

УДК 553.411.(571.6 + 7)

ГЕНЕТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И КОНВЕРГЕНТНОСТЬ ЭПИТЕРМАЛЬНОГО ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОГО ОРУДЕНЕНИЯ

© 2004 г. Член-корреспондент РАН А. А. Сидоров, А. В. Волков

Поступило 15.03.2004 г.

Большинство исследователей относят эпитеpmальные месторождения к одному классу образований, сформировавшихся в близповерхностных условиях (300–500 м) и в температурных интервалах 50–200°C из горячих растворов в раскрытых трещинах. В настоящее время признана их связь с постаккреционными вулканогенными поясами, зонами субдукции и различными областями тектоно-магматической активизации. При этом распространены представления, в которых месторождения эпитеpmального класса рассматриваются в единой генетической модели медно-порфировой рудообразующей системы, в которой золото-серебряные месторождения разделены на два подтипа: низкосульфидизированный и высокосульфидизированный [1]. Разумеется, эта модель не охватывает всего разнообразия эпитеpmальных месторождений (рис. 1, табл. 1)

Очевидная связь этих месторождений с глобальными структурами, контролирующими Тихоокеанский и Средиземноморский кайнозойский вулканизм, породил иллюзию глубинных (подкорковых, нижнекорковых) источников рудного вещества в адуляр-халцедон-кварцевых жилах, степень конвергентности которых полностью определяется близповерхностными физико-химическими условиями отложения минеральных агрегатов. Наши исследования показали, что эти месторождения не менее широко были распространены в более древние эпохи, начиная с докембрия. Разумеется, сохранность приповерхностных образований была обратно пропорциональна их возрасту. И, что особенно важно, была выявлена [2] тесная парагенетическая связь золото-серебряных месторождений с различными рудноформационными рядами (ore associations или ore assemblages): с золото-сульфидными, с колчеданными, с железисто-кварцевыми, уран-многометалльными, медно-молибден-порфировыми и олово-серебро-порфировыми, а также с золоторудными образованиями базит-ультрабазитовых комплексов (табл. 2). Источники рудно-

го вещества столь разнородных рядов (рудных комплексов) со всей очевидностью не могут быть родственными. Вместе с тем подтверждена общность источников рудного вещества эпитеpmальных и мезотермальных месторождений медно-порфирового, олово-порфирового и золото-сульфидного рудноформационных рядов рудных районов Северо-Востока России (рис.2).

Температуры образования золото-серебряных руд на основе изучения газовой-жидких включений в кварце варьируют в широких пределах (от 50 до 420°C) при межстадийных инверсиях, достигающих 100–150°C; соответственно давление в гидротермальных системах изменялось от 5 до 250 кбар [3]. Не исключено, что верхние пределы расчетного давления ошибочны из-за несовершенства методов определения, но взрывной характер образования эпитеpmальных руд подтверждается многочисленными зонами гидротермальных эксплозий и трубок взрыва.

Связи эпитеpmальных жильных месторождений с тем или иным рудноформационным рядом не случайны, что подтверждается соответствующими изменениями минеральных и геохимических парагенезисов в рудах (табл. 1, табл. 2). Однако элементы родства минеральных парагенезисов эпитеpmальных месторождений с другими рудными образованиями ряда улавливаются только при детальной целенаправленной изученности их минералого-геохимических особенностей. В большинстве случаев значительная часть эпитеpmальных жил из разных рудноформационных рядов представляется тождественной (квазитожественной) по текстурам, структуре и минеральному составу. Это каркасно-пластинчатые (агатовидные), полосчатые, поясовые метаколлоидные агрегаты кварца, адуляра и карбонатов с наибольшим количеством сульфидов, сульфосолей, нередко также теллуридов и селенидов (1–3%). Более того, несопоставимо большая часть безрудных или слабо рудоносных эпитеpmальных жил отличается от своих золото-сереброносных аналогов только содержанием золота и серебра.

Золотоносность (сереброносность) эпитеpmальных месторождений тесно связана с характером металлоносности месторождений всего руд-

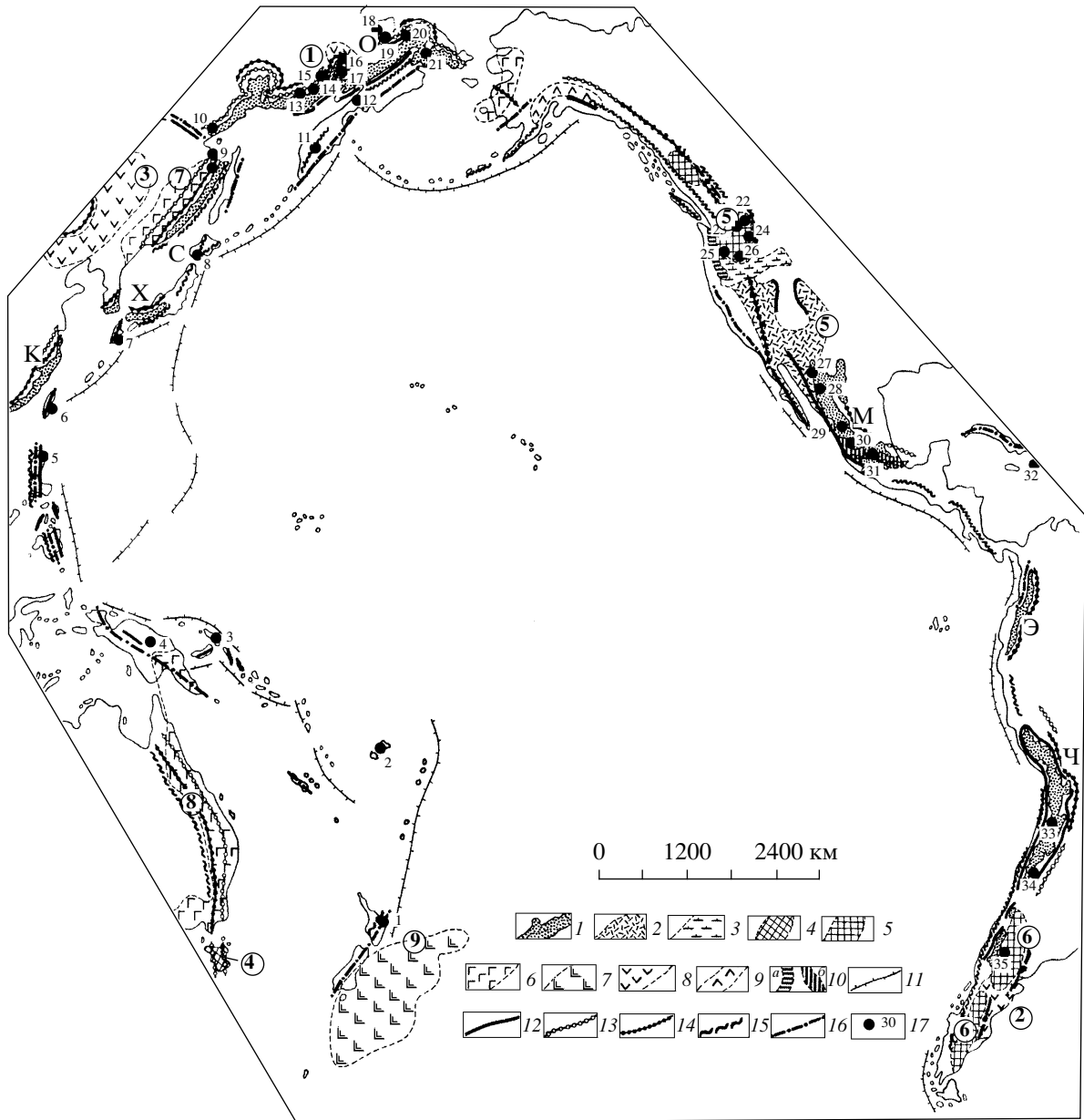


Рис. 1. Размещение минеральных типов золото-серебряных месторождений различных рудных комплексов в Тихоокеанском рудном поясе (с использованием тектонической схемы В.Ф. Белого [7]). 1 – окраинно-материковые (краевые) вулканогенные пояса; 2, 3 – вулканические ареалы зон кайнозойского рифтогенеза с широким распространением (2 – игнимбритов кислого состава, 3 – субщелочных и щелочных базальтов); 4, 5 – платобазальты трапповой формации (4 – юрской, 5 – неогеновой); 6–10 – ареалы и зоны вулканотектонической активизации неустановленного типа, сложенные: 6 – кайнозойскими толеитовыми, субщелочными и щелочными базальтами, 7 – преимущественно позднекайнозойскими щелочными базальтами, 8, 9 – преимущественно вулканитами известково-щелочной серии (8 – палеозойскими и мезозойскими, 9 – кайнозойскими), 10 – продуктами современного андезитового вулканизма (а – Каскадных гор, б – Трансмексиканская); 11 – глубоководные желоба; 12–16 – линии преимущественного размещения различных рудных комплексов (рудноформационных рядов): 12 – золото-сульфидный (Au–Sf) и медно-молибден-порфировый комплексы (Au–Cu), 13 – золото(серебро)-сульфидный (Au–Ag–Sf) и олово-серебро-порфировый (Ag–Sn), 14 – сульфидный нерасчлененный (Sf), 15 – колчеданный (Pb–Zn–Cu), 16 – базитовые (ультрабазитовые) медно-сульфидные комплексы (Au–Cu–Te) с месторождениями золото-теллуридного типа; 17 – золото-серебряные эпитермальные месторождения (1–35 – см. табл.1). Окраинно-материковые вулканогенные пояса: О – Охотско-Чукотский, С – Сихотэ-Алинский, Х – Хонсю-Корейский, К – Восточно-Китайский, Ч – Чилийско-Перуанский, Э – Эквадорский, М – Мексиканский; ареалы вулканизма (цифры в кружках): 1 – Смоленский (девон), 2 – Южно-Аргентинский (юра), 3 – Хинганский (юра-неоком), 4 – Тасманский, 5 – Калифорнийско-Колумбийский, 6 – Патогонский, 7 – Сунгарийский, 8 – Восточно-Австралийский, 9 – Ново-Зеландский.

Таблица 1. Характеристика золото-серебряных месторождений Тихоокеанского пояса

№ п.п.	Месторождение	Страна	Среднее содержание, г/т		Рудный комплекс района	Тип по [1]
			Au	Ag		
1	Уайхи	Новая Зеландия	12	5	Au–Cu–Sf	LS
2	Емпериор	Фиджи	13	5	Au–Cu–Sf	LS
3	Поргера*	Папуа–Новая Гвинея	4.7	11.3	Au–Cu, Au–Sf	LS
4	Ладолам*	Там же	4.4	7	Au–Cu	LS
5	Келиан*	Индонезия	1.9	3.8	Au–Cu	LS
6	Акупан	Филиппины	7.5	15	Au–Cu	LS
7	Хишикари*	Япония	44	22	Au–Cu	LS
8	Тайохо	Там же	0.5	80	Pb–Zn–Cu	LS
9	Многовершинное	Россия	8	16	Au–Sf, Au–Cu	LS
10	Хаканджа	Там же	15	650	Au–Sf, Ag–Sn	LS
11	Аметистовое*	»	10	150	Au–Sf, Ag–Sn	LS
12	Агинское	»	25	15	Au–Cu	LS
13	Карамкен	»	25	150	Au–Cu	LS
14	Джультетта*	»	19	420	Au–Cu, Ag–Sn	LS
15	Дукат	»	1.0	550	Ag–Au–Sn	LS
16	Кубака*	»	20	40	Fe, Au–Cu?	LS
17	Биркачан*	»	15	45	Au–Cu	LS
18	Клен*	»	15	26	Au–Cu	LS
19	Весеннее*	»	3.6	18	Au–Cu	LS
20	Купол*	»	33	372	Au–Cu, Au–Sf	LS
21	Валунистое*	»	25	150	Au–Cu, Au–Sf	LS
22	Крипл-Крик	США	23	15	Au–Cu–Te	LS
23	Раунд-Маунтин*	Там же	0.9	1.5	Au–Cu–Te	LS
24	Комшток	»	14.6	150	Au–Cu–Te	LS
25	Теллурид-Силвертон	»	10	10	Au–Cu–Te	LS
26	Голдфилд	»	10.5	10	Au–Cu–Te	HS
27	Пачука	Мексика	1.4	500	Ag–Au–Sn	LS
28	Эль-Оро	Там же	17	500	Ag–Au–Sn	LS
29	Гуаноуато	»	11	450	Ag–Au–Sn	LS
30	Параль	»	14.5	700	Ag–Au–Sn	LS
31	Закатекас	»	7.0	500	Ag–Au–Sn	LS
32	Пуэбло-Вьехо*	Доминиканская Республика	3.5	5	Au–Cu	HS
33	Кори-Колло*	Боливия	2.3	15	Au–Cu	LS
34	Янакоча*	Перу	1.4	3	Au–Cu	HS
35	Эль-Индио*	Чили	6.6	50	Au–Cu	HS

Примечание. Звездочкой отмечены месторождения, открытые и разведанные за последние 25 лет. LS – адуляр-серицит-кварцевый (low sulfidation), HS – алунит-кварцевый (high sulfidation).

ноформационного ряда (табл. 2). Весьма разнообразные минеральные типы золото-серебряного оруденения установлены в пределах медно-порфинового ряда, хотя и здесь сульфиды (сульфосоли) меди в минеральных ассоциациях наиболее распространены (“полибазитовый” минеральный

тип). Столь же разнообразны и золото-серебряные месторождения золото-сульфидного ряда, изученные нами в районах Чукотки и Охотско-Колымского водораздела. Для них характерны селениды золота и серебра, сурьмяные и мышьяковые сульфосоли. Нередко они сопряжены во

Таблица 2. Золото-серебряные месторождения различных рудноформационных рядов

Рудноформационный ряд* (рудный комплекс)	Минеральный тип золото-серебряных руд	Связь с минерализацией базовых месторождений	Типы террейнов	Примеры
Медно-никелевый и хромитовый (базит-ультрабазитовый) (Au–Cu–Te)	Золото-серебро-теллуридный	Эпигенетическая	Океанической коры, островодужные	Агинское (Камчатка), Зод (Армения), Калгурли (Австралия)
Медно-порфировый (Au–Cu)	Электрум-халькопирит-пиритовый, сфалерит-галенитовый	Парагенетическая с поздними минеральными ассоциациями	Островодужные, континентальных рифтов, пассивных континентальных окраин	Песчанка (Чукотка), Бингем (США)
Олово-серебро-порфировый (Ag–Sn)	Электрум-аргентитовый, сфалерит-галенитовый	Парагенетическая допорфировая и с поздними минеральными ассоциациями	Турбидитных бассейнов пассивных континентальных окраин (перивулканические зоны)	Дукат (Северо-Восток России), Потоси (Боливия)
Золото-сульфидный вкрапленных руд (Au–Sf)	Электрум-арсенопирит-пиритовый, сульфидо-антимонитовый	Парагенетическая с поздними минеральными ассоциациями	Турбидитных бассейнов пассивных континентальных окраин (перивулканические зоны)	Майский рудный район (Чукотка)
Колчеданный полиметаллический (Pb–Zn–Cu)	Электрум-халькопирит-сфалерит-галенитовый	Парагенетическая с поздними минеральными ассоциациями	Островодужные	Провинции “зеленых туфов” (Япония)
Железистых кварцитов (Fe)	Электрум-пиритовый	Эпигенетическая	Кратонные	Кубака (Омолонский террейн)
Пятиэлементный (U–Sf)	Электрум (кюстелит)-уранинит-сульфидный, золото-сульфидный	Эпигенетическая	Кратонные, рифтогенные	Рудные горы (Европа), Олимпик-Дам (Австралия)

* “Рудноформационный ряд” в нашем понимании более строгое понятие, нежели “рудный комплекс” [2].

времени и пространственно как с медно(молибден)-порфировыми, так и с олово(серебро)-порфировыми рядами. В этих рядах, кроме золото-серебряных, известны месторождения золото-сульфидных вкрапленных руд, золото-сульфидно-кварцевые, золото-редкометалльные и (или) олово-серебряные, полиметаллические, сурьмяные и ртутные. При этом эпитермальные месторождения олово(серебро)-порфирового ряда отличаются по распространенности в рудах серебряных и олово-серебряных сульфосолей. Колчеданные ряды распространены, как известно, в зелено-туфовых провинциях островодужных террейнов. Наиболее проявленным минеральным типом золото-серебряных месторождений является здесь электрум-халькопирит-сфалерит-галенитовый или серебро-сфалерит-галенитовый, родственный жильным куроко. Золото-серебряные месторождения пятиэлементного (уран-многометалльного) ряда характеризуются специфичным электрум(кюстелит)-уранинит-

сульфидным минеральным типом. Однако, так как этот ряд, по-видимому, преимущественно докембрийский (исключение составляют лишь небольшие месторождения в Рудных горах Центральной Европы и в некоторых Северо-Американских регионах), близповерхностные месторождения ряда в подавляющем большинстве эродированы или реювенированы. Медно-никелевый и хромитовый рудноформационные ряды, связанные с базит-ультрабазитовыми и щелочно-базитовыми комплексами, изучены в отношении эпитермальной минерализации крайне слабо. В рудах и породах этих комплексов широко распространена теллуридная (в том числе акцессорная) минерализация, что позволяет генетически (парагенетически) связывать с ними оруденение золото-серебро-теллуридного типа [2].

При сравнительном изучении различных рудноформационных рядов можно говорить о пре-

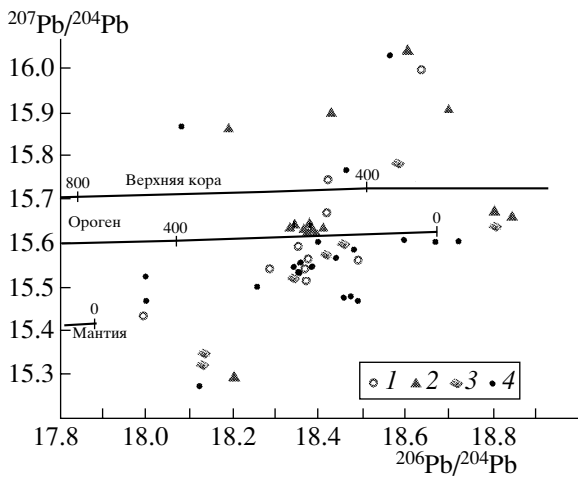


Рис. 2. Диаграмма $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ – $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, показывающая изотопный состав рудного свинца для эпитермальных и мезотермальных месторождений Востока Азии (по [8, 9, 10]). Месторождения: 1 – эпитермальные золото-серебряные, 2–4 – мезотермальные: 2 – оловянные, 3 – комплексные золото-сульфидные вкрапленных руд, 4 – золото-кварцевые.

имущественной золотоносности эпитермальных месторождений медно-порфирового ряда. Выдающимися по золотоносности могли бы быть названы уран-многометалльные ряды, но, во-первых, эти ряды все еще плохо изучены и, во-вторых, в них пока известны лишь два рудных гиганта – Витватерсранд и Олимпик-Дам. Слабо-золотоносными представлялись олово-серебро-сульфидный и олово-серебро-порфировый ряды, но в пределах этих рядов или в тесной парагенетической связи с ними обнаружены Майское золото-сульфидное месторождение на Чукотке и золото-сурьмяные месторождения в Боливии.

В рудных районах с завершенными рудноформационными рядами [2] с хорошо выраженными сурьмяными, ртутными или флюоритовыми месторождениями золото-серебряное оруденение обычно представлено существенно золотыми месторождениями ($\text{Au}:\text{Ag}$ – от 1:1 до 1:50); в районах с незавершенными рядами, т.е. при незначительном развитии низкотемпературной минерализации, золото-серебряное оруденение представлено существенно серебряными месторождениями ($\text{Au}:\text{Ag}$ – от 1:100 до 1:300 и ниже). Золото-серебро-теллуридное оруденение, тесно связанное с субвулканическими телами щелочно-ультраосновного и базитового ряда, в большинстве случаев представлено существенно золотыми месторождениями ($\text{Au}:\text{Ag}$ – 1:1 и выше, см. табл. 1).

Наши исследования в рудных районах Северо-Востока России показали сквозную унаследованность золотого оруденения от докембрия до миоцен-плиоцена в различных рудноформационных

рядах [4]. Унаследованность представляется наиболее важным критерием рудоносности конкретных геологических провинций. “Корни” эпитермальных золото-серебряных месторождений Кортез, Гэтчел, Тускарора в Провинции Бассейнов и Хребтов (США), Сопка Рудная, Промежуточное в районах Центральной Чукотки представлены зонами золото-сульфидных вкрапленных руд типа Карлин или Майское. В пределах рудного поля гигантского докембрийского золоторудного месторождения Хомстейк было выявлено регенерированное эпитермальное золотое оруденение третичного возраста [5]; в пределах Наталкинского и Неждановского золото-сульфидно-кварцевых месторождений (Северо-Восток России) и в их окрестностях также известны эпитермальные золото-сереброносные жилы [2].

Вместе с тем унаследованность оруденения – важнейший критерий образования значительных месторождений. Так, в медно(молибден)-порфировых (Песчанка на Чукотке и Бингем в штате Юта), олово-серебро-порфировых (Дукатский район) и золото-порфировых (Школьное, Колыма) даже при полевых исследованиях всегда удается обнаружить родственные минеральные ассоциации, в том числе продуктивные, в допорфировой минерализации осадочных пород рамы. Более того, в Дукатском рудном районе нами выделено два сопряженных рудноформационных ряда: ранний серебро-сульфидный и поздний олово-серебро-порфировый [6]. При этом вулканогенные рудные процессы на месторождениях раннего ряда были прерваны оловоносными гранитоидами Охотско-Чукотского пояса с последующей реювенацией ранних гидротермальных систем.

Таким образом, существует большое генетическое разнообразие эпитермальных золото-серебряных месторождений; их конвергентный характер обусловлен близкими физико-химическими условиями рудообразования. В пределах Тихоокеанского тектоно-магматического пояса и в смежных с ним структурах эпитермальное золото-серебряное оруденение наиболее широко распространено в связи с зонами вкрапленных и жильных золото-сульфидных и золото-кварцевых руд, в пределах медно-молибден-порфировых и колчеданных рудных узлов, а также в связи с базит-ультрабазитовыми комплексами (золото-серебро-теллуридные месторождения), в меньшей степени в связи с залежами железистых кварцитов; в олово-серебро-порфировых рудных узлах распространены существенно серебряные с золотом месторождения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 03–05–64095).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Sillitoe R.H.* // Geol. Ass. Canada. Spec. Pap. 1993. № 40. P. 465–478.
2. *Сидоров А.А.* Рудные формации и эволюционно-исторический анализ благороднометалльного оруденения. М.; Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 1998. 246 с.
3. *Гончаров В.И., Сидоров А.А.* Термобарогеохимия вулканогенного рудообразования. М.: Наука, 1979. 208 с.
4. *Сидоров А.А.* // ДАН. 1999. Т. 366. № 2. С. 225–227.
5. *Рай Д., Доу Б., Делево М.* В сб.: Стабильные изотопы и проблемы рудообразования. М.: Мир, 1977. С. 149–169.
6. *Сидоров А.А., Константинов М.М., Еремин Р.А. и др.* Серебро. М.: Наука, 1989. С. 240.
7. *Белый В.Ф.* // Тихоокеан. геология. 1985. № 5. С. 23–32.
8. *Горячев Н.А., Чарч С.Е., Ньюберри Р.Дж.* Золотое оруденение и гранитоидный магматизм Северной пацифики. Магадан, 1997. С. 165–168.
9. Изотопы свинца и вопросы рудогенеза. Справочник // Тр. ВСЕГЕИ. 1988. Т. 342. С. 167–239.
10. *Томсон И.Н., Полохов В.П., Полякова О.П. и др.* Источники вещества и условия локализации оловорудных месторождений. М.: Наука, 1984. С. 104–124.