



Фото 3. Суцільна піритова руда з арсенопіритом, халькопіритом і піритом, які утворюють прожилкоподібні скупчення в центральній частині δS^{34} та елементи-домішки в досліджуваних ділянках

Діл. 1: δS^{34} піриту = -25,6 ‰;
 Au = 0,78 г/т;
 As = 700 г/т;
 Co = 78 г/т;
 Sb = 24 г/т

Діл. 2: δS^{34} арсенопіриту = -17,1 ‰;
 Au = 82 г/т;
 As = 700 г/т;
 Co = 6,9 г/т;
 Sb = 6 200 г/т

прожилкових руд. Як ілюстрацію, наведено дані по одному із зразків (фото 3).

Зразок представлений масивною осадовою піритовою рудою (конкрецією), в центральній частині якої, в зоні розвитку вуглистих сланців, відзначені прожилкові дані скупчення арсенопіриту і в незначному обсязі – халькопіриту та арсенопіриту. За даними ізотопного складу сірки визначено, що сірка арсенопіриту запозичена з осадового піриту. Разом з цим, чітко визначається різка збідненість піриту миш'яком – до 700 г/т при середньому для осадового піриту більше 2000 г/т. Аномально низький уміст миш'яку в осадовому піриті пояснюється його виносом при взаємодії з гідротермальним розчином.

Ураховуючи наявність вільної сірки й різкого геохімічного бар'єру – вуглистих сланців, є логічним відкладення арсенопіриту тут же [5].

Таким чином, результати геохімічних досліджень показали, що нарівні із сіркою в складі гідротермальних розчинів був привнесений кобальт і, очевидно, інші рудогенні елементи. Однак, миш'як і принаймні частина

золота були запозичені на місці формування прожилкових сульфідів і вмісних вуглистих сланців.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гейченко М. В., Герасимов Є. С., Всеволодський К. В. Роль сульфідної мінералізації у формуванні золото-срібних руд Нагольного кряжа (на прикладі Бобрівської Західної площі) // Мінеральні ресурси України. 2013. № 2. С. 12–18.
2. Герасимов Є. С. Геологічний звіт "Пошуково-оцінювальні роботи на золото-срібні руди в межах ділянки Бобрівська Західна". Київ: Фонди ДНВП "Геоінформ України", 2013. 308 с.
3. Волярович Г. П., Запри Н. М. Информационный отчет о геохимии изотопов серы Бобривского рудопоявления (Нагольный кряж). Москва: ЦНИГРИ, 1976. 62 с.
4. Ковальчук М. С. Морфология та хімічний склад золота з осадового чохла Українського щита // Геологічний журнал. 2003. № 3. С. 93–96.
5. Бабинін О. К., Гурський Д. С., Яценко Г. М. Нові дані про Клиничівське родовище золота // Мінеральні ресурси України. Київ, 1997. № 3. С. 7–10.

Рукопис отримано 22.10.2013.

УДК 551.72:549

А. Д. САВКО, д-р геол.-минерал. наук, професор, заведуючий кафедрой исторической геологии,
Л. Т. ШЕВЫРЕВ, д-р геол.-минерал. наук, ведущий научный сотрудник (НИИ геологии, Воронежский государственный университет, Россия)

ИСТОРИКО-МИНЕРАГЕНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АНОМАЛЬНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ РТУТИ В ЗЕМНОЙ КОРЕ

(Матеріал друкується мовою оригіналу)

Повышенные концентрации летучих элементов (Hg, Sb, As, Tl, Bi) приурочены к структурным формам, определившим делимость земной коры. Распределение соответствующих рудных объектов разных масштабов и возраста позволило подтвердить (в иных случаях, определить) положение крупнейших рудоконтролирующих структур, расшифровать хронологическую последовательность их становления, оценить глубинность. Предлагаемую серию статей открывает изложение результатов историко-минерогенического анализа применительно к ртутьносным объектам. Последним автор, указав соответствующую аргументацию, приписывает мезо-кайнозойский возраст. С использованием вновь созданной базы данных на континентах отрисованы две группы ртутьносных структур: линейных и очаговых (плюмы). Помимо подразделений Циркум-Тихоокеанского суперпояса, "линеамента Карпинского" в Предкавказье и Донбассе, среди них: пояса Уральский и Западного Средиземноморья, ртутьносные плюмы Центральной и Северной Европы, Центральной Азии (Киргизия, Таджикистан, Афганистан), Восточно-Китайский, Северо-Восточной Азии, Южноафриканский. Некоторые из них выделены впервые.

Anomalous concentrations of the volatile Hg, Sb, As, Tl, Bi tend to be located within the structural forms have been determined the tectonic blocking of the Earth crust. Areal distribution of the ore occurrences of the discrepant scales and ages let corroborate (sometimes disclose) position of the planetary rank ore-controlling structures as well as decipher their forming chronological successiveness and estimate deepness. This description of the historical-mineragenical analysis results for the mercury-ferrous objects opens the series of papers being undertaken. The authors prescribe to this Hg accumulations Mesozoic-Cenozoic ages predominantly. Two groups of the Hg-ferrous structures (lineal ones and "hearth" or plumes) are differed and aligned on the continents being founded upon the new database. Among them besides Circum-Pacific one and "Karpinsky lineament" of the Cis-Caucasus and Donets Basin are the Urals and Western European belts, plumes of Central-and-Northern Europe, Central Asia (Kyrgyzstan, Tajikistan, Afghanistan), Eastern Chinese, North-Eastern Asia, South Africa. Some of them are differed at the first time.

Постановка проблеми

Историческую минерогению традиционно интересует вопрос, когда и на каких

площадях поверхности Земли проявилась металлоносная флюидная активизация, сопровождаемая выбросом летучих элементов (Hg, Sb, As, Tl, Bi). Это явление,

описанное как “рассеянный рудогенез”, характеризовалось в работе [2, с. 235–237]. Его характеристика важна для оценок глубинности и механизма формирования скоплений благородных и цветных металлов. Выявление, оконтуривание разновозрастных историко-минерогенический провинций для каждого летучего элемента способно внести вклад в представления об эволюции планетарных полей тектонических напряжений и, следовательно, в прогнозирование аккумуляций полезных ископаемых. Летучие компоненты сложным образом сочетаются во флюидных эксгаляциях, тяготея к разным эпохам флюидогенеза. На Воронежской антеклизе ультратонкое золото в осадочном чехле обогащено помимо ртути таллием (до 18,914 % Tl), но также Sb, As, Bi [10]. О какой глубинности источников говорят такие сочетания элементов? Таллия больше всего в гранитном слое ($1,5 \cdot 10^{-4}$ %), базальтоидах его меньше ($2 \cdot 10^{-5}$ %), гипербазитах очень немного ($1 \cdot 10^{-6}$ %) [11]. Следовательно, можно полагать, в нашем регионе инициатором эксгаляционно-осадочного (рассеянного) рудогенеза в породах чехла была именно мантйная ртуть, мобилизованная при прохождении коровых уровней, в т. ч. многие металлы и прочие летучие. Юго-восток антеклизы по всей протяженности выходит к Донбассу, породы которого (карбон) аномально обогащены ртутью, иногда в сотни раз против кларка [19]. В осадочном чехле Центрального Черноземья кинноварь выявлена В. В. Ильяшом в аллювии р. Манина Калачеевского района. Ее находки известны и из аллювия липецкого отрезка р. Воронеж. О “мантйной” (особенно в сочетании с мантйным гелием и ^{40}Ar) ртути поговорим подробнее. Элемент

этот во многом уникальный. Вспомним свойственное ей легкое образование амальгам с благородными металлами (отчего ее алхимики полагали неперменной их составляющей), способность к кипению уже при $356,73^\circ\text{C}$, отвердению при $38,83^\circ\text{C}$ и т. д. Загадочность аккумуляциям ртути придает также невозможность датирования ртутных минералов изотопными методами, все семь изотопов Hg не радиоактивны.

Ртутоносные аккумуляции континентов и океана

В слое коры мощностью 1 км насчитывают 100 млрд т Hg, из которых в рудных месторождениях сконцентрировано только 0,02 % [14]. На Земле известны около 3 тыс. ртутоносных объектов разных масштабов, но с античных времен обрабатывались около 500. Кинноварь, один из 88 подтвержденных минералов ртути (еще два находятся на рассмотрении Комиссии по номенклатуре CNMNC), наиболее распространена. Она выявлена в 2 тыс. местонахождениях. Однако в **Лаки Бой** (Lucky Boy), штат Юта, основным рудным минералом оказался тиманнит HgSe . Этот ртутный рудник дал в 1880-е гг. около 250 бутылей ртути (стандартная ртутная бутылка – 34,5 кг) [15]. В **Сальфур-Банк** (Salphur Bank), Калифорния, горячие источники и ныне отлагают метациннабарит HgS (киноварь в эту высокотемпературную полиморфную разновидность переходит при $345 \pm 2^\circ\text{C}$, при $481 \pm 3^\circ\text{C}$ – в гиперциннабарит) и антимонит. Ресурсы ртути 7 тыс. т [2, с. 217, 218; 25, с. 359; 21]. В **Туминьико** (Tumínico Mine), Чили, кальцитовые жилы в амфиболитах среди мраморов содержат фазы $\text{Cd}-(\text{Cu})-\text{Hg}-\text{Se}$ и $(\text{Co}, \text{Ni}, \text{Cu})-\text{As}-\text{Se}$ [18]. Редкий вртбит $\text{Tl}_4\text{Hg}_3\text{Sb}_2\text{As}_8\text{S}_{20}$ из щелочного комплекса Илимауссак (Ilímaussaq, 1175–

1123 млн лет) юго-западной Гренландии – единственный Hg-содержащий минерал гигантского (2178 тыс. км²) острова [18].

Распространение проявлений ртути характеризуем на основе мировых баз данных Mindat.org, PorterGeosultancy, Lithotheca и др. По СНГ и Китаю они пополнены из других источников. Подобные построения, посвященные частным аспектам, например, Au-Hg аккумуляциям [17], могут игнорировать малые и выработанные объекты, выводить за пределы рассмотрения “нертутоносные” Африку, центральную и западную части Южной Америки, Северную Европу и т. д. То есть выводы о планетарных рудоконтролирующих структурах и, особенно, времени их проявления могут быть не вполне аргументированными. Это понятно, *собственно ртутные* объекты в Мире больше не обрабатывают из-за токсичности полезного компонента и, следовательно, почти не изучают. В 2005 г. в исторической области Кастилья-Ля Манча закрыт последний рудник **Альмадена** (11 рудных районов на площади 15×20 км, накопленная за 2000 лет добыча 265 тыс. т Hg). С 1994 г. в Донбассе то же произошло с **Никитовкой** (в 1885–1994 гг. добыто 30 тыс. т Hg). В конце 1970 г. остановлено производство на рудном поле **Монте Амиата** Южной Тосканы (с 1217 г. добыто 69 тыс. т Hg). В 1995 г. та же судьба постигла **Идрию** в Словении (5 веков добычи, в 1408–1508 гг. вычерпывали только самородную Hg. Накопленная добыча 107 тыс. т Hg). До 1976 г. обрабатывали рудный гигант **Нью Альмаден** в Калифорнии, пока по требованиям населения он не был выкуплен у владельцев и превращен в парковую зону (в недрах осталось 36,1 тыс. т Hg). Человечество

учится обходиться вторичной Hg и той, что получают попутно при обработке руд, например, со шватцитом – ртутистым тетраэдритом. Но если даже Альмаден отправлен в Лету, что говорить о старинных месторождениях, оставленных века назад. Автор получил представление о старых объектах австрийских Восточных Альп (Высокий Тауэрн, Тироль, Каринтия, Зальцбург, Штирия, Нижняя Австрия), Германии, Британских островов. Впечатляет пример забытого **Ландсберга** (Мошелеландсберг), рис. 1. Этот старинный конкурент **Альмадена** в земле Рейнланд-Пфальц обрабатывали с 1440 г., расцвет добычи пришелся на XVI, XVIII, XIX века. Здесь впервые открыли ртутные минералы мошеландсбергит Ag_2Hg_3 , мошелит Hg^+_2I_2 , белендорфит Cu_7Hg_6 , каломель Hg_2Cl_2 , парашахнерит Ag_3Hg_2 , шахнерит $\text{Ag}_{11}\text{Hg}_{0,9}$. В рудах – самородная Hg, шватцит, тиманнит HgSe , терлингуаит $2\text{HgO} \cdot \text{Hg}_2\text{Cl}_2$, кинноварь, метациннабарит, 101 минеральный вид и разновидность [18]. Для сравнения: в залежах **Альмадена**, кроме кинновари и самородной ртути, присутствует только немного стибнита. В наших учебниках о **Ландсберге** данных нет.

Тезис об исключительной пространственной избирательности ртути подтвердим на примере Антарктиды, в списке минералов которой значатся 387 видов и разновидностей 270 минералов (17 из них новые), но среди них – ни единого Hg-содержащего природного соединения [13]. Кинноварь и прочие минералы ртути, даже в знаках, никогда не встречали в Индии, Пакистане, Таиланде и многих других регионах.

Наиболее заметен **Тихоокеанский** (Циркум-Пацифик) ртутоносный суперпояс. Северный его сегмент практически непрерывно

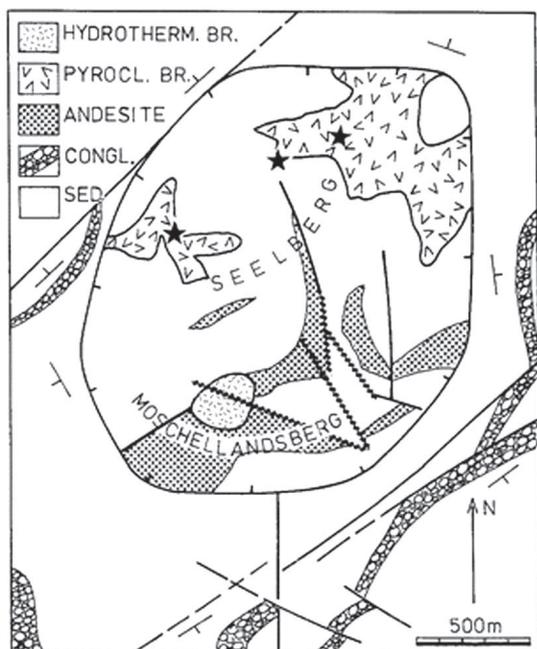


Рис. 1. Крупное ртутное месторождение Ландсберг или Мошельландсберг (Landsberg, Moschellandsberg), земля Рейнланд-Пфальц (Rheinland-Pfalz), Германия, в каменноугольной-пермской кальдере. По работе [23, рис. 1, с. 69]

Условные обозначения сверху вниз: 1 – гидротермальная брекчия выполнения взрывного кратера; 2 – пирокластическая брекчия; 3 – шток андезито-базальтов; 4 – маркирующий пласт конгломератов; 4 – аллювиально-озерные отложения С-Р.

Жирные точки под словом “Moschellandsberg” маркируют трещинную минерализацию горы Мошель. Звездочки – рудопроявления горы Зеелберг

сопровождает ртутноносные объекты. Частные пояса **Кордильер** и **Анд** разделены территориями Никарагуа и Панамы. Последняя известна важными **Сu** месторождениями **Кобре Панама** (Cobre Panama), **Серро Колорадо** (Cerro Colorado), **Серро Чорча** (Cerro Chorcha), **Au-Cu Серро Кема** (Cerro Quem), **Au Молахон** (Molejon), но минералов **Hg** нет нигде. Нет их также на юге Чили, Аргентины и Антарктическом полуострове. Для востока суперпояса характерны локальные ареалы распространения очень крупных месторождений ртути (площади III порядка) с севера на юг: **Британской Колумбии**, **Калифорнии**, **Гуитсуко** в Мексике, **Киндио** в Колумбии, **Уанкавелика**, Перу.

Западный сегмент **Тихоокеанского** суперпояса дискретный, разделен на части “пустыми” по **Hg** про-

странствами. Здесь открыты крупные ртутные объекты (**Пламенное** и **Полянское** на Чукотке, **Ямато** в Японии, **Пухи-Пухи** на Северном острове Новой Зеландии), но настоящие гиганты характерны только для юго-восточного Китая – **Гонгуанг** (Gongguan), **Янгишкенг** (Yangshikeng) и несколько других.

Иначе выглядят побережья Атлантики, на площади которых нет заметных ртутноносных объектов. Единственным несколько анекдотичным исключением в случае Северной Америки является прибрежный участок округа Картерет Северной Каролины, место гибели в 1718 г. фрегата “Мечь королевы Анны” (Queen Anne’s Revenge) пирата Черная Борода. Киноварь и еще 17 минералов там происходят из каменного балласта судна [18]. В Приатлантической Южной Америке ртутнопро-

явлений четыре. Известно малое месторождение киновари **Уитлидж Крик** (Witlage Creek), Восточный Суринам, которое обрабатывали в начале XX века. Из россыпи в Гайане происходит потарит **PdHg**. Сообщается о находках последнего и на площади **Au-Pd-Pt** объекта **Серра Пелада** (Serra Pelada). Каражас, Бразилия. Кроме того, в итабиритах Минас Жераис открыт новый минерал жакутингаит **Pt₂HgSe₃**. Совсем нет проявлений **Hg** на востоке Атлантики, в Приатлантической Африке (**Бу-Аззер** и **Имитер** в Марокко, **Аззаба** в Алжире принадлежат поясу Средиземноморья, **Цумб** в Намибии – Южноафриканскому ореолу).

Средиземноморский пояс с его гигантами **Альмаден**, **Идрия**, **Монте Амната**, **Никитовка**, множеством мелких и средних объектов веками имел выдающееся экономическое значение. Основные месторождения образуют узкую полосу на юге вдоль сороковой параллели. В Северной и Северо-Западной Европе они сменяются малыми месторождениями, обычно комплексными (Ландсберг выдающееся исключение), в которых, однако, **Hg** выступает как важная примесь – **Готдрам** (Gortdrum Mine) в Ирландии, **Хилдерстон** (Hilderston), Шотландия, **Конгсберг** (Kongsberg) и **Кармøy** (Karmøy) в Норвегии, **Болиден** (Boliden), **Сала** (Sala) в Швеции. По северной окраине пояса между Ставрополем и г. Гронинген в Голландии прослеживают “линеамент Карпинского”, вмещающий множество месторождений ртутноносных газов в пределах **СЗ** и **ЮВ** сегментов. Большая часть “линеамента” совпадает с Донецким бассейном (**Никитовка**), Днепровско-Донецким авлакогеном [3–5; 14]. От находящегося восточней **Урало-Центральноазиатско-Монгольского** (УЦМП) по-

яса он отделен нертутоносной территорией Туркмении. УЦМП прослеживается в северной собственно уральской части ртутноносными корами выветривания **Светлинского** и **Каталамбинского** месторождений золота, скоплениями ртутноносных сульфидов **Талганского** в Челябинской области, **Подольского** в Башкирии, **Сафьяновского** под Свердловском. На его продолжении к югу находятся **Hg**-содержащие объекты Узбекистана (**Мурун-Тау**), аккумуляции киргизских **Хайдаркана**, **Чаувая**, таджикского **Джижикрута**, не менее сотни малых месторождений и проявлений Афганистана. УЦМП обрывается у северного подножья Гималаев, пакистанский и индийский секторы которого нертутоносные. Изолированные субизометричные ртутноносные площади наблюдаются на площадях **Онтарио-Квебека**, **Южной и Юго-Западной Африки**, **Северо-Восточной Якутии**, **Юго-Западной Гренландии**.

Глубинность ртутноносных аккумуляций

В земной коре содержания ртути по последним данным оценивают в 3–9·10⁻⁶ мас. % или 30–90 мг/т [14]. В верхней, средней и нижней частях коры 50, 79, 14 мг/т **Hg** соответственно [21]. Породы стратисферы, обогащенные органическим веществом, обычно богаче и **Hg**. В углях ее 100 (±10) мг/т в среднем. Концентрации **Hg** тесно увязаны с зольностью и битуминозностью: угли с битумами имеют кларк 87 (±80) мг/т, низкосортные зольные – 62 (±60) мг/т **Hg**. Элемент считают непременно аутигенным, что совершенно не очевидно: в шести регионах Мира (Донбасс, Аппалачи, Техас, Южная Африка, российский Дальний Восток, Южный Китай) концентрации ртути в углях, сопровождаемые прочими халькофильными элементами,



Рис. 2. Добыча высокортутистых углей (черное) группы Поттсвилль (Pottsville) пенсильванского возраста (320–290 млн лет) в Аппалачском бассейне на юго-востоке США. Полагают, что экономические потери от высокой смертности местного населения втягивают выгоду от продажи угля [16]

превышают кларковые на один-два порядка. Действительно, все перечисленные регионы, кроме Аппалачей, попадают в области широкого развития эндогенных ртутных месторождений. Совершенно уникальными оказываются угли Донбасса по содержаниям Hg, присутствию HgS и Hg металлической. Поступление Hg в донецкие угли связывают с гидротермами, поднимающимися по шир-зонам. Однако и Аппалачский бассейн с ртутоносными углями группы Поттсвилль (Pottsville, рис. 2) пенсильванского возраста (320–290 млн лет), по видимому, не случайно оказался вытянутым вдоль современного Атлантического побережья, примыкая к “сороковой (ртутной)” параллели. Ртутоносность местных углей поэтому допустимо объяснять и по донбасской схеме, подпиткой металлом, переносимым гидротермами.

В малосульфидных разностях углей распространены Hg_{орг.} и Hg_{сульфидная} (последняя преимущественно пиритовая) [28].

Обогащены Hg и черные сланцы. В их архейских разностях в среднем по Земле 150 мг/т Hg, палеопротерозойских – 430 мг/т, палеозойских – 40 мг/т [21]. Формы нахождения не изучены. Предположительно, Hg включена в органическое вещество, пирит или киноварь. Руды **Альмадена** тяготеют к кварцитам нижнего силура Криадеро (карадлк), базальным кварцитам нижнего девона (зиген), загадочному трубообразному телу “монашеского камня” (frailasca, рис. 3), но подстилаются ордовикскими кварцитами и черными сланцами Кантерас (арениг). Это давало основание для предположений о том, что источником ртути были последние, аккумуляировавшие поступления металла при субмаринном базальном вулканизме [28]. В известняках всего 30–50 мг/т Hg (максимально менее 200 мг/т, но в Донбассе и Крыму эти значения иногда перекрыты в сотни раз). Отечественные источники отмечают для сланцев содержания в сред-

нем 41 мг/т Hg при среднем значении для земной коры 4,5 мг/т [8].

В современном Океане преобладает основной вулканизм, но в донных образованиях ртути практически нет. Повышенные концентрации Hg там, скорее, исключения, которые перечислим. Fe-Mn корки и слойки оксидов Mn поднятия Виктория в 72 км мористей берегов штата Нижняя Калифорния, Мексика (глубины 1,75–0,3 км) содержат до 10 г/т Hg и до 5,5 г/т Ag [22]. На площади Западно-Тихоокеанской транзитали содержания Hg: 1 – от 40 до 350 г/т ($4 \cdot 10^{-6}$ – $3,5 \cdot 10^{-2}$ %) в сульфидных рудах тыловых дуг подводного вулкана **Пийпа, Вудларк, Манус**, трог **Лау**. В пирите и сфалерите до 1 % Hg; 2–100 мг/т при (10^{-5} %), при кларке 45 мг/т ($4,5 \cdot 10^{-6}$ %), там же металлоносные осадки. В рудной постройке **Лау** ртуть связана с гидроокислами железа, опалом и нонтронитом. Элемент ассоциирует с халькофильными металлами, образуя микровключения в сфалерите, фрейбергите в

виде фаз Hg-Zn, Hg-Cu, Hg-Ag (**Вудларк**); Hg-Pb, Hg-Ag (**Манус**); Hg-Cu, Hg-Pb, Hg-Au (подводный вулкан **Пийпа**). Обнаружены лафитит AgHgAsS₂ и Hg самородная [6]. Последняя была встречена также у гидротермальных жерловин северного шельфа о. Северный Новой Зеландии [21].

В Срединно-Атлантическом хребте (площади **Брокен Спур, Таг, Снейк Пит, Рэйнбоу, Логачев-1 и 2**) сульфидные руды имеют концентрации ртути 50 мг/т–12 г/т ($5 \cdot 10^{-6}$ – $1,2 \cdot 10^{-3}$ %). Отсутствие на протяжении западной окраины Атлантики от севера Гренландии до юга Аргентины проявлений киновари позволяют несколько иначе взглянуть на тектоническую природу нынешних рубежей Атлантики, нацело лишенным проявлений “мантийного” элемента.

Бедность ртутью современных донных образований Океана связывают с широким распространением базальтоидов, деплетированных по ртути, однако почему последнее произошло? Причиной мог бы быть не мантийный (ртутоносный), но *коровый* характер этих базитов в срединных частях Океанов. С малым мантийным вкладом для немногих ртутоносных площадей: энергетический поток в упомянутом выше трог **Лау** Тихого океана по данным сейсмотомографии “имеет корни на глубинах 400–500 км” [6].

А вот пример противоположных выводов, касающийся распространения элемента. В работе [4] отмечают деплетированность признанных пород верхней мантии-кимберлитов по Hg. Это интерпретируют как признак того, что источник элемента более глубинный, чем область формирования кимберлитовых расплавов (глубже 120 км для алмазонасных разностей, при давлении более 4–5 ГПа). Другие

авторы видят иное: при том, что в интрузивных породах содержания Hg составляют около 200 мг/т, чаще до 100 мг/т, именно для глубинных эклогитов и кимберлитов (а также прочих щелочных пород) отмечены средние значения в *несколько сотен мг/т* [19]. Разночтения можно объяснить современным состоянием кимберлитовых систем – их высокая открытость способствует самоудалению Hg, отчего опробование приповерхностных кимберлитов дает заниженные результаты. Мнение Майкла Флейшера [19] выглядит предпочтительней и потому: меркурометрическая съемка остается в Мире одним из эффективных способом поиска кимберлитов: их тела в рыхлых толщах отмечены контрастными ртутными гало.

Данные по метеоритному веществу не сильно разнятся с теми, что мы имеем по магнийным ультраосновным магматитам Земли [24]. Так, если в метеорите **Альенде** (Allende, CV3) по двум образцам наблюдалось 16,4–17,8 мг/т Hg, то в **Y82050(CO3)** – 201 мг/т Hg, **Дхаджала** (Dhajala H3) – 216 мг/т Hg (в немагнитной фракции 183 мг/т, магнитной – 11 мг/т). В использованных эталонных образцах земного базальта было 28 мг/т Hg, гранодиорита – 16 мг/т Hg.

Получить надежные данные по содержаниям высоколетучего металла в земных породах, тем более, в метеорном веществе, нелегко. Цитируемые авторы сетовали на фундаментальные технические сложности при экстракции столь малых количеств ртути. Добавляло проблем и то, что к изотопу ²⁰³Hg при нагревании примешивался трудноотличимый ⁷⁵Se, что могло привести к ошибочным оценкам содержания Hg.

Сказанное в данном разделе позволяет констатиро-

вать: 1 – стратисфера и верхи коры являются основными концентраторами летучего элемента. Возраст этих переменчивых концентраций подлежит особому обсуждению; 2 – последовательное нарастание концентраций Hg в ряду “средняя коранижняя кора-верхняя мантия” (79 мг/т Hg; 14; 100–200 соответственно) свидетельствует о ее глубинном происхождении.

Возраст ртутноносных аккумуляций

Огромная проблема ртутных месторождений – хронологическая. Все семь изотопов Hg с массовыми числами 196, 198, 199, 200–202, 204 стабильны, что делает невозможным прямые радиологические определения возраста ее минералов. Остается историко-геологический метод и его использованный здесь вариант, метод историко-минерагенический. Последний ориентирует на особое внимание к самым, даже не очень значительным, может быть, но бесспорным хронологическим “зацепкам”. Такие существуют. Нельзя не обратить внимание на то, что именно в кайнозой появились 25 из 90 известных Hg-содержащих минералов: их местонахождения локализованы среди кайнозойских, часто плиоценовых и четвертичных, пород и в более древних отсутствуют. Среди них немало продуктов изменения киновари в корях выветривания, однако это не свидетельствует против тезиса об уникальном месте кайнозоя (мезокайнозоя?) в становлении ртутных аккумуляций. Коры выветривания всех прошлых эпох хорошо известны, но этих минералов они не содержат.

Как же датировать остальные ртутнопроявления, выявленные среди древних метаморфитов, отложений рифея, нижнего палеозоя и т.д.? Некоторые исследователи, видимо, от отчаяния

[21], допускают, что возрасты аккумуляций Hg и основного оруденения (иногда даже вмещающих толщ) в комплексных многостадийных месторождениях могут быть близкими. В результате архейскими ртутноносными называются **Каалруг Фам** (ЮАР, 3043 млн лет), **Копперфилдс, Хемло** (Канада, 2739–2735 и 2638–2621), раннепротерозойскими – **Бушвельд, Уиткомст** (ЮАР, 2058 и 2952–2036), рифейскими – **Коппер Хиллс** (Австралия, около 800), **Краубах**, Австрия (780), раннепротерозойскими – **Альмаден** (430–361), девонскими – **Гуд-**

спрингс (Невада, 359–318) и т.д. Забывается, что в том же **Альмадене** 5 % всей ртути пребывает в жидком состоянии. Между тем в комментариях к работе [7] отмечают: ртуть из разбитого градусника (1 г) уже при комнатной температуре и открытых окнах самостоятельно улетучивается за несколько месяцев, снижая концентрации в воздухе ниже ПДК (0,0003 мг/м³). Как же с силура она не улетучилась из залежей **Альмадена** (жидкой Hg 5 %), с раннего триаса – из руд **Идрии** (жидкой Hg до 20 %) при мощном развитии трещин? С архея – из



Рис. 3. Рудный район Альмаден. Карьер на месторождении Эль Энтредичо (El Entredicho)

На заднем плане – желтоватые туфы трубки взрыва (“монашеский камень”, “Roca Frailesca”, “Friars Rock”) среди черных нижнесилурийских нижних сланцев. Возраст их пока не установлен. Этот объект содержит максимальные количества самородной ртути. Из работы [26, рис. 5]

руд **Хемло**? В старательских печах (“ретортах”) киноварь разлагали всего лишь при 400 °F (204,44 °C), но на юге Африки в породах, претерпевших с архея несколько мощных термических эпизодов, залежи почему-то сохранились до наших дней. Между тем в зоне гипергенеза киноварь и металлическая Hg *растворимы в воде* даже при отсутствии сильных окислителей, растет растворимость и при участии органического вещества.

Вот интересная, но по результатам неоднозначная, последняя по времени попытка датировать непокорные руды **Альмадена**. Авторы [20] использовали вакуумное извлечение в капсулы выделений иллита и ⁴⁰Ar/³⁹Ar датирование его и Sr-слюды, спутников минерализации в породах S и D. Данные по иллитам интерпретированы так: минерализация имела место, самое позднее, на уровне 360 млн лет (иллиты на 20 млн лет моложе самых молодых пород). Возраст Sr-слюды – 427–365 млн лет. Рудогенез происходил в два этапа с интервалом 80 млн лет между ними. Но не могли ли столь древние глины просто сорбировать *кайнозойскую* (?) Hg из флюидов? Известный отечественный “ртутник” В. И. Смирнов, хорошо знавший **Альмаден**, отмечал, что там “отдельные сбросы выполнены *диабазовыми и кварцевыми порфирами кайнозойского возраста, с которыми связывается образование месторождения...* Руда отложена из горячих минерализованных водных растворов, фильтровавшихся по пластам трещиноватых кварцитов” [1]. Георгий Александрович Твалчрелидзе [12], однако, считал месторождение позднеорогенным герцинским (скорее всего, пермским-триасовым) по причинам “локализации в области за-

вершенной варисской складчатости и отсутствия молодых геологических структур и магматических проявлений.” Однако позже мнение В. И. Смирнова получило дополнительный аргумент: в исторических областях Мурсия и Альмерия на юго-востоке Испании, близких к **Альмадену**, открыты местонахождения мантийных лампроитов, иногда алмазонасных. Пространственно они расположены в неогеновом вулканическом поясе, где сопряжены с породами шошонитовой (трахидолериты-трахибазальты с санидином, лабрадором, авгитом, оливином) и известково-щелочной серий. Вулканизм здесь начался в раннем миоцене и продолжался практически до конца плиоцена (интервал 18–2 млн лет) [27]. Эти тела свидетельствуют о связях поверхности Южной Испании с ртутоносными мантийными глубинами в геологически недавнее время. То есть для объяснений появления суперконцентраций **Альмадена** вовсе не обязательно привлекать схемы с раннепалеозойским базанитовым субмаринным вулканизмом (кайнозойские аналоги которого аккумуляций Hg, мы видели, что нигде в Океане не образуют).

Теперь полезно еще раз взглянуть на сороковую (ртутную) параллель, допустив, что отвечающий ей глубинный разрыв и есть кайнозойская рудоконтролирующая структура. То есть не только безусловно плиоцен-четвертичные месторождения Калифорнии и **Монте Амиата** в Италии, но и дискуссионные **Альмаден**, **Идрия**, **Никитовка** формировались в кайнозое.

Закключение и выводы

Характерна асимметрия в распределении скоплений ртути на планетарном уровне: приуроченность практически всех крупных и средних объектов к Северному

полушарию, где они тяготеют к периферии Пацифика и Средиземноморскому поясу. Узкие протяженные ареалы распространения аккумуляций ртути маркируют положение разломов мантийного заложения, принадлежащих планетарной регматической (реґма – трещина, царапина, борозда) сети сдвигов, зон отрыва или шир-зон кайнозоя (мезокайнозоя?).

Хорошо выражен “эффект сороковой (ртутной) параллели” как полосы распространения особо значимых ртутных объектов Северной Америки, Европы и Азии, на большой своей протяженности отвечающей Средиземноморскому поясу.

Контрастно распределение ртутопроявлений вдоль современных ограничений океанов Тихого и Атлантического. Их практическое отсутствие на берегах Атлантики может свидетельствовать о немантийном происхождении прибрежных зон. Почти повсеместная бедность ртутью океанических донных осадков и вулкаников также может быть признаком доминирования связей с процессами в земной коре, но не мантийными. Исключением являются немногие районы Пацифика (Восточно-Тихоокеанское поднятие, Новая Зеландия, (о. Северный) Фиджи) и Центральной Атлантики.

Проблема возраста ртутопроявлений, локализованных в древних толщах, остается актуальной, поскольку не может быть разрешена радиоизотопными исследованиями. Однако специфические свойства основных ртутных минералов и собственно самородной ртути (нестойкость при повышении температуры, растворимость в подземных водах с органическими соединениями и т. д.) позволяют предположить, что известные скопления элемента практически повсеместно оказыва-

ются не древнее (мезо)кайнозойских. В связи с этим охарактеризованные крупные ртутоносные площади должны рассматриваться как планетарного ранга историко-минерагенические провинции (мезокайнозой, эндогенный рудогенез), в понимании авторов работ [9].

Подобный историко-минерагенический анализ распространения в приповерхностной оболочке иных летучих элементов (Sb, As, Tl, Bi), источники которых не столь глубинные, можно полагать, существенно пополняет картину распределения планетарного ранга регматических рудоконтролирующих разрывов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Альмаден. БСЭ. 3-е изд. В 30 т. Т. 1, 1970. С. 474.
2. Историческая минералогия. Т. 1. Введение в историческую минералогия: в 3 т. [Н. Н. Зинчук, А. Д. Савко, Л. Т. Шевырев]. Воронеж: ВГУ, 2005. 281 с.
3. *Озерова Н. А.* Ртутная дегазация Земли/Н. А. Озерова//ДАН. 1978. Т. 239. № 2. С. 450–453.
4. *Озерова Н. А.* Ртуть и эндогенное рудообразование/Н. А. Озерова. М.: Наука, 1986. 232 с.
5. *Озерова Н. А.* Ртутоносность газовых месторождений Кавказской части линейного Карпинского/Н. А. Озерова, Ю. И. Пиковский, Н. Р. Машьянов, В. В. Рыжов, М. А. Груздева//Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть, газ и их параметры. Материалы Всероссийской конференции, 22–25 апреля 2008 г. в Москве. М.: Геос, 2008. С. 370–374.
6. *Озерова Н. А.* Ртуть в гидротермальных образованиях Океана/Н. А. Озерова, С. И. Андреев//Материалы XVIII Международной научной конференции (школы) по морской геологии. Москва, 16–20 ноября 2009 г. № 2. С. 188–192. http://rogov.zwz.ru/Marine%20geology%202009_t_2.pdf
7. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. airlife.ru/pdf/zakon/GN2.1.6.1338-03.pdf
8. Ртуть. БСЭ. 3-е изд. В 30 т. 1975. Т. 22. С. 334.
9. *Савко А. Д.* Историческая минералогия/А. Д. Савко, Л. Т. Шевырев//24 научные

Смирновские чтения, посвященные 60-летию кафедры геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых геологического факультета МГУ. 31.01.2013. geol.vsu.ru/history/hist_minera.html

10. Савко А. Д. Ультратонкое золото/А. Д. Савко, Л. Т. Шевырѐв. Воронеж: ВГУ, 2001. 136 с.

11. Таллий. БСЭ. 3-е изд. В 30 т. 1976. Т. 25. С. 232–233.

12. Твалчрелидзе Г. А. Рудные провинции Мира (Средиземноморский пояс)/Г. А. Твалчрелидзе. М.: Недра, 1972. 212 с.

13. Antarctica – Mindat. www.mindat.org/loc-36.html

14. Assessment of Mercury Releases from the Russian Federation-UNEP. www2.mst.dk/udgiv/publications/2005/87...5/.../helepubl_eng.htm

15. Bailey Edgar H. Mercury in the United States (Exclusive of Alaska and Hawaii). To accompany Map UR-30/Edgar H. Bailey. <http://download.egi.utah.edu/geothermal/GL01418/GL01418.pdf>

16. Becker Bill. Coal mining costs Appalachians five times more in early deaths than it provides in economic benefits/Bill Becker. June 22, 2009. <http://thinkprogress.org/climate/2009/06/22/204270/coal-mining-costs-appalachians-five-times-more-in-early-deaths-than-it-provides-in-economic-benefits/>

17. Borisenko A. S. Global tectonic settings and deep mantle control on Hg and Au-Hg deposits/A. S. Borisenko, A. A. Obolenskiy, E. A. Naumov//Mineral deposits research: meeting the global challenge. Proc. Eighth Biennial SGA Meeting, Beijing, China, 18–21 August 2005. Springer, Berlin, 2005. V. 1. P. 3–6.

18. Cinnabar: Cinnabar mineral information and data. Mindat. www.mindat.org/show.php?id=1052&ld=1

19. Fleischer Michael. Summary of the literature on the inorganic geochemistry of mercury/Michael Fleischer//Geological Survey Professional Paper. Geology, 1970. V. 713–714. P. 5–9. books.google.com/books?id=YQclAQAAIAAJ

20. Hall Cris M. Dating of alteration episodes related to mercury mineralization in the Almaden district, Spain/Cris M. Hall, Pablo L. Higuera, Stephen E. Kesler, Rosario Lunar, Hailing Dong, Alex N. Halliday//Earth and Planetary Science Letters. 1997. 148. P. 287–298. https://ruidera.uclm.es/.../fi_119667593-SE-251_Halletal_EPSL.pdf

21. Hazen Robert M. Mercury (Hg) mineral evolution: A mineralogical record of supercontinent assembly, changing ocean geo-

chemistry, and the emerging terrestrial biosphere/Robert M. Hazen, Joshua Golden, Robert T. Downs, 2 Grethe Hystad, Edward S. Grew, David Azzolini, Dimitri A. Sverjensky//American Mineralogist. 2012. V. 97. P. 1013–1042.

22. Hein James R. Mercury and Silver-Rich Ferromanganese Oxides, Southern California Borderland: Deposit Model and Environmental Implications/James R. Hein, Andrea Koschinsky, Brandie R. McIntyre//Economic Geology. September-October, 2005. V. 100. N 6. P. 1151–1168.

23. Krupp R. Paragenesis and conditions of formation of the Moschellandsberg mercury deposit/R. Krupp//Mineral Deposita. 1989. 24. S. 69–76. ink.springer.com/article/10.1007%2F2F00206305

24. Kumar Pradeep. 196Hg/202Hg ratio and Hg content in meteorites and terrestrial standard rocks: A RNAA study/Pradeep Kumar, Mitsuru Ebihara, S. K. Bhattacharya//Geochemical Journal. 2001. V. 35. P. 101–116.

25. Laznicka P. Giant Metallic Deposits and Future Sources of Industrial Metals/Peter Laznicka. Springer Verlag, 2006. 735 p.

26. Palero F. Mercury mineralization in the region of Almaden. Chapter 5/F. Palero, S. Lorenzo. Instituto Geológico. P. 65–72. www.igme.es/internet/patrimonio/GEOSITES/Chapter_05_SGFG.pdf

27. Venturelli G. Petrogenesis and conditions crystallization of Spanish lamproitic rocks/G. Venturelli, E. S. Mariani, E. S. Foley et al.//Canad. Miner. 1988. V. 26. Pt. 1. P. 67–79.

28. Yudovich Ya. E. Mercury in coal: A review Part 2. Coal use and environmental problems/Ya. E. Yudovich & M. P. Ketris//Int. J. Coal Geol., 2005. 62. P. 135–165.

УДК 553.261:553.061

С. В. НЕЧАЕВ, д-р геол.-минерал. наук, профессор

ПРИЗНАКИ ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКИХ ГАЛОГЕННЫХ И КАУСТОБИОЛИТОВЫХ ФОРМАЦИЙ В АСПЕКТЕ ГЕОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ РУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В УКРАИНСКОМ ШИТЕ

(Матеріал друкується мовою оригіналу)

Представлены авторские подходы к обоснованию источников рудогенных элементов и минералообразующих растворов месторождений и рудопроявлений в палеопротерозойских метаморфитах Украинского щита (УШ).

The article provided author's approaches to the study of sources ore-forming elements and mineralforming liquids of deposits and ore-occurrences in Paleoproterozoic metamorphites of the Ukrainian shield.

Предисловие

Данная статья является логическим продолжением опубликованной ранее, посвященной минерагенической зональности центральной части Украинского щита (УШ), в которой лишь затронута вероятность первично-осадочной природы протолита большинства вещественных типов эндогенной, прежде всего рудной, минерализации [17].

Цель продолжения, а по сути, завершения – аргументация природы конкретного протолита, источников рудогенных элементов и транспортировавших их растворов, обусловивших месторождения и рудопроявления в палеопротерозойских метаморфитах щита.

Определяющее значение в наших исследованиях,

однозначно, имел полевой практический опыт, приобретенный в 50–70-е годы в фанерозойских регионах и зонах их сочленения с докембрийскими платформенными структурами [12], наряду с осознанием методологической фундаментальности понятия “элементарного осадочного ритма”, введенного и раскрытого академиком Н. М. Страховым для послекембрийской истории платформенного блока Земли [21]. Вместе с тем автор разработки подчеркивал, “...что близкая картина характеризовала и альгонскую эру, когда структурное расчленение земной коры приближалось к тому, какое мы знаем в нижнем палеозое” [21, с. 75].

Спустя два десятилетия после цитированной публикации А. В. Сидоренко – академик, возглавляющий