Африки. *Геология и геофизика*. 1973. № 7. С. 18–25.
7. Козеренко В.Н., Ларцев В.С., Савадский О.А. Минеральные ресурсы Сомали. Ученые записки Советско-Сомалийской экспедиции. М.: Наука. 1974. С. 332–359.
8. Нечаев С.В. Геолого-геохимическая природа оруденения в осадочном чехле западной части Восточно-Европейской платформы. Отв. ред. Шнюков Е.Ф. Киев: Наук. думка, 1978. 212 с.
9. Нечаев С.В. Структурно-возрастные соотношения комплексов докембрия Украинского щита и Чешского массива, некоторые геотектонические и металлогенические проблемы. *Геол. журнал*. 1981. 41. № 2. С. 38–50.
10. Хаин В.Е., Ломизе И.Т. Геотектоника с основами геодинамики. М.: МГУ. 1995. 559 с.
11. Хеннинг Р. Неведомые земли. М.: Изд. иностр. лит. 1961. 1. 515 с.
12. Шнюков Е.Ф., Старостенко В.И., Щербаков И.Б. и др. Геология и металлогения северной и экваториальной частей Индийского океана. Отв. ред. Шнюков Е.Ф. Киев: Наук. думка, 1984. 168 с.
13. Dmitriev L.V., Barsukov W.L., Udinzew G.B. Die Riftzonen des Ozeans und das Problem der Erzbildung. *Zeitschr.fur angew. Geol.* 1972. 18, №.3. P. 133–135.
14. Holub M., Tencik J. The pattern of the metallogenic development of the south-eastern part of the Bohemian massif and the significance in ore prospecting. The current metallogenic problems of Central Europe. Warsaw. 1976. P. 333–341.
15. Plimer J.R. Exhalative Sn and W deposits associated with mafic volcanism as precursors to Sn and W deposits associated with granites. *Miner.deposits*. 1980. 15. № 3. P. 275–289.
16. Weinhold G. Zur pravaristischen Vererzung im Erzgebirgskristallin und geotektonisch – magmatischen Entwicklung wahrend assyntisch-kaledonischen Ara. Freiberg. Forsch. 1977. 1. 53.

Статья поступила 25.01.2017.

С.В. Нечаев

ОСОБЛИВОСТІ МЕТАЛОГЕНІЇ ОБЛАСТІ СТИКУ КОНТИНЕНТАЛЬНОГО ТА ОКЕАНІЧНОГО СЕГМЕНТІВ ЗЕМНОЇ КОРИ – ПІВНІЧНИХ ЧАСТИН АФРИКАНСЬКОГО РОГУ Й ІНДІЙСЬКОГО ОКЕАНУ

Мета. Обговорення геологічних ситуацій структур Африканського Рогу і Аравійсько-Індійського серединно-океанічного хребта.

Методика. Комплексна інтерпретація і зіставлення даних за складом донних осадів, отриманих в 19 рейсі НДС «Академік Вернадський», а також опублікованих згодом.

Результати. Встановлено, що особливості металогенії континентального і океанічного сегментів земної кори в області тектонічного стику Африканського Рогу і дна Індійського океану визначаються двома циклами концентрації марганцю, міді та олова – ранньопалеозойським і антропогеновим.

Наукова новизна. З позицій теорії геохімічних циклів пояснено особливості металогенії області стику континентального і океанічного сегментів земної кори.

Практична значимість. У зв'язку з зростанням значення геологічних пошукових досліджень дна океану сформульовані важливі конкретні рекомендації щодо визначення зон пошуку певних рудних проявів.

Ключові слова: геохімічні цикли, біогенні осади, олово.

S.V. Nechaev

FEATURES OF METALLOGENY OF THE REGION OF JOINING CONTINENTAL AND OCEANIC SEGMENTS OF THE EARTH'S CRUST OF THE NORTHERN PARTS OF THE HORN OF AFRICA AND INDIAN OCEAN

Purpose. Discussion of the geological settings of the structures of the Horn of Africa and the Arabian-Indian mid-ocean ridge.

Methods. Complex interpretation and comparison of data on the composition of bottom sediments obtained in the 19th voyage of the R / V "Academician Vernadsky", as well as subsequently published.

Findings. It is established that the features of the metallogeny of the continental and oceanic segments of the earth's crust in the tectonic coupling area of the Horn of Africa and the bottom of the Indian Ocean are determined by two cycles of concentration of Manganese, Copper and Tin – by early Paleozoic and Anthropogenic.

Originality. From the standpoint of the theory of geochemical cycles, the features of metallogeny of the interface between the continental and oceanic segments of the earth's crust are explained.

Practical implications. In connection with the increased importance of geological prospecting studies of the ocean floor, important specific recommendations have been formulated for determining zones of search for certain ore occurrences.

Keywords: geochemical cycles, biogene sediments, Tin.