

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ГРАНИТОИДОВ ЕЛАНЧИКОВСКОГО МАССИВА И ИХ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ

© 2019 г. В. И. Сначёв

Реферат. В статье приводится описание геологического строения Еланчиковского мигматит-гнейсогранитного массива, расположенного в южной части Ильменогорско-Сысертского блока. Сложен он гранитоидами, образование которых происходило в два этапа: в первый сформировались мигматиты и гнейсограниты, а во второй — биотитовые, мусковитовые и двуслюдяные граниты. Массив залегает среди метаморфических пород еланчиковской и кыштымской толщ в районе оз. Бол. Еланчик.

На основе изучения гранат-биотитового парагенезиса, всесторонне исследованного экспериментально и широко представленного в гранитоидах Еланчиковского массива, получены температуры образования гнейсогранитов (530–550 °С) и огнейсованных биотитовых гранитов (540–560 °С), а также приблизительно оценена глубина формирования пород, соответствующая приповерхностной или гипабиссальной зонам (первые километры). Полученные данные по физико-химическим условиям становления пород массива позволили сделать вывод об их метасоматической природе и исключить магматический генезис.

Практически все анализы гранитоидов 1 и 2 этапов формирования Еланчиковского массива (мигматиты, гнейсограниты, биотитовые, двуслюдяные и мусковитовые граниты) укладываются в главный известково-щелочной тренд (СА) и располагаются в пределах либо известково-щелочного, либо субщелочного полей. Мигматиты и гнейсограниты первого этапа становления массива тяготеют к вольфрам-молибденовому (W-Mo) и молибденовому (Mo-Cu) металлогеническим трендам. Наибольший интерес на вольфрамовое оруденение представляют мигматиты, а на молибденовое — гнейсограниты. Двуслюдяные граниты второго этапа не образуют отчетливого тренда и их металлогеническая специализация не определена. Все анализы биотитовых и мусковитовых гранитов также имеют W-Mo металлогеническую специализацию.

Ключевые слова: Еланчиковский массив, граниты, мигматиты, гнейсограниты, биотит-гранатовый термометр, металлогеническая специализация

PHYSICAL AND CHEMICAL CONDITIONS OF THE FORMATION OF GRANITOIDS OF YELANCHIK MASSIF AND THEIR METALLOGENIC SPECIALIZATION

V. I. Snachev

Abstract. The article describes the geological structure of the Yelanchik migmatite-gneissgranite massif located in the southern part of the Ilmenogorsk-Sysertsky block. It is composed of granitoids, the formation of which took place in two stages: in the first of them migmatites and gneiss-granites were formed, and in the second — biotite, muscovite and bi-mica granites. The massif lies among the metamorphic rocks of the Yelanchik and Kyshtym strata in the area of the lake Big Yelanchik.

Based on the study of garnet-biotite paragenesis, comprehensively studied experimentally and widely represented in the granitoids of the Yelanchik massif, the formation temperatures of gneiss-granite (530–550 °C) and gneiss-biotite granites (540–560 °C) were obtained, as well as the formation depth of rocks, corresponding to the near-surface or hypabyssal zones (first kilometers). The obtained data on the physicochemical conditions of formation of rocks of the massif made it possible to conclude that they are metasomatic in nature and exclude the magmatic genesis.

Для цитирования: Сначёв В. И. Физико-химические условия формирования гранитоидов Еланчиковского массива и их металлогеническая специализация // Геологический вестник. 2019. № 1. С. 68–76. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2019-1-5>.

For citation: Snachev V. I. Physical and chemical conditions of the formation of granitoids of Yelanchik massif and their metallogenic specialization // Geologicheskii vestnik. 2019. No. 1. P. 68–76. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2019-1-5>.

Practically all analyzes of granitoids of the 1 and 2 stages of the formation of the Yelanchik massif (migmatites, gneiss-granites, biotite, bi-mica and muscovite granites) fit into the main calc-alkaline trend (CA) and are located within either calc-alkaline or subalkaline fields. Migmatites and gneiss-granites of the first stage of formation of the massif to the tungsten-molybdenum (W-Mo) and molybdenum (Mo-Cu) metallogenic trends. Of the greatest interest on tungsten mineralization are migmatites, and on molybdenum — gneiss-granites. The bi-mica granites of the second stage do not form a distinct trend and their metallogenic specialization is not defined. All analyzes of biotite and muscovite granites also show W-Mo metallogenic specialization.

Keywords: Yelanchik massif, granites, migmatites, gneiss-granites, biotite-garnet thermometer, metallogenic specialization

Еланчиковский и Чашковский массивы входят в состав еланчиковского комплекса и расположены в южной части Ильменогорской зоны (рис. 1). Согласно геологосъемочным работам, проведенным в 1997–2001 гг. сотрудниками ОАО «Челябинскгеосъемка» (лист N-41-VII, Миасс, М 1:200000), петротипом комплекса является Еланчиковский массив, который в плане имеет форму неправильного овала и занимает площадь около 20 км² с выпуклым южным и вогнутым северным контактами. Он залегает среди образований еланчиковской и кыштымской толщ в районе оз. Большой Еланчик. В гранитоидах отмечаются ксенолиты плагиогнейсов и амфиболитов. Контакты его полого погружаются на юг. Мощность массива в северной части 100–300 м, в южной — 1,5 км. Массив сложен биотитовыми и биотит-мусковитовыми гранитами и лейкогранитами с гнейсовидной текстурой, в составе которых: плагиоклаз (№ 13–20), решетчатый микроклин, биотит, кварц, мусковит, гранат (альмандин — спессартин), апатит, циркон, ильменит, эпидот, магнетит. Жильные породы представлены пегматитами и аплитами. В пегматитах установлены следующие акцессорные минералы: ортит, спессартин, сфен, апатит, турмалин, флюорит, ильменит, самарскит, циркон.

По данным Г.Б. Ферштатера и др. [1994], еланчиковские гранитоиды резко отличаются от других кислых интрузий Ильменогорско-Сысертского блока высоким содержанием мусковита, специфическим химическим составом, развитием в ассоциации с мусковитом граната альмандин-спессартинового ряда, принадлежностью к высокоглиноземистой группе пород. Субстратом для гранитоидов Еланчиковского массива, по-видимому, были метапелиты. Его геохимические и петрографические особенности указывают на «терригенное происхождение массива».

В период 1996–2000 гг. в пределах Чашковско-Еланчиковского массива Б.Н. Пермяковым [2000]

были проведены детальные работы, касающиеся петрологического изучения гранитоидов, стратиграфии южного замыкания Ильменогорского антиклинория, петро-геохимических особенностей пород, характера контактовых изменений вмещающих толщ, металлогенической специализации гранитоидов. В результате этих исследований были сделаны следующие важные выводы, среди которых: 1) Еланчиковский и Чашковский массивы представляют собой единое гранитоидное тело и фиксируют собой ядра гранитно-гнейсовых куполов; 2) становление Чашковско-Еланчиковского массива происходило в два этапа, первый из которых включает гранитизацию исходных метаморфических пород (амфиболитов, амфибол-биотитовых и биотитовых плагиогнейсов) с образованием линзовидно-полосчатых мигматитов и порфиробластовых гнейсогранитов, а второй — метасоматическое преобразование и локальное плавление гранитоидов первого этапа с образованием биотитовых, мусковитовых и двуслюдяных гнейсогранитов и гранитов; 3) в контактовой зоне гранитоидных массивов с вмещающими метаморфическими породами кроме мигматизации последних возникают переходные петрографические разновидности пород, образование которых обусловлено гранитизирующими растворами; 4) гранитоиды Чашковско-Еланчиковского массива относятся преимущественно к известково-щелочному и щелочному рядам; 5) петро-геохимические особенности гранитоидов и вмещающих их пород очень близки, что указывает на унаследованность химического состава первых от субстрата.

Перечисленные выше выводы, полученные Б.Н. Пермяковым [2000] по Чашковско-Еланчиковскому массиву, позволяют сопоставить его с гранитоидами Кочкарского антиклинория (Восточно-Уральское поднятие), где в 80-е годы прошлого столетия В.П. Муркиным и др. (ОАО «Челябинскгеосъемка») были проведены детальные работы, включающие геологическую съемку мас-

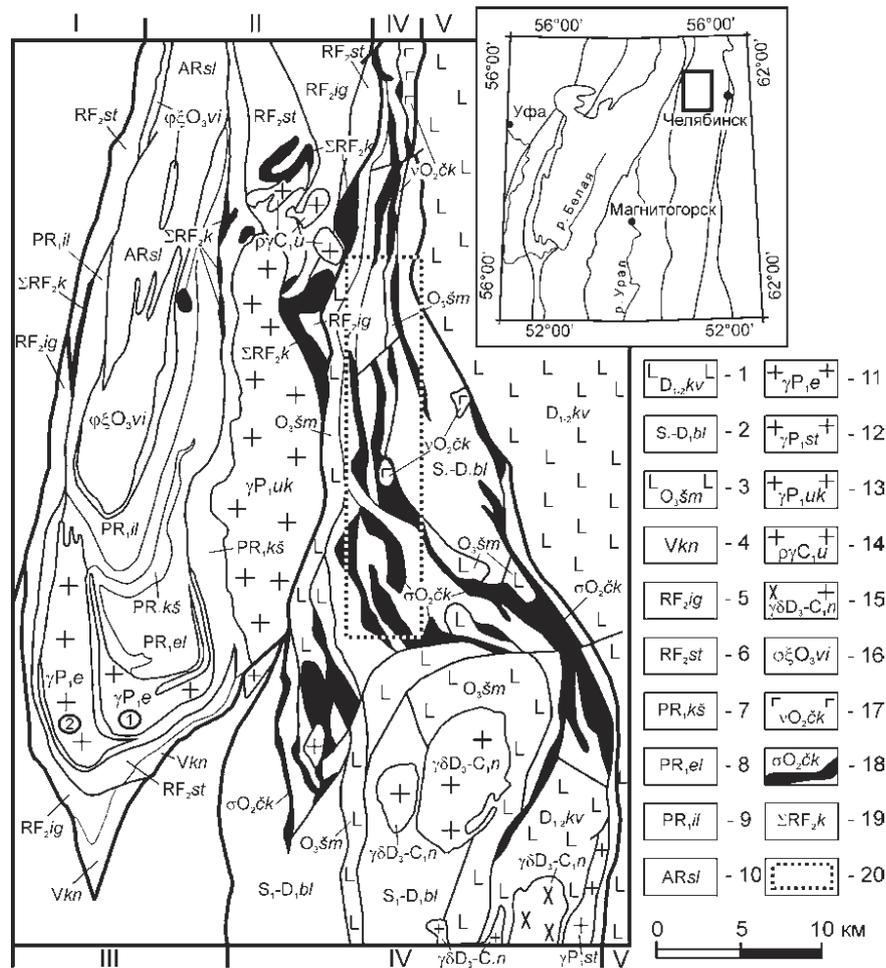


Рис. 1. Геологическая карта Ильменогорско-Сысертского мегантиклинория и восточного его обрамления (составлена по материалам В.И. Петрова)

Условные обозначения: 1 — кулуевская толща (лавы и лавобрекчии базальтов, реже андезибазальтов); 2 — булатовская толща (сланцы углеродисто-кремнистые, углеродисто-глинисто-кремнистые); 3 — шеметовская толща (базальты, андезибазальты); 4 — кундравинская свита (метагравелиты, метапесчаники с прослоями мраморизованных известняков); 5 — игишская свита (кварциты графитистые, графитистые кварцито-сланцы); 6 — сайтовская свита (плагосланцы амфиболовые, гранат-биотит-амфиболовые); 7 — кыштымская толща (амфиболиты, гнейсы гранат-биотитовые); 8 — еланчиковская толща (гнейсы биотитовые, амфибол-биотитовые); 9 — ильменогорская толща (амфиболиты, плагиогнейсы биотитовые); 10 — селянкинская свита (плагиогнейсы биотитовые, гранат-биотитовые); 11 — еланчиковский комплекс гранитовый; 12 — степнинский комплекс монцодиорит-граносиенит-гранитовый; 13 — увильдинско-кисегачский комплекс монцодиорит-граносиенит-гранитовый; 14 — уразаевский комплекс тоналит-плагиигранитовый; 15 — неплюевский комплекс диорит-гранодиорит-гранитовый; 16 — вишневогорско-ильменогорский комплекс карбонатит-миаскитовый; 17 — чебаркульско-казбаевский комплекс серпентинизированных дунитов, гарцбургитов; 18 — чебаркульско-казбаевский комплекс габбровый; 19 — каганский комплекс метаморфизованных ультрамафитов и габброидов; 20 — контур Непряхинского рудного узла. *Римскими цифрами показаны зоны:* I — Вознесенско-Присакмарская и Западно-Магнитогорская, II — Ильменогорско-Сысертская, III — Уйско-Новооренбургская, IV — Арамилско-Сухтелинская, V — Касаргино-Рефтинская. *Арабскими цифрами показаны гранитоидные массивы:* 1 — Еланчиковский, 2 — Чашковский.

Fig. 1. Geological map of the Ilymenogorsk-Sysertsky meganticlinorium and its eastern framing (based on the materials of V.I. Petrov)

Legend: 1 — Kuluyev stratum (basaltic lava and lavobreccias, rarely andesibasalts); 2 — Bulatov stratum (shale, carbonic-siliceous, carbonic-clay-siliceous); 3 — Shemetov stratum (basalts, andesibasalts); 4 — Kundrava Formation (metagravelites, metasandstone with interlayers of marbled limestone); 5 — Ighish Formation (graphitic quartzite, quartzite-graphitic schists); 6 — Saitov Formation (amphibole, garnet-biotite-amphibole plagioschists); 7 — Kyshtym stratum (amphibolites, garnet-biotite gneisses); 8 — Yelanchikov stratum (biotite gneiss, amphibole-biotite gneiss); 9 — Ilymenogorsk stratum (amphibolites, biotite plagiogneiss); 10 — Selyankinsk Formation (biotite and garnet-biotite plagiogneiss); 11 — Yelanchik granite complex; 12 — Stepninsky monzodiorite-granosyenite-granite complex; 13 — Uvildin-Kisegach monzodiorite-granosyenite-granite complex; 14 — Urazbaevskiy tonalite-plagiogranite complex; 15 — Neplyuev diorite-granodiorite-granite complex; 16 — Vishnevogorsk-Ilymenogorsk carbonatite-miaskite complex; 17 — Chebarkul-Kazbaev complex of serpentinized dunites, harzburgites; 18 — Chebarkul-Kazbaev gabbro complex; 19 — Kagan complex of metamorphosed ultramafics and gabbroids; 20 — contour of the Nepryakhin ore field. *Roman numerals show the zones:* I — Voznesensk-Prisakmar and Western Magnitogorsk, II — Ilymenogorsk-Sysertsk, III — Uysko-Novooorenburgsk, IV — Aramilsukhtelinsk, V — Kasargi-Reftinsk. *Arabic numerals show granitoid masses:* 1 — Yelanchik, 2 — Chashkov.

штаба 1:50000 и большой объем колонкового бурения. В процессе проведенных геологосъемочных и научно-исследовательских работ [Сначёв, Муркин, 1989] были получены практически те же выводы, которые приводятся в монографии Б.Н. Пермякова [2000] по Чашковско-Еланчиковскому массиву. Ряд скважин, пробуренных по профилю от Еремкинського до Борисовского гнейсо-мигматитовых куполов (Кочкарский антиклинорий), показал наличие постепенного перехода между гранитоидами и вмещающими метаморфическими породами еремкинской толщи. Граница массивов была проведена по 50% доле в породе неосомы, что указыва-

ет на метасоматический генезис рассматриваемых гранитоидов.

С целью определения *P-T* условий образования гранитоидов Еланчиковского массива нами был использован биотит-гранатовый парагенезис, всесторонне изученный экспериментально [Перчук, Рябчиков, 1976; Термо- и барометрия..., 1977] и широко представленный как среди мигматитов и гнейсогранитов, так и биотитовых, мусковитовых и двуслюдяных гранитов. Составы минералов, отобранных из гнейсогранитов (обр. 766, табл. 1) и биотитовых гранитов (обр. 771), проанализированы И.А. Блиновым (ИМин УрО РАН, г. Миасс)

Таблица 1

Химический состав биотита (*Bi*), граната (*Gr*) и мусковита (*Mu*) из гранитоидов Еланчиковского массива (мас. %)

Table 1

The chemical composition of biotite (*Bi*), garnet (*Gr*) and muscovite (*Mu*) from the granitoids of the Yelanchik massif (wt. %)

| Минерал | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | FeO | MnO | CaO | MgO | Na ₂ O | K ₂ O | Сумма | X _{Mg} ^{Bi,Gr} |
|---|------------------|------------------|--------------------------------|-------|-------|------|------|-------------------|------------------|--------|----------------------------------|
| <i>Mu</i> -1 | 47.18 | 0.51 | 31.97 | 3.97 | 0 | 0 | 0.88 | 0.38 | 10.03 | 94.92 | 0.29 |
| <i>Bi</i> -2 | 35.37 | 2.71 | 17.09 | 21.87 | 0.66 | 0 | 6.02 | 0.22 | 8.39 | 92.33 | 0.32 |
| <i>Bi</i> -3 | 36.93 | 2.60 | 17.45 | 22.28 | 0.72 | 0 | 6.13 | 0 | 8.39 | 94.5 | 0.32 |
| <i>Gr</i> -1 | 36.99 | 0 | 21.19 | 23.92 | 16.28 | 1.58 | 0.95 | 0 | 0 | 100.91 | 0.039 |
| <i>Gr</i> -2 | 36.65 | 0 | 21.11 | 23.20 | 16.61 | 1.85 | 0.94 | 0 | 0 | 100.36 | 0.039 |
| <i>Gr</i> -3 | 36.50 | 0 | 21.03 | 23.40 | 16.51 | 1.75 | 1.01 | 0 | 0 | 100.19 | 0.042 |
| <i>Bi</i> -4 | 37.89 | 2.65 | 17.84 | 22.11 | 1.05 | 0 | 6.89 | 0.23 | 8.85 | 97.52 | 0.35 |
| <i>Bi</i> -5 | 37.29 | 2.82 | 17.65 | 23.70 | 1.09 | 0 | 6.30 | 0.24 | 8.88 | 97.97 | 0.31 |
| <i>Bi</i> -6 | 37.75 | 3.49 | 17.57 | 22.41 | 1.02 | 0 | 7.13 | 0 | 8.98 | 98.35 | 0.35 |
| <i>Gr</i> -4 | 36.76 | 0 | 20.73 | 21.92 | 18.96 | 0.93 | 1.08 | 0 | 0 | 100.40 | 0.044 |
| <i>Gr</i> -5 | 36.88 | 0 | 21.09 | 22.15 | 18.87 | 0.83 | 0.96 | 0 | 0 | 100.79 | 0.041 |
| <i>Gr</i> -6 | 36.56 | 0 | 20.84 | 22.32 | 17.79 | 0.92 | 1.22 | 0 | 0 | 99.64 | 0.052 |
| <p><i>Mu</i>-1 – (K_{0.85}Na_{0.05})_{0.90}(Mg_{0.09}Fe_{0.22}Ti_{0.03}Al_{1.66})₂(Si_{3.15}Al_{0.85})₄[O_{9.77}(OH)_{2.23}]₁₂ <i>Bi</i>-2 – (K_{0.88}Na_{0.04})_{0.92}(Mg_{0.74}Fe_{1.50}Mn_{0.05}Ti_{0.17}Al_{0.55})₃(Si_{2.90}Al_{1.10})₄O₁₀[O_{0.73}(OH)_{1.27}]₂ <i>Bi</i>-3 – K_{0.85}(Mg_{0.73}Fe_{1.48}Mn_{0.05}Ti_{0.16}Al_{0.59})₃(Si_{2.95}Al_{1.05})₄O₁₀[O_{0.73}(OH)_{1.27}]₂ <i>Gr</i>-1 – (Ca_{0.14}Fe_{1.62}Mg_{0.11}Mn_{1.11})_{2.98}Al_{2.02}Si₃O₁₂ <i>Gr</i>-2 – (Ca_{0.16}Fe_{1.58}Mg_{0.11}Mn_{1.14})_{3.00}Al_{2.00}(Si_{2.98}Al_{0.02})₃O₁₂ <i>Gr</i>-3 – (Ca_{0.15}Fe_{1.59}Mg_{0.12}Mn_{1.14})_{3.00}Al_{2.00}(Si_{2.98}Al_{0.02})₃O₁₂ <i>Bi</i>-4 – (K_{0.87}Na_{0.03})_{0.90}(Mg_{0.79}Fe_{1.43}Mn_{0.07}Ti_{0.15}Al_{0.55})₃(Si_{2.93}Al_{1.07})₄O₁₀[O_{0.66}(OH)_{1.34}]₂ <i>Bi</i>-5 – (K_{0.88}Na_{0.04})_{0.92}(Mg_{0.73}Fe_{1.53}Mn_{0.07}Ti_{0.16}Al_{0.50})₃(Si_{2.89}Al_{1.11})₄O₁₀[O_{0.61}(OH)_{1.39}]₂ <i>Bi</i>-6 – K_{0.88}(Mg_{0.81}Fe_{1.43}Mn_{0.07}Ti_{0.20}Al_{0.49})₃(Si_{2.90}Al_{1.10})₄O₁₀[O_{0.67}(OH)_{1.33}]₂ <i>Gr</i>-4 – (Ca_{0.08}Fe_{1.49}Mg_{0.13}Mn_{1.31})_{3.01}Al_{1.99}Si₃O₁₂ <i>Gr</i>-5 – (Ca_{0.07}Fe_{1.50}Mg_{0.12}Mn_{1.30})_{2.99}Al_{2.01}Si₃O₁₂ <i>Gr</i>-6 – (Ca_{0.08}Fe_{1.53}Mg_{0.15}Mn_{1.23})_{2.99}Al_{2.01}Si₃O₁₂</p> | | | | | | | | | | | |

Примечание: *Mu*-1 – (номер пробы 766, номер анализа 18469а); *Bi*-2 – (766, 18469b); *Bi*-3 – (766, 18469c); *Gr*-1 – (766, 18469d); *Gr*-2 – (766, 18469e); *Gr*-3 – (766, 18469f); *Bi*-4 – (771, 18470а); *Bi*-5 – (771, 18470b); *Bi*-6 – (771, 18470c); *Gr*-4 – (771, 18470e); *Gr*-5 – (771, 18470f); *Gr*-6 – (771, 18470g).

Note: *Mu*-1 – (sample number 766, analysis number 18469a); *Bi*-2 – (766, 18469b); *Bi*-3 – (766, 18469c); *Gr*-1 – (766, 18469d); *Gr*-2 – (766, 18469e); *Gr*-3 – (766, 18469f); *Bi*-4 – (771, 18470a); *Bi*-5 – (771, 18470b); *Bi*-6 – (771, 18470c); *Gr*-4 – (771, 18470e); *Gr*-5 – (771, 18470f); *Gr*-6 – (771, 18470g).

на растровом электронном микроскопе Tescan Vega 3sbu с энерго-дисперсионным спектрометром Oxford Instruments X-act (ускоряющее напряжение 20 кВ, эталоны для биотита — биотит, для граната — пироп, андрадит и гроссуляр). Их формулы рассчитывались по известной методике И.Д. Борнеман-Старынкевич [1964], а затем с помощью диаграммы фазового соответствия магнезиальностей парагенезиса биотит — гранат [Перчук, Рябчиков, 1976] получены температуры и приблизительно оценена глубина формирования пород. Следует отметить, что составы биотитов и гранатов (альмандин-спескартинового ряда) из гнейсогранитов почти ничем не отличаются от таковых из биотитовых гранитов. В гранате последних лишь немного меньше СаО (0.83–0.93% против 1.58–1.85%) и больше MnO (17.79–18.96% против 16.28–16.61%), чем в первых. При этом более марганцовистым является и биотит (1.02–1.09% MnO против 0.66–0.72%).

Обратимся к рис. 2, на котором в координатах $X_{Mg}^{Gr} = Mg/(Mg+Fe+Mn)$ (значения мольных долей компонентов в биотите и гранате) вынесены точки составов для шести пар указанных минералов (1–3 для гнейсогранитов и 4–6 для биотитовых гранитов). Как видим, все ассоциации образуют единое поле. Температуры их образования составляют 530–560 °С. Вместе с тем расчет давления по известной

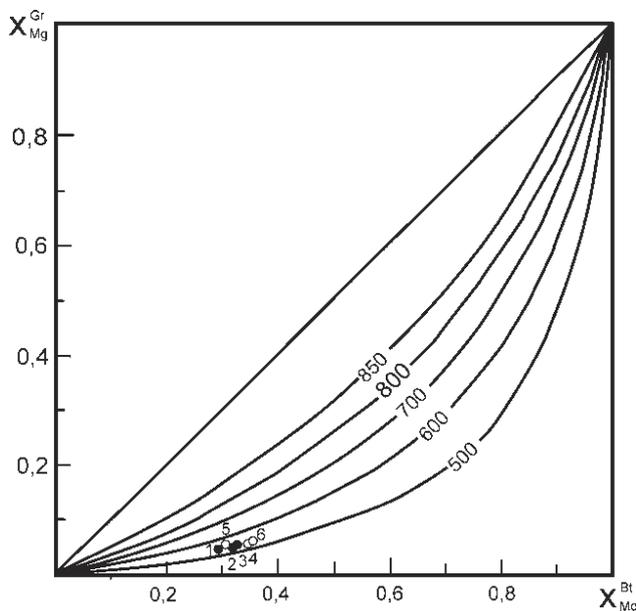


Рис. 2. Диаграмма фазового соответствия $X_{Mg}^{Cr} - X_{Mg}^{Bi}$ в гранитоидах Еланчиковского массива [Термо- и барометрия..., 1977]. Номера точек (1–6) соответствуют табл. 1

Fig. 2. Diagram of the phase correspondence $X_{Mg}^{Cr} - X_{Mg}^{Bi}$ in the granulites of the Yelanchikov massif [Thermal and barometry..., 1977]. Point numbers (1–6) refer to table 1

температуре и коэффициенту $\ln K$, где $K = X_{Mg}^{Cr} / X_{Mg}^{Bi}$ [Термо- и барометрия..., 1977], оказался лишь приблизительно в силу небольшой величины $\ln K$ — около $-1.9...-2.0$. Определенно можно говорить только о небольшой глубине становления гранитоидов Еланчиковского массива, соответствующей приповерхностной или гипабиссальной зонам (первые километры). Полученные данные по физико-химическим условиям образования пород массива позволяют сделать вывод об их метасоматической природе и исключить магматический генезис.

Металлогеническая специализация гранитоидов Еланчиковского массива наглядно демонстрируется и классификационной диаграммой эталонных трендов рудогенных гранитоидных формаций, разработанной Л.С. Бородиным [2004]. На этой диаграмме (рис. 3) $A_c - (Na+K)/Ca$, основанной на данных силикатного анализа (табл. 2, 3), где A_c — универсальный параметр кислотности-основности, учитывающий не только содержания, но и химическую активность породообразующих элементов, а $(Na+K)/Ca$ — параметр, характеризующий степень щелочности-известковистости, показаны типовые тренды редкометальных, оловорудных и медных провинций мира по отношению к S- и I-гранитам. Как видно из диаграммы, W-Mo — тренд располагается в поле Пв и соответствует субизвестково-щелочным лейкогранитам S-типа, образование которых связывается с завершающими этапами длительной эволюции мантийно-корового магматизма в коллизионных обстановках внутриконтинентальных или окраинно-континентальных орогенных поясов.

Практически все анализы гранитоидов 1 и 2 этапов формирования Еланчиковского массива (мигматиты, гнейсограниты, биотитовые, двуслюдяные и мусковитовые граниты) укладываются в главный известково-щелочной тренд (СА) и, за исключением нескольких проб гранитов второго этапа, располагаются в пределах либо известково-щелочного (сектор Пв), либо субщелочного (сектор Ша) полей. Из рис. 3 хорошо видно, что мигматиты и гнейсограниты первого этапа становления массива образуют компактную область, вытянутую вдоль границы раздела известково-щелочного и субщелочного полей, и тяготеют к вольфрам-молибденовому (W-Mo) и молибденовому (Mo-Cu) металлогеническим трендам. Наибольший интерес на вольфрамовое оруденение представляют мигматиты, а на молибденовое — гнейсограниты. Подтверждается это и результатами геологосъемочных

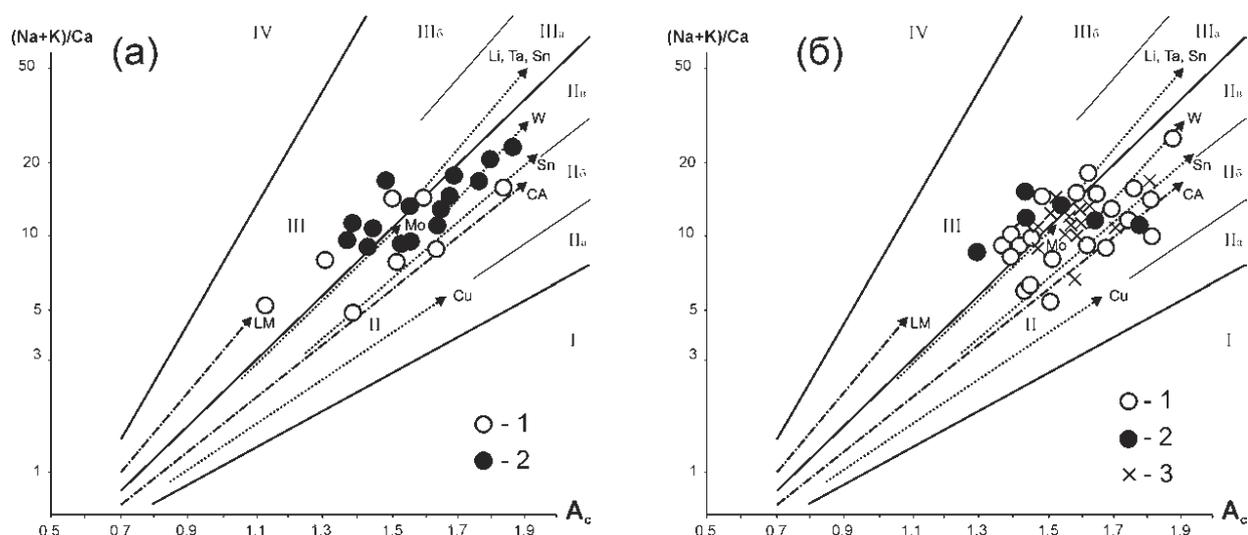


Рис. 3. Диаграмма (Na+K)/Ca – Ac для гранитоидов Еланчиковского массива с эталонными трендами рудогенных гранитоидных формаций [Бородин, 2004]

Условные обозначения: 1–2 (для рис. 3а): 1 – мигматиты, 2 – гнейсограниты; 1–3 (для рис. 3б): 1 – биотитовые граниты, 2 – двуслюдяные граниты, 3 – мусковитовые граниты. Классификационные поля: I – известковое, II – известково-щелочное (IIа – субизвестковистые, IIб – известково-щелочные, IIв – субизвестково-щелочные граниты); III – субщелочное (IIIа – субщелочные и щелочные граниты и лейкограниты, IIIб – щелочные апаитовые граниты); IV – щелочное. Эталонные тренды: CA – главный известково-щелочной, LM – латитовый (монзонитовый). Эталонные тренды рудогенных гранитоидных формаций: Sn – оловянный, Cu – медно-порфировый, Mo – молибденовый, W – вольфрамовый; Li, Ta, Nb, Sn – литий-тантал-ниобий-оловянный.

Fig. 3. The (Na+K)/Ca – Ac diagram for the granitoids of the Yelanchik massif with the reference trends of ore-producing granitoid formations [Borodin, 2004]

Legend: 1–2 (for fig. 3a): 1 – migmatites, 2 – gneiss-granites; 1–3 (for fig. 3b): 1 – biotite granites, 2 – bi-mica granites, 3 – muscovite granites. Classification fields: I – calcic, II – calc-alkaline (IIa – sub-calcareous, IIb – calc-alkaline, IIв – subcalc-alkaline granites); III – subalkaline (IIIa – subalkaline and alkaline granites and leucogranites, IIIб – alkaline apaitic granites); IV – alkaline. Reference trends: CA – main calc-alkaline, LM – latite (monzonite). Standard trends of ore granitoid formations: Sn – tin, Cu – porphyry copper, Mo – molybdenum, W – tungstene; Li, Ta, Nb, Sn – lithium-tantalum-niobium-tin.

Таблица 2

Химический состав гранитоидов 1-го этапа формирования Чашковско-Еланчиковского массива

Table 2

The chemical composition of the granitoids of the 1st stage of formation of the Chashkov-Yelanchikov massif

| № п/п | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O |
|-------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------|-------------------|------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | 61.39 | 1.02 | 16.39 | 2.30 | 3.08 | 2.15 | 2.83 | 4.80 | 4.50 |
| 2 | 66.40 | 0.40 | 17.90 | 0.63 | 1.70 | 1.18 | 3.09 | 5.80 | 2.62 |
| 3 | 69.89 | 0.34 | 14.68 | 0.07 | 2.08 | 1.18 | 2.41 | 3.68 | 4.14 |
| 4 | 72.46 | 0.26 | 13.87 | 0.73 | 2.06 | 0.27 | 1.26 | 4.29 | 2.87 |
| 5 | 73.16 | 0.25 | 13.96 | 0.22 | 1.39 | 0.98 | 1.41 | 3.90 | 4.20 |
| 6 | 69.68 | 0.46 | 15.74 | 0.52 | 1.55 | 0.99 | 1.70 | 5.00 | 3.73 |
| 7 | 73.26 | 0.25 | 13.53 | 0.86 | 1.58 | 0.27 | 0.93 | 4.43 | 4.55 |
| 8 | 75.20 | 0.17 | 12.49 | 0.96 | 1.31 | 1.15 | 2.80 | 4.60 | 0.18 |
| 9 | 73.89 | 0.14 | 14.06 | 0.07 | 0.86 | 0.79 | 2.28 | 5.29 | 1.65 |
| 10 | 73.42 | 0.22 | 14.03 | 1.00 | 1.08 | 0.23 | 0.84 | 3.80 | 4.64 |
| 11 | 75.81 | 0.33 | 12.74 | 0.97 | 0.93 | 0.30 | 0.69 | 4.03 | 3.29 |
| 12 | 68.98 | 0.45 | 15.26 | 2.00 | 1.17 | 0.43 | 1.32 | 3.98 | 4.80 |

| | | | | | | | | | |
|----|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 13 | 70.68 | 0.32 | 13.84 | 1.40 | 1.80 | 0.37 | 1.25 | 4.50 | 4.70 |
| 14 | 72.82 | 0.13 | 12.96 | 1.10 | 1.41 | 0.34 | 1.20 | 3.60 | 5.30 |
| 15 | 73.26 | 0.18 | 12.91 | 0.85 | 1.12 | 0.29 | 1.28 | 4.15 | 4.80 |
| 16 | 72.77 | 0.24 | 13.92 | 0.53 | 1.83 | 0.40 | 0.99 | 3.67 | 3.92 |
| 17 | 69.69 | 0.28 | 14.61 | 2.19 | 1.68 | 0.52 | 1.35 | 4.41 | 3.64 |
| 18 | 73.21 | 0.20 | 13.54 | 0.90 | 1.56 | 0.26 | 0.94 | 3.57 | 4.46 |
| 19 | 72.43 | 0.29 | 13.73 | 1.04 | 1.68 | 0.32 | 1.23 | 5.10 | 3.70 |
| 20 | 69.70 | 0.12 | 12.22 | 1.69 | 3.85 | 0.57 | 0.69 | 3.60 | 4.60 |
| 21 | 74.73 | 0.14 | 13.42 | 0.07 | 1.73 | 0.44 | 0.97 | 4.58 | 4.12 |
| 22 | 72.77 | 0.24 | 13.92 | 0.53 | 1.83 | 0.40 | 0.99 | 3.67 | 3.92 |
| 23 | 74.76 | 0.16 | 13.09 | 0.93 | 1.23 | 0.15 | 0.67 | 4.06 | 4.18 |
| 24 | 76.42 | 0.20 | 12.60 | 0.26 | 1.05 | 0.18 | 0.85 | 3.60 | 4.20 |
| 25 | 75.54 | 0.19 | 12.93 | 0.36 | 1.16 | 0.22 | 0.91 | 4.30 | 4.30 |
| 26 | 75.29 | 0.08 | 11.82 | 0.99 | 0.98 | 0.25 | 0.68 | 3.75 | 4.40 |
| 27 | 75.80 | 0.07 | 12.08 | 0.75 | 1.32 | 0.24 | 0.60 | 3.60 | 4.50 |

Примечания: 1–11 — мигматиты; 12–27 — порфиробластовые гнейсограниты. Анализы принадлежат Б.Н. Пермякову [2000].

Notes: 1–11 — migmatites; 12–27 — porphyroblastic gneiss-granites. Analyzes belong to B.N. Permyakov [2000].

Таблица 3

Химический состав гранитов 2-го этапа формирования
Чашковско-Еланчиковского массива

Table 3

The chemical composition of granites of the 2nd stage of formation
of the Chashkov-Yelanchik massif

| № п/п | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O |
|-------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------|-------------------|------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | 71.52 | 0.39 | 15.45 | 0.14 | 1.39 | 0.43 | 2.30 | 3.52 | 3.91 |
| 2 | 70.66 | 0.25 | 15.58 | 0.30 | 1.79 | 0.74 | 1.86 | 3.90 | 3.70 |
| 3 | 71.59 | 0.31 | 14.27 | 0.21 | 1.58 | 0.80 | 1.58 | 4.00 | 5.00 |
| 4 | 70.95 | 0.40 | 14.75 | 0.07 | 1.91 | 0.32 | 1.34 | 3.92 | 5.15 |
| 5 | 71.59 | 0.21 | 15.13 | 1.25 | 1.40 | 0.26 | 1.48 | 5.60 | 2.70 |
| 6 | 71.44 | 0.61 | 13.43 | 1.19 | 0.89 | 0.50 | 0.90 | 3.30 | 5.90 |
| 7 | 73.26 | 0.40 | 13.44 | 0.86 | 0.65 | 0.19 | 0.86 | 3.70 | 5.20 |
| 8 | 70.18 | 0.77 | 13.91 | 1.72 | 1.22 | 0.52 | 1.21 | 4.00 | 4.70 |
| 9 | 70.19 | 0.36 | 15.40 | 1.19 | 1.45 | 0.57 | 1.98 | 4.10 | 3.60 |
| 10 | 70.86 | 0.26 | 14.10 | 0.90 | 1.08 | 0.51 | 1.58 | 4.00 | 5.60 |
| 11 | 70.46 | 0.18 | 14.38 | 1.22 | 1.22 | 0.40 | 1.34 | 3.85 | 4.80 |
| 12 | 71.40 | 0.21 | 13.31 | 1.50 | 1.56 | 0.43 | 1.32 | 3.70 | 4.70 |
| 13 | 71.35 | 0.13 | 14.30 | 0.61 | 1.21 | 0.32 | 1.09 | 4.60 | 5.80 |
| 14 | 76.04 | 0.16 | 12.88 | 0.64 | 1.09 | 0.26 | 1.29 | 3.08 | 3.68 |
| 15 | 75.22 | 0.13 | 12.98 | 1.02 | 0.96 | 0.19 | 1.43 | 4.00 | 4.00 |
| 16 | 75.64 | 0.05 | 13.80 | 0.31 | 0.63 | 0.19 | 1.12 | 4.00 | 3.24 |
| 17 | 74.90 | 0.18 | 13.20 | 0.77 | 0.97 | 0.39 | 1.41 | 3.92 | 4.40 |
| 18 | 76.80 | 0.12 | 12.30 | 0.43 | 1.02 | 0.36 | 0.44 | 2.92 | 3.76 |
| 19 | 75.09 | 0.10 | 12.48 | 0.30 | 0.74 | 1.20 | 0.70 | 3.68 | 5.00 |
| 20 | 76.08 | 0.14 | 11.96 | 0.94 | 1.56 | 0.33 | 0.82 | 5.10 | 2.00 |
| 21 | 76.58 | 0.08 | 12.03 | 0.57 | 0.99 | 0.15 | 0.74 | 4.20 | 4.30 |
| 22 | 76.77 | 0.10 | 12.65 | 0.99 | 0.73 | 0.11 | 0.38 | 3.93 | 3.57 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|
| 23 | 76.95 | 0.12 | 11.72 | 1.25 | 1.26 | 0.16 | 0.38 | 2.90 | 4.32 |
| 24 | 75.12 | 0.14 | 12.84 | 0.06 | 1.25 | 0.18 | 0.95 | 2.80 | 5.90 |
| 25 | 75.08 | 0.17 | 12.95 | 0.58 | 1.46 | 0.18 | 0.87 | 4.05 | 4.60 |
| 26 | 74.44 | 0.20 | 13.60 | 0.68 | 1.79 | 0.17 | 1.03 | 5.20 | 1.50 |
| 27 | 72.24 | 0.19 | 14.39 | 0.47 | 1.20 | 0.32 | 0.93 | 4.90 | 4.39 |
| 28 | 73.20 | 0.39 | 13.45 | 0.53 | 0.83 | 0.27 | 0.99 | 3.40 | 5.00 |
| 29 | 69.24 | 0.36 | 15.72 | 1.04 | 0.95 | 0.52 | 1.68 | 5.75 | 3.30 |
| 30 | 72.60 | 0.18 | 13.64 | 0.64 | 1.04 | 0.22 | 1.02 | 3.80 | 5.30 |
| 31 | 72.01 | 0.15 | 14.25 | 0.59 | 1.28 | 0.34 | 1.18 | 3.90 | 5.30 |
| 32 | 74.03 | 0.13 | 14.15 | 0.69 | 0.60 | 0.25 | 0.96 | 3.00 | 4.50 |
| 33 | 73.10 | 0.13 | 14.56 | 0.26 | 1.11 | 0.26 | 1.07 | 3.67 | 4.78 |
| 34 | 72.04 | 0.28 | 14.32 | 0.68 | 0.97 | 0.54 | 1.19 | 4.00 | 5.00 |
| 35 | 71.64 | 0.20 | 14.56 | 0.36 | 1.48 | 0.32 | 1.07 | 3.40 | 4.50 |
| 36 | 72.97 | 0.16 | 14.10 | 0.58 | 0.92 | 0.36 | 0.91 | 4.24 | 4.70 |
| 37 | 72.81 | 0.21 | 14.35 | 0.44 | 1.27 | 0.32 | 1.02 | 4.05 | 4.75 |
| 38 | 71.74 | 0.35 | 13.56 | 0.52 | 2.27 | 0.31 | 0.89 | 3.40 | 4.50 |
| 39 | 72.00 | 0.18 | 14.21 | 0.64 | 0.96 | 0.40 | 1.43 | 4.10 | 4.85 |
| 40 | 72.16 | 0.15 | 14.22 | 0.55 | 1.57 | 0.35 | 1.08 | 3.20 | 5.15 |
| 41 | 72.44 | 0.12 | 14.19 | 0.70 | 0.86 | 0.21 | 1.03 | 3.30 | 5.10 |
| 42 | 73.10 | 0.17 | 14.10 | 0.62 | 0.83 | 0.24 | 1.03 | 3.60 | 5.15 |
| 43 | 70.42 | 0.11 | 15.15 | 0.49 | 0.77 | 0.21 | 1.01 | 4.00 | 7.20 |
| 44 | 75.07 | 0.10 | 14.20 | 0.07 | 1.10 | 0.39 | 1.69 | 3.76 | 3.36 |
| 45 | 73.40 | 0.09 | 14.72 | 0.07 | 1.06 | 0.09 | 1.77 | 4.06 | 3.92 |
| 46 | 74.94 | 0.23 | 12.23 | 0.17 | 1.08 | 0.24 | 0.67 | 3.20 | 4.80 |
| 47 | 74.58 | 0.05 | 13.49 | 0.08 | 0.75 | 0.30 | 1.15 | 4.00 | 5.00 |
| 48 | 74.12 | 0.14 | 13.40 | 0.25 | 0.71 | 0.49 | 1.12 | 3.12 | 5.00 |
| 49 | 73.81 | 0.16 | 14.41 | 0.35 | 0.93 | 0.12 | 0.91 | 3.23 | 5.29 |
| 50 | 73.38 | 0.04 | 14.51 | 0.74 | 0.14 | 0.26 | 0.40 | 4.14 | 4.21 |

Примечания: 1–26 — биотитовые и лейкократовые гнейсограниты; 27–32 — двуслюдяные граниты; 33–50 — мусковитовые граниты. Анализы принадлежат Б.Н. Пермякову [2000].

Notes: 1–26 — biotite and leucocratic gneiss-granite; 27–32 — bi-mica granites; 33–50 — muscovite granites. Analyzes belong to B.N. Permyakov [2000].

работ В.И. Петрова и др. (ОАО «Челябинскгеосъемка») в пределах листа N-41-VII (Миасс, М 1:200000), которые указывают на присутствие в эндоконтактных зонах Еланчиковского и Чашковского массивов нескольких мелких проявлений W и Mo.

Двуслюдяные граниты второго этапа не образуют на диаграмме $A_c - (Na+K)/Ca$ отчетливого тренда и их металлогеническая специализация не определена (рис. 3б). Совсем другая картина просматривается для биотитовых и мусковитовых гранитов. Все их анализы ложатся в ту же область, что и породы первого этапа формирования рассматриваемого массива. Соответственно они также имеют W-Mo металлогеническую специализацию. Данный вывод хорошо согласуется с результатами исследований Б.Н. Пермякова [2000] по оценке

рудности гранитоидов Чашковско-Еланчиковского массива на основе серии других петрохимических диаграмм. Автором отмечается, что: 1) от ранних к более поздним петрографическим разностям пород увеличивается степень их потенциальной рудоносности; 2) мигматиты потенциально рудоносны на молибден, гнейсограниты — на вольфрам и в меньшей мере на молибден; биотитовые, мусковитовые и двуслюдяные граниты — на вольфрам; 3) в силу слабой магматической и эманационной дифференциации пород массива образование крупных концентраций редких металлов здесь ожидать не следует.

Редкометальная специализация гранитоидов Ильменогорско-Сысертского блока не является специфической особенностью, характерной только

для данной структурно-формационной зоны. Ранее нами [Демин, Сначёв, 1981; Сначёв и др., 2010; Сначёв, Сначёв, 2014] высокие содержания вольфрама и молибдена были отмечены в гранитоидах и во вмещающих их породах Суундукского, Ахунского массивов, Белорецкого метаморфического купола.

Таким образом, полученные по биотит-гранатовому термобарометру P - T условия формирования Еланчиковского гранитоидного массива ($T = 530$ – 560 °С, приповерхностно-гипабиссальная зона глубинности) позволили подтвердить вывод, сделанный ранее Б.Н. Пермяковым [2000], о метасоматическом происхождении мигматитов и гнейсогранитов. Кроме того, анализ классификационной диаграммы эталонных трендов рудогенных гранитоидных формаций указывает на редкометальную (W-Mo) специализацию пород Еланчиковского массива.

Список литературы:

Борнеман-Старынкевич И.Д. Руководство по расчету формул минералов. — М.: Наука, 1964. — 224 с.

Бородин Л.С. Модельная система петрохимических и металлогенических трендов гранитоидов как основа прогноза месторождений Sn, Li, Ta, Nb, W, Mo, Cu // Геология рудных месторождений. — 2004. — Т. 46, № 1. — С. 3–26.

Демин Ю.И., Сначёв В.И. Тепловые поля Ахунского гранитного массива и закономерности размещения в них оруденения // Доклады АН СССР. — 1981. — Т. 261, № 1. — С. 152–156.

Пермяков Б.Н. Чашковско-Еланчиковский мигматит-гнейсогранитный массив (Южный Урал). — Миасс: ИГЗ УрО РАН, 2000. — 187 с.

Перчук Л.Л., Рябчиков И.Д. Фазовое соответствие в минеральных системах. — М.: Недра, 1976. — 287 с.

Сначёв В.И., Муркин В.П. Новые данные по магматизму, метаморфизму и металлогении Кочкарской площади (Южный Урал): Препринт. — Уфа, 1989. — 23 с.

Сначёв В.И., Сначёв А.В. Закономерности размещения золоторудных проявлений в углеродистых отложениях Белорецкого метаморфического комплекса (Южный Урал) // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. геол. — 2014. — № 2. — С. 79–87.

Сначёв А.В., Сначёв В.И., Рыкус М.В. Перспективы рудоносности углеродистых отложений западного обрамле-

ния Суундукского гранитного массива // Нефтегазовое дело. — 2010. — Т. 8, № 2. — С. 11–20.

Термо- и барометрия метаморфических пород / Под ред. В.А. Глебовицкого. — Л.: Наука, 1977. — 207 с.

Ферштатер Г.Б., Бородина Н.С., Рапопорт М.С., Осипова Т.А., Смирнов В.Н., Левин В.Я. Орогенный гранитоидный магматизм Урала. — Свердловск: ИГГ УрО РАН, 1994. — 250 с.

References:

Borneman-Starynkevich I.D. Rukovodstvo po raschetu formul mineralov [Guidelines for the calculation of mineral formulas]. M.: Nauka, 1964. 224 p. (In Russian).

Borodin L.S. Model system of petrochemical and metallogenic trends of granitoids as a basis for prognosis of Sn, Li, Ta, Nb, W, Mo, and Cu deposits // Geology of ore deposits. 2004. V. 46, No. 1. P. 1–21.

Demin Yu.I., Snachev V.I. Thermal fields of the Akhunovo massif and the regularities of mineralization distribution in them // Doklady AN SSSR. 1981. V. 261, No. 1. P. 152–156.

Fershtater G.B., Borodina N.S., Rapoport M.S., Osipova T.A., Smirnov V.N., Levin V.Ya. Orogeny granitoidnyi magmatizm Urala [Ural orogenic granitoid magmatism]. Sverdlovsk: IGG UrO RAN, 1994. 250 p. (In Russian).

Perchuk L.L., Ryabchikov I.D. Fazovoe sootvetstvie v mineral'nykh sistemakh [Phase correspondence in mineral systems]. M.: Nedra, 1976. 287 p. (In Russian).

Permyakov B.N. Chashkovsko-Elanichikovskii migmatit-gneisogranitnyi massiv (Yuzhnyi Ural) [Chashkov-Elanchik migmatite-gneisso-granite massif (Southern Urals)]. Miass: IGZ UrO RAN, 2000. 187 p. (In Russian).

Snachev V.I., Murkin V.P. Novye dannye po magmatizmu, metamorfizmu i metallogenii Kochkarskoi ploshchadi (Yuzhnyi Ural) [New data on magmatism, metamorphism and metallogeny of the Kochkarsk area (Southern Urals)]. Ufa: Print, 1989. 23 p. (In Russian).

Snachev V.I., Snachev A.V. Zakonomernosti razmeshcheniya zolotorudnykh proyavlenii v uglerodistykh otlozheniyakh Beloretskogo metamorficheskogo kompleksa (Yuzhnyi Ural) [Patterns of placement of gold occurrences in carbonaceous deposits of the Beloretsk metamorphic complex (Southern Urals)] // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya. 2014. No. 2. P. 79–87. (In Russian).

Snachev A.V., Snachev V.I., Rykus M.V. Perspektivy rudoznosti uglerodistykh otlozhenii zapadnogo obramleniya Suundukского гранитного массива [Prospects of ore-bearing carbonaceous deposits of the western frame of the Suunduk granite massif] // Neftgazovoe delo. 2010. V. 8, No. 2. P. 11–20 (In Russian).

Термо- и барометрия метаморфических пород [Thermo- and barometry of metamorphic rocks] / V.A. Glebovitskii (ed.). L.: Nauka, 1977. 207 p. (In Russian).

Сведения об авторе:

Сначёв Владимир Иванович, доктор геол.-мин. наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: SAVant@inbox.ru

About the author:

Snachev Vladimir Ivanovich, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Institution of Russian Academy of Sciences Institute of Geology of the Ufian Scientific Centre (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: SAVant@inbox.ru