

## Геология, глубинное строение, магматизм, Au–Ag- и Ag–Pb–Zn-минерализация Чепчугинского рудного узла (Верхояно-Колымская минерагеническая провинция)

В.Ю. Фридовский<sup>1</sup>, Е.Е. Лоскутов<sup>1, \*</sup>, Л. А. Кондратьева<sup>1</sup>, А.И. Иванов<sup>1</sup>, А.В. Костин<sup>1</sup>,  
Е.Э. Соловьев<sup>2</sup>, М.С. Иванов<sup>1</sup>, М.С. Желонкина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Якутск, Россия

<sup>2</sup>Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия

\*loskutov@diamond.ysn.ru

**Аннотация.** Приводятся результаты изучения строения, магматизма, Au–Ag- и Ag–Pb–Zn-минерализации Чепчугинского рудного узла, расположенного в Мюнкюленской минерагенической зоне центральной части Верхояно-Колымской минерагенической провинции. Рудный узел локализован в протяженном широтном выступе кристаллического фундамента между слабоэродированными массивами, проявленными гравитационными минимумами и положительными локальными магнитными аномалиями зон контактового метаморфизма. В структурном отношении рудный узел приурочен к пересечению Сунтарским региональным разломом Чепчугинской антиклинали. Изучение даек показало широкое петрографическое разнообразие слагающих их пород (спессартиты, диоритовые порфириды и риолит-порфиры). Геохимически магматические породы рудного поля специализированы на литофильные элементы (B, Ba, Cr, Nb, Sc, Sr, V, Zr), содержания халькофильных (Cu, Ge, Sn, Zn, Pb) и сидерофильных (Ni, Co) элементов значительно ниже. Выделены ранняя пирит-арсенопиритовая, средняя полиметаллическая и поздняя серебро-сульфосольная минеральные ассоциации. Характерно широкое развитие и разнообразие гипергенных минералов, что позволяет предполагать значительную распространенность в первичных рудах ниже зоны гипергенеза минерализации галенита, арсенопирита и сульфосолей. Установлена различная минеральная специализация участков Гайдар и Чепчуга. На участке Гайдар развит Au–Ag-тип минерализации с самородным золотом в кварцевых жилах и зонами окисления по серебросодержащим рудам. На основании развития в рудах касситерита, канфилдита, акантита, сульфосолей Pb, Ag и Sb, предполагается близость оруденения участка Чепчуга к месторождениям серебро-полиметаллического типа. Металлогенический облик рудного узла связан с его положением в тылу окраинно-континентальных титон-раннемелового Удско-Мургальского и альб-позднемелового Охотского-Чукотского вулканоплутонических поясов.

**Ключевые слова:** золото, серебро, полиметаллы, геофизические поля, магматизм, Чепчугинский рудный узел, Верхояно-Колымская минерагеническая провинция.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках НИР ИГАБМ СО РАН.

### Введение

Чепчугинский рудный узел расположен в центральной части Верхояно-Колымской минерагенической провинции в Мюнкюленской минерагенической зоне. С севера она граничит с Адычанской W–Sn–Au и Дулгалах-Брюнгадинской Ag–Au–Sb–Hg, с юга с Аллах-Юньской Au и Сунтарской Pb–Zn–Sn–Ag минерагеническими зонами [1]. Отмеченное, а также положение в тылу J<sub>3</sub>–K<sub>1</sub> Удско-Мургальского и K<sub>2</sub> Охотско-Чукотского вул-

кано-плутонических поясов определяет возможность развития в Мюнкюленской минерагенической зоне, в целом, и в Чепчугинском рудном узле, в частности, комплексной полигенно-полихронной Au и Ag–Pb–Zn-минерализации [2].

Рудный узел был открыт в начале 1980-х годов при проведении геолого-съёмочных работ масштаба 1:200000 под руководством Ключкова В.П. Дальнейшие геохимические и средне-масштабные геолого-съёмочные работы были

продолжены в конце 80-х–начале 90-х годов (Баланов А.Н., Засимов М.Н.). Несмотря на обнаруженные рудные точки с содержаниями золота и серебра, имеющиеся перспективы обнаружения золото-кварц-малосульфидной и/или серебро-полиметаллической минерализации, дальнейшие исследования не проводились, рудная минерализация осталась плохо изученной, перспективы не ясны.

В 2017–2018 гг. при поддержке ООО «Богуславец» нами проведены полевые работы на ключевых участках Чепчугинского рудного узла, выполнены геолого-структурные наблюдения, собрана представительная коллекция образцов из минерализованных зон дробления, метасоматитов и магматических пород.

Проведенные авторами геологические, геофизические, минералогические, петрографические, геохимические исследования, результаты которых изложены в статье, позволили установить основные черты строения, минеральный состав и петрохимические особенности магматических пород, выделить и охарактеризовать потенциальные типы минерализации, что может иметь большое значение для правильной оценки рудного потенциала Чепчугинского рудного узла и Мюнхюленской минерагенической зоны.

### **Геологическая характеристика и глубинное строение района Чепчугинского рудного узла**

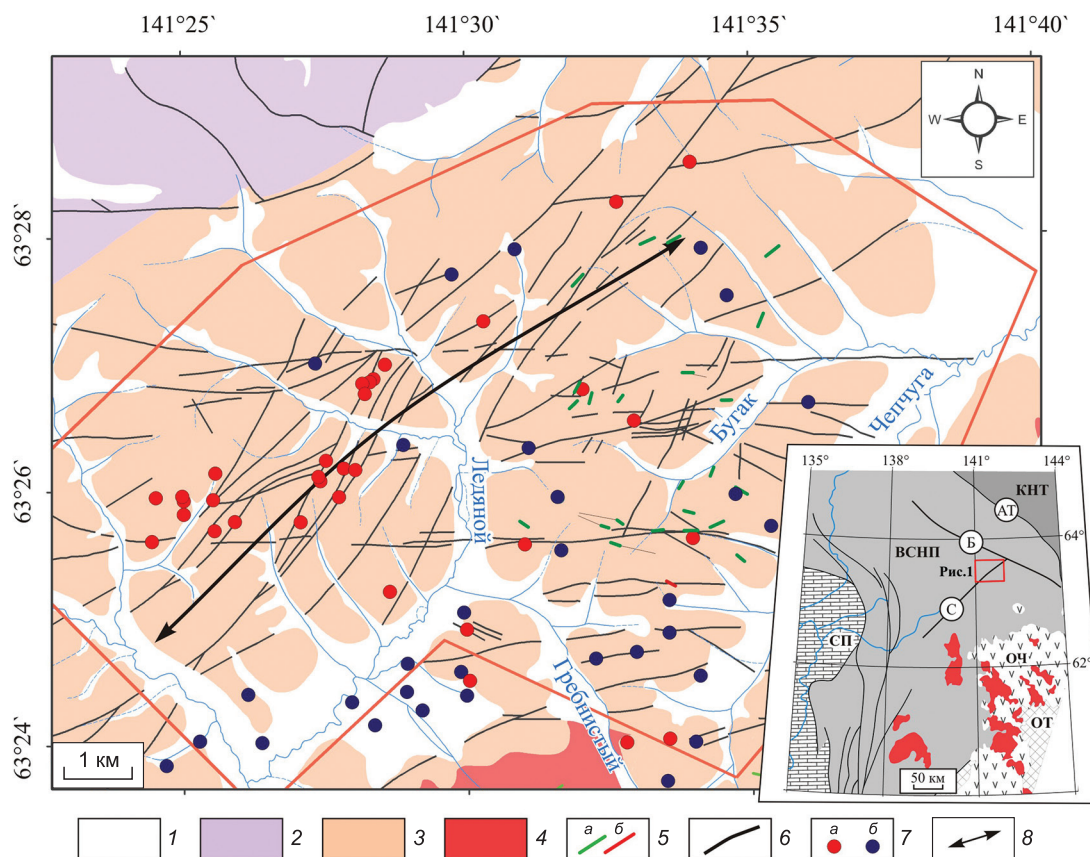
В структурном отношении Чепчугинский рудный узел расположен в Сунтарской подзоне антиклинорного типа Аллах-Юньской тектонической зоны [1] (рис.1). Особенности строения рудного узла связаны с положением в месте пересечения Сунтарским региональным разломом Сунтаро-Лабынкырского поднятия. Разлом имеет северо-восточную ориентировку, хорошо дешифрируется на космоснимках и прослеживается от района золоторудного месторождения Нежданинское (верховье р. Тыра) в северо-восточном направлении по долине р. Сунтар до устья р. Брюнгаде, где ограничивается Брюнгадинским разломом запад-северо-западного простирания [3]. Последний отделяет Аллах-Юньскую тектоническую зону от расположенной к северу Адыча-Эльгинской зоны [4]. По Сунтарскому разлому устанавливаются преимущественно сдвиговые смещения, амплитуда которых в районе Нежданинского месторождения составляет около 2,5 км, к северо-востоку она увеличивается до 10 км [3].

Основной складчатой структурой Чепчугинского рудного узла является одноименная антиклиналь северо-восточного простирания. Углы падения слоев на ее крыльях изменяются от 15–35 до 45–65°. В ядре складки залегают породы менкеченской свиты верхней перми. На крыльях – породы тирехтяхской, луговской, привольнинской свит, а также нижнего триаса. Они сложены переслаиванием алевролитов и песчаников, а также переходных разностей пород.

Магматические образования на территории Чепчугинского рудного узла представлены дайками Анчинского комплекса поздней юры (спесартиты, диоритовые порфириды) и Киргиллехского комплекса раннего мела (риолит-порфиры) [1]. На юго-восточном фланге рудного узла осадочные породы прорваны Лево-Сунтарским и Чепчугинским штоками гранитов и гранодиоритов Нютско-Куйдусунского ряда позднемелового возраста [1]. В зонах контактового метаморфизма проявлены альбит-эпидот-роговообманковые роговики.

Пункты минерализации различного состава (золота, серебра, свинца, олова, вольфрама) сконцентрированы на двух участках – Гайдар (правобережье руч. Ледяной) и Чепчуга (левобережье руч. Ледяной). Они представлены кварцевыми жилами и прожилками, сульфидизацией пород в зонах дробления. Простирание зон дробления преимущественно северо-восточное в своде Чепчугинской антиклинали и близширотное на ее восточном крыле.

Структура аномалий силы тяжести Чепчугинского рудного узла и смежных территорий обусловлена строением кристаллического основания, широким развитием магматических образований и разрывных структур (рис. 2). Глубина залегания фундамента составляет около 16 км [5]. Неоднородность строения фундамента выражена слабоинтенсивными градиентными зонами субширотного и субдолготного простирания, возрастанием значений напряженности гравитационного потенциала к северу и востоку (рис. 2, а). Выступы в кровле кристаллического основания и положение региональных разрывных нарушений – Брюнгадинского, Кобюминского, Ючюгей-Юряхского, Сунтарского и других проявляются гравитационными ступенями интенсивностью около 1,5 мГл/км. Приподнятые блоки фундамента наблюдаются в междуречье Брюнгаде–Сунтар, где они образуют узкий протяженный вал широтной ориен-



**Рис. 1.** Схема геологического строения и пункты минерализации Чепчугинского рудного узла:

1–8 – отложения: 1 – четвертичные; 2 – триасовые; 3 – пермские; 4 – гранитоиды Лево-Сунтарского штока; 5 – дайки (а – среднего и основного состава, б – кислого состава); 6 – разломы; 7 – пункты минерализации: а – Au–Ag, б – Ag–Pb–Zn; 8 – ось Чепчугинской антиклинали.

На врезке показано положение Чепчугинского рудного узла и основные структурные элементы западной части Верхояно-Колымской складчатой области. ОЧ – Охотско-Чукотский вулканический пояс; разломы: АТ – Адыча-Тарынский, Б – Брюнгадинский, С – Сунтарский; СП – Сибирская платформа; ВСНП – Верхоянский складчато-надвиговый пояс; КНТ – Кулар-Нерский террейн, ОТ – Охотский террейн.

**Fig. 1.** The scheme of the geological structure and the places of mineralization of the Chepchuginsky ore cluster:

1–8 – deposits: 1 – quaternary; 2 – triassic; 3 – permian; 4 – granitoids of the Left-Suntar stock; 5 – dikes (а – mafic and intermediate composition, б – felsic composition); 6 – faults; 7 – places of mineralization (а – Au–Ag, б – Ag–Pb–Zn); 8 – the axis of the Chepchugin anticline.

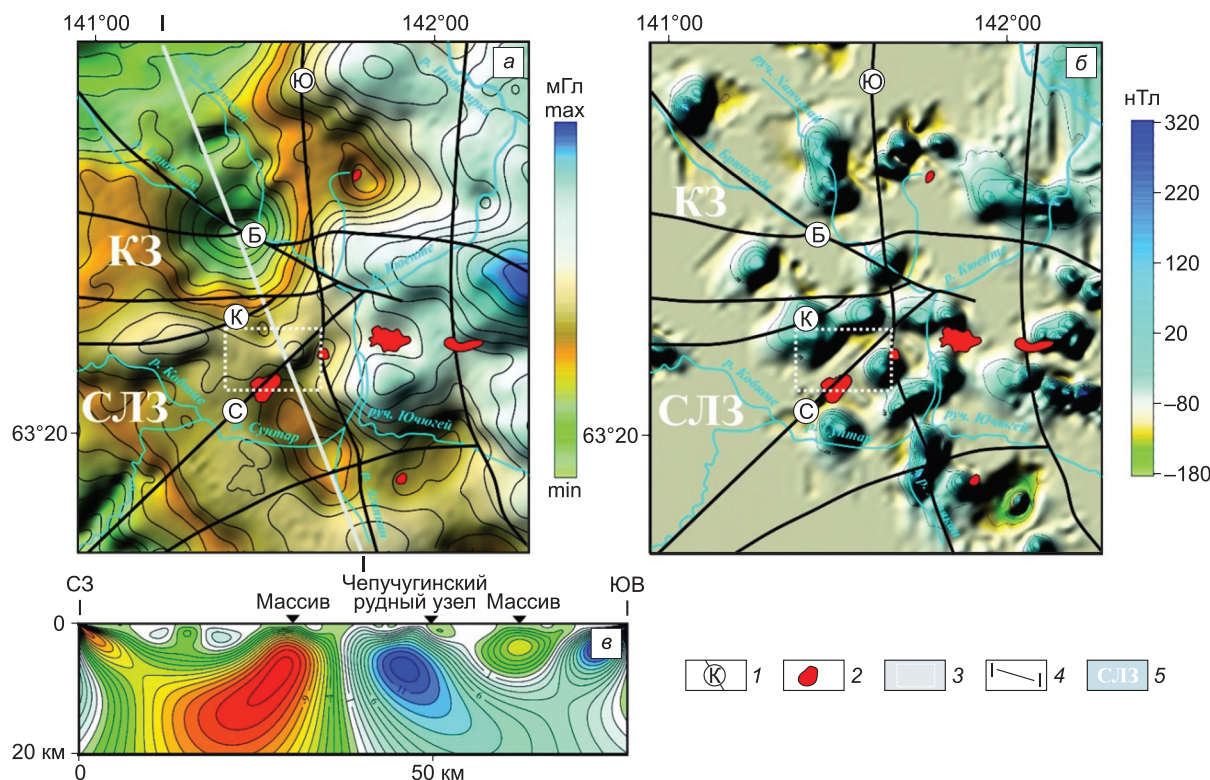
The inset shows the position of the Chepchuginsky ore cluster and the main structural elements of the western part of the Verkhoyansk-Kolyma folded area. In letters: ОЧ – Okhotsk-Chukotka volcanic belts; faults: АТ – Adycha-Taryn, Б – Bryungandin, С – Suntar; СП – Siberian platform; ВСНП – Verkhoyansk fold-and-thrust belt; КНТ – Kular-Nera terrain, ОТ – Okhotsk terrain.

тировки, смещенный Ючюгей-Юряхским разломом.

Магматическим телам в геофизических полях соответствуют гравитационные минимумы и положительные магнитные аномалии зон контактового метаморфизма (рис. 2, а, б). Наиболее крупный глубокозалегающий массив приурочен к Кобюминской зоне в устье руч. Хапчагай. Массив характеризуется отрицательной аномалией силы тяжести изометричной формы интенсивностью –17 мГл (условный уровень) и площадью около

42,5 км<sup>2</sup>. Центр гравитационных масс, рассчитанный методом обратной задачи в автоматизированной системе KOSKAD 3D, расположен на глубине около 10 км (рис. 2, в). К востоку от массива, на расстоянии около 19 км на глубине около 3,5 км, расположена близизометричная аномалия сходной природы (7×5 км), интенсивностью –8 мГл (условный уровень). В пределах Сунтар-Лабынкырской зоны скрытые интрузивные тела формируют полукольцевую структуру в междуречье Сунтар–Агаякан–Ючюгей. Предпола-





**Рис. 2.** Геофизические аномалии Чепчугинского рудного узла и смежных территорий.

*a* – аномальное гравитационное поле (в условном уровне); *б* – аномальное магнитное поле; *в* – оценка распределения гравитационных масс. *1* – разломы: Б – Брюнгадинский, К – Кобьюминский, Ю – Ючюгей-Юряхский, С – Сунтарский; 2 – гранитоиды; 3 – положение Чепчугинского рудного узла 4 – положение интерпретационного разреза; 5 – зоны: КЗ – Кобьюминская, СЛЗ – Сунтар-Лабынкырская.

**Fig. 2.** Geophysical anomalies of the Chepchuginsky ore cluster and adjacent territories.

*a* – anomalous gravitational field (in the conditional level); *б* – anomalous magnetic field; *в* – estimation of the distribution of gravitational masses. *1* – faults: Б – Bryungadinsky, К – Kobyuminsky, Ю – Yuchyugei-Yurakh, С – Suntar; 2 – granitoids, 3 – position of the Chepchuginsky ore cluster; 4 – position of the interpretation section, 5 – zones: КЗ – Kobyuminskaya, СЛЗ – Suntar-Labyntskaya.

гается, что известные гранитоидные штоки, выходящие на поверхность, являются апикальными частями нескрытых массивов. Центры гравитационных масс магматических тел Сунтар-Лабынкырской зоны не превышают глубины 2,2–3 км.

Анализ геофизических полей показал, что Чепчугинский рудный узел локализован в протяженном широтном выступе кристаллического фундамента между слабоэродированными массивами, проявленными гравитационными минимумами и положительными локальными магнитными аномалиями зон контактового метаморфизма.

### Материалы и аналитические методы

Геолого-структурные наблюдения, отбор проб для минералого-геохимических и петрографи-

ческих исследований производился из естественных обнажений. Подготовка проб к анализам выполнена в Институте геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения Российской академии наук (г. Якутск). Она включала стандартные процедуры дробления и измельчения.

Петрографический состав пород был изучен на поляризационном микроскопе МИН-8 (70 шлифов). Фото шлифов сделаны на электронном поляризационном микроскопе Olympus BX 50, при увеличении 25, 40, 100, камера Zeiss Axio CamICs 3. Главные компоненты и микроэлементы пород определялись соответственно методами силикатного анализа и многоканальной атомно-эмиссионной спектроскопии в отделе физико-химических методов анализа ИГАБМ СО РАН (г. Якутск). Проанализировано 190 проб. Для

построения классификационной диаграммы  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$  (мас. %) все анализы были пересчитаны на 100 % после исключения содержания воды и углекислого газа [6]. Выделение петрохимических серий производилось по диаграмме отношения  $\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$  [7, 8]. Содержания редкоземельных и других элементов в породах (25 проб) определялись с помощью масс-спектрометра ELAN модель DRC-e в лаборатории ООО «ХАЦ «Плазма» (г. Томск).

Минераграфические исследования руд и околорудных метасоматитов проводились на рудном микроскопе фирмы JenaVert и поляризационном микроскопе Axioskop 40 фирмы Zeiss (46 аншлифов). Химический состав минералов проанализирован на электронном сканирующем микроскопе JEOL JSM-6480LV с энергетическим дисперсионным спектрометром Energy 350 Oxford (аналитики Попова С.К. и Христофорова Н.И., ИГАБМ СО РАН, г. Якутск). Количественный анализ проводился с использованием Software INCA Energy. Условия анализа: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда 1,08 нА, время измерения 10 с. Условия съемки: напряжение 20 кВ, ток –17 нА. Аналитические линии: Cu, Fe, Zn –  $K\alpha$ ; Sb, S –  $L\alpha$ . Стандарты:  $\text{CuSbS}_2$  (халькостибит) – Cu, Sb, S,  $\text{ZnS}$  (сфалерит) – Zn;  $\text{CuFeS}_2$  (халькопирит) – Fe,  $\text{PbS}$  (галенит) – Pb; Te;  $\text{FeAsS}$  (арсенопирит) – As;  $\text{BaSO}_4$  (барит) – Ba;  $\text{ZrSiO}_4$  (циркон) – Zr.

Содержание Au и Ag более 2 г/т определялось на атомно-эмиссионном спектрометре Agilent 4200 MP-AES с СВЧ-насыщаемой плазмой (ИГАБМ СО РАН, г. Якутск). Определение содержания Au менее 2 г/т выполнено на атомно-абсорбционном спектрофотометре AAnalyst 600 в лаборатории Государственного предприятия «Республиканский аналитический центр» (г. Улан-Удэ). Пределы обнаружения составляют от 0,002 г/т для Au.

Анализ геофизической информации проведен на основе схем гравитационных и магнитных аномалий в условном уровне разных масштабов (<https://vsegei.ru/ru/info/gisatlas/dvfo>), оцифрованных и построенных в трехмерном 3D-виде. Для уточнения и расшифровки глубинного строения рассматриваемой территории проводилась качественная интерпретация геофизических аномалий. Решение обратной задачи гравиметрии для определения центра гравитационных масс проводилось в автоматизированной программе KOSKAD 3D [9, 10].

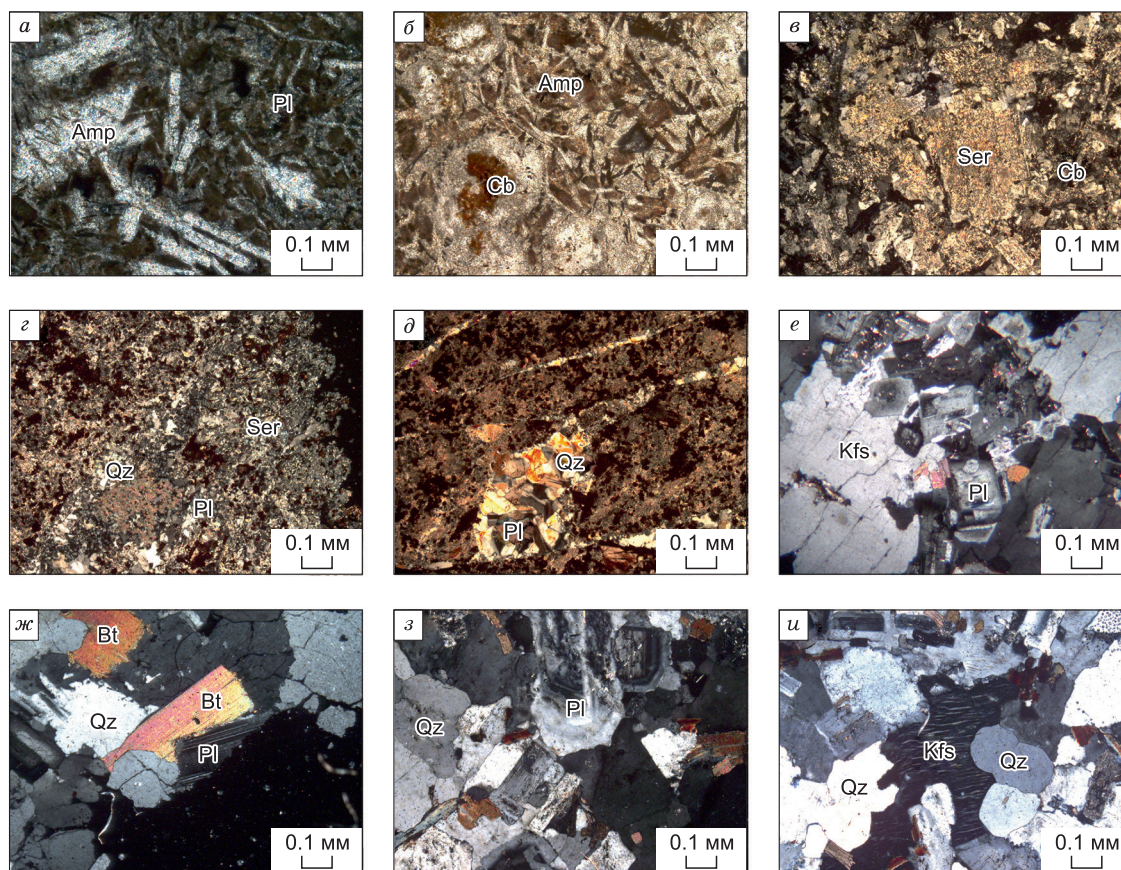
### Петрография, минералогия и геохимия магматических пород

Магматические породы представлены дайками спессартитов, диоритовых порфириров и риолит-порфириров, а также Лево-Сунтарским штоком гранитов и гранодиоритов.

Дайки *спессартитов* сложены светло-серо-зеленоватыми мелкозернистыми или сливными породами, сильно выветрелыми. Породы даек интенсивно прокварцованы, с редкими порфировыми выделениями амфибола до 0,3 см и мелкой рудной минерализацией пирита реже галенита. Характерны такситовая текстура, проявленная в кольцеобразных пятнах оксидов железа (рис. 3, а, б). Структуры – лампрофировая в виде лейстов и микролитов плагиоклаза в основной массе и порфировая, обусловленная наличием измененных вкрапленников роговой обманки. По содержанию основных петрогенных окислов составы наименее измененных даек спессартитов варьируют от основных до средних пород. Суммарное содержание  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  в них отвечает субщелочным породам (2,45–4,46 %) при преобладании  $\text{K}_2\text{O}$  над  $\text{Na}_2\text{O}$  (табл. 1). На диаграмме соотношения  $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})-\text{SiO}_2$  [7] точки составов спессартитов образуют тренд от основных к средним породам (рис. 4). На классификационной диаграмме  $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$  [8] точки составов образуют секущий тренд от высококалиевой известково-щелочной к шошонитовой серии пород (рис. 5). Дайки спессартитов геохимически специализированы на литофильные элементы – В (9–51,9 г/т), Ва (130–1000 г/т), Cr (20–140 г/т), Nb (8–22,1 г/т), Sc (5,6–27 г/т), Sr (87–430 г/т), V (37–180 г/т), Zr 40–250 г/т) (табл. 1). Содержания в них как халькофильных Cu (6,6–86,8 г/т), Ge (1,3–3,1 г/т), Sn (1,4–7 г/т), Zn (41,3–570 г/т), Pb (5–76 г/т) так и сидерофильных Ni (7,6–86 г/т), Co (3,7–36,5 г/т) элементов значительно ниже (табл. 2).

Дайки *диоритовых порфириров* имеют северо-восточное простирание и представлены сильно выветрелыми темно-серыми среднезернистыми породами с вкрапленниками плагиоклаза (до 0,5 см). Породы характеризуются призматически-зернистой (диоритовой) структурой с элементами порфировой обусловленной наличием вкрапленников плагиоклаза и роговой обманки (рис. 3, в). Минеральный состав наименее измененных разностей: плагиоклаз 50 %, темноцветные минералы (преобладание роговой обманки,





**Рис. 3.** Микрофотографии магматических пород Чепчугинского рудного узла: *a* – шлиф И18-1, спессартит, такситовая текстура, кольцообразные пятна оксидов железа, николи +; *б* – шлиф И18-1, спессартит, такситовая текстура, николи =; *в* – шлиф И18-3, диоритовый порфирит, николи +; *г* – шлиф И18-36, риолит-порфир, николи +; *д* – шлиф И18-35/2, прожилки постмагматического кварца в риолит-порфире, николи +; *е* – шлиф И18-33/2, гранодиорит-порфир, николи +; *ж* – шлиф И18-33, гранит, зерно биотита, николи +; *з* – шлиф И18-33/9, гранит, зональный плагиоклаз с включениями темноцветных минералов, николи +; *и* – шлиф И18-33/9, гранит, калиевый полевой шпат с пертитовым строением, николи +. Минералы [12]: Amp – амфибол; Bt – биотит; Cb – карбонат; Kfs – калиевый полевой шпат; Pl – плагиоклаз; Qz – кварц; Ser – серицит.

**Fig. 3.** Microphotographs of igneous rocks of the Chepchuginsky ore cluster: *a* – thinsection I18-1, spessartite, taxitic structure, ring-shaped spots of iron oxides, nicols+; *б* – thinsection I18-1, spessartite, taxitic structure, nicols =; *в* – thinsection I18-3, diorite-porphry, nicols +; *г* – thinsection I18-36, rhyolite-porphry, nicols +; *д* – thinsection I18-35/2, vein lets of post magmatic quartz in rhyolite-porphry, nicols +; *е* – thinsection I18-33/2, granodiorite-porphry, nicols+; *ж* – thinsection I18-33, biotite grain, nicols +; *з* – thinsection I18-33/9, granite, zonal plagioclase with inclusions of dark-colored minerals, nicols +; *и* – thin section I18-33/9, granite, K-feldspar with perthitic structure, nicols +. Mineral Abbreviations [9]: Amp – amphibole; Bt – biotite; Cb – carbonate; Kfs – K-feldspar; Pl – plagioclase; Qz – quartz; Ser – sericite.

пироксен+биотит) около 35 %, 15 % вторичные минералы (измененные, трудно диагностируемые, или узнаваемые лишь по характерным вторичным изменениям). По содержанию основных петрогенных окислов дайки диоритовых порфиритов соответствуют средним plutonic породам [11] (см. табл. 1), а щелочей ( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ) 5,24–6,15 % – субщелочным породам, при преобладании  $\text{Na}_2\text{O}$  над  $\text{K}_2\text{O}$  (см. табл. 1). По соотношению  $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})-\text{SiO}_2$  и отношению  $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$  относятся к диоритам среднекалиевой известково-щелочной серии пород (рис. 5). Дайки

геохимически специализированы на литофильные элементы В (12,1–34,5 г/т), Ва (260–1400 г/т), Cr (37–130 г/т), Nb (8–20,2 г/т), Sc (9,6–17 г/т), Sr (120–320 г/т), V (25–97 г/т), Zr (100–290 г/т) (табл. 2). Содержания в них халькофильных Cu (5–28,8 г/т), Ge (1,3–2 г/т), Sn (1–3,6 г/т), Zn (27,8–120 г/т), Pb (5–31,7 г/т) и сидерофильных Ni (6,7–86 г/т), Co (5,3–19,5 г/т) элементов значительно ниже чем литофильных элементов (табл. 2).

Дайки *риолит-порфиров* субширотного простираения обнаружены нами в верховьях правого

Таблица 1

**Химический состав (%) магматических пород Чепчугинского рудного узла  
(в числителе среднее значение, в знаменателе мин и макс)**

Table 1

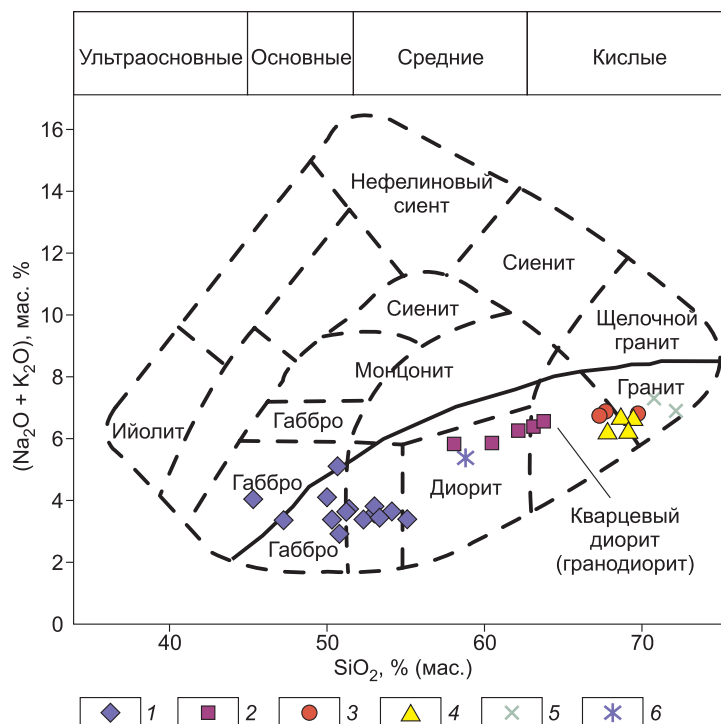
**Chemical composition (%) of igneous rocks of the Chepchuginsky ore cluster  
(in the numerator the mean value, in the denominator min and max)**

Компонент Component	Спессартиты Spessartites (n = 21)	Диоритовые- порфириды Diorite-porphyrites (n = 4)	Риолит-порфиры Rhyolite-porphyry (n = 3)	Гранодиорит- порфиры Granodiorite- porphyry (n = 4)	Граниты Granites (n = 2)
SiO <sub>2</sub>	46,55 38,62 – 53,21	56,41 52,84 – 58,45	64,58 63,39 – 66,81	67,54 66,68 – 68,03	70,37 69,51 – 71,23
TiO <sub>2</sub>	1,66 0,97 – 2,72	1,02 0,98 – 1,06	0,68 0,58 – 0,8	0,54 0,46 – 0,63	0,415 0,33 – 0,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,63 12,34 – 15,53	16,43 15,41 – 17,61	15,75 14,54 – 17,2	15,91 15,6 – 16,62	14,67 14,44 – 14,9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,45 1,60 – 3,70	1,92 1,58 – 2,27	2,08 1,37 – 2,48	0,32 0,08 – 0,81	1,0 0,36 – 1,65
FeO	7,46 2,58 – 9,75	3,84 3,40 – 4,87	1,37 1,28 – 1,42	2,91 2,75 – 3,11	2,01 1,86 – 2,16
MnO	0,14 0,09 – 0,25	0,09 0,07 – 0,12	0,067 0,05 – 0,08	0,045 0,0 – 0,06	0,03 0,02 – 0,04
MgO	6,42 5,35 – 7,66	3,12 1,2 – 4,53	0,65 0,23 – 0,89	1,05 0,98 – 1,14	0,27 0,21 – 0,34
CaO	5,68 0,51 – 7,66	5,57 4,80 – 6,71	2,92 1,27 – 4,06	3,535 3,27 – 3,66	2,69 2,54 – 2,84
Na <sub>2</sub> O	1,07 0,1 – 3,32	3,66 3,41 – 4,02	3,67 3,3 – 4,22	3,90 3,79 – 4,02	3,88 3,83 – 3,93
K <sub>2</sub> O	2,42 0,9 – 3,43	1,76 1,18 – 2,40	2,63 2,19 – 3,15	2,37 2,20 – 2,59	3,07 2,94 – 3,2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,25 0,11 – 0,59	0,35 0,26 – 0,43	0,18 0,17 – 0,20	0,09 0,08 – 0,10	0,055 0,05 – 0,06
CO <sub>2</sub>	8,47 5,66 – 11,53	3,96 0,56 – 9,0	3,19 1,22 – 4,32	0,69 0,29 – 1,06	0,64 0,52 – 0,76
Li <sub>2</sub> O	0,011 0,0027 – 0,016	0,006 0,0043 – 0,0075	0,0013 0,0012 – 0,0014	0,004 0,0036 – 0,004	0,0033 0,003 – 0,0037
Rb <sub>2</sub> O	0,008 0,0017 – 0,012	0,0048 0,0044 – 0,006	0,0062 0,0054 – 0,0076	0,007 0,006 – 0,0076	0,006 0,0056 – 0,0064
S	0,078 0,01 – 0,21	0,047 0,0 – 0,11	0,023 0,0 – 0,06	0,018 0,0 – 0,03	0,005 0,0 – 0,01
F	0,12 0,04 – 0,22	0,108 0,04 – 0,17	0,1 0,08 – 0,13	0,09 0,08 – 0,10	0,075 0,07 – 0,08

притока руч. Гребнистый. Породы даек сильно прокварцованы, с прожилками кварца (см. рис. 3, д). В составе пород на фоне общей сливной массы отмечается биотит, что с учетом интенсивной прокварцовки позволяет предположить догранитное происхождение этих даек. Видимой рудной минерализации, связанной с этими дайками,

не обнаружено. Структура пород порфировая, фельзитовая (см. рис. 3, з, д).

Порфировые выделения представлены вкрапленниками плагиоклаза. Основная фельзитовая масса (в основном трудно диагностируемая) сложена тонкозернистым кварц-карбонат-полевошпатовым базисом. Дайки риолит-порфиров по



**Рис. 4.** Диаграмма  $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})-\text{SiO}_2$  для классификации и номенклатуры интрузивных пород [7].  
Линия на диаграмме отделяет поля щелочных и субщелочных пород.  
1 – спессартиты; 2 – диоритовые порфиры; 3 – риолит-порфиры; 4 – гранодиориты; 5 – граниты; 6 – диориты.

**Fig. 4.** Diagram  $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})-\text{SiO}_2$  for classification and nomenclature of intrusive rocks [7].  
The line in the diagram separates the fields of alkaline and subalkaline rocks.  
1 – spessartites; 2 – diorite porphyry; 3 rhyolite-porphyry; 4 – granodiorites; 5 – granites; 6 – diorites.

содержанию петроокислов наиболее близки к дацитам [11]. По сумме щелочей  $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  6,3–6,45 % и по преобладанию  $\text{Na}_2\text{O}$  над  $\text{K}_2\text{O}$  относятся к субщелочным породам. На диаграмме соотношения  $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})-\text{SiO}_2$  фигуративные точки составов ложатся в поля гранитов (риолитов) и относятся к среднекалевой известково-щелочной серии пород (рис. 4). Риолит-порфиры геохимически специализированы на литофильные элементы В (21,9–26,1 г/т), Ва (400–1000 г/т), Сг (35–40 г/т), Nb (15,7–17,2 г/т), Sc (10–11 г/т), Sr (67–140 г/т), V (29–30 г/т), Zr (110–210 г/т). Содержания халькофильных Cu (5–9 г/т), Ge (1,3–1,4 г/т), Sn (1,7–2,3 г/т), Zn (21–30,7 г/т), Pb (до 5 г/т) и сидерофильных Ni (5,7–7,6 г/т), Co (3,5–5,4 г/т) элементов ниже (табл. 2).

Граниты и гранодиориты Лево-Сунтарского массива по левому борту руч. Гребнистый представлены сильно выветрелыми средне-крупнозернистыми гранодиоритами, сменяющимися (фазовый переход) среднезернистыми гранитами. Ксенолитов вмещающих пород и тел даек выявить не удалось. Видимой рудной минера-

лизации в породах массива нет. В теле массива в гранодиоритах встречаются обломки дайки диоритовых порфиритов (?). В развалах обнаружен контакт гранита с гранодиоритами.

*Гранодиориты* периферийной части массива характеризуются порфировидной структурой (см. рис. 3, е) и массивной текстурой. Порфировые выделения представлены плагиоклазом, КПШ, кварцем и биотитом, а основная масса сложена их поздними генерациями. Состав гранодиоритов: плагиоклаз – 55 %, кварц – 25 %, КПШ – 5 %, темноцветные минералы – 15 %, при переходе к гранитам лейкократовость пород незначительно возрастает.

Гранодиориты Лево-Сунтарского штока, являющиеся первой фазой внедрения, по содержанию  $\text{SiO}_2$  относятся к кислым plutonic породам [11]. По сумме  $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  6,02–6,58 % являются субщелочными породами, при существенном преобладании  $\text{Na}_2\text{O}$  над  $\text{K}_2\text{O}$ . По соотношению  $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})-\text{SiO}_2$  и отношению  $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$  соответствуют гранодиоритам среднекалевой известково-щелочной серии пород (рис. 5).



Таблица 2

## Содержание микроэлементов (г/т) в магматических породах Чепчугинского рудного узла

Table 2

## The content of trace elements (g/t) in igneous rocks of the Chepchuginsky ore cluster

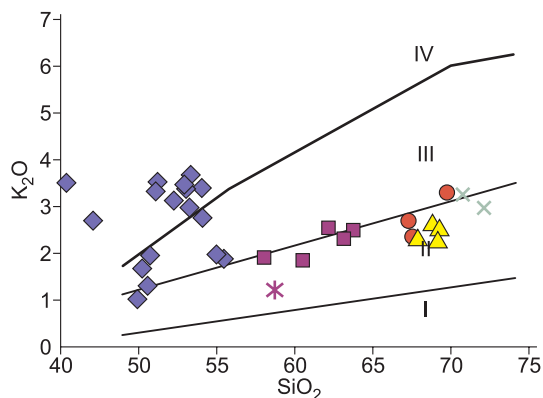
Номер пробы Sample	Порода Rock	Cu	Sn	Zn	Pb	Ge	Cr	V	Sc	Ba	Sr	Nb	Zr	B	Ni	Co	Y
И18-1	С	15	2,8	53	76	1,5	30	50	14	620	120	22	250	35	7,6	6,3	15
И18-3	С	21	3,4	570	16	1,8	35	62	7,9	220	150	9,1	55	38	46	6,6	6,1
И18-9	С	55	3,1	67	<5	1,7	27	50	8	280	140	<8	40	39	39	6,9	<5
И18-9/3	С	53	3,5	76	<5	1,8	24	59	10	240	240	<8	50	40	49	6,5	<5
И18-12-2	С	42	2,8	79	6,3	2,5	39	58	5,6	600	250	21	100	26	50	6,5	5,9
И18-16	С	62	3,9	120	<5	<1,3	35	170	27	210	270	<8	73	40	120	36	7,7
И18-16/2	С	71	1,9	81	<5	2	54	170	26	130	180	<8	81	44	100	35	7,6
И18-16/4	С	54	2,8	100	<5	1,6	140	180	22	200	170	12	130	45	97	29	16
И18-18	С	62	5,8	180	<5	1,7	37	64	7,6	190	280	15	75	39	55	5,1	<5
И18-19	С	39	2,5	91	<5	1,4	68	54	8	160	300	12	110	<9	98	9,8	5,4
И18-19/2	С	28	2,8	83	<5	<1,3	95	110	19	230	430	18	180	<9	110	37	8,2
И18-20	С	11	3	67	<5	1,9	120	110	16	630	140	<8	140	47	15	16	20
И18-22	С	16	2,2	41	<5	<1,3	91	100	18	380	210	12	140	22	18	14	13
И18-23	С	17	1,4	110	<5	2,1	36	57	8,3	240	230	<8	41	33	43	3,7	<5
И18-27	С	6,6	2,9	44	<5	<1,3	48	41	7,7	1000	180	15	150	24	11	4,5	10
И18-28	С	48	3	140	<5	2,5	33	67	7,9	210	300	<8	48	25	100	9,5	<5
И18-29	С	34	2,8	130	<5	1,5	31	75	9,5	180	87	<8	53	44	55	13	5,8
И18-30	С	17	1,4	97	<5	1,3	46	48	12	410	170	15	140	32	11	13	11
И18-34	С	11	2,9	44	<5	2,1	59	37	7,8	670	220	11	130	36	9,4	5,2	11
И18-37	С	21	7	110	28	1,7	64	75	7,9	200	400	21	170	<9	150	7,6	6,3
И18-4	ДП	5,6	1,6	38	32	<1,3	58	42	15	780	220	11	170	24	9,7	10	18
И18-15	ДП	25	3,2	28	<5	<1,3	62	97	17	260	270	14	210	17	86	18	14
И18-31/2	ДП	6,3	1,6	71	<5	2	38	25	10	1400	120	18	100	22	6,9	8,4	15
И18-35/4	РП	6,8	1,8	24	<5	<1,3	40	32	10	1000	140	16	210	22	5,7	5,4	16
И18-36	РП	<5	1,7	<21	<5	<1,3	35	29	11	810	67	17	110	26	7,6	3,5	16
И18-33	РП	8,8	2	28	<5	<1,3	140	40	8,5	650	160	13	100	<9	14	6,3	12
И18-33/2	ГП	7,7	5	64	7	1,9	35	35	8,4	560	140	16	200	10	9,1	6,2	15
И18-33/3	ГП	8,3	3,4	52	7,1	1,6	150	31	7	550	98	16	120	<9	14	4,3	10
И18-33/4	ГП	8,3	2,4	50	8,1	2	65	35	8,7	380	94	16	170	13	7,6	5	13
И18-33/7	ГП	13	2,3	<21	<5	1,3	48	13	3,6	180	44	17	50	<9	7,5	3,1	<5
И18-33/6	Г	6,6	<1	<21	6,6	1,3	43	16	5	910	66	16	87	<9	7	3,3	12
И18-33/9	Г	10	2,6	29	13	1,3	130	18	5,1	1000	72	15	99	<9	13	2,9	8,7
И18-33/8	ДП	12	2,8	55	<5	2	26	74	13	920	460	26	190	<9	12	14	11

Примечание: С – спессартиты; ДП – диоритовые порфириды; РП – риолит-порфиры; ГП – гранодиорит-порфиры; Г – граниты.

Note. С – spessartites, ДП – Diorite-porphyrates, РП – Rhyolite-porphyry, ГП – Granodiorite-porphyry, Г – Granites.

Для гранитов, сменяющих гранодиориты к центру массива (фазовый переход), характерна типичная гипидиоморфнозернистая структура с

порфировыми выделениями кристаллов плагиоклаза, КФШ и кварца. Темноцветные минералы представлены амфиболами, частично или пол-



**Рис. 5.** Классификационная диаграмма  $K_2O/SiO_2$  для магматических пород. Серии пород [8]: I – низкокалиевая толеитовая, II – среднекалиевая известково-щелочная, III – высококалиевая известково-щелочная, IV – шошонитовая. Условные обозначения пород см. рис. 4.

**Fig. 5.** Classification diagram  $K_2O/SiO_2$  for igneous rocks: Rock series [8]: I – low-potassium tholeiitic, II – medium-potassium calc-alkalic, III – high-potassium calc-alkalic, IV – shoshonite. Conventional symbols of rocks – Fig. 4.

ностью замещенными биотитом (см. рис. 3, ж–и). Минеральный состав: плагиоклаз – 40 %, КППШ – 20, кварц – 30, темноцветы – 10 %.

Вторая фаза внедрения представлена гранитами с повышенным содержанием  $MgO$  0,21–0,34 % ( $MgO$  0,3–1,5 % по [11]). Относятся к субщелочным породам ( $Na_2O+K_2O$ ) 6,77–7,13 %, при незначительном преобладании  $Na_2O$  над  $K_2O$ . На диаграмме  $(Na_2O+K_2O)-SiO_2$  (см. рис. 4) фигуративные точки составов локализуются в поле гранитов, а по отношению  $K_2O-SiO_2$  близки к среднекалиевой известково-щелочной серии пород (см. рис. 5).

Фазовый переход массива с гранодиоритов в гранит имеет четкий, ровный характер без окислений и замещений. Гранит возле контакта имеет порфировую структуру, с мелкозернистой основной массой и состоит из плагиоклаза 50–65 %, меньших количеств КППШ до 10 %, кварца 25–30 %, а также темноцветов до 5 %.

Геохимическая специализация пород Лево-Сунтарского массива неоднозначна. Гранодиориты массива близки к породам даек риолит-порфиров, характеризуются преобладанием содержаний литофильных В (9–12,5 г/т), Ва (180–650 г/т), Сг (35–150 г/т), Nb (13–16,6 г/т), Sc (3,6–8,7 г/т), Sr (44–160 г/т), V (13–40 г/т), Zr (50–200 г/т), над халькофильными Cu (7,7–13 г/т), Ge (1,3–2,0 г/т), Sn (21–64,1 г/т), Zn (21–64,1 г/т), Pb (5–8,1 г/т) и сидерофильными Ni (7,5–14 г/т), Co (3,1–6,3 г/т) элементами при близком содержании элементов

в этом ряду как в гранодиоритах, так и в дайках риолит-порфиров. Концентрации литофильных и сидерофильных элементов в гранитах массива характеризуются самой низкой из всех рассмотренных магматических пород рудного узла (см. табл. 2).

Для постгранитоидных (?) диорит-порфиров характерна порфировая структура и массивная текстура. Основная масса полнокристаллическая. Минеральный состав: плагиоклаз – 50 %, темноцветные минералы (биотит+роговая обманка) – 30 %, труднодиагностируемая масса – 20 %. Встреченные обломки (дайка?) в массиве Лево-Сунтарский по химическому составу относятся к диоритам [11]. Точки составов на диаграмме соотношения  $(Na_2O+K_2O)-SiO_2$  также ложатся в поле диоритов (см. рис. 4) и являются субщелочными породами ( $Na_2O+K_2O$ ) 5,2 % среднекалиевой известково-щелочной серии (см. рис. 5). Породы этой группы по геохимической специализации наиболее близки к догранитоидным диоритовым порфиритам.

### Минеральный состав руд

Минеральный состав руд Чепчугинского рудного узла показан в табл. 3.

**Гипогенные минералы.** Содержание сульфидов в рудах составляет не более 1–3 %. Распределение рудных минералов в кварцевых прожилках неравномерное и относительно равномерное в породах. При минераграфическом исследовании установлены пирит, арсенопирит, пирротин, галенит, сфалерит и халькопирит. Микрозондовый анализ позволил выявить довольно широкий спектр микровключений рудных минералов: сульфидов Ag – акантита, Sb – антимонита, Fe и Ni – пентландита, Fe и Cu – борнита, Ag и Sn – канфилдита; сульфоарсенидов Ni – герсдорфита и Co – кобальтина; двуокиси Sn – касситерита; сульфосолей Pb и Sb – буланжерита; сульфосолей Ag и Sb – пираргирита, диафорита, фрейбергита и полибазита, а также самородных золота и серебра.

Пирит и арсенопирит более развиты на участке Гайдар, на участке Чепчуга они сохранились лишь в виде реликтов, чаще полностью замещены гипергенными минералами. Только по широкому развитию гетита, ярозита и бедантита можно предположить их наличие в первичных рудах. В пирите редко отмечаются примеси Co (до 3,29 %), As (до 3,23 %) и Ni (до 1,76 %). Арсенопирит представлен хорошо сформированными одиночными кристаллами призматического, уд-

## Минеральный состав руд Чепчугинского рудного узла

Table 3

## Mineral composition of the ores of the Chepchuginsky ore cluster

Распространенность, % Prevalence, %	Гипогенные Hypogenic	Гипергенные Hypergenic
Главные, >10 Main	Кварц quartz	Гетит goethite
Второстепенные, 1–10 Secondary	Полевые шпаты, кальцит, сидеродоломит, слюды, пирит, галенит feldspars, calcite, siderodolomite, mica, pyrite, galena	Ярозит, бёдантит jarosite, beudantite
Редкие, 0,1–1 Rare	Флюорит, арсенопирит, сфалерит, халькопирит, акантит, касситерит, монацит, барит, фторапатит, циркон, рутил, ильменит, сидерит fluorite, arsenopyrite, sphalerite, chalcopyrite, acanthite, cassiterite, monazite, barite, fluorapatite, zircon, rutile, ilmenite, siderite	Англезит, церуссит, скородит, смитсонит, плюмбоярозит, кампилит, беверит, натроярозит anglesite, cerussite, scorodite, smithsonite, plumbojarosite, campylite, beaverite, natrojarosite
Спорадические, >0,1 Sporadic	Самородные золото, серебро, пирротин, герсдорфит, пентландит, кобальтин, антимонит, полибазит, буланжерит, пираргирит, диафорит, фрейбергит, канфилдит, борнит, ксенотим, анкерит, магнезит, родохрозит gold, silver, pyrrhotite, gersdorffite, pentlandite, cobaltite, stibnite, polybasite, boulangerite, pyrrargyrite, diaphorite, freibergite, canfieldite, bornite, xenotime, ankerite, magnesite, rhodochrosite	Дуфтит, баритоанглезит, хокутолит, бариофармакосидерит, коронадит, феррикоронадит, симесит, миметит, голландит, сегнитит, алунит dufite, Ba-anglesite, hokutolite, bariopharmacosiderite, coronadite, ferricoronadite, symesite, mimetite, hollandite, segnitite, alunite

линенно-призматического и игольчатого облика с ромбовидным сечением, часто встречаются сложные двойниковые сростки арсенопирита. Размеры кристаллов колеблются от 0,01 до 1 см. В катклазированных кварцевых жилах зон разломов арсенопирит образует тонкие и мелкие вкрапления. Арсенопирит находится в тонких сростаниях с пиритом, сфалеритом и галенитом (рис. 6, а, б). В разноориентированных трещинках, рассекающих минерал, установлены акантит и минерал FeAsPbO состава.

Единичные зерна пирротина обнаружены во вмещающих терригенных и магматических породах. Ассоциация герсдорфита, пентландита и кобальтина совместно с пиритом, пирротинном и халькопиритом наблюдалась локально в кварц-карбонатных округлых включениях в дайках спессартитов.

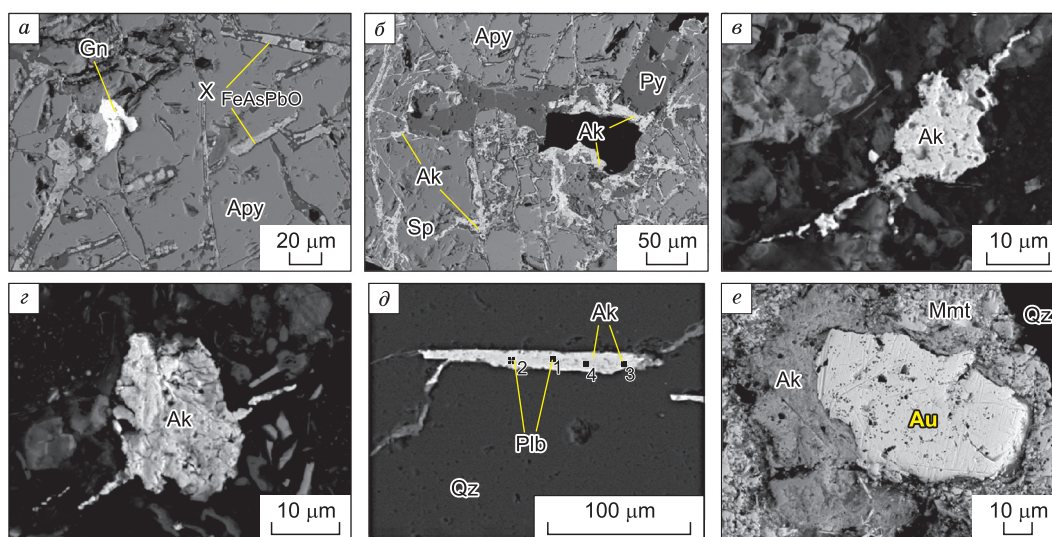
Касситерит довольно широко распространен на участке Чепчуга, что объясняется близостью к гранитоидам Лево-Сунтарского штока. Касси-

терит встречается в виде идиоморфных зерен в кварце либо в ассоциации с пиритом, арсенопиритом и гипергенными минералами.

Галенит относится к числу наиболее распространенных минералов участка Чепчуга, встречается как в виде самостоятельных идиоморфных зерен или прожилков, так и в ассоциации со сфалеритом, халькопиритом, пиритом, иногда является матрицей для микровключений сульфосолей. Часто галенит замещен вторичными минералами – англезитом, плюмбоярозитом, бёдантитом и миметитом. На участке Гайдар самостоятельных крупных скоплений галенита обнаружено не было. Встречается в кварцевых жилах, где выполняет небольшие пространства между кристаллами кварца. В качестве примеси может содержать Au, Ag и As.

Сфалерит значительно уступает галениту по распространенности. Железистость сфалерита изменяется от – 1,03–2,03 % на участке Гайдар (здесь же, в небольших количествах установле-





**Рис. 6.** Гипогенная минерализация Чепчугинского рудного узла.

*a* – арсенопирит в ассоциации с галенитом и минералом FeAsPbO состава; *b* – арсенопирит в ассоциации с пиритом, сфалеритом и акантитом; *в, г* – формы проявления акантита (выполнение трещин и образование изометричных форм); *д* – спросток полибазита и акантита в кварце; *е* – выделение самородного золота, акантита и миметита в кварце.

**Fig. 6.** Hypogenic mineralization of the Chepchuginsky ore cluster.

*a* – arsenopyrite in association with galena and the mineral of FeAsPbO-composition; *b* – arsenopyrite in association with pyrite, sphalerite and acanthite; *в, г* – forms of acanthite occurrence (cavity filling and formation of isometric forms); *д* – intergrowth of polybasite and acanthite in quartz; *е* – particle of native gold, acanthite, mimetite in quartz.

на примесь Cd – 0,06–0,61 %) до 5–6 мас. % на участке Чепчуга.

Халькопирит обычно образует эмульсионную вкрапленность в пирите. Единичные включения борнита в ассоциации с халькопиритом выявлены в алунитовой брекчии.

Акантит распространен в рудах повсеместно и встречается в разнообразных формах (рис. 6, *в, г*), но максимальное присутствие минерала установлено в тонких трещинах в кварце и арсенопирите. Часто образует мелкие включения в кварце или каймы вокруг зерен золота. В окисленных рудах он почти всегда без примесей, также отсутствуют примеси в акантите, обрамляющем золото; в первичных рудах содержит Cu – 3,03 %; Au – 0,45–1,01 %; Se – 0,24–8,17 %; Te – 0,48–1,95 %.

Антимонит отмечается в индивидуальных микрозернах и кавернах среди полевых шпатов или флюорита. Единичные выделения канфилдита встречаются в ассоциации с акантитом. Сульфосоли – спорадические минералы встречаются в идиоморфных микрозернах обычно в кварце, реже в галените и акантите (табл. 4).

Самородное серебро образует тонкодисперсные включения в кварце, а также в рудных минералах.

Самородное золото участка Гайдар обнаружено в виде овальных выделений в кварце в ассоциации с акантитом и миметитом (рис. 6, *е*). Золото низкопробное, вариации пробы от 512 до 546 ‰, может быть отнесено к электруму (табл. 5). На участке Чепчуга самородное золото выявлено в виде единичных микровключений в кварце, карбонат-полевошпатовом материале и гетите. Пробность золота варьирует от 606 до 999 ‰. Выделяются три разновидности: высокопробное золото (968–999 ‰), среднепробное (850–859 ‰) и низкопробное (606–635 ‰) с высоким содержанием меди (27–28 мас. %). Размер зерен не превышает 20 микрон.

**Гипергенные минералы.** Минералого-геохимическими исследованиями выявлено площадное развитие зоны гипергенеза. Ореолы развития окисленных руд надежно маркируют минерализованные зоны дробления. Установлено широкое развитие и разнообразие гипергенных минералов – оксидов (гетита, коронадита, феррикоронадита), карбонатов (церрусита, смитсонита), сульфатов (англезита, баритоанглезита, хокутолита, ярозита, плюмбоярозита) и арсенатов (скородита, фармакосидерита, бедантита, миметита, кампилита). Среди них преобладают сульфаты и арсе-

Таблица 4

## Химический состав сульфосолей Sb, Pb, Ag и Cu

Table 4

## Chemical composition of sulfosalts Sb, Pb, Ag и Cu

Номер обр. Sample	S	Fe	As	Cu	Zn	Ag	Sb	Pb	Total	Минерал Mineral
Участок Гайдар Gaidar site										
77112	14,27		3,77	3,00		72,68	6,07		99,79	Полибазит Polybasite
Участок Чепчуга Cherchuga site										
77223	19,39						24,72	55,65	99,76	Буланжерит Boulangerite
77226	16,89	1,38	0,53			20,07	22,83	29,09	90,79	Диафорит Diaphorite
77241Б	23,47	3,4		27,72	3,51	14,74	28,93		101,77	Фрейбергит Freibergite

Таблица 5

## Химический состав (%) и пробность самородного золота

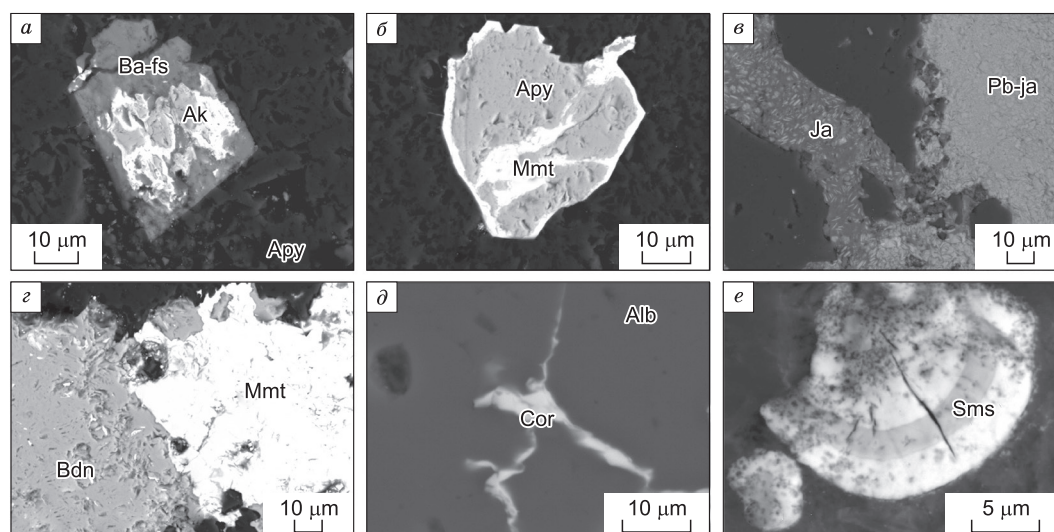
Table 5

## Chemical composition (%) and fineness of native gold

Номер обр. Sample	Cu	Ag	Au	Total	Пробность, ‰ Fineness
Участок Гайдар Gaidar site					
77092		45,77	54,57	100,34	546
		46,15	54,05	100,2	541
		47,43	51,2	98,63	512
		47,64	53,05	100,69	531
		47,42	51,89	99,31	519
		47	53,36	100,36	534
		47,64	52,87	100,51	529
		46,48	52,79	99,27	528
Участок Чепчуга Cherchuga site					
77191			99,94	99,94	999
77242		14,99	84,95	99,94	850
		14,8	86,11	100,91	853
77248		13,97	85,06	99,03	859
И-18-19	27,44	9,16	63,79	100,39	635

наты свинца. Минералы характеризуются широкими вариациями содержаний основных компонентов и примесей. Гипергенные минералы развиваются по основным рудным минералам –

пириту, арсенопириту, галениту, сфалериту, в виде каемок, прожилков вплоть до полного замещения (рис. 7). Имеются признаки новообразований, представленных сферолитами, колломорф-



**Рис. 7.** Минералогия зоны гипергенеза.

*a* – арсенопирит (Apy), замещенный акантитом (Ak) и бариофармакосидеритом (Ba-fs), *б* – кайма и прожилки миметита (Mmt), замещающего арсенопирит (Apy), *в* – ассоциация плюмбожарозита (Pb-ja) и жарозита (Ja) с пластинчатыми включениями плюмбожарозита, *г* – ассоциация бедантита (Bdn) и миметита (Mmt), *д* – прожилки коронадита (Cor) в альбите (Alb), *е* – зональные сферолиты симесита (Sms)

**Fig. 7.** Mineralogy of the supergene zone.

*a* – arsenopyrite (Apy), replaced by acanthite (Ak) and baropharmacosiderite (Ba-fs), *б* – rim and veinlets of mimetite (Mmt), replacing arsenopyrite (Apy), *в* – association of plumbojarosite (Pb-ja) and jarosite (Ja) with platy inclusions of plumbojarosite, *г* – association of beudantite (Bdn) and mimetite (Mmt), *д* – veinlets of coronadite (Cor) in albite (Alb), *е* – zonal spherulites of symesite (Sms)

ными выделениями, сформированными в близповерхностных условиях. Гипергенные минералы сопровождаются низкотемпературной минерализацией барита, флюорита и алунита.

**Минеральные ассоциации.** По взаимоотношениям между минералами установлены от ранних к поздним пирит-арсенопиритовая, полиметаллическая и серебро-сульфосольная минеральные ассоциации.

Наиболее ранней является *пирит-арсенопиритовая минеральная ассоциация*. В ее составе преобладает пирит. Арсенопирит встречается реже, но, учитывая развитие в рудах гипергенных арсенатов, можно предположить более широкое его распространение в первичных рудах. К данной ассоциации, вероятно, можно отнести пирротин и локально распространенный парагенезис герсдорфита, пентландита и кобальтина. Касситерит отлагался после пирит-арсенопиритовой ассоциации, образуя в ранних минералах включения в виде идиоморфных зерен, а иногда и колломорфные выделения, но раньше галенита, который наблюдается в нем в виде овальных включений. Борнит также, по-видимому, выделялся несколько ранее галенита и сфалерита, его взаимоотно-

ношение с пирит-арсенопиритовой ассоциацией не ясно.

Средняя *полиметаллическая ассоциация* объединяет галенит, сфалерит и халькопирит. Они часто развиваются в виде включений в пирите, реже арсенопирите.

Поздняя *серебро-сульфосольная ассоциация* представлена микровключениями самородного Ag, акантита, антимонита, канфилдита и сульфосолей Pb, Ag и Sb. Акантит замещает арсенопирит, развиваясь в виде прожилков и каемок, встречается в парагенезисе с канфилдитом. Антимонит и сульфосоли обычно образуют индивидуальные включения, которые наблюдаются в кавернах. Установить взаимоотношение самородного золота с какой-либо ассоциацией затруднительно, так как немногочисленные его находки выявлены в жильных либо гипергенных минералах (гетит и миметит). Отмеченное позволяет предположить связь самородного золота с ранней пирит-арсенопиритовой ассоциацией.

### Обсуждение

По результатам петрографических исследований выявлено преобладание в Чепчугинском руд-



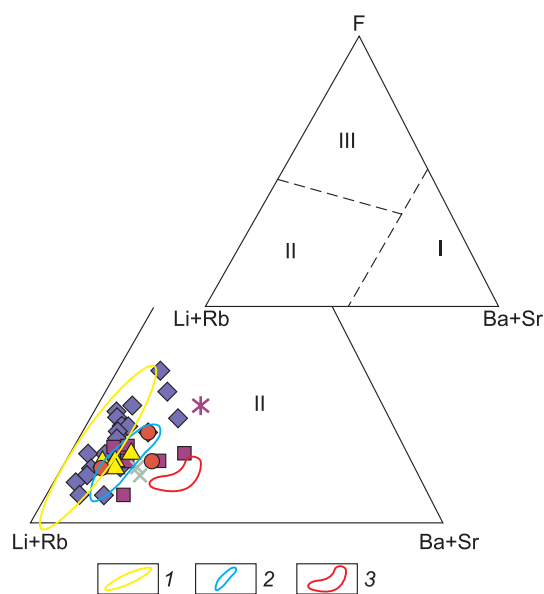
ном узле даек спессартитов, менее распространены дайки диоритовых порфиров и крайне редки дайки риолит-порфиров. Породы даек сильно изменены вторичными процессами, которые связаны со становлением магматических образований Лево-Сунтарского массива, а также возможным привнесом тепла и флюидов из дополнительного источника после кристаллизации основной массы пород массива, на что косвенно указывает зональное строение плагиоклаза и изменение в направлении спайности биотита в гранитоидах массива. Также на присутствие дополнительного источника указывает наличие в массиве обломков дайки диоритов, породы которой наименее подвержены вторичным изменениям с сохранением первичного облика пород, что может говорить о поздней природе последних. Предполагается следующая последовательность образования мезозойских магматических пород Чепчугинского рудного узла: от основных (спессартиты, диоритовые порфиры) к кислым (риолит-порфиры, гранодиориты и граниты) и вновь к основным породам (диоритовые порфиры). С подобной последовательностью образования магматических пород связаны месторождения благородных и цветных металлов [4, 13–17]. В частности в Депутатском рудном поле установлена следующая последовательность становления магматических пород: дайки андезита, андезитовых и диоритовых порфиров → биотитовые граниты Депутатского массива и сопровождающие его дайки аплитовидных лейкократовых и аляскитовых гранитов → дайки риолит- и гранит-порфиров → дайки трахидолеритов, трахиандезитов, трахиандезитов, монцититов, субщелочных лампрофиров [17].

Геохимически магматические породы рудного поля специализированы на литофильные элементы (B, Ba, Cr, Nb, Sc, Sr, V, Zr), содержания в них как халькофильных (Cu, Ge, Sn, Zn, Pb), так и сидерофильных (Ni, Co) элементов значительно ниже. Содержание микроэлементов в этом ряду снижается от даек спессартитов к породам поздней фазы внедрения массива Лево-Сунтарский. Установленная сквозная геохимическая специализация в совокупности с геологическими условиями образования магматических пород позволяет рассматривать магматические образования рудного поля в составе единой полигенной рудно-магматической системы [18].

К северу от Чепчугинского рудного узла в Верхне-Инди́гирском секторе Яно-Колымского

металлогенического пояса известны пространственно связанные магматические образования и золоторудные месторождения. Они формируют рудно-магматические узлы, петрологические особенности магматизма и минерагенический потенциал которых изучены в последнее время [19–23]. Нами выполнен сравнительный анализ минерагенического потенциала Лево-Сунтарского массива и малых тел с магматизмом орогенного Мало-Тарынского золоторудного и Эргеляхского золото-висмутного месторождений. На диаграмме рудоносности [24] точки составов всех магматических пород рассматриваемых объектов, включая образования Чепчугинского рудного узла, попадают в поле ограничено рудоносных образований (рис. 8).

Необходимо отметить, что по этим показателям намечаются три группы магматических пород с близкой металлогенической специализа-



**Рис. 8.** Диаграмма рудоносности для магматических образований Чепчугинского рудного узла, Мало-Тарынского золоторудного и Эргеляхского золото-висмутного месторождений.

Условные обозначения см. на рис. 4. Поля диаграммы [24]: магматические образования: I – нерудоносные, II – ограниченно рудоносные, III – ультрарудоносные

Гранитоиды массивов: 1 – Эргеляхского; 2 – Курдатского; 3 – Самырского

**Fig. 8.** Diagram of ore content for igneous rocks of the Chepchuginsky ore cluster, Malo-Taryn gold deposit and Ergelyakh gold-bismuth deposit.

Conventional symbols in Fig. 4. Diagram fields [24]: igneous rocks: I – non ore bearing, II – partially ore-bearing, III – ultra ore-bearing

Granitoids of the massifs: 1 – Ergelyakh; 2 – Kurdatsky; 3 – Samyr.

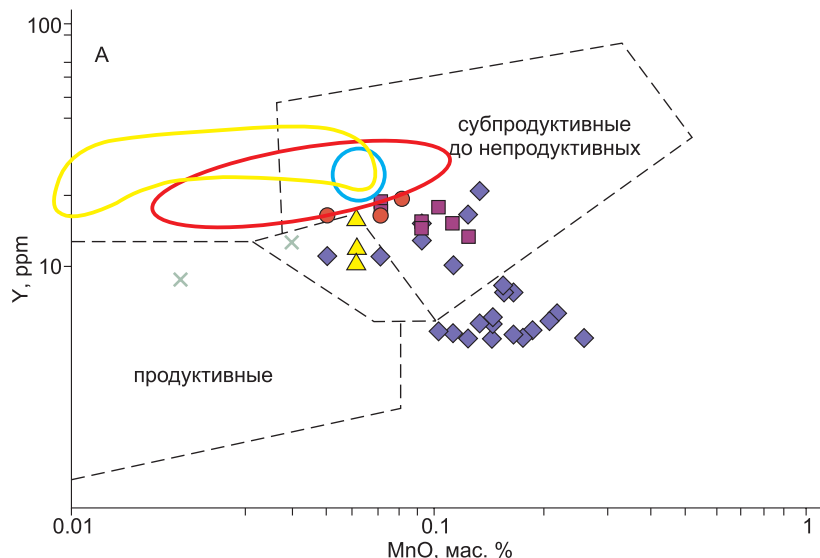
цией: 1) дайки спессартитов – гранитоиды Эргеляхского массива; 2) гранитоиды Лево-Сунтарского–Курдатского массивов; 3) дайки диоритовых порфиров – Самырский массив. Исходя из особенностей металлогенической специализации магматических пород Чепчугинского рудного узла, можно предположить наличие возможной генетической связи золотоносной минерализации с преобладающей литофильной составляющей изучаемых пород.

На индикаторной диаграмме Y/MnO (рис. 9) большинство фигуративных точек даек лампрофиров (спессартитов), как и составы гранитоидов Эргеляхского и Самырского массивов, лежат за пределами полей и частично относятся к субпродуктивным и непродуктивным образованиям на Cu–Au-минерализацию.

Составы даек диоритовых порфиров, а также гранитоиды Курдатского массива ложатся в поле субпродуктивных и непродуктивных образований. Догранитоидные дайки риолит-порфиров, а также гранодиориты Лево-Сунтарского массива занимают промежуточную позицию между продуктивными и субпродуктивными породами и близки по этим показателям к таковым Самырского массива.

Несмотря на некоторую условность этих металлогенических дискриминантных диаграмм, нельзя полностью отрицать вероятную рудную специализацию изученных гранитоидов, тем более что в пределах Эргеляхского гранитоидного массива проявлено золото-висмутовое оруденение [21]. С гранитоидами Курдатского и Самырского массивов связаны перспективы Sn–Ag-минерализации, ряд комплексных геохимических аномалий Ag, Pb, Zn и Sn [19]. Таким образом, магматические образования Чепчугинского рудного узла и связанные с ним процессы можно рассматривать как потенциально рудоносные на Au?, Ag, Pb, Zn и Sn.

По соотношению минеральных видов и особенностям химического состава руд установлена различная минеральная специализация участков Гайдар и Чепчуга. На участке Гайдар развит Au–Ag тип минерализации с самородным золотом в кварцевых жилах и зонах окисления по серебро-содержащим рудам. Основной формой нахождения Au в изученных образцах является тонкодисперсное самородное Au, по составу относимое к электруму. В рудах повсеместно распространен акантит, являющийся минералом-индикатором золото-серебряной рудной минерализации.



**Рис. 9.** Дискриминантная Y/MnO диаграмма продуктивности на Cu–Au-минерализации [25] магматических пород Чепчугинского рудного узла, Мало-Тарынского золоторудного и Эргеляхского золото-висмутового месторождений. Условные обозначения см. на рис. 4.

**Fig. 9.** Discriminant Y/MnO diagram of productivity on Cu–Au mineralization [25] of igneous rocks of the Chepchuginsky ore cluster, Malo-Taryn gold deposit and Ergelyakh gold-bismuth deposit: Conventional symbols in Fig. 4.

Он обнаружен как в первичных, так и в окисленных рудах. Последнее обусловило разнообразие химического состава минерала: в окисленных рудах он почти всегда без примесей, также отсутствуют примеси в акантите, обрамляющем золото; в первичных рудах содержит Cu, Au, Se и Te. Примесь Se и Te типична для золотосеребряных руд, а примесь золота в акантите свидетельствует о том, что в рудах часть металла может быть связана с сульфидами.

Полибазит относится к числу «сквозных» минералов серебра, имеющих сравнительно широкое распространение в золото-серебряных месторождениях Охотско-Чукотского пояса, в которых вместе с пирсцитом образует изоморфный ряд с переменным соотношением серебра и меди. Полибазит участка Гайдар (см. табл. 4) сопоставим с таковым золото-серебряных месторождений Охотско-Чукотского пояса, представленными существенно серебряными (Ag – 67,7–76,67 %), маломедистыми (Cu – 0,4–5,89 %, в отдельных месторождениях до 14 %) разновидностями [26]. Содержание Sb в них составляет 1,14–10,4 %, а As – от следов до 5,7 %.

Железистость сфалерита низкая – 1,03–2,03 %, что указывает на отсутствие связи с оловорудными формациями, для которых характерны марматиты с содержанием Fe > 10 % [27]. Жильные зоны, минерализованные кварцем золоторудного облика золотоносны не всегда. Это может быть связано с тем, что жилы имеют многостадийное формирование, золото содержат не все разновидности кварцевых жил и не все они обнажены на поверхности, соответственно – не полностью опробованы. Зоны окисления по серебросодержащим рудам характеризуются устойчивыми содержаниями золота > 1 г/т и положительной корреляцией золота и серебра. Соотношение Au/Ag в рудах варьирует от 1/7 до 1/160, что однозначно характеризует тип руд участка Гайдар как золото-серебряный [28].

По минеральному составу руд на данном этапе исследований предполагается сходство оруденения участка Чепчуга с месторождениями серебро-полиметаллического типа Южного и Западного Верхоянья. Наиболее близким по минералогии руд является Алтайское месторождение Южного Верхоянья, которое расположено также в структурах Сунтаро-Лабынкырского поднятия. На Алтайском месторождении выделяются следующие минеральные ассоциации: арсенопирит-

пирит-кварцевая с касситеритом (золотоносная), сфалерит-пирит-сидеритовая, галенит-анкерит-кварцевая с сульфосолями серебра и галенит-кварц-кальцитовая [29]. Так же, как и на исследуемом объекте, руды Алтайского месторождения характеризуются развитием более позднего, чем пирит и арсенопирит, касситерита; преобладанием галенита над сфалеритом; значительной пространственностью арсенопирита, близким содержанием железа в сфалерите (4,5–6,1 %); развитием канфилдита и поздних серебро-сурьмяных сульфосолей – диафторита, пираргирита. Самородное золото Алтайского месторождения связано с ранней арсенопирит-пиритовой ассоциацией.

Минералого-геохимический характер изученных руд участка Чепчуга находит сходство и с Верхне-Менкеченским месторождением. Здесь в рудах также преобладает галенит, с которым ассоциируют серебро и редкие находки самородного золота, развиты касситерит, канфилдит, акантит, антимонит и сульфосоли Pb, Ag и Sb. Месторождения Алтайское и Верхне-Менкеченское Л.Н. Индолев и Г.Г. Невойса [29] относят к сульфоантимонит-галенитовому типу галенит-сфалеритовой формации.

Сделанные выводы в некоторой степени условны, так как в связи с широко развитыми в изученных рудах процессами гипергенеза нет возможности объективно оценить их первичный минеральный состав, степень сульфидности и тип оруденения.

### Выводы

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Металлогенический облик Чепчугинского рудного узла связан с его положением в тылу окраинно-континентальных титон-раннемелового Удско-Мургальского и альб-позднемелового Охотско-Чукотского вулканоплутонических поясов.

2. Чепчугинский рудный узел локализован в протяженном широтном выступе кристаллического фундамента между слабоэродированными массивами, проявленными гравитационными минимумами и положительными локальными магнитными аномалиями зон контактового метаморфизма.

3. В структурном отношении рудный узел приурочен к пересечению Сунтарским региональным разломом Чепчугинской антиклина-



ли. Учитывая широкое проявление прожилковых, брекчиевых и полосчато-брекчиевых текстур руд, можно ожидать, что основным типом рудолокализирующих структур будут минерализованные зоны дробления.

4. Изучение даек показало широкое петрографическое разнообразие слагающих их пород. Среди них выделены спессартиты, диоритовые порфириды и риолит-порфиры. Геохимически магматические породы рудного поля специализированы на литофильные элементы (В, Ва, Сr, Nb, Sc, Sr, V, Zr), содержания халькофильных (Cu, Ge, Sn, Zn, Pb) и сидерофильных (Ni, Co) элементов значительно ниже. Установленная сквозная геохимическая специализация в совокупности с геологическими условиями образования магматических пород позволяет рассматривать магматические образования рудного поля в составе единой полигенной рудно-магматической системы.

5. Выделены ранняя пирит-арсенопиритовая, средняя полиметаллическая и поздняя серебро-сульфосольная минеральные ассоциации.

6. Характерно широкое развитие и разнообразие гипергенных минералов, что позволяет предполагать значительную распространенность в первичных рудах ниже зоны гипергенеза минерализации галенита, арсенопирита и сульфосолей.

7. Установлена различная минеральная специализация участков Гайдар и Чепчуга. На участке Гайдар развит Au–Ag тип минерализации с самородным золотом в кварцевых жилах и зонами окисления по серебросодержащим рудам. Для участка Чепчуга на основании развития в рудах касситерита, канфилдита, акантита, сульфосолей Pb, Ag и Sb, предполагается близость оруденения к месторождениям серебро-полиметаллического типа Западного Верхоянья.

8. Формирование серебро-полиметаллической минерализации связано с функционированием меловых серебро-оловоносных рудно-магматических систем. Отложение руд происходило при низких и средних температурах, о чем свидетельствуют относительно низкая железистость сфалерита, развитие в рудах барита, флюорита и апатита. Наличие такого минерала, как барит, позволяет сделать выводы, что в Чепчугинском рудном узле представлен верхний надрудный уровень.

### Список литературы

1. Казакова Г.Г., Васькин А. Ф., Кропачев А. П., Щербаков О. И. и др. Государственная геологическая

карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Верхояно-Колымская. Лист Р54 – Оймякон. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2013. 400 с.

2. Фридовский В.Ю., Гамянин Г.Н., Полуфунтикова Л.И. Металлогения золота и серебра Южного Верхоянья // Горный журнал. 2017. № 6. С. 9–15. DOI: 10.17580/gzh.2017.06.02

3. Гамянин Г.Н., Бортников Н.С., Алпатов В.В. Нежданинское золоторудное месторождение – уникальное месторождение Северо-Востока России. М.: ГЕОС, 2001. 230 с.

4. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). М. МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. 571 с.

5. Третьяков Ф.Ф. Некоторые аспекты строения консолидированной коры Верхоянского складчатонадвигового пояса // Отечественная геология. 2017. № 5. С. 116–122.

6. Скляр Е.В., Гладкочуб Д.П., Донская Т.Б. Интерпретация геохимических данных. М.: Интернет инжиниринг, 2001. 288 с.

7. Wilson M. Igneous petrogenesis. Unwin Hyman. London, 1989.

8. Whiteford D.G., Nicholls I.A., Taylor S. R. Spatial variations in the geochemistry of quaternary lavas across the Sunda arc in Java and Bali // Contribs. Mineral. And Petrol. 1979. Vol. 70. P. 341–356.

9. Петров А.В., Зиновкин С.В., Осипенков Д.Ю., Юдин Д.Б. Компьютерная технология статистического и спектрально-корреляционного анализа данных КОСКАД 3d // Геоинформатика. 2011. № 4. С. 7–13.

10. Петров А.В., Демура Г.В., Зиновкин С.В. Компьютерная технология статистического и спектрально-корреляционного анализа данных КОСКАД 3D и практические результаты // Недрапользование XXI век. 2017. № 1 (64). С. 44–59.

11. Петрографический кодекс России. СПб.: ВСЕГЕИ, 2008. 200 с.

12. Whitney D.L., Evans B.P. Abbreviations for names of rock-forming minerals // Am. Mineral. 2010.

13. Трунилина В.А. Геология и рудоносность позднемезозойских магматических образований северо-востока Якутии. Новосибирск: Наука, 1992. 257 с.

14. Трунилина В.А., Орлов Ю.С., Роев С.П. и др. Геология и рудоносность магматитов хр. Полоусного. Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1996. 132 с.

15. Трунилина В.А. Анорогенные гранитоиды северо-востока Верхояно-Колымских мезозонид // Россыпи, источники, их генезис и перспективы. Якутск, 2000. С. 48–53.

16. Трунилина В.А., Роев С.П., Орлов Ю.С. Вулканоплутонические пояса северо-востока Якутии. Якутск: «Сахаполиграфиздат», 2007. 152 с.

17. Иванов А.И. Петрология и геохимия магматических пород Депутатского рудного поля. Якутск: ООО «Компания «Дани Алмаз», 2012. 116 с.

18. Косыгин Ю.А., Власов Г.М. Магматогенно-рудные системы. М.: Наука, 1986. 253 с.
19. Зайцев А.И., Фридовский В.Ю., Кудрин М.В. Интенсивные параметры формирования и минерагенический потенциал гранитоидов Курдатского и Самырского массивов, Тас-Кыстабытский магматический пояс Верхояно-Колымской складчатой области // Отечественная геология. 2017. № 5. С. 80–89.
20. Зайцев А.И., Фридовский В.Ю., Верниковская А.Е., Кудрин М.В., Яковлева К.Ю., Кадильников П.И. RB-SR изотопное изучение базитов дайкового комплекса Тарынской рудно-магматической системы (Северо-Восток России) // Отечественная геология. 2018. № 5. С. 50–61. DOI: 10.24411/0869-7175-2018-10016.
21. Zaitsev A.I., Fridovsky V.Yu., Kudrin M.V. Granitoids of the Ergelyakh Intrusion-Related Gold–Bismuth Deposit (Kular-Nera Slate Belt, Northeast Russia): Petrology, Physicochemical Parameters of Formation, and Ore Potential // Minerals. 2019. Vol. 9, No. 5. P. 297. DOI: 10.3390/min9050297
22. Fridovsky V.Y., Gamyranin G.N., Polufuntikova L.I. Structures, mineralogy, and fluid regime of ore formation in the polygenetic Malo-Taryn gold field, Northeast Russia // Russian Journal of Pacific Geology. 2015. Vol. 9, No. 4. P. 274–286.
23. Fridovsky V.Yu., Yakovleva K.Yu., Vernikovskaya A.E., Vernikovskiy V.A., Matushkin N.Yu., Kadilnikov P.I., Rodionov N.V. Geodynamic emplacement setting of Late Jurassic dikes of the Yana-Kolyma gold belt, NE folded framing of the Siberian Craton: geochemical, petrologic, and U-Pb zircon data // Minerals. 2020. Vol. 10, No. 11. P. 1000. DOI: 10.3390/min10111000
24. Козлов В.Д. Геохимия и рудоносность гранитоидов редкометалльных провинций. Новосибирск: Наука, 1985. 304 с.
25. Baldwin J.A., Pearce J.A. Discrimination of productive and nonproductive porphyritic intrusions in the Chilean Andes // Economic Geology. 1982. Vol. 77. P. 665–674.
26. Шило Н.А., Сахарова М.С., Кривицкая Н.Н. и др. Минералогия и генетические особенности золото-серебряного оруденения северо-западной части Тихоокеанского обрамления. М.: Наука, 1992. 252 с.
27. Костин А.В. Распределение индия, германия, кадмия и серебра в сфалеритах месторождений Восточной Якутии // Геология и минералогия рудных узлов Яно-Колымской складчатой системы. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1984. С. 124–135.
28. Горячев Н.А., Волков А.В., Сидоров А.А., Гамянин Г.Н., Савва Н.Е., Округин В.М. Au–Ag-оруденение вулканогенных поясов северо-востока Азии // Литосфера. 2010. № 3. С. 36–50.
29. Индолев Л.Н., Невоица Г.Г. Серебро-свинцовые месторождения Якутии. Новосибирск, 1974. 250 с.

Поступила в редакцию 02.03.2021

Принята к публикации 06.04.2021

#### Об авторах

ФРИДОВСКИЙ Валерий Юрьевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор, директор, Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Якутск, 677980, пр. Ленина, 39, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-4994-2141>, [fridovsky@diamond.ysn.ru](mailto:fridovsky@diamond.ysn.ru);

ЛОСКУТОВ Евгений Евгеньевич, кандидат геолого-минералогических наук, ученый секретарь, Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Якутск, 677980, пр. Ленина, 39, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-7491-1067>, [loskutov@diamond.ysn.ru](mailto:loskutov@diamond.ysn.ru);

КОНДРАТЬЕВА Лариса Афанасьевна, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Якутск, 677980, пр. Ленина, 39, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-9347-6427>;

ИВАНОВ Алексей Иванович, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Якутск, 677980, пр. Ленина, 39, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-4216-8421>, [leps\\_2002@mail.ru](mailto:leps_2002@mail.ru);

КОСТИН Алексей Валентинович, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией, Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Якутск, 677980, пр. Ленина, 39, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-5778-6505>, [a.v.kostin2006@rambler.ru](mailto:a.v.kostin2006@rambler.ru);

СОЛОВЬЕВ Евгений Эдуардович, кандидат геолого-минералогических наук, директор, Политехнический институт (филиал), Северо-Восточный федеральный университет им. М.К.Аммосова, 678170, Мирный, ул. Тихонова, 5/1

Researcher ID 57208142215, [solov.evg@yandex.ru](mailto:solov.evg@yandex.ru);

ИВАНОВ Мичил Спартакович, инженер 1 категории, Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Якутск, 677980, пр. Ленина, 39, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-0204-1653>, [ivanov.michil@bk.ru](mailto:ivanov.michil@bk.ru);

ЖЕЛОНКИНА Мария Сергеевна, ведущий инженер, Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Якутск, 677980, пр. Ленина, 39, Россия, <https://orcid.org/0000-0003-2309-3118>, [greysvanir@mail.ru](mailto:greysvanir@mail.ru).

*Информация для цитирования*

Фридовский В.Ю., Лоскутов Е.Е., Кондратьева Л. А., Иванов А.И., Костин А.В., Соловьев Е.Э., Иванов М.С., Желонкина М.С. Геология, глубинное строение, магматизм, Au–Ag- и Ag–Pb–Zn-минерализация Чепчугинского рудного узла (Верхояно-Колымская минерагеническая провинция) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2021, Т. 26, № 2. С. 27–48. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-2-2>

DOI 10.31242/2618-9712-2021-26-2-2

**Geology, deep structure, magmatism,  
Au–Ag and Ag–Pb–Zn mineralization of the Chepchuginsky ore cluster  
(the Verkhoyansk-Kolyma mineragenic province)**

V.Y. Fridovsky<sup>1</sup>, E.E. Loskutov<sup>1</sup>, \*, L.A. Kondratieva<sup>1</sup>, A.I. Ivanov<sup>1</sup>, A.V. Kostin<sup>1</sup>,  
E.E. Soloviev<sup>2</sup>, M.S. Ivanov<sup>1</sup>, M.S. Zhelonkina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, Yakutsk, Russia

<sup>2</sup>M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

\*[loskutov@diamond.ysn.ru](mailto:loskutov@diamond.ysn.ru)

**Abstract.** Results of the investigation of the structure, magmatism, Au–Ag and Ag–Pb–Zn mineralization of the Chepchuginsky ore cluster located in the Myunkyuken mineragenic zone of the central part of the Verkhoyansk-Kolyma mineragenic province are presented. The ore cluster is localized in an extended latitudinal projection of the crystalline basement between slightly eroded massifs, manifested by gravitational minima and positive local magnetic anomalies of the zones of contact metamorphism. Structurally, the ore node is confined to the intersection of the Suntar regional fault of the Chepchugin anticline. The study of dikes showed a wide petrographic diversity of the rocks composing them (spessartites, diorite porphyry and rhyolite-porphyry). The igneous rocks of the ore field are geochemically specialized in lithophilic elements (B, Ba, Cr, Nb, Sc, Sr, V, Zr), while the content of chalcophilic (Cu, Ge, Sn, Zn, Pb) and siderophile (Ni, Co) elements is much lower. Early pyrite-arsenopyrite, middle polymetallic, and late silver-sulfosalt mineral associations were identified. The wide development and diversity of supergene minerals is typical, which suggests a significant prevalence of mineralization of galena, arsenopyrite, and sulfosalts in primary ores below the supergene zone. Differences in the mineral specialization of the Gaidar and Chepchuga sites have been identified. The Au–Ag type of mineralization with native gold in quartz veins and oxidation zones on silver-containing ores is developed at the Gaidar site. On the basis of the development of cassiterite, canfieldite, acanthite, as well as Pb, Ag, and Sb sulfosalts in the ores, it is assumed that the mineralization of the Chepchuga site is close to silver-polymetallic deposits. The metallogenic appearance of the ore cluster is associated with its position in the rear area of the marginal-continental Tithonian-Early Cretaceous Uda-Murgal and Albian-Late Cretaceous Okhotsk-Chukotka volcano-plutonic belts.

**Key words:** gold, silver, polymetals, geophysical fields, magmatism, Chepchuginsky ore cluster, Verkhoyansk-Kolyma mineragenic province.

**Acknowledgements.** The work was carried out within the scope of research work of DPMGI SB RAS.



## References

1. Kazakova G.G., Vas'kin A.F., Kropachev A.P., Shcherbakov O.I. i dr. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1:1000000 (tret'e pokolenie). Seriya VerhoyanoKolymuskaya. List P54 – Ojmyakon. Ob'yasnitel'naya zapiska. SPb: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI, 2013. 400 p.
2. Fridovskij V.Yu., Gamyanin G.N., Polufuntikova L.I. Metallogeniya zolota I serebra Yuzhnogo Verhoyan'ya // Gornyj zhurnal. 2017. No. 6. P. 9–15. DOI: 10.17580/gzh.2017.06.02
3. Gamyanin G.N., Bortnikov N.S., Alpatov V.V. Nezhdaninskoe zolotorudnoe mestorozhdenie – unikal'noe mestorozhdenie Severo-vostoka Rossii. M.: GEOS. 2001. 230 p.
4. Tektonika, geodinamika I metallogeniya territorii Respubliki Saha (Yakutiya). M.: MAIK «Nauka/Interperiodika», 2001. 571 p.
5. Tret'yakov F.F. Nekotorye aspekty stroeniya konsolidirovannoj kory Verhoyanskogo skladchato-nadvigovogo poyasa // Otechestvennaya geologiya, 2017. No. 5. P. 116–122.
6. Sklyarov E.V., Gladkochub D.P., Donskaya T.B. Interpretaciya geohimicheskikh dannyh. M.: Intermetinzhiniring, 2001. 288 p.
7. Wilson M. Igneous petrogenesis. London: Uniwin Hyman, 1989.
8. Whiteford D.G., Nicholls I.A., Taylor S.R. Spatial variations in the geochemistry of quaternary lavas across the Sunda arc in Java and Bali // Contribs. Mineral. And Petrol. 1979. Vol. 70. P. 341–356.
9. Petrov A.V., Zinovkin S.V., Osipenkov D.Yu., Yudin D.B. Komp'yuternaya tekhnologiya statisticheskogo I spektral'no-korrelyacionnogo analiza dannyh KOSKAD 3d // Geoinformatika. 2011. No. 4. P. 7–13.
10. Petrov A.V., Demura G.V., Zinovkin S.V. Komp'yuternaya tekhnologiya statisticheskogo I spektral'no-korrelyacionnogo analiza dannyh KOSKAD 3D I prakticheskie rezul'taty // Nedropol'zovanie XXI vek. 2017. No. 1 (64). P. 44–59.
11. Petrograficheskij kodeks Rossii. SPb.: VSEGEI, 2008. 200 p.
12. Whitney D.L., Evans B.P. Abbreviations for names of rock-forming minerals. Am. Mineral. 2010. Vol. 95. P. 185–187.
13. Trunilina V.A. Geologiya I rudonosnost' pozdne-mezozojskikh magmaticheskikh obrazovanij severo-vostoka Yakutii. Novosibirsk: Nauka, 1992. 257 p.
14. Trunilina V.A., Orlov Yu.S., Roev S.P. i dr. Geologiya I rudonosnost' magmatitov hr. Polousnogo. Yakutsk: YANC SO RAN, 1996. 132 p.
15. Trunilina V.A. Anorogennye granitoidy severo-vostoka Verhoyano-Kolymskikh mezozoid // Rossypi, istochniki, ih genesis I perspektivy. Yakutsk, 2000. P. 48–53.
16. Trunilina V.A., Roev S.P., Orlov Yu.S. Vulkanoplutonicheskie poyasa severo-vostoka Yakutii. Yakutsk: «Sahapoligrafizdat», 2007. 152 p.
17. Ivanov A.I. Petrologiya i geochemiya magmaticheskikh porod Deputatskogo rudnogo polya. Yakutsk: OOO «Dani Almaz», 2012. 116 p.
18. Kosygin Yu.A., Vlasov G.M. Magmatogenno-rudnyesistemy. M.: Nauka, 1986. 253 p.
19. Zaitsev A.I., Fridovskij V.Yu., Kudrin M.V. Intensivnye parametry formirovaniya I mineragenicheskij potencial granitoidov Kurdatskogo I Samyrskogo massivov, Tas-Kystabytskij magmaticheskij poyas Verhoyano-Kolymskoj skladchatoj oblasti // Otechestvennaya geologiya, 2017. No. 5. P. 80–89.
20. Zaitsev A.I., Fridovskij V.Yu., Vernikovskaya A.E., Kudrin M.V., Yakovleva K.Yu., Kadil'nikov P.I. RB-SR izotopnoe izuchenie bazitov dajkovogo kompleksa Tarynskoj rudno-magmaticheskoy sistemy (Severo-Vostok Rossii) // Otechestvennaya geologiya. 2018. No. 5. P. 50–61. DOI: 10.24411/0869-7175-2018-10016
21. Zaitsev A.I., Fridovsky V.Yu., Kudrin M.V. Granitoids of the Ergelyakh Intrusion-Related Gold–Bismuth Deposit (Kular-Nera Slate Belt, Northeast Russia) // Petrology, Physicochemical Parameters of Formation, and Ore Potential Minerals. 2019. Vol. 9. No. 5. P. 297. DOI: 10.3390/min9050297
22. Fridovsky V.Y., Gamyanin G.N., Polufuntikova L.I. Structures, mineralogy, and fluid regime of ore formation in the polygenetic Malo-Taryn gold field, Northeast Russia // Russian Journal of Pacific Geology. 2015. Vol. 9, No. 4. P. 274–286.
23. Fridovsky V.Yu., Yakovleva K.Yu., Vernikovskaya A.E., Vernikovskiy V.A., Matushkin N.Yu., Kadilnikov P.I., Rodionov N.V. Geodynamic emplacement setting of Late Jurassic dikes of the Yana-Kolyma gold belt, NE folded framing of the Siberian Craton: geochemical, petrologic, and U-Pb zircon data // Minerals. 2020. Vol. 10, No. 11. P. 1000. DOI: 10.3390/min10111000
24. Kozlov V.D. Geohimiya I rudonosnost' granitoidov redkometal'nyh provincij. Novosibirsk: Nauka, 1985. 304 p.
25. Baldwin J.A., Pearce J.A. Discrimination of productive and nonproductive porphyritic intrusions in the Chilean Andes // Economic Geology. 1982. Vol. 77. P. 665–674.
26. Shilo N.A., Saharova M.S., Krivickaya N.N. i dr. Mineralogiya I geneticheskie osobennosti zoloto-serebryanogo orudneniya severo-zapadnoj chaste Tihookeanskogo obramleniya. M.: Nauka. 1992. 252 p.
27. Kostin A.V. Raspredelenie indiya, germaniya, kadmiya I serebra v sfaleritah mestorozhdenij Vostochnoj Yakutii // Geologiya I mineralogiya rudnyh uzlov Yano-Kolymsko jskladchatoj sistemy. Yakutsk: YAF SO AN SSSR. 1984. P. 124–135.
28. Goryachev N.A., Volkov A.V., Sidorov A.A., Gamyanin G.N., Savva N.E., Okrugin V.M. Au–Ag-orudnenie vulkanogennyh poyasov severo-vostoka Azii // Litosfera. 2010. No. 3. P. 36–50.
29. Indolev L.N., Nevojsa G.G. Serebro-svintsovyje mestorozhdeniya Yakutii. N., 1974. 250 p.

*About the authors*

FRIDOVSKY Valery Yurievich, Dr. Sci. (Geology and Mineralogy), Professor, Director, Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia,  
<https://orcid.org/0000-0002-4994-2141>, [fridovsky@diamond.ysn.ru](mailto:fridovsky@diamond.ysn.ru);

LOSKUTOV Evgeniy Evgenievich, Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Scientific Secretary, Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia,  
<https://orcid.org/0000-0001-7491-1067>, [loskutov@diamond.ysn.ru](mailto:loskutov@diamond.ysn.ru);

KONDRATIEVA Larisa Afanasievna, Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Scientific Secretary, Senior Researcher, Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia,  
<https://orcid.org/0000-0001-9347-6427>;

IVANOV Alexey Ivanovich, Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Scientific Secretary, Senior Researcher, Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia,  
<https://orcid.org/0000-0002-4216-8421>, [leps\\_2002@mail.ru](mailto:leps_2002@mail.ru);

KOSTIN Alexey Valentinovich, Dr. Sci. (Geology and Mineralogy), Head of the Laboratory, Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenin pr., Yakutsk, 677980, Russia,  
<https://orcid.org/0000-0002-5778-6505>, [a.v.kostin2006@rambler.ru](mailto:a.v.kostin2006@rambler.ru);

SOLOVYOV Evgeniy Eduardovich, Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Scientific Secretary, Mirny Polytechnic Institute (branch) of M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 5, build 1, Tikhonova st., Mirny, Republic of Sakha (Yakutia), Russia,  
Researcher ID 57208142215, [solov.evg@yandex.ru](mailto:solov.evg@yandex.ru)

IVANOV Michil Spartakovich, Engineer of 1 category, Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia,  
<https://orcid.org/0000-0002-0204-1653>, [ivanov.michil@bk.ru](mailto:ivanov.michil@bk.ru)

ZHELONKINA Mariya Sergeevna, Leading Engineer, Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia,  
<https://orcid.org/0000-0003-2309-3118>, [greysvanir@mail](mailto:greysvanir@mail).

*Citation*

*Fridovsky V.Y., Loskutov E.E., Kondratieva L. A., Ivanov A.I., Kostin A.V., Soloviov E.E., Ivanov M.S., Zhelonkina M.S. Geology, deep structure, magmatism, Au–Ag and Ag–Pb–Zn mineralization of the Chepchuginsky ore cluster (Verkhoyansk-Kolyma mineragenic province) // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2021, Vol. 26, No. 2. P. 27–48. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-2-2>*