

УДК 552.321+553.041+553.078+553.064.32 (234.851)

ФЛЮИДНЫЙ РЕЖИМ ФОРМИРОВАНИЯ И ОСОБЕННОСТИ МЕТАЛЛОГЕНИИ ГРАНИТОИДОВ ЮЖНО-ПОМУРСКОГО МАССИВА (СЕВЕРНЫЙ УРАЛ)

© 2017 г. Г. А. Петров^{1,2}, В. В. Холоднов², С. Ю. Останин¹, Е. С. Шагалов^{2,3}
Е. В. Коновалова²

¹Уральская геологосъемочная экспедиция, 620014, г. Екатеринбург, ул. Вайнера, 55

²Институт геологии и геохимии, УрО РАН, 620016, г. Екатеринбург, ул. Акад. Вонсовского, 15,
e-mail: Georg_Petrov@mail.ru

³Уральский государственный горный университет, 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Поступила в редакцию 28.04.2016 г.; принята к печати 24.06.2016 г.

Гранитоидные массивы, распространенные в северной части Западно-Тагильской структурно-формационной зоны, ранее не имели надежного изотопно-геохронологического обоснования возраста, между тем, с некоторыми из них связаны промышленные месторождения скарново-магнетитовых руд. К таким массивам относится Южно-Помурский, к которому приурочено медно-железорудное месторождение – Третий Северный рудник. Авторами выполнено геологическое изучение массива, исследование состава интрузивных горных пород, а также аксессуарных минералов гранитоидов. В горных породах определялось содержание петрогенных окислов и петрологически-информативных элементов методом ICP-MS; возраст магматических образований изучался U-Pb LA-ICP-MS методом по цирконам и титанитам. При помощи микроанализатора SX-100 были выполнены анализы составов апатитов, амфиболов, титаномагнетитов, магнетитов и ильменитов, полевых шпатов и цирконов. Выполненные исследования показали, что в состав Южно-Помурского массива входят магматические образования, принадлежащие двум силурийским комплексам – петропавловскому диорит-гранодиоритовому и северорудничному диорит-гранитовому. Дается характеристика петрографических особенностей и химического состава интрузивных образований, приводятся данные, обосновывающие их возраст. Изучение эволюции флюидного режима, сопровождавшего кристаллизацию расплава, показало, что на ранних стадиях флюид был обогащен хлором, а на поздних – фтором; соответственно, изменялась и металлогеническая направленность флюидно-гидротермальных процессов: от продуктивных на скарново-магнетитовое к золоторудным и редкометальным рудогенерирующим системам. В экзоконтактовом ореоле массива известны рудопроявления и месторождение скарновых медно-магнетитовых руд, минерализованные золото-сульфидные зоны, повышенные содержания вольфрама. Делается вывод о возможности присутствия в экзоконтакте Южно-Помурского массива не только медно-скарново-магнетитовых месторождений, подобных известному Третьему Северному, но и золоторудных минерализованных зон.

Ключевые слова: Южно-Помурский массив, металлогения Тагильской палеоостроводужной структуры, флюидный режим, апатит, скарны

FLUID REGIME OF FORMATION AND METALLOGENIC FEATURES OF GRANITOIDS YUZHNO-POMURSKY MASSIF (NORTHERN URALS)

Georg A. Petrov^{1,2}, Vladimir V. Holodnov², Sergei Yu. Ostanin¹,
Evgenii S. Shagalov^{2,3}, Evgeniya V. Konovalova²

¹Uralian Geological Expedition, 55 Vainer st., Ekaterinburg, 620014, Russia

²A.N. Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch RAS, 15 Akad. Vonsovsky st., Ekaterinburg,
620016, Russia, e-mail: Georg_Petrov@mail.ru

³Ural State Mining University, 30 Kuibyshev st., 620144, Ekaterinburg, Russia

Received 28.04.2016; accepted 24.06.2016

Granitoid massifs of the northern part of the West Tagil structural-formational zone previously had not a reliable geochronological substantiation of age however, some of them are connected with skarn-magnetite deposits. One of such ones is the Yuzhno-Pomursky massif, to which the dedicated copper-iron ore deposit – Tretii Severnyi Rudnik. Authors performed the geological research of the massif, studied the composition of intrusive rocks, and accessory minerals of granitoids. There were determined the contents of petrogenic oxides and petrological-informative elements by

Для цитирования: Петров Г.А., Холоднов В.В., Останин С.Ю., Шагалов Е.С., Коновалова Е.В. (2017) Флюидный режим формирования и особенности металлогении гранитоидов Южно-Помурского массива (Северный Урал). *Литосфера*, 17(5), 103-112. DOI: 10.24930/1681-9004-2017-17-5-103-112

For citation: G.A. Petrov G.A., V.V. Holodnov V.V., Ostanin S.Yu., Shagalov E.S., Konovalova E.V. (2017) Fluid regime of formation and metallogenic features of granitoids Yuzhno-Pomursky Massif (Northern Urals). *Litosfera*, 17(5), 103-112. DOI: 10.24930/1681-9004-2017-17-5-103-112

ICP-MS; the age of magmatic rocks was determined by U-Pb LA-ICP-MS method in zircons and titanites. Using the microprobe SX-100 it was performed the analyses of the compositions of apatites, amphiboles, magnetites and ilmenites, feldspars and zircons. The studies showed that the Yuzhno-Pomursky massif consists of igneous rocks belonging to the two Silurian complexes – diorite-granodiorite Petropavlovsky and diorite-granite Severorudnichnyi. The characteristic of petrographic features and chemical composition of the intrusive formations is given, the data of their age is provided. The study of the evolution of the fluid regime that accompanied the crystallization of the melt, showed that in the early stages of the fluid has been enriched with chlorine, and the later – fluorine; so accordingly changed the metallogenic orientation of fluid-hydrothermal processes: from skarn-magnetite to gold and rare metal systems. In exocontact aureole of the massif are known ore manifestations and deposits of skarn copper-magnetite ores, mineralized gold-sulfide zones, some points with high content of tungsten. The conclusion about the possibility of the presence at the exocontact of Yuzhno-Pomursky massif **not only copper-skarn-magnetite deposits similar to the known Tretii Severnyi**, but the gold mineralized zones too is inferred.

Keywords: *Yuzhno-Pomursky massif, metallogenic orientation of Tagil palaeo-island-arc structure, fluid regime, apatite, scarn*

Acknowledgments

The work was carried out with partial funding from RFBR grant 15-05-00576 and project UB RAS No. 15-18-5-24.

ВВЕДЕНИЕ

Состав флюидов, сопровождающих формирование габбро-диорит-гранитовых, диорит-гранитовых комплексов, во многом определяет металлогеническую специализацию и рудоносность последних [Рябчиков, 1975; Коваленко, 1977; Таусон, 1977; Маракушев, 1979; Когарко, Кригман, 1981; Грабежев, 1981; Летников и др., 1981; Бушляков, Холоднов, 1986; Коробейников, Миронов, 1992; Орогенный..., 1994; Сазонов и др., 1999; Холоднов, Бушляков, 2002; и др.]. Известно, что с силурийскими диорит-гранитовыми и сиенитовыми массивами западной части Тагильской структуры на Среднем и Северном Урале ассоциируют скарново-магнетитовые и медно-магнетитовые месторождения (Естюнинское, Гороблагодатское, Валуевское, Баяновское, 2-й и 3-й Северные рудники и др.) [Овчинников, 1998; и др.]. Интрузивные массивы этого металлогенического профиля образуют цепочку вдоль простирания Тагильской структуры, располагаясь, как правило, восточнее дунит-клинопироксенит-габбровых плутонов Платиноносного пояса Урала. Несмотря на широкое распространение диорит-гранитовых массивов и связанных с ними контакто-метаморфических пород, промышленные медно-железородные месторождения встречаются достаточно редко, что, возможно, отчасти связано с особенностями геохимии и условий формирования конкретных магматических тел. Одним из массивов, в экзоконтакте которого расположены промышленные залежи скарново-магнетитовых и медно-магнетитовых руд, является Южно-Помурский. Нами было выполнено исследование флюидного режима гранитов северорудничного комплекса данного массива на Северном Урале, а также получены новые данные о рудоносности пород экзоконтактового ореола.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ГРАНИТОИДНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ЮЖНО-ПОМУРСКОГО МАССИВА

Южно-Помурский массив (рис. 1) имеет сложное строение: западная его часть состоит из пород **петропавловского**, восточная – **северорудничного** комплексов. Западная часть массива – овальное в плане тело размером ~ 6 × 12 км, сложенное амфиболовыми диоритами, габбродиоритами и кварцевыми диоритами петропавловского комплекса, прорываемыми небольшими штоками плагиогранодиоритов этого же комплекса.

Западное тело имеет субконцентрическое строение, проявленное обособлениями диоритов, габбродиоритов и кварцевых диоритов, что отражается в магнитном поле: на общем фоне в 700 гамм дугообразно и субконцентрически располагаются изолинии в 1000 гамм и более. Южная часть массива сложена габброноритами тагило-кытлымского комплекса. Контактный метаморфизм выражен в виде ореола амфибол-роговиковой фации мощностью до 0.3–0.5 км.

Наиболее распространенные породы петропавловского комплекса – диориты и кварцевые диориты. Это серые массивные крупнозернистые, иногда порфиридные породы, состоящие из плагиоклаза, часто зонального (андезин с оторочками олигоклаза) – 55–65%, роговой обманки – 20–30, иногда кварца (до 10), биотита (1–5), редко – калиевого полевого шпата (до 3–5%). Габбродиориты отличаются отсутствием кварца и калиевого полевого шпата, как правило, эти породы имеют амфибол-плагиоклазовый состав. Иногда присутствует клинопироксен. Акцессорные минералы представлены магнетитом, апатитом, эпидотом, реже пиритом и халькопиритом. Плагиогранодиориты (тоналиты) – светлые серые среднезернистые и крупнозернистые породы, состо-

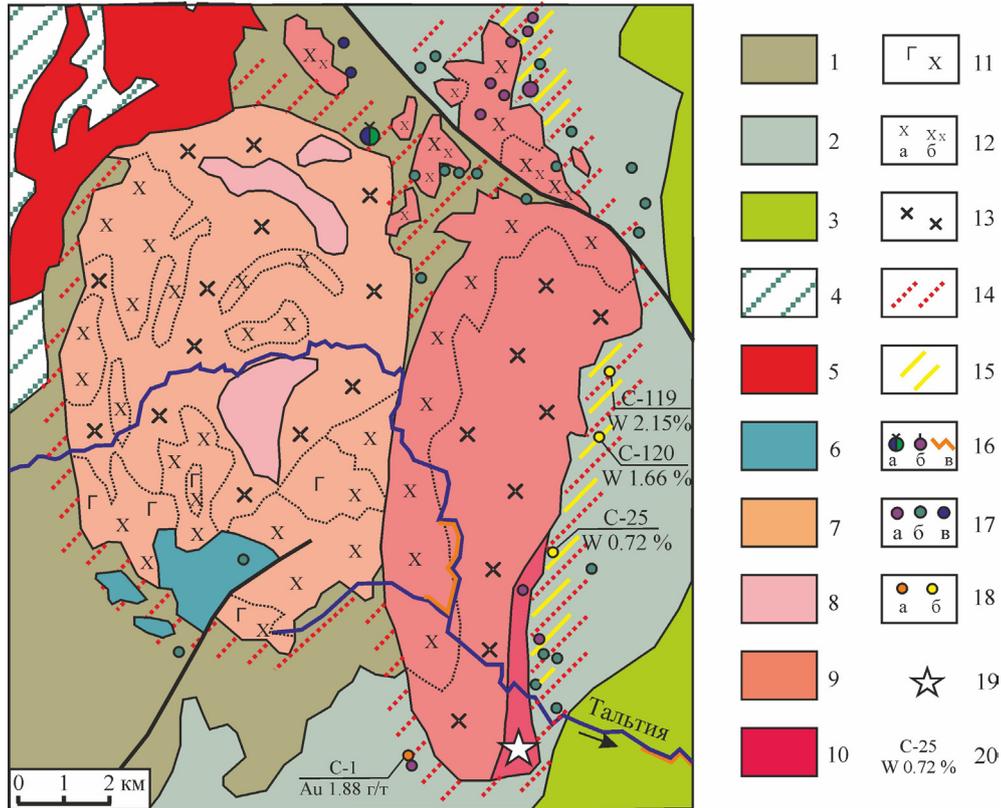


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Южно-Помурского массива. Составлена с использованием материалов А.Е. Степанова, А.В. Чурсина, С.Г. Пестрецова.

1 – метаморфизованные базальты и риолиты шемурской свиты O_3-S_1 ; 2 – базальты, андезиты, дациты, их туфы и вулканогенно-осадочные породы павдинской свиты S_{1-2} ; 3 – вулканогенно-осадочные породы именовской свиты S_{2-4} ; 4 – метадолеритовый комплекс O_3 ?; 5 – плагииграниты арбатского комплекса O_3-S_1 ; 6 – габбронориты тагило-кытлымского комплекса S_{1-2} ; 7–8 – петропавловский комплекс S_{1-2} ; 7 – диориты, габбродиориты и кварцевые диориты; 8 – плагиигранодиориты; 9–10 – северорудничный комплекс S_{2-4} ; 9 – диориты и монцодиориты, в том числе кварцевые, 10 – гранодиориты и граниты; 11–15 – составы магматических пород и метасоматиты: 11 – габбродиориты; 12 – диориты и монцодиориты (а) и порфиридные диориты (б); 13 – кварцевые диориты и монцодиориты; 14 – роговики и скарны; 15 – альбитовые и кварц-альбитовые метасоматиты; 16 – промышленные месторождения: Тарньерское медноцинковоколчеданное (а), 3-й Северный рудник медно-железоскарновое (б), россыпи золота (в); 17 – ранее известные рудопроявления: железорудные и медно-железорудные (а), медные, железо-медные и цинково-медные (б), медно-цинковые (в); 18 – вновь обнаруженные рудопроявления: золоторудные (а) и вольфрамовые (б); 19 – точка отбора образцов для изотопно-геохронологических и минералого-геохимических исследований (5161); 20 – номера скважин и содержание полезных компонентов в штучных пробах из них.

Fig. 1. Schematic geological map of Yuzhno-Pomursky massif. Compiled by materials of A.E. Stepanov, A.V. Chursin, S.G. Pestretsov.

1 – metamorphized basalts and rhyolites of Shemurskaya suite O_3-S_1 ; 2 – basalts, andesites, dacites and their tuffs and volcanic-sedimentary rocks of Pavdinskaya suite S_{1-2} ; 3 – volcanic-sedimentary rocks of Imennovskaya suite S_{2-4} ; 4 – metadolerite complex O_3 ?; 5 – plagiogranites of Arbatsky complex O_3-S_1 ; 6 – gabbro-norites of Tagil-kytlymskii complex S_{1-2} ; 7–8 – Petropavlovskii complex S_{1-2} ; 7 – diorites, quartz diorites and gabbrodiorites; 8 – plagiogranodiorites; 9–10 – Severorudnichny complex; S_{2-4} ; 9 – diorites and monzodiorites, along with quartz diorites, 10 – granodiorites and granites; 11–15 – composition of igneous rocks and metasomatites: 11 – gabbrodiorites; 12 – diorites and monzodiorites (a) and porphyritic diorite (b); 13 – quartz diorites and monzodiorites; 14 – hornfels and skarns; 15 – albite and quartz-albite metasomatites; 16 – Industrial deposits: Tarn'erskoe copper-zinc-sulphide ore deposit (a), 3rd Northern mine copper-iron skarn ore deposit (b), gold placer (c); 17 – formerly known ore occurrences: iron and copper-iron ores (a), copper, iron-copper and zinc-copper ores (b), copper-zinc ores (c); 18 – newly discovered occurrences: golden (a) and tungsten ores (b); 19 – sampling point for isotope-geochronological and mineralogical-geochemical studies (5161); 20 – number of boreholes and the content of useful components in their lump samples.

ящие из плагноклаза (обычно олигоклаза) – 60–70%, кварца (15–20%), роговой обманки (5–10%), биотита (0–10%), с небольшим количеством микроклина (до 5%). Акцессорные минералы – эпи-

дот, магнетит, апатит. Для гранитоидов петропавловского комплекса характерно обилие ксенолитов роговиков, чаще всего образованных по вулканитам и долеритам.

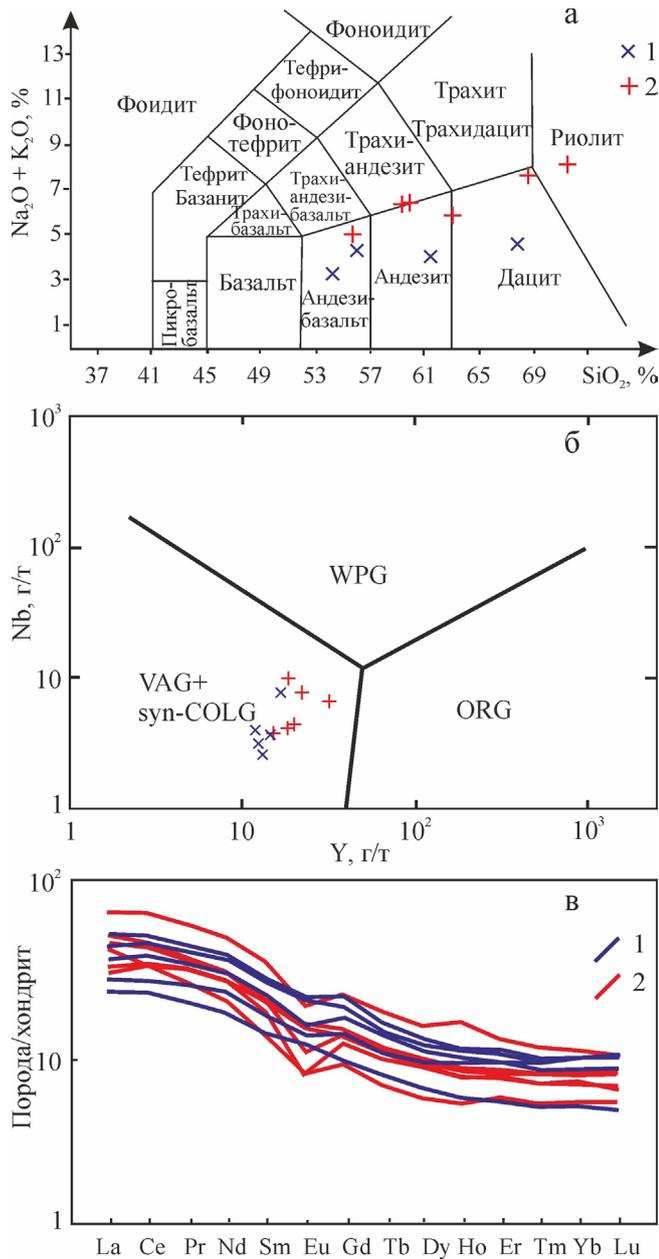


Рис. 2. Положение точек составов пород петропавловского (1) и северорудничного (2) комплексов на диаграммах $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ (а), $\text{Nb} - \text{Y}$ (б) и графики содержаний редких земель, нормированных на хондрит (в).

а – поля составов различных пород по [Le Bas et al., 1986]; б – поля составов гранитоидов различных обстановок по [Pearce et al., 1984]: WPG – внутриплитных; VAG – островодужных; syn-COLG – коллизионных; ORG – океанических хребтов; в – состав хондрита по [Sun, McDonough, 1989].

Fig. 2. The position of the points of rocks composition of Petropavlovskiy (1) and Severorudnichnyy (2) complexes on the charts $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ (a), $\text{Nb} - \text{Y}$ (б) and graphics of contents of rare earths, normalized to chondrite (в).

а – the field of compositions of different rocks according to [18]; б – the field of granitoid composition of different environments according to [Pearce et al., 1984]: WPG – intraplate; VAG – island arc; syn-COLG – collision; ORG – ocean ridges; в – chondrite composition according to [Sun, McDonough, 1989].

по цирконам из кварцевых диоритов Маньинского массива, составил 436 ± 3 млн лет, из тоналитов – 439.4 ± 1.3 млн лет.

Интрузивные образования **северорудничного** комплекса входят в состав восточного тела Южно-Помурского массива. Породы умеренно-щелочного диорит-гранодиорит-гранитового состава имеют интрузивные взаимоотношения с натриевыми диоритами петропавловского комплекса. На всем протяжении контактовой зоны в них наблюдаются ксенолиты интенсивно амфиболизированных и сосюритизированных пород от нескольких сантиметров до нескольких десятков метров. Диориты и монцодиориты этого комплекса наиболее распространены в западной части массива (восточного тела). Это серые, светлосерые, иногда розовато-серые породы, состоящие из плагиоклаза (преимущественно андезина) 45–70%, обыкновенной роговой обманки 20–35%. Второстепенные минералы: кварц до 8%, биотит, диопсид (в виде реликтов), калишпат 5–10%. Структуры порфиридные или равномернозернистые гипидиоморфнозернистые. Более поздние наложенные процессы выражаются в сосюритизации, серицитизации и альбитизации плагиоклазов, окварцевании, хлоритизации и эпидотилизации темноцветных минералов, развитию сульфидной вкрапленности. На отдельных участках отмечается довольно широкое развитие калишпатизации. Кварцевые диориты – светло-серые массивные, реже полосчатые средне- и крупнозернистые породы. Состав: плагиоклаз (андезин) 55–75%, кварц 10–20, роговая обманка (иногда уралитизированная) 5–25, биотит 1–3%, встречается пелитизированный калишпат и реликты диопсида, единичные зерна магнетита и сфена. Плагиоклаз часто сосюритизиро-

По петрохимическому составу интрузивные образования петропавловского комплекса образуют непрерывный ряд пород от среднего до кислого состава (рис. 2а). Это высоко- и умеренноглиноземистые, высококальциевые ($\text{CaO} - 4-9\%$) породы известково-щелочной калий-натриевой серии. На дискриминационных диаграммах точки их составов попадают в поля островодужных гранитоидов (рис. 2б). Графики содержаний редких земель (РЗЭ) имеют наклонную форму, отражающую повышенное содержание легких РЗЭ (рис. 2в).

Возраст пород петропавловского комплекса определялся севернее исследуемой площади, в породах из обнажений по р. Манья [Петров и др., 2016]. Так, U-Pb изотопный возраст, определенный

ван и серицитизирован. Структура преимущественно гипидиоморфнозернистая. Кварцевые монцоидориты – розовато-серые породы, состоящие из плагиоклаза (андезин-лабрадора) – 70%, зеленой роговой обманки, иногда актинолитизированной и хлоритизированной 10–15, калишпата 10–30, кварца – до 3–8%. В единичных случаях отмечаются реликты моноклинного пироксена (салита и авгита), замещенного роговой обманкой, а также энстатита. Структура гипидиоморфнозернистая с переходами к порфириовидной. Калишпат иногда замещается вторичным альбитом, отмечается локальная пренизация, изредка эпидотизация. Гранодиориты и граниты наиболее распространены в восточной части Южно-Помурского массива. Это светло-серые, розовато-серые, буровато-розовые породы средние и крупнозернистые, однородные, нередко порфириовидные. Состав: плагиоклаз (олигоклаз до андезина) 35–50%, кварц 15–35, калишпат 17–35, роговая обманка 5–5, биотит – до 2%. Отмечаются сфен, гематит, клинопироксен (салит), апатит, магнетит. Вторичные изменения выражаются в сосюритизации и серицитизации плагиоклаза, актинолитизации роговой обманки и хлоритизации биотита, в развитии прожилков пренита, кварца и цеолитов. Структура гипидиоморфнозернистая.

Контактные воздействия интрузии проявляются активно и лучше всего изучены на Тарньерском медно-цинково-колчеданном и Третьем Северном скарново-магнетитовом месторождениях. Метаморфические преобразования проявлены в ороговикании вмещающих пород, образовании скарнов и скарново-магнетитовых руд. На роговики накладываются метасоматические изменения, образуются хлорит-кварц-альбитовые и антофиллит-скаполитовые породы. Нередко в последних отмечаются прожилки калишпата, пренита, и вкрапленность сульфидов. Мощность зон метасоматитов достигает 250 м.

По особенностям петрохимического состава интрузивные образования северорудничного комплекса относятся к умеренно-глиноземистым, умеренно-щелочным, умеренно- и высококальциевым породам известково-щелочного ряда. На дискриминационных диаграммах (см. рис. 2) они попадают в поля островодужных магматических серий, но содержат заметно больше щелочей и иттрия, чем близкие по валовому составу породы петропавловского комплекса. Графики содержаний редких земель, нормированных к хондриту, демонстрируют наклонную форму (обогащение легкими РЗЭ), с хорошо проявленным Eu минимумом. Последнее, вероятно, свидетельствует о существовании промежуточного магматического очага, где происходила отсадка кумулятивного плагиоклаза.

Возраст магматических образований северорудничного комплекса определялся U-Pb LA-ICP-MS методом по цирконам и титанитам, отобра-

ным из двуполевошпатового биотитового гранита (обр. 5161-4). Результаты, полученные по разным минералам, имеют неплохую сходимость – 422.4 ± 3 млн лет (СКВО = 1.5) по циркону и 423.4 ± 4.4 млн лет (СКВО = 0.84) по титаниту [Петров и др., 2016].

ИССЛЕДОВАНИЕ ФЛЮИДНОГО РЕЖИМА ФОРМИРОВАНИЯ ГРАНИТОИДОВ СЕВЕРОРУДНИЧНОГО КОМПЛЕКСА

Для исследований флюидного режима, в образце 5161-4 (гранит), при помощи микроанализатора SX-100 (ИГГ УрО РАН, аналитик Д.В. Замятин), были выполнены анализы составов 19 апатитов, 7 амфиболов, 12 титаномагнетитов, магнетитов и ильменитов, 3 полевых шпатов и 2 цирконов. Методика по определению содержаний галогенов и серы в апатитах опубликована [Коновалова и др. 2013].

Апатиты гранитов Южно-Помурского массива характеризуются (табл. 1) сравнительно высоким содержанием хлора – до 1.25 мас. % при отсутствии сульфатной серы в его составе. Содержание фтора составляет 2.6–3.43 мас. %.

К типоморфным элементам апатитов этого массива, как свидетельствуют данные табл. 1, могут быть отнесены кремнезем и железо, которые связаны обратно пропорциональной зависимостью с содержаниями фосфора и кальция. Повышенными являются и содержания бария. Вместе с ростом в апатите содержаний фтора увеличивается содержание MnO, но снижается содержание кремнезема, железа, натрия.

По соотношению фтора и хлора апатиты образуют тренд, обычный для дифференцированных серий, продуктивных на скарново-магнетитовое руденение – от богатых хлором (1,25 мас. %, фтор 2,6–2,9 мас. %) более ранних генераций апатита (включения в амфиболе, срастания с богатым титаном магнетитом) к поздним (межзерновым) апатитам, богатым фтором (фтор 3,30–3,45 мас. %, хлор 0,2–0,7 мас. %) – рис. 3 (стрелка). Средний состав апатита: фтор – 3 мас. %, хлор – 0.9 мас. %.

Содержание галогенов в составе амфибола является другим индикатором потенциальной рудоносности пород. Амфибол Южно-Помурского массива имеет следующий состав (далее все в мас. %): фтор 1.19–0.66, хлор 0.33–0.20. Средний состав: фтор 0.85, хлор 0.28. Крайние составы: фтор 1.20, хлор 0.28 и фтор 0.65, хлор 0.20, промежуточные составы – фтор 0.75, хлор 0.28. Амфибол из гранита северорудничного комплекса более богат хлором по сравнению с амфиболами серий, продуктивных на скарново-магнетитовое руденение. Наблюдается его тренд к полю гранитоидов с медно-порфириовым и медно-молибден-порфириовым руденением (рис. 4 стрелка).

Таблица 1. Апатиты гранитов Южно-Помурского массива

Table 1. The apatite from granites of Yuzhno-Pomursky massif

	CaO	SrO	BaO	FeO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂	SO ₃	F	Cl	Total
1	54.25	0.02	0.13	0.20	0.10	0.09	41.05	0.30	0.00	2.62	1.03	99.80
2	54.52	0.04	0.07	0.24	0.31	0.36	41.37	0.21	0.00	3.31	0.78	101.19
3	54.41	0.00	0.00	0.60	0.09	0.11	41.48	0.42	0.02	2.76	1.21	101.09
4	54.01	0.05	0.00	0.09	0.17	0.13	41.62	0.42	0.00	2.65	1.22	100.35
5	53.84	0.09	0.53	0.54	0.20	0.15	41.34	0.36	0.01	2.76	1.22	101.03
6	54.00	0.01	0.03	0.09	0.12	0.13	40.92	0.49	0.01	2.86	0.85	99.51
7	54.20	0.03	0.34	0.49	0.09	0.16	41.16	0.20	0.04	2.88	0.70	100.29
8	53.77	0.00	0.00	1.00	0.26	0.09	40.94	0.48	0.00	2.70	0.91	100.14
9	53.68	0.02	0.00	0.54	0.00	0.01	41.20	0.38	0.00	2.89	0.75	99.46
10	54.10	0.04	0.30	0.41	0.04	0.08	40.81	0.64	0.00	3.23	0.89	100.54
11	54.98	0.00	0.00	0.66	0.16	0.02	41.87	0.18	0.01	3.35	0.45	101.67
12	53.78	0.06	0.19	0.42	0.13	0.07	41.04	0.55	0.02	2.59	1.23	100.08
13	54.05	0.02	0.00	0.32	0.11	0.10	41.77	0.31	0.00	2.91	1.22	100.80
14	54.55	0.03	0.00	0.53	0.20	0.19	41.38	0.32	0.00	3.27	0.70	101.18
15	54.18	0.05	0.00	0.35	0.19	0.11	41.89	0.34	0.00	2.71	1.09	100.89
16	55.44	0.00	0.00	0.24	0.03	0.00	41.76	0.14	0.01	3.37	0.17	101.16
17	54.06	0.04	0.13	0.46	0.00	0.04	41.33	0.22	0.00	2.92	0.59	99.78
18	54.42	0.06	0.37	0.47	0.37	0.09	41.56	0.35	0.00	3.43	0.71	101.82
19	53.79	0.00	0.24	0.91	0.09	0.14	41.05	0.54	0.02	3.08	0.78	100.62

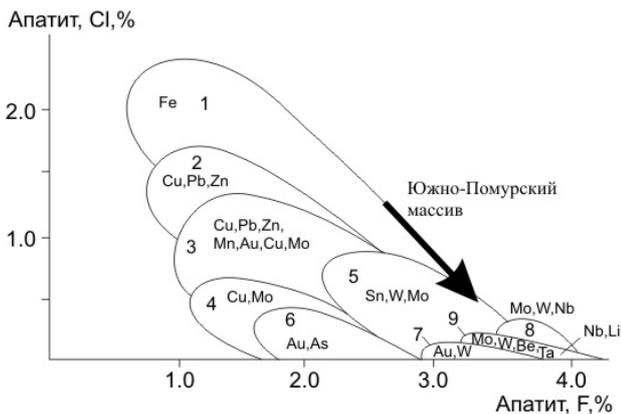


Рис. 3. Соотношение содержаний фтора и хлора в апатитах гранитоидов с различной металлогенической специализацией и рудоносностью, по [Холоднов, Бушляков, 2002].

Размер стрелки и ее позиция характеризуют состав апатита в гранитах Южно-Помурского массива. Поля: 1 – гранитоиды Урала со скарново-магнетитовым оруденением; 2 – вулканыты Урала с медно-колчеданным оруденением; 3, 4 – гранитоиды с медно-порфировым и полиметаллическим оруденением: 3 – Урал, США; 4 – Кураминский хребет; 5 – гранитоиды с вольфрам-оловянным и молибденовым оруденением Приморья и Забайкалья; 6, 7 – гранитоиды Урала с золото-сульфидно-кварцевым и шеелитовым оруденением; 8, 9 – фтороносные гранитоиды Урала с молибден-вольфрамовой (степнинский, увильдинский комплексы и др.) и редкометальной Be, Ta, Li и др. (Адуйский, Кременкульский, Шотинский массивы и др.) минерализацией.

Fig. 3. The ratio of fluorine and chlorine contents in granitoid apatites with different metallogenic specialization and ore-bearness, as given in [Holodnov, Bushlyakov, 2002].

Arrow size and its position characterizes the composition of the apatite in granite of Yuzhno-Pomursky massif. Fields: 1 – Uralian granitoids with skarn-magnetite mineralization; 2 – Uralian volcanites with copper-sulphide mineralization; 3, 4 – granitoids with copper-porphyrific and polymetallic mineralization: 3 – Ural, USA; 4 – Kuraminskii Ridge; 5 – granitoids with tungsten-tin and molybdenum mineralization of Primorskii and Transbaikal regions; 6, 7 – Uralian granitoids with gold-sulphide-quartz and scheelitic mineralization; 8, 9 – fluorine-enriched granitoids of Urals with molybdenum-tungsten (Stepninskii, Uvildinskii complexes and others) and rare metal Be, Ta, Li and others (Aduyskii, Kremenkulskii, Shotinskii massifs, etc.) mineralization.

Режим кислорода наряду с хлором имеет важное значение при определении продуктивной рудоносности магматических пород на железооруденение скарново-магнетитового типа. Он определяет принадлежность магматических пород к различным феррофациям [Ферштатер, 1987], характеризую закономерности распределения Fe и Ti между силикатами с одной стороны и рудными минералами (ильменитом, магнетитом, сфеном) с другой. На основе баланса железа и титана между силикатами и рудными минералами выделены следующие феррофации: титаномagnetитовая, магнетитовая, магнетитсодержащая и безмагнетитовая. Так, по данным Г.Б. Ферштатера [1987], породы рудоносной магнитогорской габбро-гранитной серии на Южном Урале содержат низкожелезистый амфибол ($f = 0.30-0.35$) и наиболее высокое количество низкотитанистого магнетита: 1–2% в гранитах и 7–10% в габбро. В граните Южно-Помурского массива железистость амфиболов сравнительно низкая ($f = 0.43-0.48$). Она характеризует принадлежность пород к обогащенной кислородом магнети-

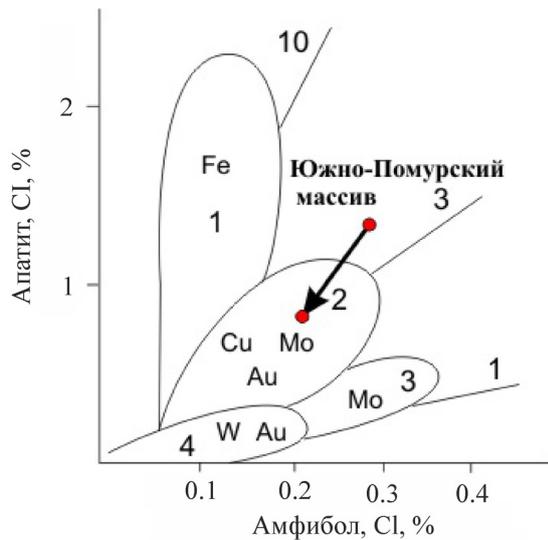


Рис. 4. Соотношение между концентрациями хлора в сосуществующих апатитах и амфиболах для гранитоидов Урала, специализированных на различное эндогенное оруденение. Стрелка характеризует позицию гранитов Южно-Помурского массива.

Поля: 1 – габбро-гранитные серии Урала со скарново-магнетитовым оруденением; 2 – диорит-гранодиорит-порфировые, монзодиорит-гранит-порфировые серии Урала с медно-порфировым и медно-молибден-порфировым оруденением; 3 – молибден-порфировые месторождения других регионов (Шахтаминское, Жирекенское и др.); 4 – тоналит-гранодиорит-гранитные серии Урала с шеелитовым и золото-сульфидо-кварцевым оруденением (Шарташский, Пластовский массивы, Березовское, Кочкарское мест. и др.) [Холоднов, Бушляков, 2002].

Fig. 4. The relationship between the chlorine concentration in the co-existing apatites and amphiboles for granitoids of Urals, specialized in the various endogenous mineralization. Arrow characterizes the position of the granites of Yuzhno-Pomursky massif.

Fields: 1 – gabbro-granite series of the Urals with skarn-magnetite mineralization; 2 – diorite-granodiorite-porphyrific, monzodiorite-granite-porphyrific series of Urals with porphyritic-copper and copper-molybdenum-porphyrific mineralization; 3 – molybdenum-porphyrific deposits in other regions (Shakhtaminskoe, Zhireken et al.); 4 – tonalite-granodiorite-granite series of the Urals with scheelite and gold-sulphide-quartz mineralization (Shartashsky, Plastovsky massifs, Berezovskoe, Kochkarskoe deposits, etc.) [Holodnov, Bushlyakov, 2002].

товой феррофации, ближе отвечая породам ауэрбаховского рудоносного комплекса, расположенного в восточной части Тагильской мегазоны. Это, в целом, является благоприятным признаком для рудоносности таких пород на магнетитовое оруденение скарнового типа. Вместе с тем, обилие в породе магматического богатого титаном (с содержанием 2.5–5.0 мас. % TiO_2) магнетита, наличие богатого железом ильменита, их тесная связь с отно-

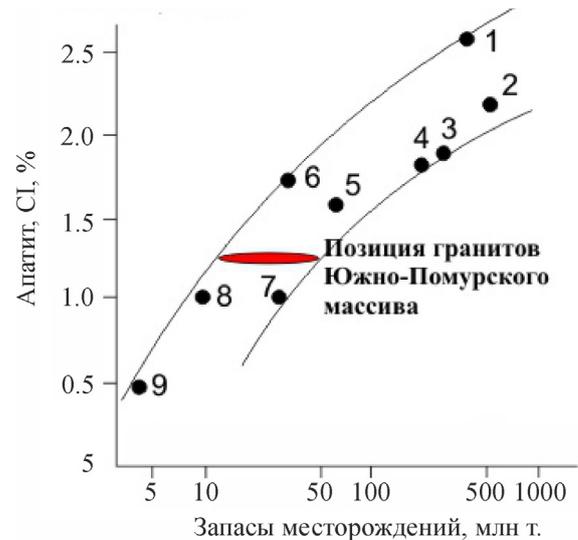


Рис. 5. Соотношение содержаний хлора в апатитах продуктивных габбро-гранитных массивов (на уровне пород габбро-диоритового состава) с запасами железа в рудах ассоциированных с ними скарново-магнетитовых месторождений, по [Холоднов, Бушляков, 2002].

1 – Алешинское (Казахстан), 2 – Магнитогорское, 3 – Высокогорское, 4 – Ауэрбаховское, 5 – Лебяжинское, 6 – Покровское, 7 – Юньягинское (Полярный Урал), 8 – Первый Северный рудник, 9 – железистые кварциты Тараташского комплекса (даны для сравнения). Красное поле – позиция гранитов Южно-Помурского массива.

Fig. 5. The ratio of the chlorine content in the apatite from productive gabbro-granitic massifs (at the level of the gabbro-diorite composition of the rocks) with iron ore reserves in the associated skarn-magnetite deposits, in [Holodnov, Bushlyakov, 2002].

1 – Alechinsky (Kazakhstan) 2 – Magnitogorsk, 3 – Vysokogorskoe, 4 – Auerbahovskoe, 5 – Lebyazhinskoe, 6 – Pokrovskoe 7 – Yunyaginskoe (Polar Urals), 8 – First Northern mine, 9 – ferruginous quartzites of Taratashsky complex (given for comparison). Red field marks the situation of granites of Yuzhno-Pomursky massif.

сительно железистой и богатой хлором и титаном роговой обманкой, снижают перспективы Южно-Помурского массива на поиски в его обрамлении крупных скарново-магнетитовых месторождений.

В.В. Холодновым и И.Н. Бушляковым [2002] на основании изучения содержаний хлора в апатитах из гранитоидных массивов, продуктивных на скарново-магнетитовое оруденение, была построена диаграмма, позволяющая приблизительно оценить запасы месторождений, связанных с потенциально-рудоносными гранитоидами (рис. 5). Уровень хлороносности апатитов Южно-Помурского массива соответствует его прогнозируемой рудоносности на уровне около 50 млн тонн железа, что приблизительно отвечает сумме разведанных запасов 3-го Северного месторождения.

Следует отметить, что максимальные содержания хлора в апатитах обычно характерны для пород повышенной основности (габбродиоритов и диоритов), в апатитах же из пород более кислого состава происходит значительное снижение концентраций хлора и повышение – фтора. Поскольку апатиты из диоритов Южно-Помурского массива не изучались, можно предположить, что хлора в них больше, чем в гранитах и, соответственно, перспективность Южно-Помурского массива может быть более высокой.

Охарактеризованные выше особенности – высокое содержание хлора в амфиболе и его несколько повышенная железистость и титанистость, наличие высокотитанистого магнетита, железистого ильменита свидетельствуют, что в интрузивном ареале, где находится Южно-Помурский массив, одновременно со скарново-магнетитовым оруденением возможна и иная комплексная хлорофильно-сульфидная эндогенная минерализация – медно-сульфидная, медно-молибден-сульфидная, возможно золото-полиметаллическая, но отсутствие значительных концентраций магматогенной серы в расплаве, о чем свидетельствует состав апатита, не способствует значительным масштабам такого сульфидного оруденения. Еще одна особенность трендов эволюции составов апатитов и амфиболов (см. рис. 3 и 4) – приближение их к области составов минералов из золоторудных и редкометалльных гранитоидов, с которыми связаны Au-W и Mo-W месторождения. Это, в частности, может свидетельствовать о перспективности района Южно-Помурского массива на вольфрам и золото. Как показывает практика (см. рис. 1), в обрамлении указанного массива действительно присутствует золоторудное и можно предположить наличие вольфрамового оруденения.

НОВЫЕ ДАННЫЕ О РУДОНОСНОСТИ ЮЖНО-ПОМУРСКОГО МАССИВА

Усилиями многих коллективов геологов в обрамлении Южно-Помурского массива выявлены промышленные месторождения медно-цинково-колчеданных (Тарньерское), скарново-магнетитовых и медно-магнетитовых руд (3-й Северный рудник), а также большое количество рудопроявлений железа, меди и цинка (см. рис. 1). Последние поисковые работы на данной территории, ориентированные на поиски новых залежей скарново-магнетитовых руд, были проведены в 2010–2012 гг. отрядом Уральской геофизической экспедиции под руководством А.В. Чурсина. В процессе работ было выполнено небольшое количество анализов на золото, показавших повышенные содержания в пределах Казанского медно-железорудного проявления юго-западнее Южно-Помурского массива (скв. 1). Нами был

повторно изучен и частично опробован керн данной скважины, что позволило подтвердить наличие высоких содержаний золота (до 1.88 г/т на интервале 35.6 – 36.6 м, атомно-абсорбционный метод, Полевская лаборатория). Исследование потенциальных золоторудных зон необходимо продолжить, но предварительно можно отметить, что повышенные содержания золота приурочены к участкам прожилково-вкрапленной сульфидной минерализации (главным образом, пирита и халькопирита), сопровождаемым низкотемпературными преобразованиями ороговикованных вулканистов (развитие хлорита, карбоната).

Вольфраморудная минерализация в обрамлении Южно-Помурского массива ранее не была известна. Авторы обратили внимание на высокие содержания W (до 0.1%) в результатах приближенно-количественных спектральных анализов некоторых образцов керна скважин (анализы выполнялись в институте Уралмеханобр). Позднее данные образцы были проанализированы методом ICP-MS, в лаборатории ФГБУ ВСЕГЕИ, что позволило установить содержания W до 2.15% (рис. 6). Дальнейшие исследования помогут выяснить особенности локализации оруденения и характер окорудных изменений; пока же, в силу несистематичности наблюдений и единичных проб, мы можем декларировать лишь сам факт наличия рудных уровней содержания W. Особенности структурной позиции Южно-Помурского массива сближают его с продуктивными на вольфрамовое оруденения меловыми гранитами Приморья [Гвоздев и др., 2007].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Подводя итог выполненным исследованиям, можно сделать некоторые выводы и наметить направления дальнейшего изучения Южно-Помурского массива и его обрамления.

1. Общий тренд изменения составов силурийских диорит-гранитоидных комплексов (петропавловского и северорудничного) в процессе эволюции магматической системы выражается в увеличении содержаний щелочей, особенно калия и рубидия, а также иттрия (см. рис. 2). Состав флюидов, запечатленный в составах апатитов и породообразующих минералов наиболее поздних пород – гранитов северорудничного комплекса, также эволюционирует от существенно хлороносного к фтороносному (см. рис. 3, 4).

2. Изменение состава магм и ассоциирующих с ними флюидов определяет и изменение рудогенерирующих процессов. Если на ранних этапах эволюции флюидно-магматической системы происходило формирование железорудных и медно-железорудных залежей при участии существенно хлороносных флюидов, то впоследствии, на регрессивной стадии контактово-метаморфического

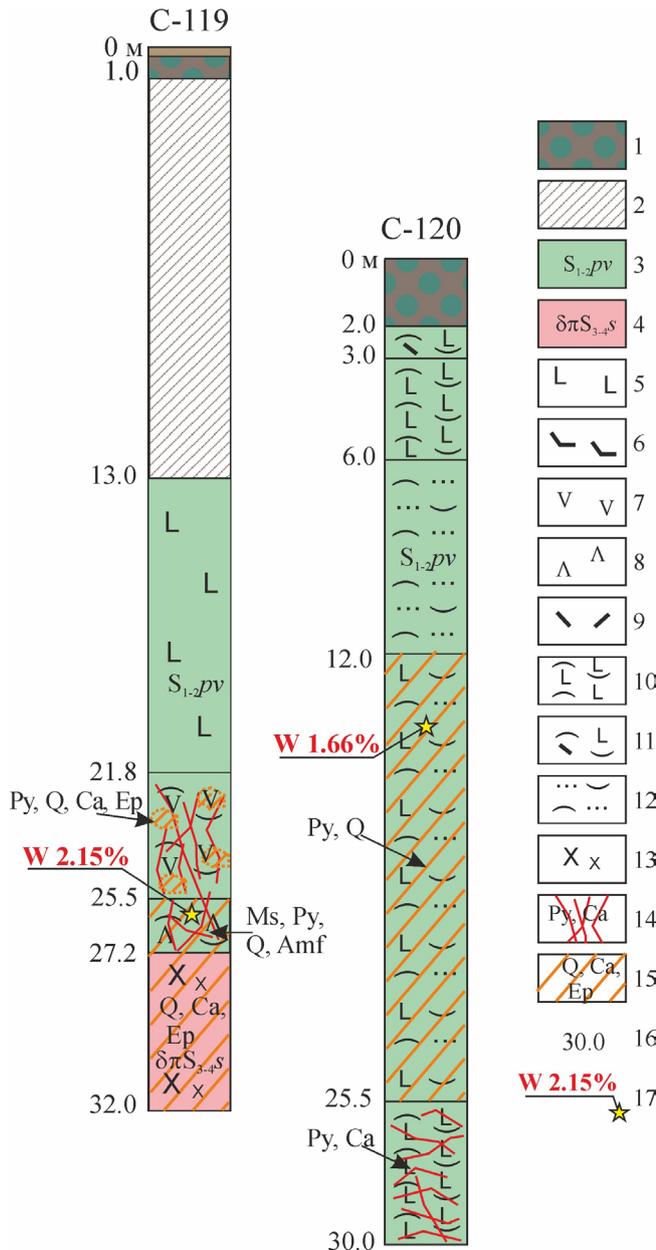


Рис. 6. Геологические колонки по скважинам из восточного обрамления Южно-Помурского массива.

1 – глыбы и щебень вулканитов в буром суглинке (делювий), 2 – глинисто-песчаная кора выветривания, 3 – вулканогенные образования павдинской свиты S_{1-2} , 4 – порфировидные диориты северорудничного комплекса, 5 – базальты, 6 – андезибазальты, 7 – андезиты, 8 – дациты, 9 – риолиты и риодациты, 10 – туфы основного состава, 11 – туфы смешанного состава, 12 – вулканомиктовые песчаники и тейфроды, 13 – порфировидные диориты, 14 – жильный штокверк, 15 – метасоматические изменения, 16 – отметки границ интервалов в метрах, 17 – содержания W в штупных пробах по данным ICP-MS.

Fig. 6. Borehole geological columns of the Eastern framing of Yuzhno-Pomursky massif.

1 – boulders and gravel of volcanic rocks in brown loam (deluvium), 2 – clay-sand weathering crust, 3 – volcanic formations of Pavdinskaya suite S_{1-2} , 4 – porphyritic diorites of Severorudnichnyi complex, 5 – basalts, 6 – andesibasalts, 7 – andesites, 8 – dacites, 9 – rhyolites and rhyodacites, 10 – tuffs of basic composition, 11 – tuffs of mixed composition, 12 – volcanoclastic sandstones and tefroids, 13 – porphyritic diorites, 14 – vein stockwork, 15 – metasomatic changes, 16 – boundaries marks of the intervals in meters, 17 – W content in the lump samples according to ICP-MS analyses.

- систематическое изучение петрологии и геохимии главных типов горных пород петропавловского и северорудничного комплексов Южно-Помурского массива;
- исследование состава флюидсодержащих минералов ранних и поздних фаз обоих гранитоидных комплексов;
- изучение золоторудных и предполагаемых вольфраморудных зон, их минералогии, геохимии, гидротермально-метасоматических процессов. Определение перспективности зон рудной минерализации для поисков промышленных месторождений.

процесса, происходит накопление золота, а также шеелита в отдельных минерализованных зонах.

3. Полученные нами данные о полихронности и изменении рудогенерирующих процессов, связанных с эволюцией состава флюидов магматической системы, позволяют прогнозировать в экзоконтактных ореолах позднесилурийских диорит (монцодиорит)-гранитных серий не только традиционно известные там медно-магнетитовые скарновые месторождения, но и золоторудное оруденение в минерализованных зонах и сформированных по ним корок выветривания, а также месторождения шеелитовой скарновой формации.

Дальнейшие исследования Южно-Помурского массива и его рудоносности могут развиваться по следующим направлениям:

Работа выполнена при частичном финансировании из гранта РФФИ 15-05-00576 и проекта УрО РАН № 15-18-5-24.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бушляков И.Н., Холоднов В.В. (1986) Галогены в петрогенезисе и рудоносности гранитоидов. М.: Наука, 190 с.
- Гвоздев В.И. (2007) Рудно-магматические системы скарново-шеелит-сульфидных месторождений востока России. Автореферат дис. ... д-ра геол.-мин. наук. Владивосток: ДВГИ, 54 с.
- Грабежев А.И. (1981) Метасоматизм, рудообразование и гранитный магматизм. М.: Наука, 292 с.
- Коваленко Н.И. (1977) Петрология и геохимия редкометальных гранитоидов. Новосибирск: Наука, 206 с.
- Когарко Л.Н., Кригман Л.Д. (1981) Фтор в силикатных

- расплавах и магмах. М.: Наука, 125 с.
- Коновалова Е.В., Холоднов В.В., Прибавкин С.В., Замятин Д.А. (2013) Элементы-минерализаторы (сера и галогены) в апатитах Шарташского гранитного массива и Березовского золоторудного месторождения. *Литосфера*. (6), 65-72.
- Коробейников А.Ф., Миронов А.Г. (1992) Геохимия золота в эндогенных процессах и условия формирования золоторудных месторождений. Новосибирск: Наука, 217 с.
- Летников Ф.А., Леонтьев А.Н., Гантимурова Т.П. (1981) Флюидный режим гранитообразования. Новосибирск: Наука, 184 с.
- Маракушев А.А. (1979) Петрогенезис и рудообразование. М.: Наука, 263 с.
- Овчинников Л. Н. (1998) Полезные ископаемые и металлогения Урала. М.: Геоинформмарк, 412 с.
- Орогенный гранитоидный магматизм Урала (1994) (Под ред. Г.Б. Ферштатера, Н.С. Бородиной, М.С. Рапопорта). Миасс: УрО РАН, 250 с.
- Петров Г.А., Ронкин Ю.Л., Гердес А., Маслов А.В. (2016) Новые данные о составе и возрасте гранитоидов северной части Тагильской структуры (Урал) *Докл. АН*, **471**(4), 465-469.
- Рябчиков И.Д. (1975) Термодинамика флюидной фазы гранитоидных магм. М.: Наука, 232 с.
- Сазонов В.Н., Огородников В.Н., Коротеев В.А., Поленов Ю.А. (1999) Месторождения золота Урала. Екатеринбург, 570 с.
- Тausон Л.В. (1977) Геохимические типы и потенциальная рудоносность гранитоидов. М.: Наука, 279 с.
- Ферштатер Г.Б. (1987) Петрология главных интрузивных ассоциаций. М.: Наука, 230 с.
- Холоднов В.В., Бушляков И.Н. (2002) Галогены в эндогенном рудообразовании. Екатеринбург: УрО РАН, 394 с.
- Le Bas M.J., Le Matre R.W., Streckeisen A., Zanettin B. (1986) A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram *J. Petrol.*, **27**(3), 745-750.
- Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G. (1984) Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks *J. Petrol.*, **25**, 956-983.
- Sun S.-S., McDonough W.F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for the mantle composition and processes // *Magmatism in the oceanic basins* (eds A.D. Saunders and M.J. Norry). Geol. Soc. London. Spec. Publ., 313-345.
- Bushlyakov I.N., Holodnov V.V. (1986) *Gologeny v petrogenezise i rudonosnosti granitoidov* [Halogenes in the genesis and ore content of granitoids.] Moscow, Nauka Publ, 190 p. (In Russian)
- Fershtater G.B. (1987) *Petrologiya glavnykh intruzivnykh associatsiy* [Petrology of the main intrusive associations]. Moscow, Nauka Publ., 230 p. (In Russian)
- Grabezhev A.I. (1981) *Metasomatizm, rudoobrazovanie i granitny magmatizm* [Metasomatism, ore formation and granite magmatism]. Moscow, Nauka Publ, 292 p. (In Russian)
- Gvozdev V.I. (2007) *Rudno-magmaticheskie sistemy skarnovo-sheelit-sulfidnykh mestorozhdenii vostoka Rossii*. Dis. dokt. geol.-min. nauk. [Ore-magmatic systems skarn-scheelite-sulfide deposits in eastern Russia. Dr geol. and min. sci. diss.]. Vladivostok DVGI, 54 p. (In Russian)
- Holodnov V.V., Bushlyakov I.N. (2002) *Gologeny v endogenom rudoobrazovanii* [Halogenes in the endogenous ore formation]. Ekaterinburg, UB RAS Publ., 394 p. (In Russian)
- Kogarko L.N., Krigman L.D. (1981) *Ftor v silikatnykh rasplavakh i magmakh* [Fluoride in silicate melts and magmas]. Moscow, Nauka Publ, 125 p. (In Russian)
- Konvalova E.V., Holodnov V.V., Pribavkin S.V. Zamiatin D.A. (2013) Elements-mineralizers (sulfur and halogens) in apatites of Shartash granite massif and Berzovskii gold deposit]. *Lithosphere*, (6), 65-72. (In Russian)
- Korobeynikov A.F., Mironov A.G. (1992) *Geokhimiya zolota v endogennykh processakh i usloviya formirovaniya zolotorudnykh mestorozhdenii* [Geochemistry of gold in endogenous processes and conditions of formation of gold deposits]. Novosibirsk, Nauka Publ., 217 p. (In Russian)
- Kovalenko N.I. (1977) *Petrologiya i geokhimiya redkometal'nykh granitoidov* [Petrology and geochemistry of rare-metal granitoids]. Novosibirsk, Nauka Publ., 206 p. (In Russian)
- Le Bas M.J., Le Matre R.W., Streckeisen A., Zanettin B. (1986) A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram *J. Petrol.*, **27**(3), 745-750.
- Letnikov F.A., Leontiev A.N., Gantimurova T.P. (1981) *Fluidnyi rezhim granitoobrazovaniya* [Fluid regime of granite formation]. Novosibirsk, Nauka Publ., 184 p. (In Russian)
- Marakushev A.A. (1979) *Petrogenezis i rudoobrazovanie* [Petrogenesis and ore formation]. Moscow, Nauka Publ, 263 p. (In Russian)
- Orogennyi granitoidnyi magmatizm Urala* (1994) (Red. G.B. Fershtater, N.S. Borodina, M.S. Rapoport). [Orogenic granitoid magmatism of the Urals (Eds G.B. Fershtater, N.S. Borodina, M.S. Rapoport)], Miass, UB RAS, 250 p. (In Russian)
- Ovchinnikov, L.N. (1998) *Poleznye iskopaemye i metallogeniya Urala* [Mineral resources and metallogeny of the Urals]. Moscow, Geoinformmark Publ, 412 p. (In Russian)
- Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G. (1984) Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks *J. Petrol.*, **25**, 956-983.
- Petrov G.A., Ronkin Yu.L., Gerdes A., Maslov A.V. (2016) New data on the composition and age of granitoids of the northern part of the Tagil structure (Urals). *Dokl. Akad. Nauk*, **471**(4), 465-469. (In Russian)
- Ryabchikov I.D. (1975) *Termodinamika fluidnoy fazy granitoidnykh magm* [Thermodynamics of fluid phase of granitoid magmas]. Moscow, Nauka Publ., 232 p. (In Russian)
- Sazonov V.N., Ogorodnikov V.N., Koroteev V.A., Polenov Yu.A. (1999) *Mestorozhdeniya zolota Urala* [Gold deposits of the Urals]. Ekaterinburg, UrO RAS Publ., 570 p. (In Russian)
- Sun S.-S., McDonough W.F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for the mantle composition and processes. *Magmatism in the oceanic basins* (eds Saunders A.D. and Norry M.J.). Geol. Soc. London. Spec. Publ., 313-345.
- Tauson L.V. (1977) *Geokhicheskie tipy i potencial'naya rudonosnost' granitoidov* [Geochemical types and potential ore-bearing of granitoids]. Moscow, Nauka Publ, 279 p. (In Russian)

REFERENCES