

ТИПЫ ЭНДОГЕННЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ И ИХ ПОИСКОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ

А.М. Спиридонов, Л.Д. Зорина, В.А. Романов

Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Фаворского, 1а, Россия

В соответствии с классификацией Л.В. Таусона на примере рудных объектов Забайкалья дается обзор разных типов эндогенных геохимических полей (ГХП) как основной компоненты геохимических методов поисков. Среди эндогенных геохимических полей выделяются геохимические поля рассеяния (ГПР), концентрирования (ГПК), выноса (ГПВ). По условиям образования они подразделяются на магматогенные (связанные с магматическими очагами), интрателлурические (связанные с деятельностью интрателлурических эманаций), гидротермально-метаморфогенные (вадозо-термальных растворов), метаморфогенные и осадочно-метаморфогенные. Магматогенные ГХП подразделяются на три группы: магматического, пневматолитового и гидротермального этапов. Установлен полигенный характер ГХП и их сопряженность с развитием рудно-магматических систем. Геохимические поля рудных районов, узлов, рудных полей и месторождений являются результатом поздние- и постмагматических процессов и включают также ГХП вмещающих пород, в том числе и претерпевших изменения на дорудном этапе развития природной системы.

На рудных объектах ГХП являются интегральным выражением привноса и перераспределения элементов на протяжении всех стадий процесса рудообразования. Среди них выделяются ГХП слабого концентрирования (коэффициент контрастности КК, нормированный по фону, до 10), среднего (КК > 10—100) и интенсивного (КК >> 100). Интенсивность ГХП последовательно возрастает на иерархической ступени: вмещающая порода—предрудный метасоматит—синрудный гидротермалит—рудное тело—рудный столб. В целом на площадях рудных районов, узлов, полей и месторождений наблюдается пестрая картина ГХП рассеяния, концентрирования и выноса.

На примере ряда золоторудных районов Забайкалья показаны особенности состава, строения, зонального распределения элементов в геохимических полях. Описываются разработанные новые подходы и методы исследования этих природных образований. Авторами пропагандируется переход от принятой оценки отдельного ореольного обособления к объемному изучению структуры эндогенных геохимических полей (включая ГПР, ГПК, ГПВ) рудных объектов и рудно-магматических систем в целом, что позволяет выйти на качественно новый уровень обобщения фактического материала и рассматривать эндогенные геохимические поля как целостную дифференцированную в пространстве и времени систему со своими особенностями и закономерностями внутреннего строения.

Эндогенные геохимические поля, классификация, состав, строение, зональность, геохимические методы поисков месторождений.

TYPES OF ENDOGENOUS GEOCHEMICAL FIELDS AND THEIR SIGNIFICANCE FOR PROSPECTING

A.M. Spiridonov, L.D. Zorina, and V.A. Romanov

When prospecting ore deposits in the Trans-Baikal region, the endogenous geochemical fields (EGF) are taken as the main search element, as was proposed by L.V. Tauson. Such fields are classified into: geochemical fields of dispersion (GFD), concentration (GFC), and removal (GFR). With regard to their formation conditions, they are subdivided into magmatic (associated with magma chambers), intratelluric (associated with activity of intratelluric emanations), hydrothermal-metamorphic (vadose-thermal solutions), metamorphogenic, and sedimentary-metamorphogenic. Magmatic EGF are divided into three groups: magmatic, pneumatolytic, and hydrothermal stages. This study identified their polygenetic origin and association with ore-magmatic systems. The geochemical fields of ore zones, fields, and deposits result from the late and postmagmatic processes; they also include the EGF of host rocks and those which altered at the pre-ore stage of the natural system development.

In ore deposits, the EGF are responsible for the supply and redistribution of elements through the ore formation process. The fields were divided into EGF of poor concentration (contrast coefficient CC normalized after background up to 10), mean (CC > 10—100), and intense (CC >> 100). The EGF intensity progressively increases at the hierarchy stage: “host rock—pre-ore metasomatite—syn-ore hydrothermalite—orebody—ore pillar”. To summarize, the fields, ore districts, zones, and deposits are characterized by diverse patterns of dispersion, concentration, and removal.

The specific features of composition, structure, and zonal distribution of elements in geochemical fields are exemplified by some gold-bearing zones of the Trans-Baikal region. The paper reports new approaches to investigating these natural formations. The authors promote transition from the generally accepted evaluation of

a halo separation to the volumetric survey of endogenous geochemical fields (GFD, GFC, and GFR included) of ore deposits and ore-magmatic systems, in general. The acquired evidence supports the assumption that endogenous geochemical fields should be regarded as a complete system differentiated in space and time, preserving specifics and pattern of the internal structure.

Endogenous geochemical fields, classification, composition, structure, zonation, geochemical methods of deposit prospecting

ВВЕДЕНИЕ

Геохимические методы поисков полезных ископаемых зародились и развивались на основе изучения первичных (эндогенных) и вторичных (экзогенных) ореолов. Использование первичных ореолов в поисковых целях основано на твердо установленных фактах существования во вмещающих рудные тела породах повышенных или пониженных содержаний рудных и сопутствующих элементов. Однако при изучении геохимических особенностей рудных районов объектом прикладных исследований являются не только околорудные породы (ореолы в узком смысле), а большие площади с аномалиями первоначально неясной природы и с неопределенными на оруденение перспективами. Поэтому при анализе условий распределения содержаний элементов в земной коре более целесообразно пользоваться термином «геохимическое поле», предложенным А.Е. Ферсманом [1940] и получившим широкую известность в связи с разработанной Л.В. Таусоном [1976, 1979, 1981, 1983] теорией геохимических полей концентрирования и геохимических методов поисков месторождений полезных ископаемых.

В 95-ю годовщину со дня рождения Льва Владимировича Таусона мы, его ученики и последователи, на практике при исследовании многих рудных районов подтвердившие правомерность его теоретических построений, считаем своим долгом акцентировать основные положения разработанной Львом Владимировичем теории геохимических полей. Это тем более важно, так как в последнее время значительно снизился объем масштабных поисковых работ с применением геохимических методов поисков.

КЛАССИФИКАЦИЯ ЭНДОГЕННЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Объединяя генетический и морфологический подходы, теория геохимических полей основана на том, что естественным состоянием элементов в земной коре является рассеяние (закон Кларка—Вернадского), тогда как их концентрирование — явление аномальное, обычно связанное с процессами скопления минерального вещества. *Под геохимическим полем (ГХП) понимается «геологически однородное горное пространство (имеются в виду геологически однородные образования — уточнение авторов статьи), характеризующееся близкими физико-химическими условиями образования минеральных ассоциаций, имеющих сходные парагенезисы и уровни содержания химических элементов»* [Таусон, 1983, с. 9].

Среди эндогенных геохимических полей выделяются: геохимические поля рассеяния (ГПР), геохимические поля концентрирования (ГПК) и геохимические поля выноса (ГПВ). Под геохимическими полями рассеяния следует понимать участки земной коры, концентрация элементов в которых обусловлена законом Кларка—Вернадского. Они представляют интерес с точки зрения познания закономерностей распределения вещества в земной коре в целом. Геохимические поля концентрирования — участки земной коры, характеризующиеся аномальной концентрацией элемента или элементов, возникшей в результате эволюции рудно-магматической или другой природной системы. Именно ГПК имеют важное значение при установлении закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых и для их поисков. Геохимические поля выноса характеризуют участки с аномально уменьшенными (относительно геохимических полей рассеяния) содержаниями элементов, образовавшиеся в результате выноса или перераспределения элементов. С геохимическими полями концентрирования они находятся во взаимосвязи, образуя на рудоносных площадях единую систему, когда поля концентрирования одних элементов могут быть полями выноса других.

Эндогенные геохимические поля, по классификации Л.В. Таусона [1983], подразделяются на магматогенные, метаморфогенные и осадочно-метаморфогенного генезиса. При характеристике магматогенных ГХП следует учитывать геохимический тип магматических пород и морфологический тип магматических тел [Таусон, 1973, 1977, 1982, 1989]. В зависимости от типа магматических пород их геохимические поля могут иметь повышенные содержания ряда редких элементов, не связанные с рудообразованием.

Среди эндогенных геохимических полей следует различать связанные с магматическими очагами (магматогенные), с деятельностью интрателлурических эманаций (интрателлурические) и вадозо-термальных растворов (гидротермально-метаморфогенные).

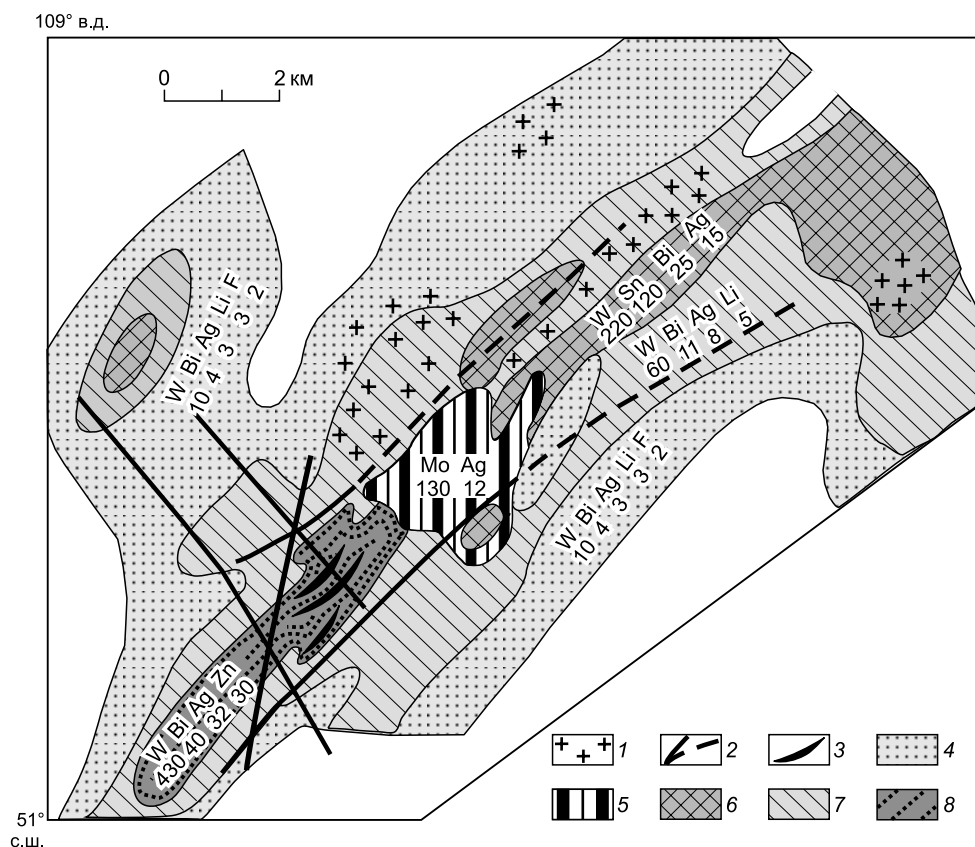


Рис. 1. Геохимические поля аномальных концентраций Бом-Горхонского вольфрамового месторождения [Таусон и др., 1987].

1 — граниты гуджирского комплекса; 2 — разрывные нарушения; 3 — рудные тела; 4—8 — геохимические поля концентрирования указанных элементов и их КК: 4 — эманационные, 5 — Мо пневматолитового этапа, 6 — W-Sn пневматолитового этапа, 7 — рудного поля гидротермального этапа, 8 — рудных тел гидротермального этапа.

В основу классификации магматогенных геохимических полей, по [Таусон, 1983], заложен принцип стадийности процесса дегазации продуктивной интрузии. В зависимости от этого магматогенные ГХП подразделяются на три группы — магматического, пневматолитового и гидротермального этапов. Среди ГХП магматического и пневматолитового этапов можно выделить: 1) ГХП в апикальных частях интрузий, образованные в результате эманационного привноса рудных и редких элементов при становлении и кристаллизации интрузий; 2) ГХП, образующиеся при процессах ликвации магм; 3) эманационные ореолы интрузий во вмещающих породах; 4) минерализованные брекчированные зоны; 5) поля эманационного предрудного привноса в ослабленные проницаемые зоны; 6) зоны предрудных метасоматитов во вмещающих породах. Одним из примеров ряда перечисленных типов ГХП могут служить геохимические поля аномальных концентраций Бом-Горхонского вольфрамового месторождения (рис. 1).

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОЛЯ РУДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Изучение разнотипных геохимических полей [Таусон, 1974; Петровская и др., 1984; Таусон и др., 1985а,б, 1987; Кравцова, Захаров, 1996; Спиридонов и др., 2002, 2006, 2008; Спиридонов, Зорина, 2005; Кравцова, 2010; и др.] свидетельствует о их полигенном характере и сопряженности с развитием рудно-магматических систем. Геохимические поля рудных узлов и рудных полей являются результатом поздне- и постмагматических процессов (они включают также ГХП вмещающих пород, в том числе и претерпевших изменения на дорудном этапе развития природной системы). Эти поля не всегда связаны непосредственно с рудообразованием, хотя на их фоне и нередко частично за счет их вещества в дальнейшем происходит формирование оруденения месторождений.

На рудных объектах геохимические поля концентрации являются интегральным выражением привноса и перераспределения элементов на протяжении всех стадий процесса рудообразования, что можно видеть на гидротермальном этапе в разрезе Ново-Широкинского золото-полиметаллического месторождения (рис. 2). По степени концентрации геохимические поля подразделяются на три группы: ГХП слабого концентрации (коэффициент контрастности — КК, нормированный по фону, до 10), среднего (КК 10—100) и интенсивного (КК $\gg 100$). В случае относительно простого строения рудных объектов геохимические поля интенсивного концентрации совпадают с контурами промышленных залежей и соответствуют рудным телам, поля среднего уровня отвечают их ореолам, а низкого — ореолам месторождений или рудных полей [Таусон, 1983]. Примером ГПК, соответствующих рудному узлу и месторождениям, могут служить ГХП золота в пределах Дарасунского рудного узла в Восточном Забайкалье (рис. 3). На телескопированных месторождениях вокруг рудных тел зачастую фиксируются гетерогенные аномалии с уровнями концентрации от 10 до 1000 раз выше фоновых, и указанные соответствия геохимических полей и ореолов не всегда соблюдаются.

К настоящему времени, наряду с другими научными исследованиями, широкое распространение получило геолого-геохимическое моделирование природных эндогенных систем. Переход от изучения

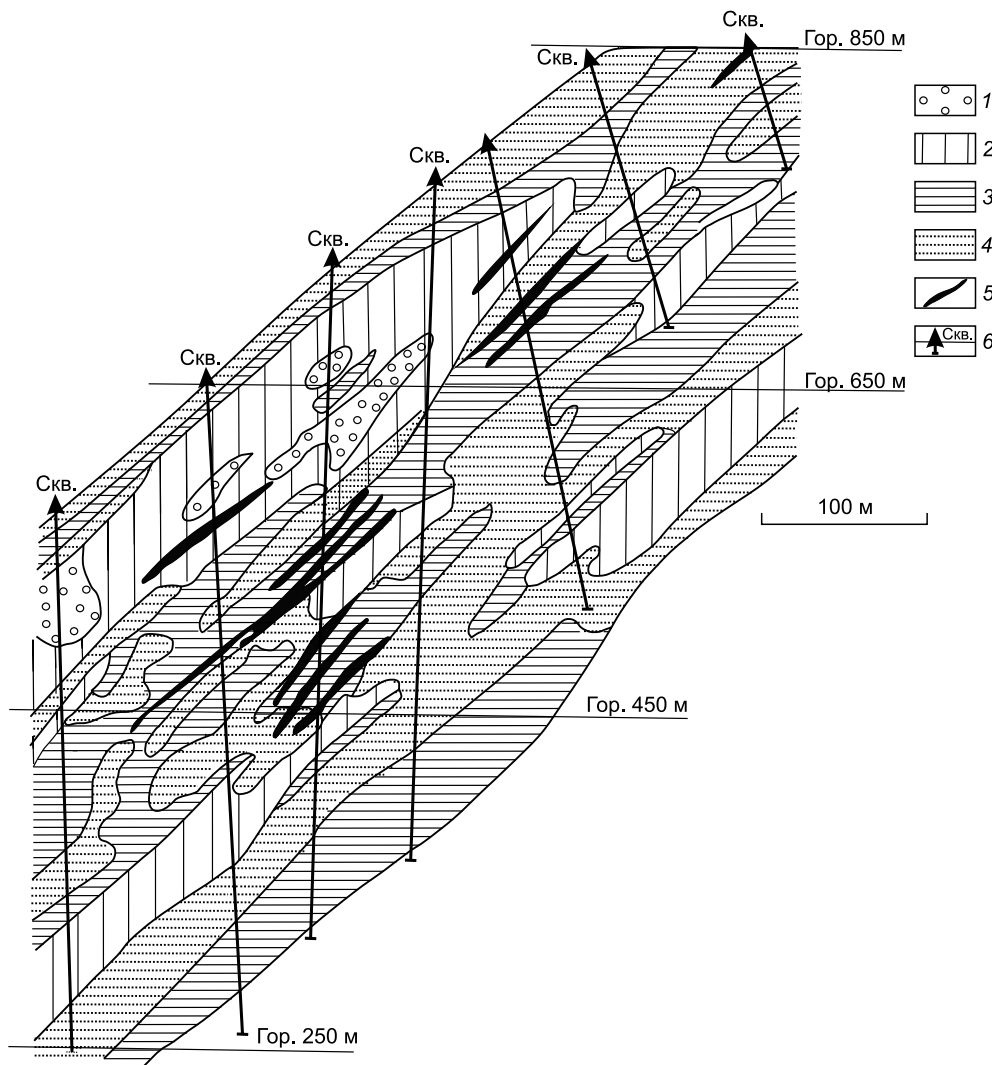


Рис. 2. Схема размещения геохимических полей концентрации в разрезе Ново-Широкинского золото-полиметаллического месторождения Забайкалья.

Материал обработан методом многомерных полей [Евдокимова, 1978].

Геохимические поля концентрации (в квадратных скобках — коэффициент контрастности КК): 1 — турмалиновой стадии (В [35] — Au [35]); 2 — колчеданной стадии (Au [414] — Bi [130] — As [70] — Ag [54] — Cu [42]); 3 — полиметаллической стадии (Pb [1325] — Ag [731] — Au [280] — Zn [43] — Hg [19]); 4 — сульфосольной стадии (Ag [1077] — Pb [336] — Au [130] — Hg [42] — Bi [35] — Sb [34]); 5 — рудные тела; 6 — скважины.

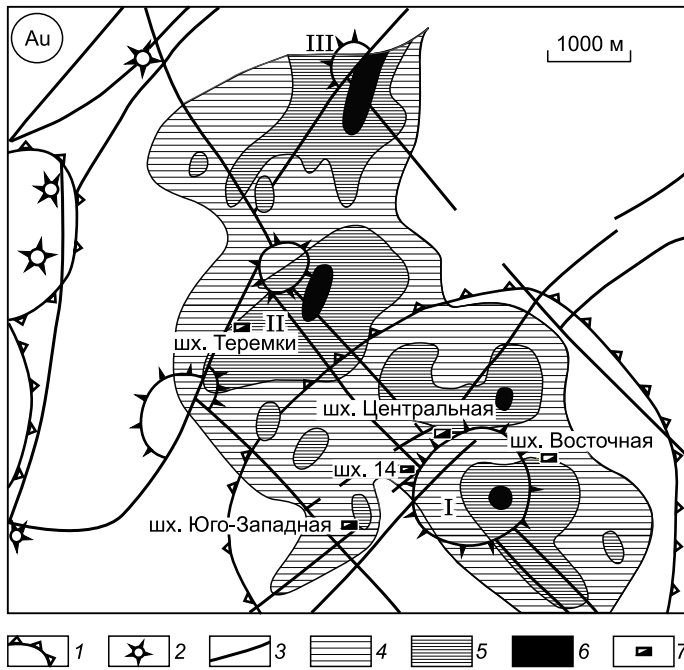


Рис. 3. Геохимические поля золота на поверхности золоторудных месторождений Дарасунского рудного узла.

1 — границы купольно-кольцевых структур; 2 — локальные вулканические аппараты (1 и 2 — по данным С.П. Летунова, Ж.В. Семинского и М.А. Морозова, 1990 г.); 3 — разрывные нарушения; 4—6 — геохимические поля разных уровней концентрирования золота в г/т: 4 — рудного узла (0,08—0,1), месторождений: 5 — > 0,1—1,6 и 6 — > 1,6—30; 7 — шахты; месторождения: I — Дарасунское, II — Теремкинское, III — Усть-Теремкинское.

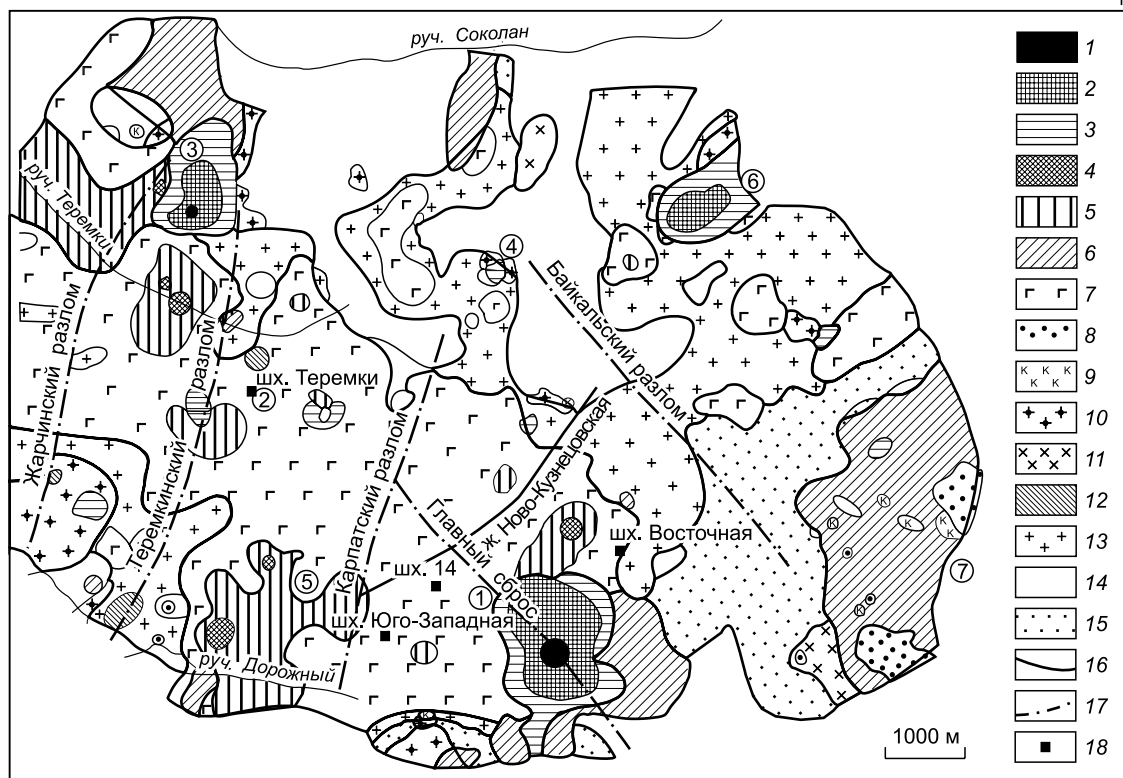
ореолов рудных тел и месторождений по отдельным сечениям или опорным профилям к объемному изучению структуры эндогенного геохимического поля (геохимические поля рассеяния — ГПР, выноса — ГПВ и концентрирования — ГПК) рудных объектов и рудно-магматических систем (РМС) в целом позволяет выйти на качественно новый уровень обобщения фактического материала. Такой

подход дает возможность увязать закономерности, выявленные в структуре аномального геохимического поля, с геодинамической и геолого-структурной позицией объекта, с особенностями вещественного состава, пространственного распределения минеральных парагенезисов и их зональным отложением, с процессами площадного и околожильного метасоматоза и гидротермального изменения вмещающих пород, с морфологией рудных тел и элементами их залегания, с температурным режимом гидротермального процесса и на этой основе разработать геохимические критерии поисков и оценки рудных объектов. Это позволяет отойти от принятой оценки отдельного ореольного обособления и рассматривать эндогенное геохимическое поле как целостную дифференцированную в пространстве и времени систему со своими особенностями и закономерностями внутреннего строения.

Каждый геологический объект характеризуется свойственными ему геохимическими полями. При формировании РМС образуются ГХП разных иерархических уровней [Таусон и др., 1985б, 1987]. Интенсивность ГХП последовательно возрастает на иерархической ступени вмещающая порода—предрудный метасоматит—синрудный гидротермалит—рудное тело—рудный столб. В целом на площадях рудных районов, узлов и месторождений наблюдается пестрая картина геохимических полей рассеяния, выноса и концентрирования. Первые, как правило, характеризуют вмещающие породы, вторые и третьи могут иметь разную природу. Примером может служить карта геохимических полей Дарасунского золоторудного узла, построенная на основе результатов геохимического картирования по коренным породам в масштабе 1:25000 с привлечением геохимических съемок более крупных масштабов (1:10000, 1:2000, 1:1000) по участкам месторождений и рудопроявлений (рис. 4).

Общей особенностью рудных узлов является образование площадных полиэлементных ГХП вмещающих пород с повышенными содержаниями отдельных элементов, отражающих, с одной стороны, геохимическую специфику этих пород, с другой — влияние гидротермального рудного процесса. На фоне площадных четко выделяются ГХП месторождений и рудопроявлений, а также локальные аномалии той или иной группы элементов, соответствующие составу оруденения (как правило, с невысокими коэффициентами контрастности — КК) и имеющие концентрически-зональное строение. На месторождениях, наряду с ГПР вмещающих пород, выделяются ГХП предрудных метасоматитов слабого концентрирования ($КК \leq 10$), синрудных гидротермалитов среднего концентрирования ($КК = 10—100$) и рудных тел интенсивного концентрирования ($КК \gg 100$). Полистадийный и телескопированный характер минерализации обуславливает многокомпонентный состав ГПК, который отвечает составу разнообразной рудной минерализации объекта и примесям, содержащимся в рудных минералах.

В процессе изучения авторами эндогенных геохимических полей ряда золоторудных месторождений и РМС Забайкалья среднепозднеюрского и раннемелового возраста установлены следующие особенности. Все известные рудные узлы Забайкалья с золотой минерализацией мезозойского возраста сгруппированы, как и месторождения (рис. 5), вдоль Монголо-Охотской сутуры (зоны сочленения Сибирского и Монголо-Китайского континентов), ее сопряженной Ононской ветви и в зонах разломов более высоких порядков в краевых частях Сибирского и Монголо-Китайского континентов [Зорин и



52° с.ш.

Рис. 4. Геохимические поля Дарасунского золоторудного узла.

1—3 — геохимические поля и их КК (в квадратных скобках) над месторождениями и рудопроявлениями:

1 — Au[175] — Ag[21] — Cu[5] — Pb[1.5] — Mo[3] — (Sn, Li, Sc, Ce, Gd)[2] — Be[1.5] — Ba, Cr[4]; 2 — Au[36] — (Ag, Pb, V, Mo, Ba)[2] — (Be, Cr)[5] — Gd[1.5]; 3 — Au[12] — (Ag, Cu, Pb, Ba, Sc)[2] — Hf[1.5];

4 — Cr[38] — Au[8] — Cu[4] — Sc[6] — Sr[3] — (Ba, Ce, La, Gd)[2] — ГХП ультраосновных пород кручининского комплекса (PZ₁);

5 — Cr[14] — Sc[9] — (Au, Cu)[4] — B[3] — (Ag, Gd, Ba, Sr)[2] — ГПК в габброидах кручининского комплекса;

6 — Au[4] — (Ag, B, Li)[3] — Pb[2] — Ce[1.5] — ГПК в гранитоидах крестовского комплекса;

7 — Cr[5] — Sc[4] — (Cu, Ba)[3] — (Au, B, Mo, Ce, La, Gd, Hf)[2] — Zn[1.5] — ГХП центрального тела слабогранитизированных габброидов кручининского комплекса, вмещающих Дарасунское и Теремкинское месторождения;

8—10 — локальные ГПК в гранитоидах:

8 — (Au, Ag)[3] — Pb[2] — (Mo, Ba)[1.5]; 9 — Au[3] — (Ag, Pb)[2]; 10 — Au[3] — (Ba, Ce)[2] — La[1.5];

11 — Sc[9] — Cr[8] — B[6] — (Ag, Cu, Sn)[4] — (Au, Mo, Ba)[2] — (Pb, Li)[1.5] — локальное ГПК в гранитизированных габброидах;

12 — Hf[8] — Gd[7] — (B, Ce, La)[6] — (Sn, Y, Yb)[5] — (Au, Mo)[4] — (Zn, Be, Nb)[3] — (Pb, Ba, Cr)[2] — ГХП синрудных лиственитов;

13 — Gd[3] — (Cu, Cr, Ba, Sc, Ce, La, Hf, Y, Yb)[2] — Sn[1.5] — ГХП гранитоидов крестовского комплекса (PZ₂);

14 — Ba[3] — Pb[2] — Ce[1.5] — ГХП гранитоидов олекминского комплекса (PZ₃ — MZ₁);

15 — Ba[3] — (B, Li)[2] — Sr[1.5] — ГХП гранитизированных габброидов;

16 — жилы; 17 — тектонические нарушения; 18 — шахты.

Месторождения и рудопроявления (номера в кружках): 1 — Дарасунское, 2 — Теремкинское, 3 — Усть-Теремкинское, 4 — Соколанское; 5—7 — вновь выявленные аномалии.

др., 1998; Zorin et al., 2001; Спиридонов и др., 2006]. Все они четко фиксируются аномалиями золота, образование которых тесно связано с механизмом формирования месторождений и РМС в процессе коллизии континентов и последующего рифтогенеза.

Аномалии Au отражают развитие РМС с малосульфидным мезотермальным (Любавинское и Ушумунское месторождения), умеренно-сульфидным (Илинское и Ключевское месторождения), существенно-сульфидным (Итакинское и Ново-Широкинское), малосульфидным эпитеермальным (Балейское) и золото-порфировым (Дарасунское и Карийское) типами минерализации. Для каждого из пере-

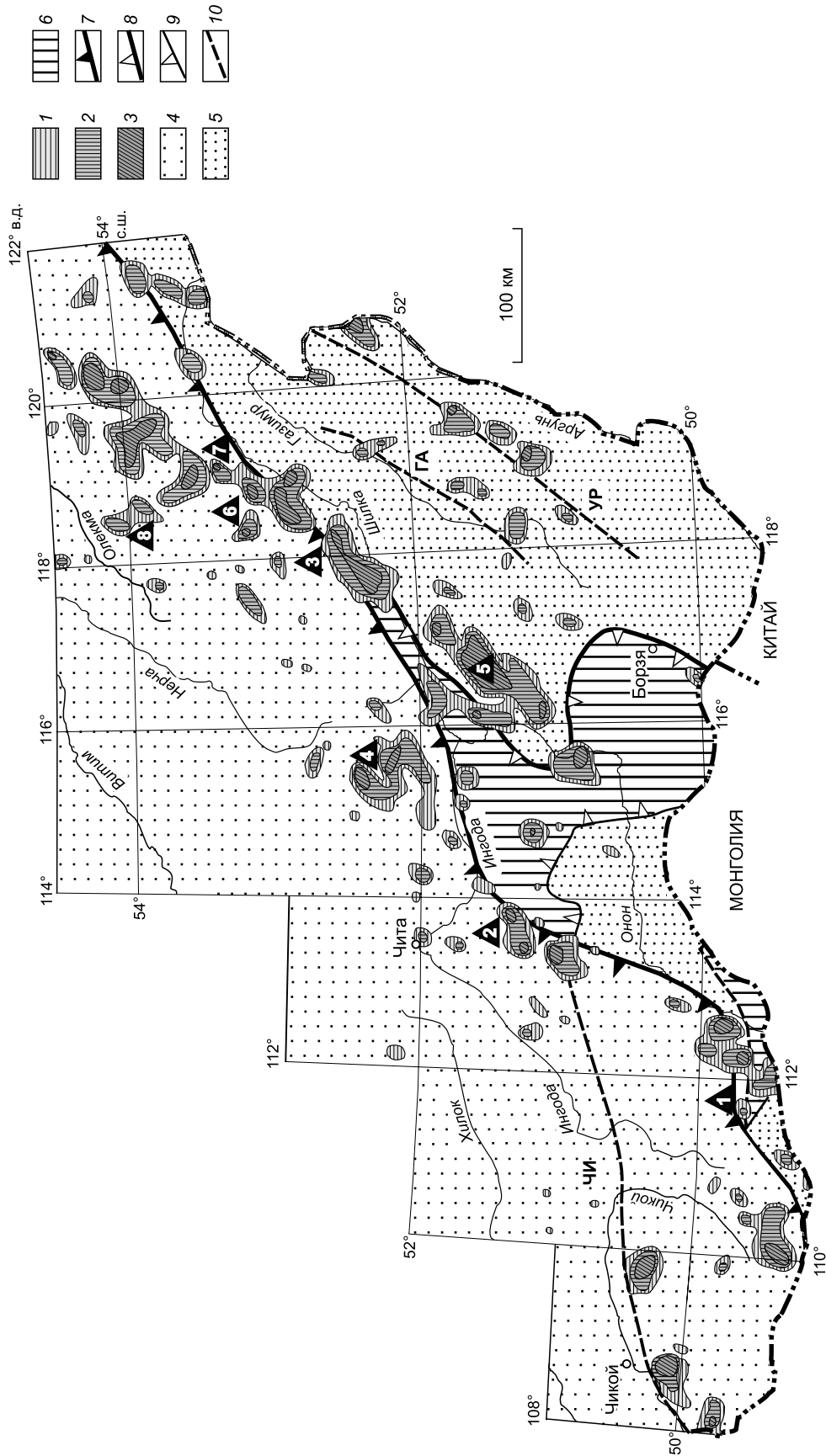


Рис. 5. Схема плотности рудных проявлений золота в Восточном и Центральном Забайкалье и расположении изученных месторождений [Зорин и др., 1998; Zorin et al., 2001; Спиридонов и др., 2006].

Количество рудных проявлений золота на 100 км²: 1 — от 1 до 2, 2 — от 2 до 4, 3 — 5 и более. Геодинамические подразделения на время коллизии: 4 — Сибирский континент, 5 — Монголо-Китайский континент, 6 — Ононский островоужный террейн. Монголо-Охотская сutura: 7 — основная ветвь сутуры, 8 — Ононская ветвь сутуры, 9 — фрагменты Ононского надвига, ограничивающие эрозийные окна, 10 — разломы, возникшие либо обновленные во время коллизии: ЧИ — Чикой-Ингодинский, ГА — Газимурский, УР — Урулунгуевский. Месторождения: 1 — Любавинское, 2 — Илинское, 3 — Ушумунское, 4 — Дарасунское, 5 — Ушумунское, 6 — Карийское, 7 — Ключевское, 8 — Игакинское.

Таблица 1. Состав и контрастность геохимических полей концентрирования типовых золоторудных месторождений забайкальской части Монголо-Охотского складчатого пояса

Месторождение	КК* элементов-индикаторов геохимических полей концентрирования			
	> 100	10—100	3—10	< 3
Балейское	Au, Ag, As, Sb, Pb	Cu, Sn, Hg	Zn	
Ново-Широкинское	Au, Ag, Sb, Pb	Zn, B, Ba, Hg	Bi, As	
Итакинское	Au, As, Sb	Ag, Bi	W, Cu, Zn	Pb, Mo, B
а) Сурьмяная горка				
б) Малеевский	Au	Ag, As, Sb, Bi, Mo	Cu, Zn, W, Pb	
Ключевское	Au, Ag, As, Bi, B, Cu		W, Mo, Sn, Co	
Дарасунское	Au, Ag, As, Bi, Cu, Pb, Zn	B, Hg	Sb, W, Mo	Co
Карийское				
а) Сульфидный	Ag, As, Bi	Au, Sb, W, Cu, Pb, Zn, Mo, B	Co, Li	Sn
б) Новинка	Au, Bi, W	Ag, As, Cu, Mo	B, Pb, Co, Li	Zn, Sn
в) Дмитриевский	Au, Bi, B	Ag, W, Cu, Mo	As, Pb, Zn, Sn	Co, Li
Любавинское	Au, Ag, As, Hg	W, Mo	Cu, Bi, Zn	Pb, Sn, Co, Li, Sb
Ушумунское	Au, Bi, W	Ag, Cu	As, Mo	Pb, Zn, Co

* КК — коэффициент контрастности (отношение концентрации элемента-индикатора ГПК к фону) или кларк концентрации (отношение концентрации элемента-индикатора ГПК к кларку); а), б), в) — участки месторождения.

численных месторождений характерны свои геохимические поля разных уровней концентрирования (табл. 1).

В соответствии со сменой с юго-запада на северо-восток по простиранию Монголо-Охотской суртуры профилирующих, несущих золотое оруденение минеральных типов меняются и профилирующие геохимические ассоциации. Об этом можно судить [Спиридонов и др., 2002] по смене типоморфных элементов золоторудных систем (элементы в рядах расположены по степени убывания их контрастности, а типы названы по типовым месторождениям): для любавинского типа характерны As, Hg, Au, Ag, для илинского — Au, As, Ag, Bi, для ушумунского — Au, Te, Cu, Bi, Ag, W, As, для дарасунского — Au, Ag, Bi, As, Pb, B, Hg, Cu, Zn, для балейского — Au, Ag, As, Sb, Pb, Cu, Hg, для карийского — Bi, W, Au, Mo, Ag, As, Cu, для ключевского — B, Bi, As, Au, для итакинского — Au, As, Sb, Ag, B, Mn.

Установлена четкая зависимость размеров ГПК от морфологических особенностей рудных тел. Преобладающими морфологическими типами на рассматриваемых месторождениях являются жилы (как классические с резкими контактами с вмещающими породами, так и с оторочками прожилково-вкрапленных руд), минерализованные зоны и в меньшей степени штокверковые зоны. Ширина полей аномальных концентраций и рудных жил с прожилково-вкрапленной оторочкой и минерализованных зон значительно больше, чем у классических жил. Так, например, ширина ГПК у жил Дарасунского месторождения редко превышает первые метры и обычно не выходит за пределы горных выработок, пройденных по жилам. На Талатуйском (Дарасунский рудный узел), Карийском, Тасеевском (Балейский рудный узел) и некоторых других месторождениях ширина ГПК достигает десятков и даже сотен метров. Ширина аномальных полей у штокверковых зон также весьма значительна (Балей, Ключевское и др.). При разветвлении основных жил на серию мелких прожилков, как это имеет место на верхних горизонтах Тасеевского месторождения [Тупяков, 2001; Спиридонов и др., 2006], образуются широкие, шапкообразной формы геохимические поля (в данном случае надрудные ГПК сурьмы, мышьяка и ртути). Таким образом, по размерам ГПК Au и других элементов-индикаторов можно в ряде случаев судить о морфологическом типе рудной залежи. И, наоборот, знание морфологии рудных тел способствует выбору оптимального интервала опробования при исследовании ГПК.

На изученных месторождениях преобладает крутое падение рудных тел. Геохимические поля таких тел имеют значительную протяженность по восстанию рудных тел даже после выклинивания продуктивного оруденения. Отмеченную особенность следует учитывать при оценке рудных объектов.

Все исследованные месторождения расположены в аломосиликатных, преимущественно в магматических и в меньшей степени в осадочно-метаморфических и вулканогенно-осадочных, породах. Такой состав вмещающей среды, безусловно, отразился на составе геохимических полей вмещающих пород: с преобладанием элементов литофильной группы в ГХП пород кислого—среднего состава, халькофильной группы — в ГХП пород основного состава и с участием элементов обеих геохимических групп — в ГХП осадочно-метаморфических пород и вулканогенно-осадочных отложений депрессий.

Изменение химического состава пород в пределах зон метасоматического замещения выражается в контрастном изменении (уменьшении или увеличении) содержаний щелочных (K, Na, Rb, Li, Cs), щелочно-земельных (Ba, Sr) и летучих (B, F, Cl, H₂O) элементов. Менее контрастны колебания содержаний SiO₂, Mg, Ca и других петрогенных элементов. Наблюдаются колебания концентраций и рудных элементов (Au, Ag, As, Bi, Cu, W, Mo, Pb, Zn, Sb и др.). В результате процессы метасоматического замещения вмещающих пород, как правило, сопровождаются геохимическими полями, связанными с определенным перераспределением петрогенных и рудных элементов. При этом одни элементы привносятся в околорудное пространство (образуются ГПК слабого концентрирования), другие — выносятся из него (образуются геохимические поля выноса — ГПВ). Элементный состав ГХП отвечает минеральному составу колонок метасоматического замещения вмещающих пород, несмотря на то, что размеры ГХП обычно превышают мощность зон метасоматического замещения. Эта особенность распределения рудных элементов имеет важное значение при разработке геохимических критериев оценки и поисков золоторудных месторождений.

К числу главных элементов-индикаторов золотого оруденения отнесены элементы, имеющие значимую положительную корреляционную связь с золотом и образующие ГПК высокой интенсивности. В сумме они составляют одиннадцать основных элементов-индикаторов, определяющих геохимический облик золотого оруденения Забайкалья: Au, Ag, As, Sb, Bi, W, Cu, B, Pb, Zn, Hg (см. табл. 1). Эти элементы на месторождениях образуют контрастные геохимические поля значительных размеров. Коэффициент контрастности (или кларк концентрации) элементов колеблется от 100 до 1000 и более. Наибольшее распространение из этой группы получили ГПК Au, Ag, As, несколько меньшее развитие имеют аномалии Cu, Bi, Pb и Zn и лишь в некоторых типах золотых месторождений отмечаются ГПК W, B, Sb и Hg. В группу второстепенных отнесены элементы, образующие слабоконтрастные и небольшой мощности ГХП, а их связь с золотом определена как менее существенная.

Полистадийный и телескопированный характер минерализации обусловил сложное строение и многокомпонентный состав геохимических полей концентрирования, ГПХ разных стадий минерализации телескопированы и различаются только типоморфными элементами и их коэффициентами контрастности (> 100): редкометалловый — W, Mo; турмалиновый — В; актинолит-магнетитовый — W, Bi, Mo, Ag, Cu; висмут-теллуридовый — Bi, Te, W, Cu; колчеданный — As, реже Bi и Cu; полиметаллический — Pb, Zn, Ag, Hg; сульфосольный — Ag, Bi, Pb, Sb, Hg, Cu, As, Zn и др. при тесной корреляции между ними. Часто отмечается столбовой характер распределения элементов в рудных телах, концентрически-зональное строение столбов: внутренние зоны характеризуются полным набором элементов-индикаторов, их максимальными КК; фоном служат геохимические поля ранних стадий минерализации. На протяжении рудных жил и минерализованных зон выделяется *n*-число рудных столбов, которые ритмично чередуются с пережимами. В пережимах сохраняются признаки только периферийных зон.

Каждый из выделенных типов месторождений характеризуется свойственным ему рядом зональности геохимических полей концентрирования (табл. 2). Вместе с тем месторождения, относящиеся к одному минеральному типу, обнаруживают ряд общих закономерностей. Устойчиво «надрудными» элементами являются Hg, Sb, Ag, Pb, Zn, As. Группу устойчиво «подрудных» элементов составляют Mo, W, Bi. Отмечается отчетливо направленное увеличение числа «надрудных» элементов от относительно высокотемпературных месторождений к низкотемпературным. Это связано с увеличением во всех более низкотемпературных месторождениях роли сульфосолей, а также минералов Sb, Ba, Hg. Употребля-

Таблица 2. Зональность геохимических полей типовых золоторудных месторождений забайкальской части Монголо-Охотского складчатого пояса

Месторождение	Ряды зональности геохимических полей концентрирования
Балейское	[Au] — (Ag — As, Sb — Cu, Pb — Sn, Zn — Hg)
Ново-Широкинское	(B) — [Au, As, Cu, Bi, Pb, Zn, Ag] — (Sb — Ba, Hg)
Итакинское	(Co, Ni — Mo, Bi, W — Zn) — [Au] — (Pb — Ag — Cu — As — Sb)
Дарасунское	(Ni, Co — Mo, W — Cu, B — [Bi — Au — As] — Ag — Pb, Zn — Sb — Hg)
Карийское	(Ni, Co — Li, Sn, B — Mo) — [Au, Bi] — (W, Ag — Cu — Zn, As — Pb, Zn)
Ключевское	(Co, Sn — B) — [Au — Bi, As] — (Ag — Cu — Mo, W)
Любавинское	(Li, Mn — Co — Mo, W — As) — [Au — Ag — Cu, Bi] — (Sb — Pb, Zn, As — Mo, W — Mn, Hg)
Ушумунское	(Mo, W — Cu) — [Au, Bi, Te] — (As — Pb, Ag — Zn)
Обобщенный ряд	(Sn, Co — Li, B — Mo) — [W — Cu, Bi — Au — Ag] — (Zn — As — Pb — Sb — Hg, Ba)

Примечание. В квадратных скобках — интервал расположения Au; в круглых скобках: слева — «подрудный» интервал, справа — «надрудный».

емые термины «надрудные» и «подрудные» элементы имеют условный смысл: они отражают положение элемента в ряду зональности относительно золота: левее — «подрудный», правее — «надрудный».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых должны базироваться на изучении геохимических полей разных уровней концентрирования, выяснении природы их образования с ранжированием в соответствии с предложенной классификацией и не ограничиваться изучением только первичных ореолов.

В качестве поисковых и оценочных критериев рекомендуется использовать: 1) состав и контрастность геохимических полей концентрирования; 2) зональное строение ГПК; 3) ритмично-столбовое распределение ГПК в рудных телах.

На стадиях детальных разведочных и эксплуатационных работ для прослеживания оруденения на глубину, а также для выявления «слепых» рудных тел важное значение имеет создание на начальных этапах работ геолого-геохимических моделей отдельных рудно-магматических систем на основе систематического геохимического опробования всех поверхностных горных выработок и керна буровых скважин, анализа отобранных проб с последующей обработкой материалов на ЭВМ методом многомерных полей [Китаев, 1990]. Полученная при этом объемная картина распределения геохимических полей рассеяния и концентрирования дает возможность применить ее в дальнейшем для оценки отдельных структур, флангов и глубоких горизонтов месторождений.

ЛИТЕРАТУРА

Евдокимова В.Н. Автоматизированная система обработки геолого-геохимической информации методом многомерных полей // Геохимические методы поисков рудных месторождений в Сибири и на Дальнем Востоке. Новосибирск, Наука, 1978, с. 3—26.

Зорин Ю.А., Беличенко В.Г., Рутштейн И.Г., Зорина Л.Д., Спиридонов А.М. Геодинамика западной части Монголо-Охотского пояса и тектоническая позиция рудных проявлений золота в Забайкалье // Геология и геофизика, 1998, т. 39 (11), с. 1578—1586.

Китаев Н.А. Многомерный анализ геохимических полей. Новосибирск, Наука, 1990, 120 с.

Кравцова Р.Г. Геохимия и условия формирования золото-серебряных рудообразующих систем Северного Приохотья. Новосибирск, Академическое изд-во «Гео», 2010, 293 с.

Кравцова Р.Г., Захаров М.Н. Геохимические поля концентрирования Дукатской золото-серебряной рудно-магматической системы (северо-восток России) // Геология и геофизика, 1996, т. 37 (5), с. 28—38.

Петровская С.Г., Спиридонов А.М., Гнилуша В.А. Зональность геохимических полей и их поисковое значение (на примере одного из золоторудных узлов) // Геология и геофизика, 1984 (9), с. 56—64.

Спиридонов А.М., Зорина Л.Д. Геохимические индикаторы золоторудных месторождений забайкальской части Монголо-Охотского складчатого пояса // Благородные и редкие металлы Сибири и Дальнего Востока: рудообразующие системы месторождений комплексных и нетрадиционных типов руд (Материалы научной конференции, 3—7 октября 2005 г.). Иркутск, 2005, т. 2, с. 52—55.

Спиридонов А.М., Зорина Л.Д., Куликова З.И. Природа геохимических полей золоторудных систем Забайкалья // Прикладная геохимия. Вып. 3. Прогноз и поиски. М., ИМГРЭ, 2002, с. 193—205.

Спиридонов А.М., Зорина Л.Д., Китаев Н.А. Золотоносные рудно-магматические системы Забайкалья. Новосибирск, Академическое изд-во «Гео», 2006, 291 с.

Спиридонов А.М., Романов В.А., Зорина Л.Д. Геохимические поля — основа геохимических методов поисков // Сборник Четвертого Международного совещания «Геохимия биосферы». Новороссийск, 2008, с. 201—214.

Таусон Л.В. О геохимических типах гранитоидов // Ежегодник-1972 СибГЕОХИ, Иркутск, 1973, с. 70—74.

Таусон Л.В. Закономерности образования эндогенных ореолов рассеяния в полях рудных месторождений // Геология и геофизика, 1974 (5), с. 113—123.

Таусон Л.В. Проблемы прикладной геохимии // Проблемы эндогенного рудообразования и металлогении. Новосибирск, Наука, 1976, с. 229—238.

Таусон Л.В. Геохимические типы и потенциальная рудоносность гранитоидов. М., Наука, 1977, 280 с.

Таусон Л.В. Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих месторождений // Methods of geochemical prospecting (MGP). Praga, 1979, p. 17—20.

Таусон Л.В. Магматогенные геохимические поля рассеяния и концентрирования // Геохимические методы поисков рудных месторождений. Новосибирск, Наука, 1981, с. 30—37.

Таусон Л.В. Геохимия и металлогения латитовых серий // Геология рудных месторождений, 1982, № 5, с. 34—44.

Таусон Л.В. Теория геохимических полей концентрирования и геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых // Проблемы прикладной геохимии. Новосибирск, Наука, 1983, с. 5—18.

Таусон Л.В. Магмы и руды // Геохимия рудообразующих систем и металлогенический анализ. Новосибирск, Наука, 1989, с. 5—7.

Таусон Л.В., Баумштейн В.И., Зорина Л.Д. Геохимические поля Быстринского рудного узла // Геология рудных месторождений, 1985а, № 5, с. 34—44.

Таусон Л.В., Петровская С.Г., Спиридонов А.М., Гнилуша В.А., Кочеткова Л.Ф. Закономерности размещения геохимических полей концентрирования в кольцевых структурах с латитовым магматизмом // Докл. АН СССР, 1985б, т. 282, № 3, с. 697—701.

Таусон Л.В., Гундобин Г.М., Зорина Л.Д. Геохимические поля рудно-магматических систем. Новосибирск, Наука, 1987, 202 с.

Тупяков В.Е. Многофакторная модель и прогнозно-поисковый комплекс золотого оруденения Балейского рудного узла // Ресурсы Забайкалья, 2001, № 1, с. 63—73.

Ферсман А.Е. Геохимические и минералогические методы поисков полезных ископаемых. М., Изд-во АН СССР, 1940, 446 с.

Zorin Yu.A., Zorina L.D., Spiridonov A.M., Rutshtein I.G. Geodynamic settings of gold deposits in the Transbaikal region (Eastern Siberia, Russia) // Ore Geol. Rev., 2001, v. 17, p. 215—232.

*Поступила в редакцию
23 сентября 2013 г.*