

Научная статья

УДК 550.41

DOI: 10.31084/2619-0087/2022-1-9

ФОРМАЦИОННАЯ ПРИНАДЛЕЖНОСТЬ И УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ГРАНИТОИДОВ КИСЕГАЧСКОГО, ЧАШКОВСКОГО И ЕЛАНЧИКОВСКОГО МАССИВОВ (ИЛЬМЕНОГОРСКИЙ АНТИКЛИНОРИЙ)

В. И. Сначёв, А. В. Сначёв

*Институт геологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, 450077,
г. Уфа, ул. К. Маркса, 16/2, SAVant@inbox.ru*

В статье приводится описание геологического строения Кисегачского, Чашковского и Еланчиковского мигматит-гнейсогранитных массивов, расположенных в южной и юго-восточной частях Ильменогорско-Сысертского блока. Дана петрографическая, петрогеохимическая характеристика всех разновидностей слагающих их пород. Показано, что Кисегачский массив сложен в основном гнейсовидными биотитовыми гранитами I фазы, заметно меньше граносиенитами и порфиroidными гранитами II фазы, которые прорываются дайками лейкогранитов III фазы. Чашковский и Еланчиковский массивы представлены гранитоидами, образование которых происходило в два этапа: в первый из них сформировались мигматиты и гнейсограниты, а во второй — биотитовые, мусковитовые и двуслюдяные граниты. Гранитоиды I фазы относятся к калий-натриевой и калиевой сериям и принадлежат мигматит-гранитной формации.

По биотит-гранатовому и биотит-амфиболовому термобарометрам получено, что образование гнейсогранитов и огнейсованных биотитовых гранитов Кисегачского массива происходило при температуре 510–540°C в результате метасоматических процессов, а порфиroidные граниты кристаллизовались из расплава при температуре 680–700°C в абиссальной зоне на глубине порядка 23–24 км ($P=7.1-7.4$ кбара). В дальнейшем все его породы, включая монцогаббро и монцодиориты, испытали региональный метаморфизм в условиях эпидот-амфиболитовой фазии ($T=550-575^\circ\text{C}$, $P=5.4-6.0$ кбар). На основе изучения гранат-биотитового парагенезиса, широко представленного в гранитоидах Еланчиковского и Чашковского массивов, получены температуры образования гнейсогранитов (соответственно 530–550°C и 510–530°C) и огнейсованных биотитовых гранитов (540–560°C и 520–540°C), а также приблизительно оценена глубина формирования пород, соответствующая приповерхностной или гипабиссальной зонам (первые километры). Полученные данные по физико-химическим условиям становления пород массивов позволили сделать вывод об их метасоматической природе и исключить магматический генезис.

Полученные физико-химические характеристики повторяют параметры метаморфизма для докембрийских стратиграфических подразделений Ильменогорско-Сысертского блока, а также Кочкарского антиклинория (Восточно-Уральское поднятие). Это указывает на единый этап формирования мигматит-гнейсогранитовых куполов в пределах всего Южного Урала, который произошел, по видимому где-то на границе верхнего докембрия — нижнего палеозоя.

Ключевые слова: Чашковский массив, Еланчиковский массив, Кисегачский массив, Ильменогорский антиклинорий, граниты, мигматиты, биотит-гранатовый термобарометр, амфибол-биотитовый термометр

Благодарности: Работа выполнена в рамках Государственного заказа по теме № FMRS-2022–0011.

Для цитирования: В. И. Сначёв, А. В. Сначёв. Формационная принадлежность и условия образования гранитоидов Кисегачского, Чашковского и Еланчиковского массивов (Ильменогорский антиклинорий) // Геологический вестник. 2022. № 1. С. 111–123. DOI: 10.31084/2619-0087/2022-1-9

For citation: V.I. Snachev, A.V. Snachev. (2022) Genetic Type and Conditions of Formation of Granitoids of the Kisegach, Chashkov, and Elanchik Massifs (Ilmenogorsk Anticlinorium). *Geologicheskii vestnik*. 2022. No. 1. P. 111–123. DOI: 10.31084/2619-0087/2022-1-9

© В. И. Сначёв, А. В. Сначёв, 2022

Original article

GENETIC TYPE AND CONDITIONS OF FORMATION OF GRANITOIDS OF THE KISEGACH, CHASHKOV, AND ELANCHIK MASSIFS (ILMENOGORSK ANTICLINORIUM)

V. I. Snachev, A. V. Snachev

Institute of Geology, Ufa Federal Research Center of RAS, 16/2, K. Marx St., Ufa, 450077, Russia, SAVant@inbox.ru

The article provides a description of the geological structure of the Kisegach, Chashkov and Elanchik migmatite-gneiss granite massifs located in the southern and southeastern parts of the Ilmenogorsk-Sysert block. The petrographic, petrogeochemical characteristics of all varieties of their constituent rocks are given. It is shown that the Kisegach massif is composed mainly of gneissic biotite granites of phase I, much less granosyenites and porphyritic granites of phase II, which are intruded by dikes of phase III leucogranites. The Chashkov and Elanchik massifs are represented by granitoids, the formation of which occurred in two stages: migmatites and gneissic granites formed in the first stage, and biotite, muscovite, and two-mica granites formed in the second stage. Phase I granitoids belong to the potassium-sodium and potassium series and belong to the migmatite-granite formation.

According to biotite-garnet and biotite-amphibole thermobarometers, it was found that the formation of gneissic granites and gneissic biotite granites of the Kisegach massif occurred at a temperature of 510–540°C as a result of metasomatic processes, and porphyritic granites crystallized from the melt at a temperature of 680–700°C in the abyssal zone on depth of about 23–24 km ($P=7.1-7.4$ kbar). Subsequently, all its rocks, including monzogabbro and monzodiorite, experienced regional metamorphism under the conditions of the epidote-amphibolite facies ($T=550-575^\circ\text{C}$, $P=5.4-6.0$ kbar). Based on the study of the garnet-biotite paragenesis, which is widely represented in the granitoids of the Elanchik and Chashkov massifs, the formation temperatures of gneissic granites (530–550°C and 510–530°C, respectively) and gneissic biotite granites (540–560°C and 520–540°C) were obtained, as well as an approximate estimate of the depth of rock formation was achieved, corresponding to the near-surface or hypabyssal zones (a few kilometers). The obtained data on the physicochemical conditions of formation of the rocks of the massifs made it possible to draw a conclusion about their metasomatic nature and exclude magmatic genesis.

The obtained physicochemical characteristics repeat the parameters of metamorphism for the Precambrian stratigraphic units of the Ilmenogorsk-Sysert block, as well as the Kochkar anticlinorium (East Ural uplift). This indicates a single stage in the formation of migmatite-gneiss-granite domes within the entire Southern Urals, which apparently occurred of at the Upper Precambrian — Lower Paleozoic boundary.

Keywords: Chashkov massif, Elanchik massif, Kisegach massif, Ilmenogorsky anticlinorium, granites, migmatites, biotite-garnet thermobarometer, amphibole-biotite thermometer

Acknowledgements: The work was carried out within the framework of the State Assignment of IG UFIC RAS No. FMRS 2022–0011.

Введение

На возраст и формационную принадлежность Кисегачского массива существует несколько точек зрения. Среднеордовикский его возраст приводится в отчете В. Н. Юрецкого и других в 1982 году, в монографии Б. Н. Пермякова [1999], среднекаменноугольный — в работе Г. Б. Ферштатера и др. [1994], раннепермский — в отчете В. И. Петрова и др. [2003]. Большинство исследователей относят массив к увельдинскому комплексу монцодиорит-гранитной формации (Юрецкий и др., Ферштатер и др., Петров и др.) и лишь Б. Н. Пермяков включает его,

а также Чашковский и Еланчиковский массивы в состав мигматит-гранитной формации. В период 1999–2003 гг. в пределах листа N-41-VII (Миасс) сотрудниками ОАО «Челябинскгеосъемка» совместно с авторами данной статьи проводились геолого-съёмочные работы масштаба 1:200000. Полученные нами результаты позволили предложить свою точку зрения на физико-химические, геодинамические условия формирования и формационную принадлежность Кисегачской, Чашковской и Еланчиковской интрузий.

Геологическое строение массивов

Кисегачский гранитоидный массив расположен в юго-восточной части Ильменогорско-Сысертского блока. Он вытянут в субмеридиональном направлении от оз. Чебаркуль на юге до оз. Б. Миассово на севере на 30 км при ширине до 7–8 км и имеет субсогласную со складчатой структурой рамы форму, а в разрезе представляет собой клинообразное тело с вертикальной мощностью 0.9 км на западе и 1.6 км на востоке. Вмещающими на западе являются породы кыштымской толщи, на востоке – преимущественно углеродистые отложения булатовской и вулканогенные образования шеметовской толщ (рис. 1). Чёрные сланцы первой из них являются рудовмещающими для золоторудных объектов Непряхинского рудного узла, а также других площадей Южного Урала [Ковалев и др., 1997; Рыкус, Сначёв, 2000]. Восточный контакт массива тектонический и падает на восток под углом 65–80°, южный — имеет западное падение (угол 85°). Сложен он, в основном, гнейсовидными биотитовыми гранитами I фазы. Граносиениты и порфириовидные граниты (II фаза) занимают южную и северную части массива. Лейкограниты (III фаза) в виде даек распространены по всему массиву.

По данным В.И. Петрова и др. [2003] гнейсовидные граниты I фазы однородны по структуре, гнейсовидные. Их состав (в %): плагиоклаз № 15–20 с каймой альбита и мирмекитами (25–40), микроклин (20–30), биотит (5–10), кварц (25–30); акцессорные минералы — магнетит, ильменит, сфен, ортит, апатит, циркон, гранат.

Граносиениты обычно порфириовидные. Их состав (в %): зональный плагиоклаз № 1–15 в порфиробластах и № 8–15 в основной массе (20–40), ортоклаз (20–40), биотит (3–10), кварц (10–15), сфен (1–2), апатит (1–2), отмечены также редкие зерна циркона, магнетита, ильменита.

В порфириовидных гранитах II фазы плагиоклаз двух генераций: первая представлена вкрапленниками 3–5 мм зонального характера — ядро № 20–27, краевая часть — № 17–15, иногда с каймой альбита, а вторая с № 15–18 слагает основную массу. В них присутствует микроклин, реже ортоклаз, часто в виде вкрапленников, кварц — 25–35%, биотит — 3–5%, акцессорные минералы — апатит, циркон, магнетит, редко сфен или ильменит. Характерно присутствие мирмекитов.

Среди лейкогранитов встречаются разновидности от мелкозернистых до пегматоидных. В их составе фиксируются: зональный плагиоклаз

(ядро — № 15–17, кайма — № 8–10), микроклин или ортоклаз, кварц, биотит, иногда мусковит и акцессорные — гранат, магнетит, апатит, циркон. Жильные породы представлены мелкозернистыми гранитами, аплитами и пегматитами.

Гранитоиды Кисегачского массива отличаются самым высокими содержаниями радиоактивных элементов: К — 5.9%; Ra — $12 \times 10^{-4}\%$; Th — $49 \times 10^{-4}\%$; Th/Ra=4.1. На диаграмме K_2O-SiO_2 их составы попадают в поля калий-натриевой и калиевой серий. Содержания CaO в рассматриваемых породах находятся в пределах 0.29–3.49%, Rb от 167 до 260 г/т, Sr от 100 до 360 г/т. На диаграмме Rb-Sr они располагаются в поле магм орогенной андезитовой, толеитовой, толеитовой повышенной щелочности, латитовой (рис. 2), четко укладываются в область мигматит-гранитной формации и резко отделяются от габбро-гранитной формации [Сначёв и др., 2009]. Кисегачские гранитоиды имеют значения рубидия и стронция близкие к континентальным гранофирам и риолитам Исландии, что хорошо подтверждается вариационной диаграммой Р.Г. Колмана и М.М. Донато [1983].

Чашковский и Еланчиковский массивы входят в состав еланчиковского комплекса и расположены в южной части Ильменогорской зоны (рис. 1). Согласно геолого-съёмочным работам, проведенным в 1997–2001 гг. сотрудниками ОАО «Челябинскгеосъёмка» (лист N-41-VII, Миасс, М 1:200 000), петротипом комплекса является Еланчиковский массив. В современном рельефе **Чашковский массив** слагает субмеридиональную гряду Чашковских гор, которая протягивается между старой частью г. Миасса и Ильменским озером. Вмещающими породами для массива служат образования кыштымской, еланчиковской толщ и верхнесаитовской свиты. Массив сложен гнейсовидными гранитами и вытянут в меридиональном направлении на расстояние 16 км при ширине 3 км, его мощность составляет около 1.6 км. Для гранитов характерны мелкоочковая текстура и равномернозернистая структура основной массы. Их состав: плагиоклаз (альбит-олигоклаз), ортоклаз, участками микроклин, биотит, амфибол (роговая обманка). Акцессорные минералы: гранат, апатит, сфен, ортит, циркон, магнетит, ильменит. Жильные породы представлены мелкозернистыми гнейсовидными гранитами, гранит-порфирами, широко развитыми к северу от массива в породах саитовской серии. Они интенсивно рассланцованы и будинированы.

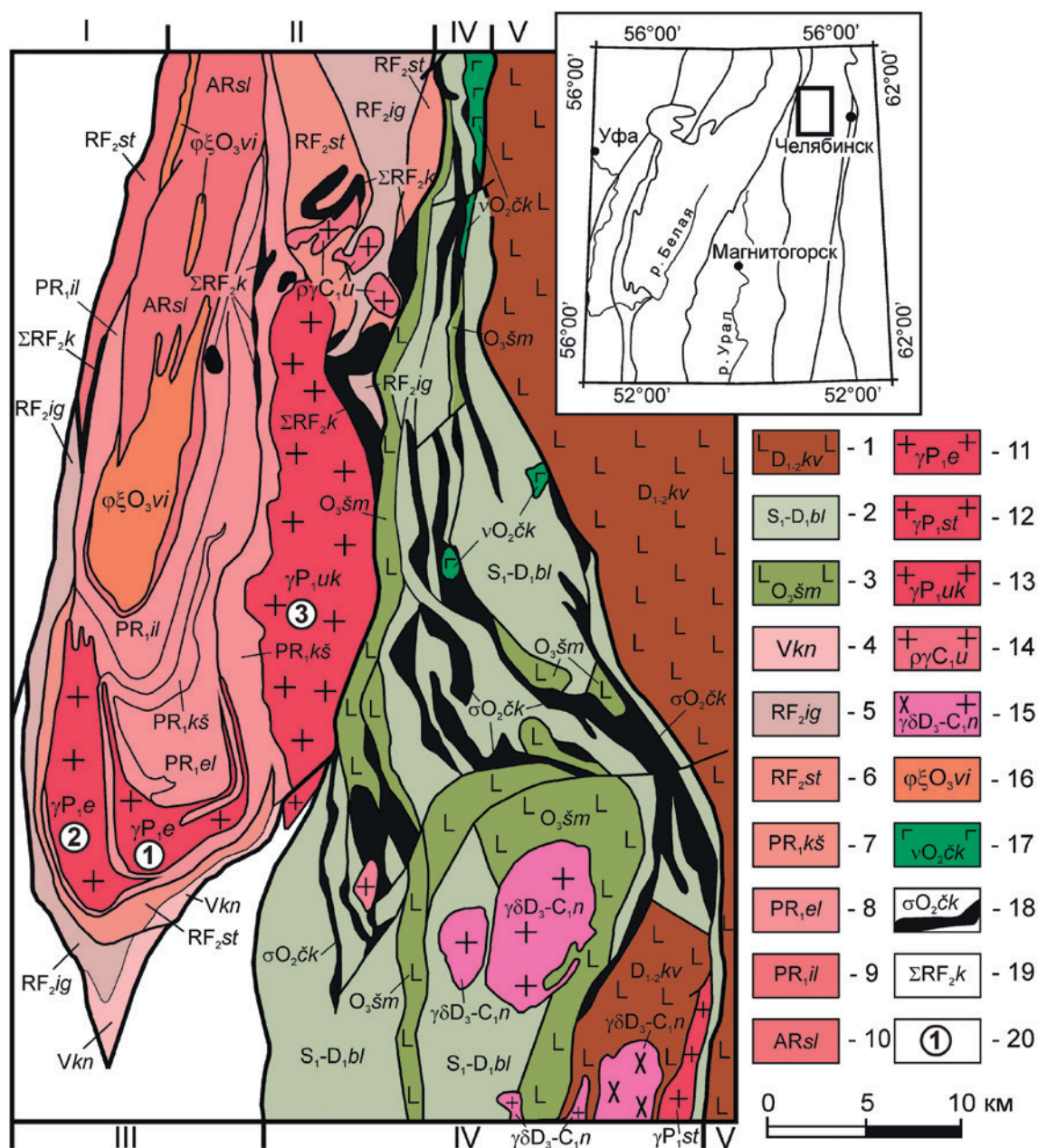


Рис. 1. Геологическая карта Ильменогорского антиклинория и восточного его обрамления (составлена по материалам В. И. Петрова и др. [2003])

Условные обозначения: 1 — кулеувская толща (лавы и лавобрекчи 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 (плагийсланцы амфиболовые, гранат-биотит-амфиболовые); 7 — кыштымская толща (амфиболиты, гнейсы гранат-биотитовые); 8 — еланчиковская толща (гнейсы биотитовые, амфибол-биотитовые); 9 — ильменогорская толща (амфиболиты, плагийгнейсы биотитовые); 10 — сельякинская свита (плагийгнейсы биотитовые, гранат-биотитовые); 11 — еланчиковский комплекс гранитовый; 12 — степнинский комплекс монцодиорит-граносиенит-гранитовый; 13 — увильдинско-кисегачский комплекс монцодиорит-граносиенит-гранитовый; 14 — уразбаевский комплекс тоналит-плагийгранитовый; 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 — гранитоидные массивы: 1 — Еланчиковский, 2 — Чашковский, 3 — Кисегачский.

Римскими цифрами на рамке карты показаны зоны: I — Вознесенско-Присакмарская и Западномагнитогорская, II — Ильменогорско-Сысертская, III — Уйско-Новооренбургская, IV — Арамилско-Сухтелинская, V — Касаргино-Рефтинская.

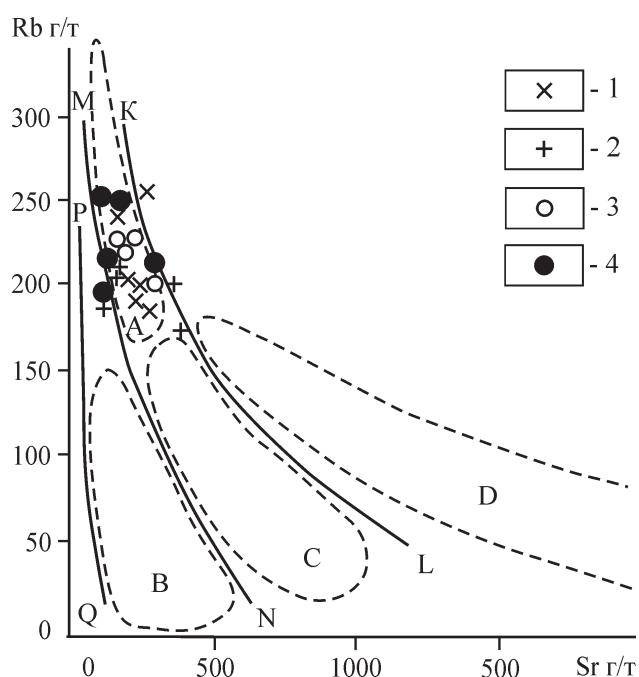


Рис. 2. Диаграмма Rb-Sr для гранитоидов Кисегачского массива и других интрузивных серий Южного Урала [Ферштатер и др., 1994]

Условные обозначения: 1 — гнейсовидные граниты I фазы, 2 — граносиениты II фазы, 3 — порфиридные граниты II фазы, 4 — лейкократовые граниты III фазы. Поля пород — производные различных исходных магм: P0Q — толеитовой океанической; NQPM — толеитовой континентальной островодужной; LNMK — орогенной андезитовой, толеитовой, толеитовой повышенной щелочности, латитовой; выше линии LK — латитовой, щелочно-базальтовой. Области распространения южноуральских гранитоидных формаций: А — гранит-мигматитовой, В — габбро-гранитной, С — тоналит-гранодиоритовой, D — монзонит-гранитной.

Fig. 2. Rb-Sr diagram for granitoids of the Kisegach massif and other intrusive series of the Southern Urals [Fershtater et al., 1994]

Legend: 1 — phase I gneissic granites, 2 — phase II granosyenites, 3 — phase II porphyritic granites, 4 — phase III leucocratic granites. The rock fields are derivatives of various parental magmas: P0Q; tholeiitic oceanic; NQPM — tholeiitic continental island-arc; LNMK — orogenic andesite, tholeiite, high alkalinity tholeiite, latite; above the LK line — latite, alkaline-basalt. Areas of distribution of the South Ural granitoid formations: A — granite-migmatite, B — gabbro-granite, C — tonalite-granodiorite, D — monzonite-granite.

Радиогеохимическая специализация гранитов: К — 5%, Ra — $6 \times 10^{-4}\%$, Th — $9 \times 10^{-4}\%$, отношение Th/Ra составляет 1.5. Граниты обоих массивов имеют повышенную щелочность, на диаграмме $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}$ они попадают в поля малокалиевых и калий-натриевых серий. Для них характерны повышенные содержания Al_2O_3 , Ni, Cr, Cu. Граниты Чашковского массива обладают высокой железистостью и марганцовистостью, в них присутствует богатый кальцием гранат. На диаграмме Rb-Sr граниты занимают поле исходных магм орогенной андезитовой серии. На графике распределения РЗЭ видна характерная отрицательная Eu аномалия. По геохимическим особенностям предполагается их происхождение за счет метатерригенных пород и принадлежность к гранитам S-типа.

Еланчиковский массив имеет форму неправильного овала и занимает площадь около 20 км² с выпуклым южным и вогнутым северным контактами [Сначёв, 2019]. Он залегает среди образований еланчиковской и кыштымской толщ в районе оз. Б. 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.

Fig. 1. Geological map of the Ilmenogorsk anticlinorium and its eastern framing (compiled after the materials of V.I. Petrov et al. [2003])

Legend: 1 — Kuluyev stratum (basaltic lava and lavobrekchii, rarely andesibasalts); 2 — Bulatov stratum (shale, carbonic-siliceous, carbonic-clay-siliceous); 3 — Shemetov stratum (basalts, andesibasalts); 4 — Kundrava Formation (metagrelites, meta sandstone with interlayers of marbled limestone); 5 — Igish Formation (graphitic quartzite, quartzite-graphitic schists); 6 — Saitov Formation (amphibole plagioclites, garnet-biotite-amphibole); 7 — Kyshtym stratum (amphibolites, garnet-biotite gneisses); 8 — Yelanchik stratum (biotite gneiss, amphibole-biotite gneiss); 9 — Ilmenogorsk stratum (amphibolites, plagiogneisses biotite); 10 — Selyankinsk Formation (biotite and garnet-biotite plagiogneisses); 11 — Yelanchik granite complex; 12 — Stepninsky monzodiorite-granosyenite-granite complex; 13 — Uvildy-Kisegach monzodiorite-granosyenite-granite complex; 14 — Urazbaev complex tonalite-plagiogranite; 15 — Neplyuev complex diorite-granodiorite-granite; 16 — Vishnevogorsk-Ilmenogorsk carbonatite-miaskite complex; 17 — Chebarkul-Kazbaev complex of serpentinized dunites, harzburgites; 18 — Chebarkul-Kazbayev gabbro complex; 19 — Kagan complex of metamorphosed ultramafics and gabbroids; 20 — granitoid massifs: 1 — Yelanchik, 2 — Chashkov, 3 — Kisegach. Roman numerals at the frame of the map show zones: I — Voznesensk-Prisakmar and Western Magnitogorsk, II — Ilmenogorsk-Sysert, III — Uysko-Novooenburg, IV — Aramil-Sukhtelinsk, V — Kasargi-Reft.

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».

Возраст гранитов Кисегачского, Чашковского и Еланчиковского массивов надежно не определен. Учитывая тот факт, что их образование предшествовало щелочному (миаскитовому) магматизму, возраст которого около 440 млн. лет [Кононова и др., 1979], рассматриваемые гранитоиды можно отнести к среднеордовикским.

В период с 1996 по 2000 гг. в пределах Кисегачского, Чашковского-Еланчиковского массивов Б. Н. Пермяковым [1999; 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 Чашковского-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 Чашковского-Еланчиковского массива относятся преимущественно к известково-щелочному и щелочному рядам; 5) петрогеохимические особенности гранитоидов и вмещающих их пород очень близки, что указывает на унаследованность химического состава первых от субстрата.

Перечисленные выше выводы, полученные Б. Н. Пермяковым [1999; 2000] по Чашковско-Еланчиковскому и Кисегачскому массивам, 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 масштаба 1:50000 и большой объем колонкового бурения. В процессе проведенных геолого-съемочных и научно-исследовательских работ [Петров и др., 2003] были получены практически те же выводы, которые приводятся в монографии Б. Н. Пермякова [2000] по Чашковско-Еланчиковскому массиву. Ряд скважин, пробуренных по профилю от Еремкинского до Борисовского гнейсо-мигматитовых куполов (Кочкарский антиклинорий), показало наличие постепенного перехода между гранитоидами и вмещающими метаморфическими породами еремкинской толщи. Граница массивов была проведена по 50% доле в породе неосомы, что указывает на метасоматический генезис рассматриваемых гранитоидов. Примечательно, что среди образований еремкинской толщи отмечены довольно мощные прослой углеродистых сланцев, перспективных на золотое оруденение [Сначёв, Муркин, 1989]. В обрамлении Чашковского и Еланчиковского массивов черносланцевые отложения широко представлены среди игишских и сайтовских пород.

Методика исследований

Составы биотитов, амфиболов и гранатов, отобранных из гранитоидов Кисегачского, Чашковского и Еланчиковского массивов, проанализированы И. А. Блиновым (ИМин УрО РАН, г. Миасс) на растровом электронном микроскопе Tescan Vega 3sbu с энерго-дисперсионным спектрометром Oxford Instruments X-act (ускоряющее напряжение 20 кВ, эталоны для биотита — биотит, для амфибола — амфибол, для граната — пироп, андрадит и гроссуляр). Результаты химического (силькатного) анализа биотитов и амфиболов из монцогаббро и монцодиорита Кисегачского массива

заимствованы из монографии Г.Б. Ферштатера и др. [1994]. Формулы минералов рассчитывались по известной методике И. Д. Борнеман-Старынкевич [1964], а затем с помощью диаграмм фазового соответствия магнезиальностей парагенезисов биотит-гранат и биотит-амфибол [Перчук, Рябчиков, 1976; Термо-..., 1977] получены температуры и приблизительно оценено давление формирования пород.

Результаты исследований и их интерпретация

Физико-химические условия образования гранитоидов Кисегачского массива были реконструированы нами на основе изучения биотит-гранатового и биотит-амфиболового парагенезисов [Перчук, Рябчиков, 1976; Термо-..., 1977], хорошо охарактеризованных экспериментально и широко представленных в габброидах, граносиенитах, пор-

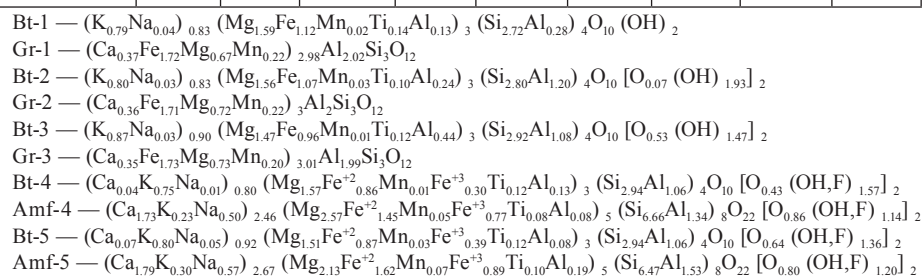
фиroidных и гнейсовидных гранитах. Составы биотитов, гранатов и амфиболов приведены в таблице 1. Не сложно увидеть, что биотиты порфиroidных гранитов II фазы имеют стабильные формулы и мало чем отличаются друг от друга. Однако, они заметно рознятся от составов биотитов монцогаббро и монцодиоритов, в частности по Al₂O₃, TiO₂, K₂O и CaO. Судя по содержанию MnO (от 2.94 до 3.39%) и CaO (от 4.18 до 4.40%) гранаты порфиroidных гранитов относятся к группе альмандина.

Обратимся к рис. 3а и 3б, на которых в координатах X_{Mg}^{Bt}=Mg/(Mg+Fe+Mn) (значения мольных долей компонентов в биотите, гранате и амфиболе) вынесены точки составов 5 минеральных фаз (1–3 — для порфиroidных гранитов, 4 — монцогаббро и 5 — монцодиорита). Три точки гранат-биотитовых парагенезисов образуют на рис. 3 компактную область, ограниченную параметрами X_{Mg}^{Bt} = 0.57–0.61 и X_{Mg}^{Gr} = 0.26–0.27, что соответ-

Таблица 1. Химический состав биотита (Bt), амфибола (Amf) и граната (Gr) в породах Кисегачского массива (в вес. %)

Table 1. Chemical composition of biotite (Bt), amphibole (Amf), and garnet (Gr) in the rocks of the Kisekach massif (wt %)

Минерал	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	CaO	MgO	Na2O	K2O	Сумма	X _{Mg} ^{Bt,Gr}
Bt-1	37.07	2.60	16.44	18.29	0.28	-	14.59	0.25	8.39	97.91	0.58
Gr-1	38.50	-	22.03	26.41	3.39	4.40	5.75	-	-	100.48	0.26
Bt-2	38.42	1.76	16.80	17.59	0.46	-	14.35	0.19	8.55	98.12	0.59
Gr-2	38.52	-	21.79	26.27	3.34	4.36	6.26	-	-	100.54	0.27
Bt-3	38.88	2.10	17.28	15.33	0.19	-	13.11	0.22	9.12	96.23	0.61
Gr-3	38.05	-	21.45	26.22	2.94	4.18	6.18	-	-	99.01	0.27
Bt-4	38.47	2.13	13.26	18.74	0.22	0.45	13.81	0.10	7.66	99.10	0.57
Amf-4	44.73	0.74	8.10	18.53	0.43	10.82	11.58	1.75	1.23	99.42	0.53
Bt-5	38.18	2.08	12.63	20.40	0.39	0.87	13.15	0.32	8.12	100.29	0.54
Amf-5	42.48	0.83	9.57	20.51	0.58	10.99	9.41	1.92	1.57	99.92	0.45



Примечание: пары Bt-1, Gr-1; Bt-2, Gr-2 и Bt-3, Gr-3 — отобраны из порфиroidных гранитов II фазы (данные авторов); пары Bt-4, Amf-4 и Bt-5, Amf-5 — соответственно из монцогаббро и монцодиорита (данные Г.Б. Ферштатера и др. [1994]). В составе Bt-4, Bt-5, Amf-4, Amf-5 установлены: H₂O (соответственно 2.77; 2.65; 1.09 и 1.42%), F (1.49; 1.50; 0.42 и 0.64%), FeO (13.47; 13.61; 11.67 и 12.72%) и Fe₂O₃ (5.27; 6.79; 6.86 и 7.79%). В таблице для Bt-4, Amf-4, Bt-5 и Amf-5 указана сумма FeO и Fe₂O₃.

Note: pairs Bt-1, Gr-1; Bt-2, Gr-2 and Bt-3, Gr-3 were selected from phase II porphyritic granites (authors' data); pairs of Bt-4, Amf-4 and Bt-5, Amf-5, respectively, from monzogabbro and monzodiorite (data by G. B. Fershtater et al. [1994]). The composition of Bt-4, Bt-5, Amf-4, Amf-5 contains: H₂O (respectively 2.77; 2.65; 1.09 and 1.42%), F (1.49; 1.50; 0.42 and 0.64%), FeO (13.47; 13.61; 11.67 and 12.72%) and Fe₂O₃ (5.27; 6.79; 6.86 and 7.79%). The table for Bt-4, Amf-4, Bt-5 and Amf-5 shows the sum of FeO and Fe₂O₃.

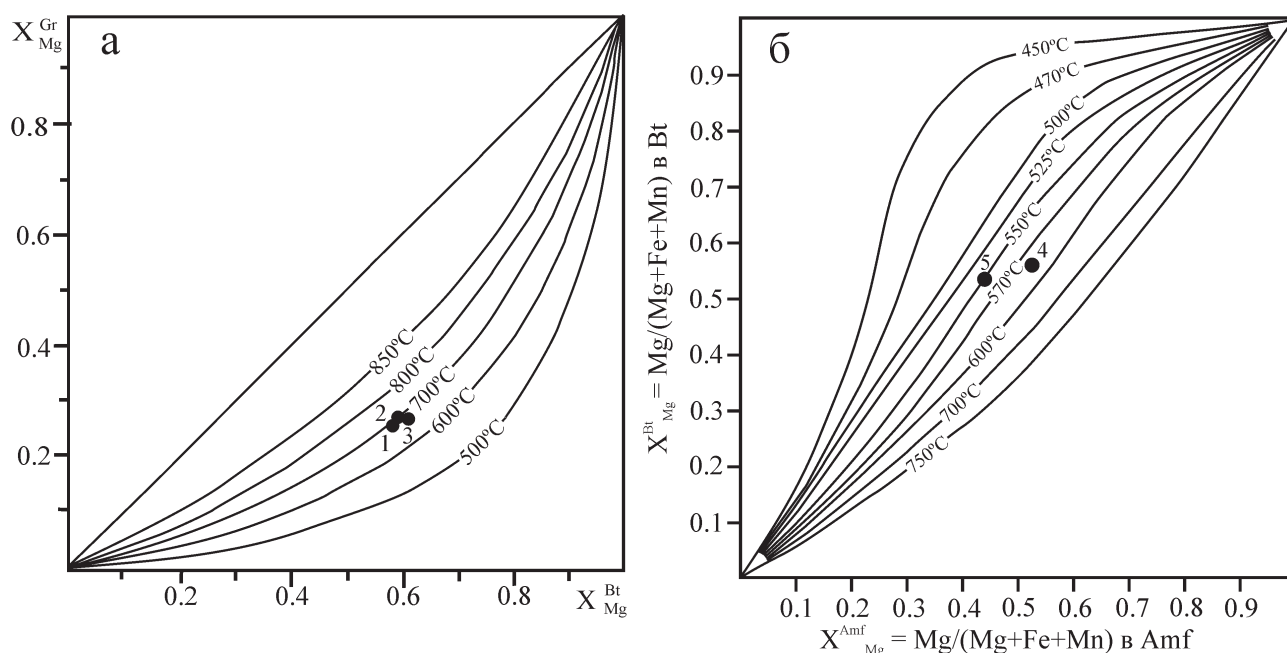


Рис. 3. Диаграммы фазового соответствия $X_{Mg}^{Gr} - X_{Mg}^{Bt}$ (а) и $X_{Mg}^{Amf} - X_{Mg}^{Bt}$ (б) [Перчук, Рябчиков, 1976] для определения P-T условий формирования пород Кисегачского массива. 500–800 — изограды температур образования гранат-биотитовой и амфибол-биотитовой ассоциаций, °C (точки 1–5, см. табл. 1)

Fig. 3. Phase correspondence diagrams $X_{Mg}^{Gr} - X_{Mg}^{Bt}$ (a) and $X_{Mg}^{Amf} - X_{Mg}^{Bt}$ (б) [Perchuk, Ryabchikov, 1976] to determine the P-T conditions for the formation of rocks of the Kisegach massif. 500–800 are temperature isograds for the formation of garnet — biotite and amphibole — biotite associations, °C (points 1–5, see table 1)

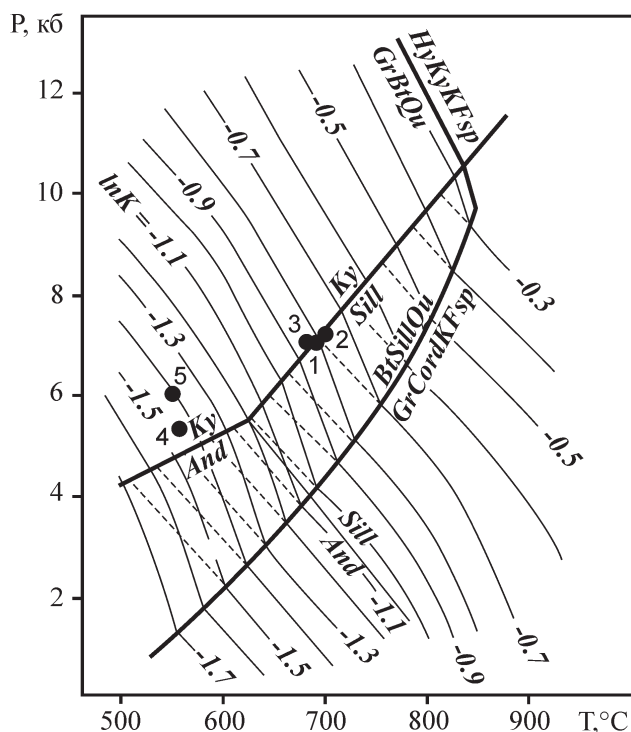


Рис. 4. Диаграмма P-T для определения давления по T и $\ln K$ [Термо..., 1977] в породах Кисегачского массива (точки 1–5, см. табл. 1)

Поля минералов: And — андалузит, Ky — кyanит, Sill — силлиманит, Bt — биотит, Gr — гранат, Cord — кордиерит, KFsp — калиевый полевой шпат, Qu — кварц, Hy — гиперстен.

Fig. 4. P-T diagram for determining pressure by T and $\ln K$ [Thermo..., 1977] in the rocks of the Kisegach massif (points 1–5, see table 1)

Mineral fields: And — andalusite, Ky — kyanite, Sill — sillimanite, Bt — biotite, Gr — garnet, Cord — cordierite, KFsp — potassium feldspar, Qu — quartz, Hy — hypersthene.

стует температуре 680–700°C. Для биотит-амфиболовой пары, отобранной из монцогаббро, $X_{Mg}^{Bt} = 0.57$, $X_{Mg}^{Amf} = 0.53$, а $T = 575^\circ\text{C}$ (точка 4), для монцодиоритовой пары — $X_{Mg}^{Bt} = 0.54$, $X_{Mg}^{Amf} = 0.45$, а $T = 550^\circ\text{C}$ (точка 5).

Расчет давления по известной температуре и коэффициенту $\ln K$, где $K = X_{Mg}^{Bt}/X_{Mg}^{Gr}$ [Термо..., 1977], в гранат-биотитовой ассоциации порфировидных гранитов (точки 1–3, рис. 4) ($\ln K_1 = -0.8$; $\ln K_2 = -0.78$; $\ln K_3 = -0.82$) показал значения в пределах 7.1–7.4 кбара, что соответствует абиссальной зоне глубинности (23–24 км). Для биотит-амфиболового парагенезиса (точки 4 и 5) давление для точки 4 равно 5.4 кбара, для точки 5–6.0 кбар.

Таблица 2. Химический состав биотита (Bt), граната (Gr) и мусковита (Mu) из гранитоидов Чашковского массива (мас. %)

Table 2. Chemical composition of biotite (Bt), garnet (Gr), and muscovite (Mu) from granitoids of the Chashkov massif (wt %)

Минерал	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Сумма	X _{Mg} ^{Bt,Gr}
Bt-1	37.55	3.06	17.99	22.14	0.75	0	8.24	0	9.01	98.74	0.39
Mu-2	48.47	0.91	32.45	5.23	0	0	1.14	0.43	10.27	98.91	0.28
Bt-3	35.56	2.62	16.95	21.95	0.80	0	7.35	0.19	9.12	94.55	0.37
Gr-1	37.16	0	21.20	21.52	17.86	1.80	1.36	0	0	100.89	0.06
Gr-2	37.00	0	21.17	21.65	17.34	1.81	1.43	0	0	100.41	0.06
Gr-3	36.87	0	20.67	21.67	17.69	1.81	1.35	0	0	100.07	0.06
Gr-4	37.54	0	20.69	21.65	10.72	9.76	0.41	0	0	100.78	0.03
Gr-5	37.49	0	20.93	18.92	5.08	16.24	0.39	0	0	99.02	0.03
Gr-6	38.03	0	21.44	21.10	3.96	15.64	0.34	0	0	100.49	0.03
Bt-4	35.44	3.90	13.68	30.31	1.08	0	4.67	0	8.67	97.75	0.21
Bt-5	35.92	3.26	14.17	29.13	1.09	0	5.19	0	8.03	96.79	0.23
Bt-6	36.78	3.90	14.27	29.27	1.01	0	4.69	0	8.91	98.84	0.22

Bt-1-K_{0.87}(Mg_{0.93}Fe_{1.40}Mn_{0.05}Ti_{0.17}Al_{0.46})₃(Si_{2.84}Al_{1.16})₄O₁₀[O_{0.47}(OH)_{1.53}]₂
 Mu-2 — (K_{0.84}Na_{0.05})_{0.89}(Mg_{0.11}Fe_{0.28}Ti_{0.04}Al_{1.56})₂(Si_{3.11}Al_{0.89})₄[O_{9.62}(OH)_{2.38}]₁₂
 Bt-3 — (K_{0.93}Na_{0.03})_{0.96}(Mg_{0.88}Fe_{1.47}Mn_{0.05}Ti_{0.16}Al_{0.45})₃(Si_{2.85}Al_{1.15})₄O₁₀[O_{0.60}(OH)_{1.40}]₂
 Gr-1 — (Ca_{0.16}Fe_{1.45}Mg_{0.16}Mn_{1.22})_{2.99}Al_{2.01}Si₃O₁₂
 Gr-2 — (Ca_{0.16}Fe_{1.46}Mg_{0.17}Mn_{1.19})_{2.98}Al_{2.02}Si₃O₁₂
 Gr-3 — (Ca_{0.16}Fe_{1.47}Mg_{0.16}Mn_{1.22})_{3.01}Al_{1.99}Si₃O₁₂
 Gr-4 — (Ca_{0.84}Fe_{1.44}Mg_{0.05}Mn_{0.73})_{3.05}Al_{1.95}Si₃O₁₂
 Gr-5 — (Ca_{1.39}Fe_{1.26}Mg_{0.05}Mn_{0.34})_{3.04}Al_{1.96}(Si_{2.99}Al_{0.01})₃O₁₂
 Gr-6 — (Ca_{1.32}Fe_{1.39}Mg_{0.04}Mn_{0.26})_{3.01}Al_{1.99}Si₃O₁₂
 Bt-4 — K_{0.88}(Mg_{0.56}Fe_{2.02}Mn_{0.07}Ti_{0.23}Al_{0.11})₃(Si_{2.83}Al_{1.17})₄O₁₀[O_{0.26}(OH)_{1.74}]₂
 Bt-5 — K_{0.81}(Mg_{0.61}Fe_{1.93}Mn_{0.07}Ti_{0.19}Al_{0.19})₃(Si_{2.86}Al_{1.14})₄O₁₀[O_{0.22}(OH)_{1.78}]₂
 Bt-6 — K_{0.90}(Mg_{0.55}Fe_{1.93}Mn_{0.07}Ti_{0.23}Al_{0.22})₃(Si_{2.90}Al_{1.10})₄O₁₀[O_{0.48}(OH)_{1.52}]₂

Примечание: Bt-1 — (номер пробы 5644-1, номер анализа 18467a); Mu-2 — (5644-1, 18467b); Bt-3 — (5644-1, 18467c); Gr-1 — (5644-1, 18467d); Gr-2 — (5644-1, 18467e); Gr-3 — (5644-1, 18467f); Gr-4 — (5678, 18475a); Gr-5 — (5678, 18475b); Gr-6 — (5678, 18475c); Bt-4 — (5678, 18475d); Bt-5 — (5678, 18475e); Bt-6 — (5678, 18475f).

Note: Bt-1 — (sample number 5644-1, analysis number 18467a); Mu-2 — (5644-1, 18467b); Bt-3 — (5644-1, 18467c); Gr-1 — (5644-1, 18467d); Gr-2 — (5644-1, 18467e); Gr-3 — (5644-1, 18467f); Gr-4 — (5678, 18475a); Gr-5 — (5678, 18475b); Gr-6 — (5678, 18475c); Bt-4 — (5678, 18475d); Bt-5 — (5678, 18475e); Bt-6 — (5678, 18475f).

Обратимся к рисунку 5, на котором в координатах X_{Mg} = Mg/(Mg+Fe+Mn) (значения мольных долей компонентов в биотите и гранате) вынесены точки составов для шести пар указанных минералов Чашковского массива (1–3 для гнейсогранитов и 4–6 для биотитовых гранитов) (табл. 2). Как видим, все парагенетические ассоциации образуют два поля, первое из которых имеет параметр X_{Mg}^{Bt} = 0.37–0.39 (мусковит не рассматривается), а второе — X_{Mg}^{Bt} = 0.21–0.23. Соответственно температуры их образования составляют 510–530°C и 520–540°C. Вместе с тем расчет давления по известной температуре и коэффициенту lnK, где K = X_{Mg}^{Cr}/X_{Mg}^{Bt} [Термо..., 1977] оказался лишь приближительным в силу небольшой величины lnK — около –1.6... – 2.0. Определенно можно только говорить о небольшой глубине становления гранитоидов Чашковского

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.

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), приведены в табл. 3. Следует отметить, что составы биотитов

и гранатов (альмандин — спессартинового ряда) из гнейсогранитов почти ничем не отличаются от таковых из биотитовых гранитов. В гранате последних лишь немного меньше CaO (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. 6, на котором в координатах $X_{Mg} = Mg / (Mg + Fe + Mn)$ (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°C. Вместе с тем расчет давления по известной температуре и коэффициенту $\ln K$,

где $K = X_{Mg}^{Cr} / X_{Mg}^{Bt}$ [Термо-..., 1977] оказался лишь приблизительным в силу небольшой величины $\ln K$ — около –1.9... — 2.0. Определенно можно только говорить 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.

Заключение

Кисегачский массив сложен в основном гнейсовидными биотитовыми гранитами I фазы, заметно меньше граносиенитами и порфириовидными

Таблица 3. Химический состав биотита (Bt), граната (Gr) и мусковита (Mu) из гранитоидов Еланчиковского массива (мас. %)
Table 3. The chemical composition of biotite (Bt), 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	$X_{Mg}^{Bt,Gr}$
Mu-1	47.18	0.51	31.97	3.97	0	0	0.88	0.38	10.03	94.92	0.29
Bt-2	35.37	2.71	17.09	21.87	0.66	0	6.02	0.22	8.39	92.33	0.32
Bt-3	36.93	2.60	17.45	22.28	0.72	0	6.13	0	8.39	94.5	0.32
Gr-1	36.99	0	21.19	23.92	16.28	1.58	0.95	0	0	100.91	0.039
Gr-2	36.65	0	21.11	23.20	16.61	1.85	0.94	0	0	100.36	0.039
Gr-3	36.50	0	21.03	23.40	16.51	1.75	1.01	0	0	100.19	0.042
Bt-4	37.89	2.65	17.84	22.11	1.05	0	6.89	0.23	8.85	97.52	0.35
Bt-5	37.29	2.82	17.65	23.70	1.09	0	6.30	0.24	8.88	97.97	0.31
Bt-6	37.75	3.49	17.57	22.41	1.02	0	7.13	0	8.98	98.35	0.35
Gr-4	36.76	0	20.73	21.92	18.96	0.93	1.08	0	0	100.40	0.044
Gr-5	36.88	0	21.09	22.15	18.87	0.83	0.96	0	0	100.79	0.041
Gr-6	36.56	0	20.84	22.32	17.79	0.92	1.22	0	0	99.64	0.052
Mu-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 Bt-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}) ₄ O ₁₀ [O _{0.73} (OH) _{1.27}] ₂ Bt-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}) ₄ O ₁₀ [O _{0.73} (OH) _{1.27}] ₂ Gr-1 — (Ca _{0.14} Fe _{1.62} Mg _{0.11} Mn _{1.11}) _{2.98} Al _{2.02} Si ₃ O ₁₂ Gr-2 — (Ca _{0.16} Fe _{1.58} Mg _{0.11} Mn _{1.14}) _{3.00} Al _{2.00} (Si _{2.98} Al _{0.02}) ₃ O ₁₂ Gr-3 — (Ca _{0.15} Fe _{1.59} Mg _{0.12} Mn _{1.14}) _{3.00} Al _{2.00} (Si _{2.98} Al _{0.02}) ₃ O ₁₂ Bt-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}) ₄ O ₁₀ [O _{0.66} (OH) _{1.34}] ₂ Bt-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}) ₄ O ₁₀ [O _{0.61} (OH) _{1.39}] ₂ Bt-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}) ₄ O ₁₀ [O _{0.67} (OH) _{1.33}] ₂ Gr-4 — (Ca _{0.08} Fe _{1.49} Mg _{0.13} Mn _{1.31}) _{3.01} Al _{1.99} Si ₃ O ₁₂ Gr-5 — (Ca _{0.07} Fe _{1.50} Mg _{0.12} Mn _{1.30}) _{2.99} Al _{2.01} Si ₃ O ₁₂ Gr-6 — (Ca _{0.08} Fe _{1.53} Mg _{0.15} Mn _{1.23}) _{2.99} Al _{2.01} Si ₃ O ₁₂											

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

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

гранитами II фазы, которые прорываются дайками лейкогранитов III фазы. Гранитоиды относятся к калий-натриевой и калиевой сериям и принадлежат мигматит-гранитной формации. Учитывая тот факт, что ранее для гнейсогранитов и огнейсованных биотитовых гранитов Чашковского массива, расположенного в 1.5 км юго-западнее Кисегачского и входящего вместе с ним и Еланчиковским (см. рис. 1) [Сначёв, 2019] в состав мигматит-гранитной формации, получены низкие температуры образования (510–540°C и 530–560°C), указывающие на их метасоматическую природу, можно с большой долей уверенности исключить магматический генезис и для гнейсовидных гранитов рассматриваемых нами массивов.

Полученные результаты температур и давления по биотит-гранатовому термобарометру (для Кисегачского массива) следует интерпретировать как физико-химические условия кристаллизации порфировых гранитов ($T = 680\text{--}700^\circ\text{C}$, $P = 7.1\text{--}7.4$ кбара), а по биотит-амфиболовому — этап регионального метаморфизма монцогаббро и монцодиоритов ($T = 550\text{--}575^\circ\text{C}$, $P = 5.4\text{--}6.0$ кбар) в условиях эпидот-амфиболитовой фации [Термо..., 1977]. Примечательно, что полученные нами ранее температуры, давления и фация регионального ме-

таморфизма для докембрийских стратиграфических подразделений Ильменогорско-Сысертского блока практически совпадают с приведенными выше для Кисегачского массива. Более того, они близки и к параметрам регионального метаморфизма еремкинской и светлинской толщ Кочкарского антиклинория (Восточно-Уральское поднятие), расположенных в обрамлении Варламовского, Борисовского, Санарского и Еремкинского мигматит-гнейсогранитных куполов [Сначёв, Муркин, 1989].

Все это указывает на единый этап формирования мигматит-гнейсогранитовых куполов в пределах Южного Урала, который произошёл по-видимому где-то на границе верхнего докембрия — нижнего палеозоя.

Список литературы:

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

Ковалев С. Г., Сначёв В. И., Высоцкий И. В., Рыкус М. В. О новом типе благороднометальной минерализации на западном склоне Южного Урала // Руды и металлы. — 1997. — № 6. — С. 27–33.

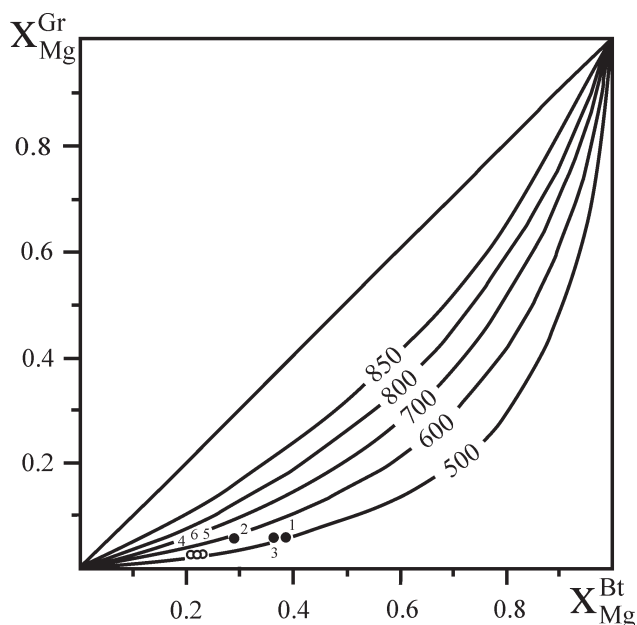


Рис. 5. Диаграмма фазового соответствия X_{Mg}^{Gr} — X_{Mg}^{Bt} в гранитоидах Чашковского массива [Термо..., 1977]. Номера точек (1–6) соответствуют табл. 2

Fig. 5. X_{Mg}^{Gr} — X_{Mg}^{Bt} phase correspondence diagram in granitoids of the Chashkov massif [Thermo..., 1977]. Point numbers (1–6) correspond to table 2

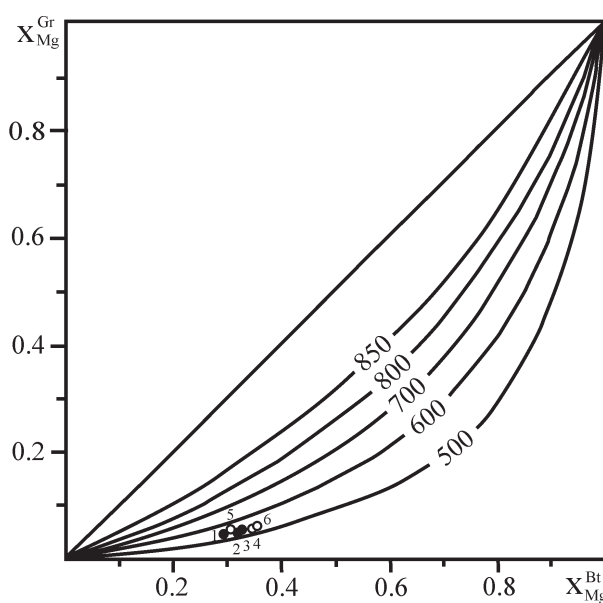


Рис. 6. Диаграмма фазового соответствия X_{Mg}^{Gr} — X_{Mg}^{Bt} в гранитоидах Еланчиковского массива [Термо..., 1977]. Номера точек (1–6) соответствуют табл. 3

Fig. 6. Diagram of the phase correspondence X_{Mg}^{Gr} — X_{Mg}^{Bt} in the granitoids of the Yelanchikov massif [Thermo..., 1977]. Point numbers (1–6) correspond to table 3

Колман Р. Г., Донато М. М. Еще раз об океанических плагиогранитах // Трондьемиты, дациты и связанные с ними породы. — М.: Мир, 1983. — С. 118–130.

Кононова В. А., Донцова Е. И., Кузнецова Л. Д. Изотопный состав кислорода и стронция ильмено-вишневогорского комплекса и вопросы генезиса миаскитов // Геохимия. — 1979. — № 2. — С. 1784–1795.

Пермяков Б. Н. Кисегачский гранитный массив (Южный Урал). — Миасс: ИГЗ УрО РАН, 1999. — 224 с.

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

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

Петров В. И., Шалагинов А. Э., Пунегов Б. Н. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. 2-е изд. Серия Южноуральская. Лист N-41-VII (Миасс). Объяснительная записка. — М.: Московский филиал ФГУП «ВСЕГЕИ», 2003. — 167 с.

Рыкус М. В., Сначёв В. И. Особенности палеозойского углеродистого осадконакопления Сысертско-Ильменогорской зоны Южного Урала // Осадочные бассейны: Закономерности строения и эволюции, минералогения. — Екатеринбург: Институт геологии и геохимии. УрО РАН. — 2000. — С. 112–114.

Сначёв А. В., Пучков В. Н., Сначёв В. И., Савельев Д. Е., Бажин Е. А. Большаковский габбровый массив фрагмент Южно-Уральской зоны раннекаменноугольного рифта // Доклады Академии наук. — 2009. — Т. 429. — № 1. — С. 79–81.

Сначёв В. И. Физико-химические условия формирования гранитоидов Еланчиковского массива и их металлогеническая специализация // Геологический вестник. — Уфа. ИГ УФИЦ РАН, 2019. — № 1. — С. 68–76. DOI: 10.31084/2619-0087/2019-1-5

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

Термо- и барометрия метаморфических пород / под редакцией В. А. Глебовичского. — Л.: Наука, 1977. — 207 с.

Ферштатер Г. Б., Бородин 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]. Moscow: Nauka, 1964. 224 p. (In Russian).

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

Kolman R. G., Donato M. M. Eshche raz ob okeanicheskikh plagiogranitakh [Once again about oceanic plagiogranites] //

Trond'yemity, datsity i svyazannyye s nimi porody. Moscow: Mir, 1983. P. 118–130. (In Russian).

Kononova V. A., Dontsova Ye. I., Kuznetsova L. D. Izotopnyi sostav kisloroda i strontsiya il'meno-vishnevogorskogo kompleksa i voprosy genezisa miaskitov [The isotopic composition of oxygen and strontium of the Ilmen-Vishnevogorsk complex and questions of the genesis of miaskites] // Geokhimiya. 1979. No. 2. P. 1784–1795. (In Russian).

Kovalev S. G., Snachev V. I., Vysotskiy I. V., Rykus M. V. O novom tipe blagorodnometal'noi mineralizatsii na zapadnom sklone Yuzhnogo Urals [On a new type of noble metal mineralization on the western slope of the Southern Urals] // Rudy i metally. 1997. No. 6. P. 27–33. (In Russian).

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

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

Permyakov B. N. Kisegachskii granitnyi massiv (Yuzhnyi Ural) [Kisegach granite massif (South Ural)]. Miass: IGZ UrO RAN, 1999. 224 p. (In Russian).

Petrov V. I., Shalaginov A. E., Punegov B. N. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. Mashtab 1:200000. 2-e izd. Seriya Yuzhnoural'skaya. List N-41-VII (Miass). [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:200,000. 2nd ed. Series South Ural. Sheet N-41-VII (Miass)]. Ob'yasnitel'naya zapiska. Moscow: VSEGEI, 2003. 167 p. (In Russian).

Rykus M. V., Snachev V. I. Osobennosti paleozoiskogo uglerodistogo osadkonakopleniya Sysertsko-Il'menogorskoi zony Yuzhnogo Urals [Features of the Paleozoic carbonaceous sedimentation of the Sysert-Ilmenogorsk zone of the Southern Urals] // Osadochnyye basseyny: Zakonomernosti stroyeniya i evolyutsii, minerageniya [Sedimentary basins: Patterns of structure and evolution, minerageny]. Yekaterinburg: Institut geologii i geokhimii. UrO RAN, 2000. P. 112–114. (In Russian).

Snachev V. I. Fiziko-khimicheskie usloviya formirovaniya granitoidov Elanchikovskogo massiva i ikh metallogenicheskaya spetsializatsiya [Physico-chemical conditions for the formation of granitoids of the Elanchikovsky massif and their metallogenic specialization] // Geologicheskii vestnik. Ufa. IG UFITS RAN. 2019. No. 1. P. 68–76. (In Russian). DOI: 10.31084/2619-0087/2019-1-5

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

Snachev A. V., Puchkov V. N., Snachev V. I., Savel'ev D. E., Bazhin E. A. Bol'shakovskii gabbrovyi massiv fragment Yuzhno-Ural'skoi zony rannekamennougol'nogo rifta [Bol'shakovskii gabbro massif as a fragment of the Southern Urals zone of early carboniferous rift] // Doklady Earth Sciences. 2009. Vol. 429. No. 8. P. 1267–1269. (In Russian).

Termo- i barometriya metamorficheskikh porod [Thermo- and barometry of metamorphic rocks] / pod redakciej V. A. Glebovichskogo. Leningrad: Nauka, 1977. 207 p. (In Russian).

Сведения об авторах:

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. SAVant@inbox.ru

Сначёв Александр Владимирович, канд. 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. SAVant@rambler.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 Ufimian Scientific Centre (IG UFRC RAS), Ufa. SAVant@inbox.ru

Snachev Alexander Vladimirovich, Candidate of geological and mineralogical sciences, Institution of Russian Academy of Sciences Institute of Geology of the Ufimian Scientific Centre (IG UFRC RAS), Ufa. SAVant@rambler.ru

Статья поступила в редакцию 01.03.2022; одобрена после рецензирования 11.03.2022; принята к публикации 23.03.2022

The article was submitted 01.03.2022; approved after reviewing 11.03.2022; accepted for publication 23.03.2022