

УДК 553.3/4.078:553.2 552.11

**МАНТИЙНЫЙ МАГМАТИЗМ И ТИПИЗАЦИЯ ЗОЛОТОРУДНЫХ УЗЛОВ
ГОРНОГО АЛТАЯ И ГОРНОЙ ШОРИИ:
ПЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ И ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ АСПЕКТЫ**

¹Гусев А.И., ¹Гусев Н.И., ²Коробейников А.Ф.

¹*Алтайская государственная академия образования им. В.М. Шукшина, Бийск,
e-mail: anzerg@mail.ru;*

²*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск*

Приведены данные по типизации золоторудных узлов Горного Алтая и Горной Шории с использованием геофизических методов исследования и петрологических аспектов рудогенерирующего магматизма. Показаны различия в глубинном строении типов золоторудных узлов, особенностей генезиса рудогенерирующего магматизма, различий в мантийно-коровом взаимодействии. Приведены факторы генерации золото-медно-скарнового, золото-черносланцевого, золото-теллуридно-скарнового, медно-молибден-золото-порфирирового, эпitherмального золото-серебряного и других типов оруденения. Получены абсолютные датировки 3 возрастных уровней золотого оруденения: кембрийского, девонского и мелового.

Ключевые слова: золоторудные узлы, типы оруденения, рудогенерирующий магматизм, флюидный режим магматогенных флюидов, мантийно-коровое взаимодействие, изотопы Nd, Sr

**THE MANTLE-CRUST INTERACTION AND TYPEZATION OF GOLD-ORE
DISTRICTS OF MOUNTAIN ALTAI AND MOUNTAIN SHORIA:
PETROLOGIC B GEOPHYSIC ASPECTS**

¹Gusev A.I., ¹Gusev N.I., ²Korobeinikov A.F.

¹*The Shukshin Altai State Academy of Education, Biisk, e-mail: anzerg@mail. ru;*

²*National Research Tomskii Politekhncial Univercity, Tomsk*

Data on typezation of gold ore districts of Mountain Altai and Mountain Shoria with using geophysic methods investigations and petrologic aspects ore generation magmatism lead. Distinctions in deep building types gold ore districts, peculiarities of genesis ore generation of magmatism , distinctions in vantle-crust interactions show. Factors of generation gold-copper skarns, gold black shists, gold-telluride-skarns, copper-molibdenium-gold porptypes, epithermal gold-silver abd other types ore mineralization lead. Absolute dating of 3 ages levels of gold ore mineralization: Cambrian, Devonian and Cretaceous received.

Keywords: gold ore districts, type of ore mineralization, ore generation magmatism, fluid regime magmatic fluids, mantle-crust interaction, isotopes Nd, Sr

Глубинное строение территорий и петрология магматических образований имеют важную роль в рудообразовании [3]. Этим и объясняется актуальность изучения указанных параметров для генерации золоторудных месторождений. Горная Шория и Горный Алтай характеризуются широким распространением месторождений и перспективных проявлений золота. Цель настоящего исследования – провести типизацию золоторудных узлов Горного Алтая и Горной Шории с использованием геофизических методов исследования и петрологии рудогенерирующих магматитов.

Результаты исследований. На основании анализа распределения золоторудных и иных типов эндогенного оруденения в тектонических блоках с различным глубинным строением ниже предлагается типизация рудных узлов для Горного Алтая и Горной Шории.

I – тип золоторудных узлов со средне опущенной кровлей астеносферного слоя, поверхностью Мохоровичича и мини-

мальной глубиной залегания поверхности Конрада. В них распространены наиболее древние образования верхнерифейского, вендского и нижнекембрийского возрастов, формировавшихся в обстановках океанического спрединга и примитивных островных дуг. Металлогенический профиль в верхней литосфере отвечает минерагеническому таксону с комплексным халько-сидерофильным профилем с золотом, медью, марганцем, железом, никелем, кобальтом, хромом, платиноидами [3].

Прогнозируемий Сиинско-Коуринский золоторудный узел характеризуется аномальным значением плотности базальтового слоя (2,76 г/см³) и максимальными для этого рудного района показателями мощности базальтового слоя (18-19 км). Рудный узел совпадает с крупным гравитационным максимумом, к краевым частям которого приурочены золоторудные поля. Этот рудный узел тяготеет к бортам спредингового трога с мощными офиолитовыми образованиями сеглебирского комплекса, сложенного ги-

пербазитами, габброидами и амфиболитами. В расслоенных гипербазитах имеются медно-никелевые проявления с платинидами. При этом, в рудном узле наблюдается закономерное положение Сиинского и Кубанского рудных полей, приуроченных к восточному борту офиолитового клина, на который наложены впадины, выполненные углеродисто-терригенными образованиями с повышенной карбонатностью. В прогнозируемом Кубанском рудном поле, локализованном в осадочном слое океанической коры, отмечается рой даек пёстрога состава с долеритами, габбро-долеритами, диоритами, лампрофирами, редко – плагиогранитами с предположительным кембрийским возрастом. Магматизм имеет мантийные характеристики. Рой даек указывает на предполагаемое наличие на глубине интрузии, возможно, относящейся к габбро-плагиогранитовому типу. Плагиограниты даек относятся к I-типу слабо контаминированных мантийных гранитоидов, имеющих сходство по параметрам флюидного режима с плагиогранитами (относящимися к адakitовым гранитоидам) кунушского габбро-плагиогранитного комплекса Восточной Калбы [9].

Прогнозируемый Ульменский медно-золоторудный узел, в отличие от Сиинско-Коуринского, приурочен к тектоническому блоку с меньшим значением плотности коры ($2,73 \text{ г/см}^3$) и меньшей мощностью базальтового слоя (17-18 км). В созидании магматитов и связанных с ними руд значительную роль играли мантийные процессы. Рудный узел приурочен к очаговой структуре, специфику которой определяют интрузии ульменского комплекса (C_2), в котором отмечаются расслоенные габбро-пироксенитовые, пироксенитовые линзы, габброиды, монцонитоиды, сиениты и гранодиориты. Гранитоиды комплекса относятся к I-типу Sr-деплетированному и Y-деплетированному. Это указывает на то, что гранитоиды выплавлялись из верхне-мантийного протолита, в котором присутствовали и гранат, и плагиоклаз. Не исключается небольшая контаминация корового материала [9]. Соотношения стабильных изотопов стронция ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) в породах комплекса варьируют от 0,70522 до 0,70413, характерные для неконтаминированных мантийных магм. Соотношения изотопов серы в сульфидах ($\delta^{34}\text{S}=(+1,8)-(+3,2)$) золото-медно-скарновых руд также свидетельствуют о магматогенном источнике серы. Кислые и средне-кислые породы комплекса харак-

теризуются повышенной щёлочностью и относятся к латитовой серии магматитов, характеризующихся весьма высокими значениями восстановленности флюидов, фугитивностей HCl и парциальных давлений CO_2 и H_2O .

II тип золоторудных узлов со средне- и максимально опущенной кровлей астеносферы, со средними глубинами поверхности Конрада и максимальными поверхностями Мохо. К этому типу рудных узлов относятся Синюхинский медно-золоторудный и Уйменский молибден-медно-золоторудный, сформированные при значительном участии мантийных процессов.

Они отвечают малоподвижным блокам (периферии Катунского, Бийского, Талицкого поднятий), подвергшиеся активному клино-раздвигу рифтогенного типа в условиях трансформной континентальной окраины (Ануйский, Лебедской, Уйменский, Чарышский прогибы) под влиянием глубинного теплопереноса сопредельных регагенальных зон. Рудные районы формировались не только в результате функционирования трансформной континентальной окраины, но и под воздействием мантийных струй, возникавших в мантии при активной роли суперплюма. Рифтогенные депрессии выполнены мощными терригенно-вулканогенными толщами девона. Для этих тектонических блоков характерно полихронное формирование вулканоплутонических поясов, обеспечивающих накопление в верхней литосфере широкого спектра рудных элементов (в связи с гранитоидами I- и A-типов): молибдена, вольфрама, бериллия, меди, полиметаллов, золота, олова, формировавшимся в связи с активными мантийными процессами и отвечают лито-халькофильной астеногенали. Ведущими рудными формациями данного типа структур являются золото-медно-скарновые, жильные золото-сульфидно-кварцевые, медно-золото-порфиоровые и слабо изученные субвулканические золото-серебряные. Для медно-молибден-золото-порфиоровых месторождений и проявлений устанавливается чёткая связь с окраинами тектонических блоков, подвергшиеся океанизации с разуплотнением астеносферного слоя при формировании вулканоплутонических построек кольцевого типа (ринг-структур Плотбищенской, Бешпельтирской, Андобинской, Аинской, Чойской, Чуриной МРМС) в верхней литосфере с «монцонитоидным трендом» (Кувашский, Байгольский ареалы порфиоровых субвулка-

нических комплексов). Блоки такого рода обычно совмещены с зонами крупных градиентов Δg (в редукции Буге) и совпадают, или соседствуют с рифтогенными впадинами (Чарышская, Ануйская, Уйменская, Лебедская), или структурами типа пул-апарт (Суричская, Ужлепская, Чойская). В составе Чойского рудного поля присутствует золото-теллуридно-скарновое, кварцево-жильное зоото-теллуридное, стратиформное медно-цинково-золото-теллуридное, скарнове молибденит-шеелитовое [2].

Синюхинский медно-золоторудный узел располагается над поднятием поверхности Конрада (до 21 км) и наиболее высоким положением поверхности Мохо в анализируемом рудном районе (до 54 км). По оси поднятия интродировал Синюхинский массив, являвшийся совместно с глубинным магма-

тическим очагом основным энергетическим источником, в краевых частях которого располагаются золоторудные поля [1]. В области развития даек порфиров от долерита до гранит-порфира на участке Черёмуховая Сопка получило развитие, кроме золото-медно-скарнового, также и медно-золото-порфировое оруденение. Массив, дайки, метасоматиты и руды являются производными дифференциатами вышеупомянутого магматического очага. Южную часть поднятия слагают гранитоиды Саракокшинского массива (ϵ_3), относящегося к габбро-плагиигранитовой серии. Плагииграниты Саракокшинского массива относятся к М-типу гранитоидов (толеитовой серии), а по соотношениям изотопов стронция ($\epsilon(\text{Sr})=12,0$) и неодима ($\epsilon(\text{Nd})=6,74$) близки к умеренно деплетированной мантии (PREMA) (рисунок).

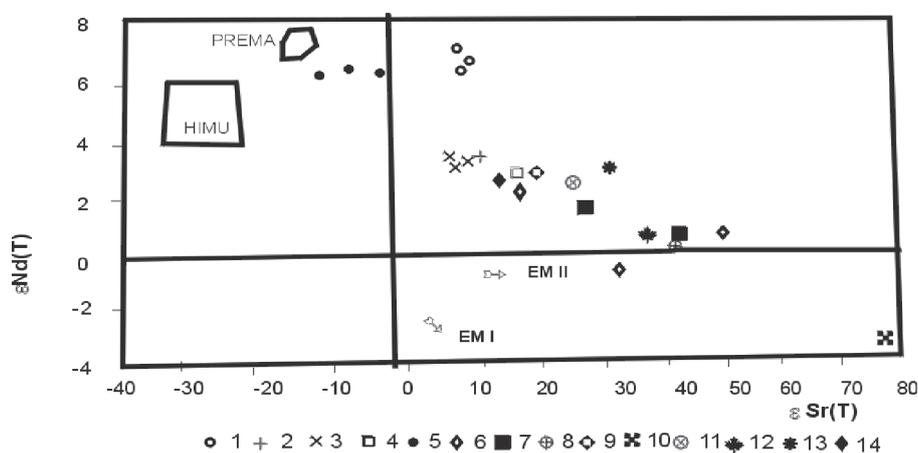


Диаграмма $\epsilon(\text{Sr})t - \epsilon(\text{Nd})t$ по [10] для интрузивных пород Горного Алтая плагииграниты Саракокшинского массива (ϵ_3); 2 – гранодиориты каракудюрского комплекса (D); 3 – тоналиты Синюхинского массива ($D_{1,2}$); 4 – лейкограниты Турочакского массива (D_2); 5 – пироксениты, сиениты, карбонатиты комплекса эдельвейс; 6 – гранодиориты усть-беловского комплекса (D_3); 7 – граниты Белокурухинского массива (P_2-T_1); 8 – лейкограниты Бабырганского массива (T_1); 9 – гранодиориты змеиногогорского комплекса (D_3); 10 – сподуменовые граниты Алахинского массива (J_1); 11 – граниты Киндерлинского массива (D_3); 12 – граниты боровлянского комплекса (D_3-C); 13 – граниты кубадринского комплекса (D_1); 14 – гранодиориты каракудюрского комплекса (D)

Синюхинские гранодиориты и тоналиты ($D_{1,2}$) близки к гранитоидам андезитовой серии, а по тем же соотношениям стронция ($\epsilon(\text{Sr})=8,7$) и неодима ($\epsilon(\text{Nd})=3,5$) располагаются в промежутке между мантийным источником умеренно-деплетированной мантии (PREMA) и источником EM II (обогащённой мантии) (рис. 1). При этом EM II отражает близость к верхне коровому континентальному источнику. Вероятно, синюхинские тоналиты близки к смешанному компоненту верхней мантии с верхне коровым континентальным материалом, что

подтверждается соотношением изотопов стронция в гранитоидах массива, варьирующих от 0,70513 до 0,70528. Гранитоиды Синюхинского массива попадают в поле I-WS умеренно контаминированного типа.

Гранитоиды рудного узла относятся к I-WS типу гранитов Sr- не деплетированному и Y-деплетированному. Формирование таких гранитоидов предполагает верхнемантийный источник и исключает их островодужную или окраинно-континентальную природу. Выплавление таких магм происходит из источника, обогащен-

ного гранатом (гранатовые перидотиты), что подтверждается их деплетированностью на иттрий. Следовательно, гранитоиды Синюхинского рудного узла формировались в сложной обстановке в комбинации трансформной континентальной окраины и, вероятно, мантийных струй суперплюма, игравших решающую роль в становлении магматических образований и оруденения. В составе последнего, помимо меди, висмута, золота, серебра, присутствуют платиноиды. В целом, Синюхинская магмо-рудно-метасоматическая система относится к окисленному типу, в рудах которой присутствуют магнетит и спекулярит, формирующиеся в окислительной обстановке [5]. Флюидный режим гранитоидов определялся доминированием фугитивности HCl над HF, а также повышенными значениями летучестей и парциальных давлений таких летучих компонентов, как H₂O и CO₂.

Уйменский молибден-медно-золоторудный узел в отличие от предыдущего располагается в тектоническом блоке с более низким положением поверхностей Конрада (до 21 км) и Мохо (до 55 км). Преобладающая часть месторождений и проявлений молибден-медно-золото-порфиорового типа локализуется по периферии наиболее прогнутой кровли астеносферы. Рудный узел совпадает с осевой частью Уйменского терригенно-вулканогенного прогиба. Порфиоровые интрузии байгольского комплекса и гранитоиды Кульбичского месторождения характеризуются оптимальными параметрами флюидного режима и набором летучих компонентов, способствовавших формированию оруденения с различным соотношением меди, молибдена и золота. В пределах рудного узла выделяются два типа рудных полей: Кульбичское молибден-медно-золото-порфиоровое и прогнозируемое Чуриновское эпitherмальное золото-серебряное.

Гранитоиды этого типа рудных узлов относятся к Sr-деплетированному и Y-не деплетированному I-типу, обогащённому несовместимыми элементами (Y, Zr, Nb). Подобные магмы образуются путём частичного плавления материала высоко скоростного слоя (для сейсмических преломлённых волн -7,4-7,6 км/сек) на глубинах более 40 км в поле стабильности плагиоклаза среди гранулитов. Считается, что этот слой образовался в нижней коре в результате тектонотермальных процессов в условиях гранулитовой фации метаморфизма. Следовательно, можно предположить, что порфиоровые образования региона с указан-

ными характеристиками образовались в результате минглинга магм из нижней коры и мантии (наличие базитовых реститов в диоритах и линз пироксенитов указывает на мантийный материал). Прогнозируемое Чуриновское золото-порфиоровое рудное поле приурочено к крупной кольцевой структуре, подчёркиваемой субвулканическим массивом порфиоровых гранитоидов и кольцевыми и радиальными порфиоровыми дайками диоритов, монцодиоритов, указывающих на наличие на глубине не вскрытой интрузии. Во флюидо-эксплозивных брекчиях выявлены цирконы, имеющие возраст 126 млн. лет, наряду с девонскими [8]. В отличие от предыдущего рудного поля флюидный режим генерировавшихся магматитов характеризовался восстановленным режимом. Летучести и парциальные давления H₂O и CO₂ колеблются от 1 до 3,8 кбар.

Прогнозируемый Новофирсовский золоторудный узел уникален по геофизическим характеристикам и положению основных границ литосферы. Рудный узел приурочен к депрессионной структуре пулапарт, формировавшейся в обстановке сдвига-раздвига, выполненной вулканогенными образованиями девонского возраста, прорванными многочисленными мелкими интрузиями гранитоидов. Сама структура приурочена к зоне сопряжения разломов СВ и СЗ ориентировки. К северу от проявления Сурич известны дайковые образования, сопровождаемые комплексными аномалиями с бором, что указывает на возможное присутствие в этой части магматитов итовой серии. В глубинном строении блока, отмечается резкое воздымание границы Конрада (до 10 км) и небольшое опускание границы Мохо (от 50 до 52 км). На профиле ГСЗ-МОВЗ «Базальт» (р. Иртыш – р. Неня) просматривается значительная расслоенность литосферы, подчёркиваемая резкой сменой геофизических характеристик по разрезу. Суричское золоторудное рудное поле этого узла сопряжено с резко градиентной зоной (ΔT от +800 до -200 нТл; ΔG от -30 до -57 нТл) и приурочено к краевой части крупного воздымания изолиний продольных скоростей (V_p) и изолиний плотности (G). Отмеченному воздыманию отвечает, вероятно, поднятие мантийного астенолита, дериватом которого являются расслоенные габброидные интрузии Харловского рудного узла с оруденением Fe, Ti, V. А эпitherмальное золото-серебряное и жильное золото-сульфидно-кварцевое оруденение [4] прогнозируемого Суричского рудного

поля локализуется в краевой части этого воздымания геофизических параметров и к резкому их опусканию, что, вероятно, связано с разуплотнением и гранитизацией, проявленных на глубоких уровнях литосферы. В Чарышском тектоническом блоке проявлены гранитоиды с низкими величинами $\epsilon(\text{Sr})t$ (от $-0,08$ до $+0,94$), близкими к значениям хондритового резервуара. По соотношениям $\epsilon(\text{Sr})t$ и $\epsilon(\text{Nd})t$ гранитоиды тектонического блока тяготеют к мантийному источнику EM II (обогащённая мантия).

Интерпретация результатов и выводы. Типизация золоторудных узлов позволяет выделить два крайних типа: I и II, которые различаются глубинным строением литосферы, выявляемым по геофизическим данным, петрологии золото-генерирующего магматизма, типов оруденения и их возрасту. Приведенные материалы показывают, что по возрасту золотое оруденение может быть отнесено к трём уровням: кембрийскому (Кубань, Ульмень), девонскому (Синюхинское, Суричское и другие) и меловому с возрастом 126 млн. лет (Чуринское).

Таким образом, выделенные два типа золоторудных узлов отличаются особенностями глубинного строения, различным мантийно-коровым взаимодействием при формировании рудогенерирующего магма-

тизма и различным возрастом золотого оруденения.

Список литературы

1. Гусев А.И. Интрузивный магматизм Синюхинского золоторудного узла // Геология и геофизика, 1994. – №11. – С. 28-40.
2. Гусев А.И., Гусев Н.И. Геологическое строение Чойского рудного поля Горного Алтая // Руды и металлы, 1998. – № 2. – С. 90-100.
3. Гусев А.И. Металлогения золота Горного Алтая и южной части Горной Шории. – Томск: Изд-во STT, 2003. – 308 с.
4. Гусев А.И. Эпитермальное оруденение благородных металлов Горного Алтая и Горной Шории // Известия Томского политехнического университета. – Томск, 2005. №3. – Том. 308. – С. 32-35.
5. Гусев А.И. Месторождения спекулярита Горного Алтая // Руды и металлы, 2007. – № 2. – С. 33-42.
6. Гусев А.И. Типизация гранитоидов на основе составов биотитов // Успехи современного естествознания, 2009. – № 4. – С.54-57.
7. Гусев А.И., Коробейников А.Ф. Мантийно-коровое взаимодействие в генерации различных типов оруденения: геофизический и петрологический аспекты // Известия Томского политехнического университета, 2009. – Т. 315. – № 1. – С. 18-25.
8. Гусев Н.И., Гусев А.И., Шокальский С.П. и др. Мезозойская тектоно-термальная активизация и эпитермальное золотое оруденение в Северо-Восточном Горном Алтае // Региональная геология и металлогения, 2014. – Вып. 57. – С. 49-62.
9. Коробейников А.Ф., Гусев А.И., Русанов Г.Г. Адакитовые гранитоиды Калбы: петрология и рудоносность // Известия Томского политехнического университета, 2010. – Т. 316. – №1. – С. 31-38.
10. Zindler A., Hart S.R. Chemical geodynamics // Ann. Rev. Earth Planet. Sci., 1986. – V.14. – P. 493-571.