

В. И. ВИНОГРАДОВ, Н. А. ОЗЕРОВА, М. А. ГАЛКИН

**О СУЛЬФАТНОМ ИСТОЧНИКЕ СЕРЫ В РУДАХ РТУТНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЛЕВО-САКЫНДЖИНСКОГО РУДНОГО
УЗЛА (ЯКУТИЯ) ПО ДАННЫМ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА СЕРЫ**

(Представлено академиком Д. С. Коржинским 30 XI 1970)

Первые рекогносцировочные измерения изотопного состава серы из месторождений Лево-Сакындинского рудного узла были опубликованы в 1967 г. (¹). Два образца серы из киновари дали значения $\delta S^{34} +15,8$ и $+24,5\%$. Такое резкое обогащение сульфидной серы тяжелым изотопом S^{34} и вместе с тем большое различие в изотопном составе серы двух образцов не согласовывалось с предположением о магматогенном гидротермальном происхождении сульфидной серы.

Считается, что сера магматических очагов характеризуется однородным изотопным составом, мало отличным от среднего изотопного состава серы Земли ($S^{32}/S^{34} = 22,22$, $\delta S^{34} = 0$). Появление сульфидов, резко обогащенных тяжелым изотопом серы, обычно связано с процессами восстановления сульфатов эвапоритов. Известно, что осадочные сульфаты (гипсы, ангидриты) содержат серу, на 10—30% обогащенную тяжелым изотопом. Восстановление сульфатов сопровождается изотопным эффектом, и сера возникающего H_2S обогащается легким изотопом. Соответственно в оставшемся сульфате, наоборот, накапливается тяжелый изотоп. Поэтому по мере израсходования сульфата он постепенно утяжеляется; более тяжелой становится и сера каждой последующей порции H_2S . При полном восстановлении сульфата изотопный состав сульфидной серы будет таким же тяжелым, как и исходный сульфатный. Тяжелая сульфидная сера образуется также, если восстановление сульфатов идет с большой скоростью. По мере возрастания скорости реакции изотопный эффект уменьшается.

Учитывая сказанное, пришлось предположить (¹), что сероводород, участвующий в рудоотложении, образовался при восстановлении сульфатов, причем восстановление шло в режиме их ограниченного запаса. На это же однозначно указывает и анализ образца барита; изотопный состав серы оказался обогащенным тяжелым изотопом на 50%. Такое резкое утяжеление серы сульфатов было известно только в зонах разгрузки нефтяных вод, где происходила чрезвычайно интенсивная редукция сульфатов. Однако использовать подобный механизм для объяснения условий формирования сульфидной и сульфатной серы рассматриваемых месторождений было затруднительно, поскольку при обсуждении генетических особенностей этих месторождений роли подземных вод осадочного чехла ранее не уделялось достаточного внимания. Поэтому были поставлены более детальные исследования по изотопии серы.

Лево-Сакындинский рудный узел входит в состав Селленях-Уяндинского ртутного пояса, расположенного в пределах западных окраинных поднятий Колымского срединного массива (см. рис. 1). Последний находится в центральной части Верхояно-Чукотской мезозойской складчатой области. Центральную часть Колымского массива составляют полого дислоцированные вулканогенно-осадочные отложения Pz, Mz, и Kz, которые перекрывают блоки древних кристаллических образований. Суммарная мощность перекрывающих отложений 4000—5000 м (²). Окраинные поднятия массива сложены предположительно отложениями Pr и Pz. Протерозойский

комплекс представлен метаморфическими образованиями, мощность его 6000—6500 м^{3, 4}). Палеозойские образования представлены карбонатными породами O, S, D, и C. Они слагают краевые части поднятий и собраны

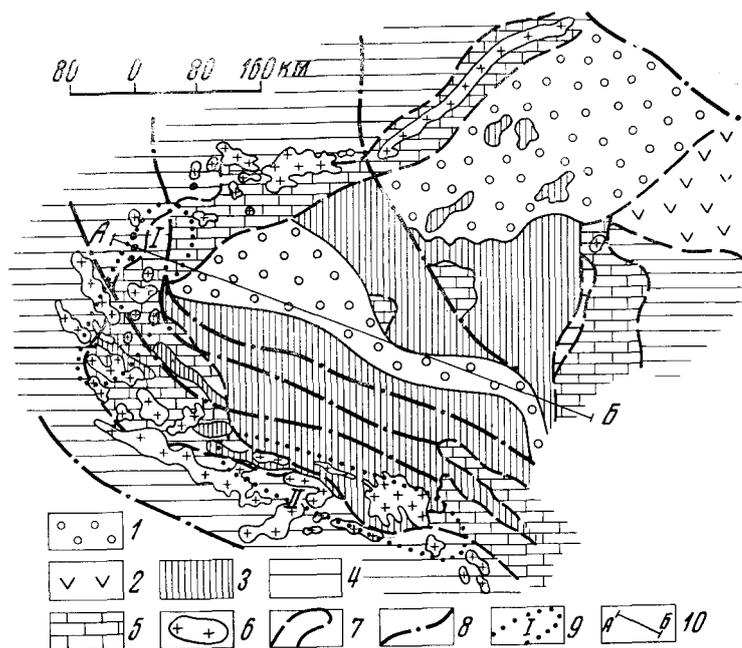


Рис. 1. Схема геологического строения Колымского среднего массива. 1 — четвертичные отложения; 2 — эффузивные образования Охотско-Чукотского вулканогенного пояса; 3 — юрские и меловые вулканогенно-осадочные отложения Колымского массива и наложенных впадин его окраинных поднятий; 4 — мезозойские терригенные образования Верхояно-Чукотской складчатой области; 5 — протерозойские (?) и палеозойские карбонатные отложения окраинных поднятий Колымского массива; 6 — гранитоиды ниже- и верхнемелового возраста; 7 — границы Колымского массива и его окраинных поднятий; 8 — глубинные разломы; 9 — ртутные рудные районы: I — Селенях-Уяиндинский, II — Индигиро-Колымский; 10 — линия геологического разреза

в линейные складки, согласные с очертаниями границ массива. Мощность отложений 4000—7000 м. Характерными особенностями палеозойских образований, важными для рассматриваемого вопроса, являются общая битуминозность пород, наиболее интенсивная в известняках S_1 — C_1 , и наличие среди отложений S_2^{1d} и D_2 красноцветных и пестроцветных лагуно-континентальных и лагуно-морских осадков с линзами и гнездами гипсов до 100 м мощностью. В пределах окраинных поднятий Колымского массива развиты мезозойские наложенные впадины, расположенные вдоль глубинных разломов и оперяющих их поперечных разрывов.

Главный контроль оруденения в размещении ртутных зон Лёво-Сакунджинского рудного узла принадлежит разрывным структурам (взбросо-сдвиговые, взбросо-надвиговые и надвиговые разломы северо-западного направления). Рудные тела представляют собой жилы, минерализованные зоны дробления, штокверковые зоны, согласные залежи, реже пластообразные тела. Главные рудные минералы представлены кинюварью, антимонитом, пиритом, золотом; в меньшей степени развиты реальгар, аурипигмент; галенит, халькопирит. Из жильных минералов преобладают кальцит, кварц, халцедон, в подчиненном количестве барит, гипс, флюорит, битумы и самородная сера, последняя встречается в тесном сростании с цеолитом, аурипигментом и флюоритом и не обнаруживает признаков гипергенного проис-

хождения. Возраст ртутной минерализации верхнемеловой — палеогеновый. Формирование месторождений связано с периодом интенсивных поздне-мезозойских тектонических движений (⁵⁻⁷).

Т а б л и ц а 1

Изотопный состав серы в минералах месторождений и рудопроявлений
Левосакындинского рудного узла

	№ обр.	Характеристика образца	δS ³⁴ , ‰
Месторождение Гал-Хая	1804	Киноварь из неправильных выделений в минерализованной зоне дробления	+8,1
	1801	Аурипигмент из вкрапленности в зоне дробления	+14,9
	1802	Реальгар из кальцитовых прожилков	+14,8
	1707	Самородная сера в виде клиновидных кристалликов в ассоциации с флюоритом	+16,1
	2505	Гипс гидротермальный в ассоциации с киноварью и аурипигментом	+15,0
	2556	Гипс, тонкие послойные выделения в висячем боку рудной зоны, местами переходящие в секущие прожилки	+17,9
	2556	Пирит, тонкие послойные выделения, сопряженные с послойным гипсом	+5,8
	748	Барит гидротермальный	+50,0
Рудопроявление Северное	1805	Киноварь из крупного гнездообразного выделения	+13,0
Рудопроявление Восток	1803	Киноварь из секущих жил с кальцитом	+26,8
Рудопроявление Пологое (золото-сурьмяное)	1736	Антимонит из минерализованной зоны дробления	+0,9
Рудопроявление Средний	758	Киноварь из жиллообразных тел с кальцитом	+15,8
Рудопроявление Малыш	757	Киноварь из штокверкообразного тела	+24,5
Рудопроявление Скрытое	1706	Киноварь из кальцитовой линзы в зоне дробления	+3,9
	1685	Гипс из рудовосной зоны дробления, образует каймы вокруг обломков известняков и прожилки вдоль простирания нарушения	+14,7
	1686	Гипс осадочный из красноцветных отложений лудлоу, образует небольшие линзы длиной до 1,5 м и мощностью 20—50 см	+14,7

Данные изотопного состава серы сведены в табл. 1. Крайние из опробованных рудопроявлений стоят на 36 км. Особое внимание при подборе образцов обращалось на осадочные гипсы, как возможный источник серы. На рудопроявлении Скрытом среди континентальных отложений лудлоу были обнаружены линзы гипсов, условия залегания которых не оставляют сомнения в первично-осадочной природе. Изотопный состав серы в них (+14,7‰) типичен для сульфатов солеродных бассейнов. Близкий изотопный состав серы обнаруживается и в гипсах из прожилков гидротермального происхождения. Это позволяет считать, что гидротермальный гипс образовался за счет переотложения осадочных, вероятно лудловских, гипсов. Некоторое утяжеление серы гипса из обр. № 2556 (+17,9‰) можно объяснить потерей части легкой серы в процессе восстановления. Местами, по-видимому, сульфатредукция шла настолько интенсивно, что почти весь наличный в зоне восстановления сульфат расходовался, и в малом сульфатном остатке накапливался большой избыток тяжелого изотопа S³⁴ (до +50‰ в барите № 748). Именно такой режим восстановления при ограниченном запасе сульфатов привел к формированию тяжелой сульфидной серы, зафиксированной в рудных минералах. Наряду с общим значительным утяжелением сульфидная сера рассматриваемых месторождений характеризуется большим разбросом изотопных отношений. Это указывает, скорее, на генерацию сероводорода в локальных зонах очагов раз-

грузки гидротермальных растворов в непосредственной близости от участков рудоотложения, чем на поступление сероводорода из газонасыщенных

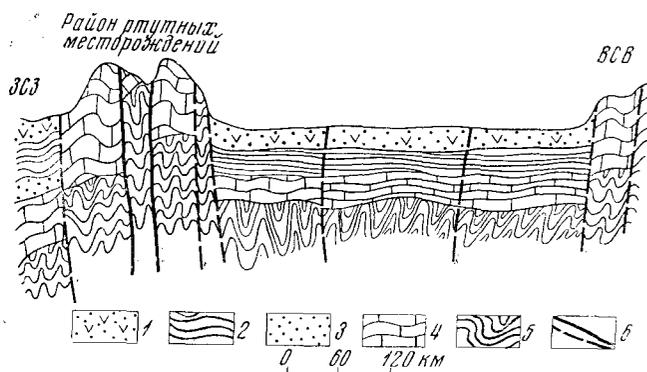


Рис. 2. Схематический геологический разрез по линии АБ для периода рудообразования (Ст₂ — Рг). 1 — меловые вулканогенно-осадочные образования; 2 — юрские терригенные отложения; 3 — триасовые песчано-глинистые отложения; 4 — палеозойские карбонатные породы; 5 — протерозойские метаморфические образования; 6 — тектонические нарушения

горизонтов подземных вод. Редукция сульфатов происходила, по-видимому, за счет битумного вещества вмещающих пород. На площади некоторых месторождений известны проявления горючих сланцев и включения жидких битумов в девонских известняках. По-видимому, зоны разлома служили очагами разгрузки битумсодержащих подземных вод. Контактное взаимодействие их с сульфатными породами приподнятых блоков Колымского массива или смешение с сульфатными водами, промывающими выведенные в верхние зоны коры древние гипсоносные отложения, приводило к интенсивной генерации сероводорода. О том, что скорость образования сероводорода была большой, говорит обогащенность сульфидной серы тяжелым изотопом S³⁴. В локальных очагах генерации сероводорода иногда создавались условия, благоприятные для образования самородной серы. Близость изотопного состава сульфидной и самородной серы свидетельствует о том, что обе ее химические формы связаны с общим источником сероводорода (например, на месторождении Гал-Хая). Все сказанное иллюстрируется рис. 2. На разрезе видно, что в приподнятых блоках Колымского массива на поверхность выведены палеозойские отложения. Тектонические депрессии, окружающие приподнятые блоки массива, выполнены полого залегающими слаборазрушенными отложениями Мз, которые оказались лежащими гипсометрически ниже палеозойских отложений краевых блоков. В зонах их сочленения создавались благоприятные условия для разгрузки напорных подземных вод осадочных отложений депрессий. Именно здесь возникали очаги генерации сероводорода, который послужил фиксатором тяжелых металлов.

Институт геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии
Академии наук СССР
Москва

Поступило
23 XI 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. А. Озерова, Н. Х. Айдиньян, В. М. Виноградов, В кн. Изотопы серы и вопросы рудообразования, «Наука», 1967. ² Б. В. Пепеляев, М. И. Терехов, Сов. геол., № 2 (1962). ³ И. Я. Некрасов, Матер. по геологии и полезным ископаемым ЯАССР, в. 2 (1960). ⁴ Г. А. Гребенников, Тез. докл. на совещ. по разработке стратиграфических схем ЯАССР, 1961. ⁵ М. А. Галкин, Тр. Среднеазиатск. н.-и. инст. геол. и мин. сырья, в. 4 (1964). ⁶ М. А. Галкин, ДАН, 169, № 2 (1966). ⁷ М. А. Галкин, Геология и геофизика, № 7 (1968).