

## ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И ФОРМАЦИОННАЯ ПРИНАДЛЕЖНОСТЬ ГРАНИТОИДОВ КИСЕГАЧСКОГО МАССИВА (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

### PHYSICAL AND CHEMICAL CONDITIONS OF GENERATION AND FORMATION BELONGING TO KISEGACHSKY GRANITOID MASSIV (SOUTH URAL)

**В. И. Сначёв**  
**Vladimir I. Snachev**

Институт геологии  
Уфимского федерального  
исследовательского центра РАН,  
г. Уфа, Российская Федерация

Institute of Geology, Ufa Federal  
Research Centre of the Russian  
Academy of Sciences,  
Ufa, Russian Federation

**А. В. Сначёв**  
**Aleksandr V. Snachev**

Институт геологии  
Уфимского федерального  
исследовательского центра РАН,  
г. Уфа, Российская Федерация

Institute of Geology, Ufa Federal  
Research Centre of the Russian  
Academy of Sciences,  
Ufa, Russian Federation

**М. В. Рыкус**  
**Mikhail V. Rykus**

Уфимский государственный  
нефтяной технический  
университет,  
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Petroleum  
Technological University,  
Ufa, Russian Federation

В статье приводится описание геологического строения Кисегачского мигматит-гнейсогранитного массива, расположенного в юго-восточной части Ильменогорско-Сысертского блока. Вмещающими для него на западе являются породы кыштымской толщи, на востоке — преимущественно углеродистые отложения булатовской и вулканогенные образования шеметовской толщ. Дана петрографическая, петрогеохимическая характеристика всех разновидностей слагающих его 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. Гранитоиды относятся к калий-натриевой и калиевой сериям и принадлежат мигматит-гранитной формации.

По биотит-гранатовому термобарометру установлено, что образование гнейсогранитов и огнейсованных биотитовых гранитов происходило при температуре 510–540 °С в результате метасоматических процессов, а порфиroidные граниты кристаллизовались из расплава при температуре 680–700 °С в абиссальной зоне на глубине порядка 23–24 км ( $P = 7, -7,4$  кбар). В дальнейшем все породы Кисегачского массива, включая монцогаббро и монцодиориты, испытали региональный метаморфизм в условиях эпидот-амфиболитовой фации ( $T = 550-575$  °С,  $P = 5,4-6,0$  кбар). 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.

The article describes the geological structure of the Kisegachsky migmatite-gneiss granite massif located in the southeastern part of the Ilmenogorsk-Sysertsky block. The rocks of the kishlimsky stratum are enclosing for it in the west, mainly the carbonaceous deposits of the bulatovsky and volcanogenic formations of the shemetovsky strata in the east. The petrographic and petrogeochemical characteristics of all varieties of the rocks composing it are given. It is shown that the Kisegachsky massif is composed mainly of gneissic biotite granites of the first phase,

#### Ключевые слова

Кисегачский массив;  
Ильменогорско-Сысертский блок;  
гранитоиды; температура;  
давление; биотит-гранатовый  
термобарометр;  
мигматит-гнейсогранитный купол

noticeably less granosyenites and porphyritic granites of the second phase, which intruded by dikes of leucogranites of the third phase. Granitoids belong to the potassium-sodium and potassium series and belong to the migmatite-granite formation.

Using a biotite-garnet thermobarometer, it was found that the formation of gneiss granites and gneissoid biotite granites occurred at a temperature of 510–540 °C as a result of metasomatic processes, and porphyritic granites crystallized from a melt at a temperature of 680–700 °C in an abyssal zone at a depth of about 23–24 km ( $P = 7.1\text{--}7.4$  kbar). Subsequently, all rocks of the Kisegachsky massif, including monzogabro and monzodiorites, subjected regional metamorphism under the conditions of the epidote-amphibolite facies ( $T = 550\text{--}575$  °C,  $P = 5.4\text{--}6.0$  kbar). The obtained physical and chemical characteristics repeat the metamorphism parameters for the precambrian stratigraphic units of the Ilmenogorsk-Sysertsy block, as well as the Kochkarsky anticlinorium (East Ural uplift). This indicates a single stage in the formation of migmatite-gneiss granite domes within the entire Southern Urals, which occurred, apparently, somewhere on the border of the Upper Precambrian — Lower Paleozoic.

#### *Общие сведения*

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 [1], среднекаменноугольный — в работе Г.Б. Ферштатера и др. [2], раннепермский — в отчете В.И. Петрова и др. [3]. 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 в состав мигматит-гранитной формации. В период 1999–2003 гг. в пределах листа N-41-VII (Миасс) сотрудниками ОАО «Челябинскгеосъемка» совместно в авторами данной статьи проводились геолого-съемочные работы масштаба 1 : 200000. Полученные нами результаты позволили предложить свою точку зрения на физико-химические, геодинамические условия формирования и формационную принадлежность Кисегачской интрузии.

#### *Геологическое строение массива*

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 (рисунок 1).

#### **Key words**

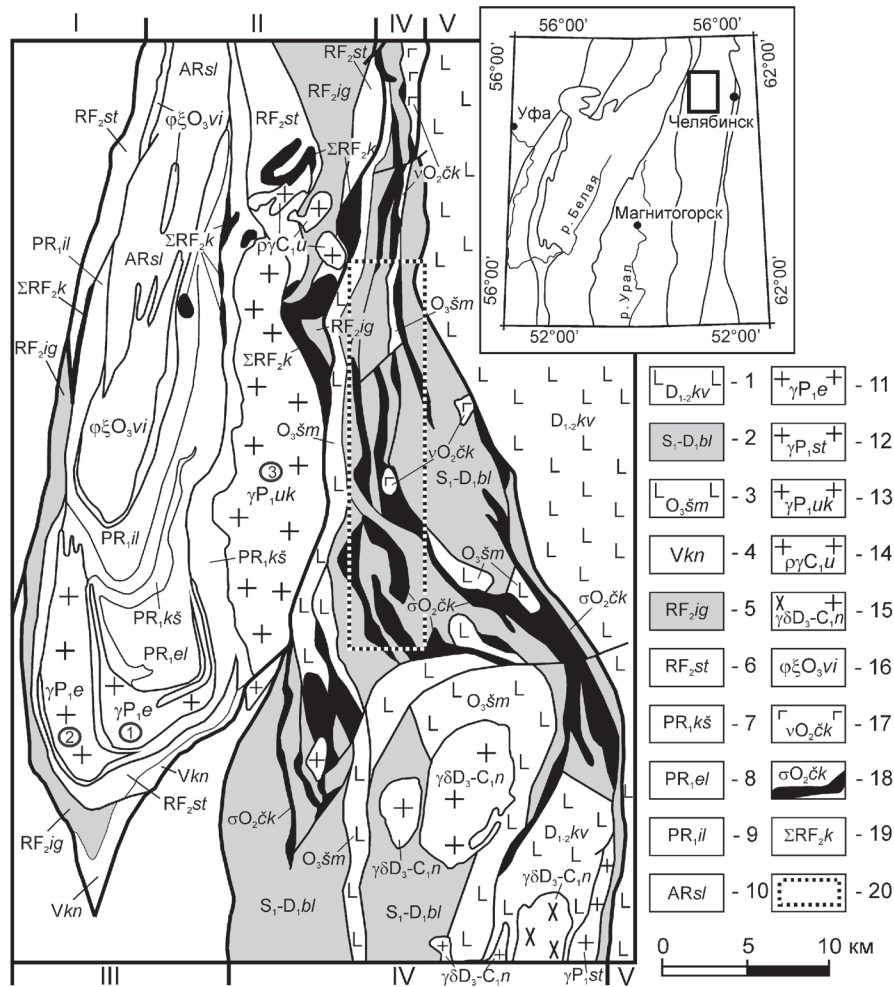
Kisegachsky massif;  
Ilmenogorsk-Sysertsy block;  
granitoids; temperature; pressure;  
biotite-garnet thermobarometer;  
migmatite-gneiss granite dome

Чёрные сланцы первой из них являются рудовмещающими для золоторудных объектов Непряхинского рудного узла, а также других площадей Южного Урала [4, 5]. 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 порфиоровидные 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. [3], 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 порфиоровидные. 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 порфиоровидных 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.



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 (плаггиосланцы амфиболовые,

гранат-биотит-амфиболовые); 7 — кыштымская толща (амфиболиты, гнейсы гранат-биотитовые);

8 — еланчиковская толща (гнейсы биотитовые, амфибол-биотитовые); 9 — ильменогорская толща

(амфиболиты, плаггиогнейсы биотитовые); 10 — селяннинская свита (плаггиогнейсы биотитовые,

гранат-биотитовые); 11 — еланчиковский комплекс гранитный; 12 — степнинский комплекс

монцодиорит-граносиенит-гранитный; 13 — увильдинско-кисегачский комплекс

монцодиорит-граносиенит-гранитный; 14 — уразбаевский комплекс тоналит-плаггиогранитный;

15 — неплюевский комплекс диорит-гранодиорит-гранитный; 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 Западномагнитогорская,

II — Ильменогорско-Сыертская, III — Уйско-Новооренбургская, IV — Арамилско-Сухтелинская,

V — Касаргино-Рефтинская

Арабскими цифрами показаны гранитоидные массивы: 1 — Еланчиковский, 2 — Чашковский,

3 — Кисегачский

**Рисунок 1.** Геологическая карта Ильменогорско-Сыертского мегантиклинория и восточного его обрамления (составлена по материалам В.И. Петрова и др. [3])

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

В пределах Кисегачского массива Б.Н. Пермяковым [1] были проведены детальные работы, в результате которых сделаны

следующие основные выводы: 1) гранитоиды конформно залегают в структурах вмещающих пород; 2) интрузивные контакты мигматитов и гнейсогранитов с последними отсутствуют, между ними наблюдается постепенный переход; 3) в массиве картируется ряд гнейсогранитных куполов; 4) становление Кисегачских гранитоидов происходило в два этапа: а) гранитизация исходных метаморфических пород с образованием линзовидно-полосчатых мигматитов и гнейсогранитов; б) локальное плавление пород первого этапа и кристаллизация биотитовых, мусковитовых гнейсогранитов и гранитоидов; 5) петрогеохимические характеристики гранитоидов и вмещающих их пород очень близки, что указывает на образование первых за счет субстрата.

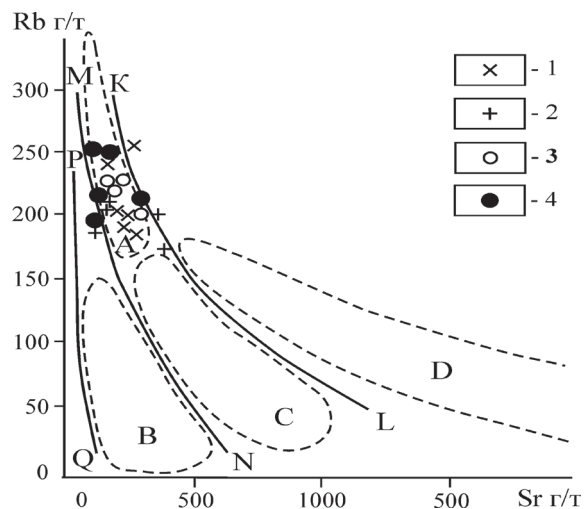
Возраст гранитов Кисегачского массива надежно не определен: по биотиту К-Аг методом он составляет 271–274 млн лет [6], а по Rb-Sr методу —  $263 \pm 21$  млн лет [7]. Учитывая тот факт, что его образование предшествовало щелочному (миаскитовому) магматизму, возраст которого около 440 млн лет [8], рассматриваемые гранитоиды можно отнести к среднеордовикским.

*Методика исследований*

Составы биотитов и гранатов, отобранных из огнейсованных гранитов Кисегачского массива, 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 граната — пироп, андрадит и гроссуляр). Результаты химического (силикатного) анализа биотитов и амфиболов из монцогаббро и монцодиорита заимствованы из монографии Г.Б. Ферштатера и др. [2]. Формулы минералов рассчитывались по известной методике И.Д. Борнеман-Старынкевич [9], а затем с помощью диаграмм фазового соответствия магнетиальностей парагенезисов биотит-гранат и биотит-амфибол [10, 11] получены температуры и приблизительно оценено давление формирования пород. Силикатный анализ гранитоидов выполнен по стандартной методике в Институте геологии УФИЦ АРН (г. Уфа, аналитик С.А. Ягудина), нейтронно-активационный на редкоземельные и малые элементы — в АСИЦ ВИМСа (г. Москва, аналитик Д.Ю. Сапожников).

*Результаты исследований и их обсуждение*

Гранитоиды Кисегачского массива отличаются самыми высокими содержаниями радиоактивных элементов: К — 5,9 %; Ra —  $12 \cdot 10^4$  %; Th —  $49 \cdot 10^4$  %; Th/Ra = 4,1. На диаграмме K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub> их составы попадают в поля калий-натриевой и калиевой серий. Содержания CaO в рассматриваемых породах находятся в пределах 0,29–3,49 % (таблица 1), 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 (рисунок 2), четко укладываются в область мигматит-гранитной формации и резко отделяются от габбро-гранитной формации [12]. 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 [13].



Условные обозначения: 1 — гнейсовидные граниты I фазы; 2 — граносиениты II фазы; 3 — порфировидные граниты II фазы; 4 — лейкократовые граниты III фазы. Поля пород — производные различных исходных магм: P0Q — толеитовой океанической; NQPM — толеитовой континентальной островодужной; LNМК — 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 — монцонит-гранитной

**Рисунок 2.** Диаграмма Rb-Sr для гранитоидов Кисегачского массива и других интрузивных серий Южного Урала [2]

Таблица 1. Химический состав (в вес. %) гранитоидов Кисегачского массива

№ п/п	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
1	64,08	0,68	15,98	1,18	2,78	0,05	2,20	3,49	4,75	4,00	0,45	0,76	100,50
2	64,30	0,32	16,31	1,96	1,25	0,10	1,37	2,26	4,74	6,33	0,22	0,78	99,72
3	64,63	0,50	15,52	1,53	2,37	0,07	1,37	2,83	4,16	5,00	0,45	1,06	99,27
4	69,30	0,45	14,60	0,93	1,76	0,04	1,01	1,90	4,00	4,74	0,13	0,42	99,38
5	70,40	0,44	14,23	1,34	1,89	0,05	0,19	1,56	3,74	5,28	0,11	0,58	99,81
6	70,69	0,27	14,42	1,06	1,75	0,04	1,45	1,34	3,86	4,75	0,14	0,66	100,73
7	70,86	0,30	14,07	1,16	1,25	0,03	1,06	1,18	3,62	5,20	0,06	1,38	100,47
8	70,88	0,37	14,18	0,92	1,50	0,03	0,50	1,02	3,75	5,38	0,14	0,52	99,19
9	71,38	0,25	14,05	0,85	1,64	0,05	0,29	1,28	4,63	5,00	0,05	0,28	99,75
10	71,72	0,18	14,31	1,09	0,90	0,02	0,98	1,13	4,24	5,00	0,09	0,78	100,22
11	71,90	0,22	13,93	1,50	0,96	0,03	0,40	2,00	3,70	5,50	0,16	0,48	101,13
12	72,34	0,23	14,71	0,66	1,21	0,01	0,36	0,29	3,48	5,05	0,19	0,18	98,70
13	72,50	0,10	14,01	0,76	1,16	0,07	0,90	2,03	4,62	3,62	0,02	0,96	100,15
14	72,50	0,22	14,40	1,17	1,58	0,05	0,40	1,30	3,69	5,00	0,04	0,46	101,11
15	72,70	0,16	14,79	0,35	0,93	0,03	0,60	1,44	5,00	4,27	0,07	0,38	100,74
16	73,23	0,20	13,81	0,65	0,93	0,02	0,24	0,87	3,63	5,38	0,05	0,34	99,35
17	73,60	0,11	12,84	0,60	0,48	0,01	0,98	1,41	3,92	4,68	0,02	1,62	99,04
18	73,78	0,09	14,36	0,47	0,66	0,01	0,36	1,44	3,75	5,00	0,05	0,28	100,25
19	73,80	0,07	13,17	0,50	0,45	0,02	0,40	2,24	4,48	4,88	0,01	0,46	100,48
20	73,97	0,05	13,55	0,60	0,62	0,04	0,39	1,41	4,00	5,00	0,04	0,48	100,15

Примечание: 1–3 — граносиениты; 5, 8, 11, 13, 15 — порфировидные граниты; 4, 6, 7, 9, 10, 12, 14 — гнейсовидные граниты; 16–20 — лейкограниты. Источники: 1–3, 5–7, 10–11, 13–14, 17, 20 — по данным ОАО «Челябинскеосъёмка», остальные по собственным данным.

Для гранитоидов характерна повышенная щелочность ( $K > Na$ ), значительные содержания Be, Ni, Cr, Cu, Ba, Ga, Nb, U и Th. В них отмечено самое высокое содержание РЗЭ из всех массивов Миасской площади, а также известны радоновые минеральные воды. В породах массива сумма редкоземельных элементов составляет от 206 г/т (в порфировидных гранитах) до 466 г/т (в гнейсовидных их разновидностях). На графике распределения РЗЭ видна отчетливая отрицательная Eu-аномалия [3]. Значение  $^{87}Sr/^{86}Sr$  в гранитах низкое и находится в пределах 0,703–0,706.

Физико-химические условия образования гранитоидов Кисегачского массива были реконструированы нами на основе изучения биотит-гранатового и биотит-амфиболового парагенезисов [10, 11], хорошо охарактеризованных экспериментально и широко представленных в габброидах, граносиенитах, порфировидных и гнейсовидных гранитах. Составы биотитов, гранатов и амфиболов приведены в таблице 2. Не сложно увидеть, что биотиты порфировидных гранитов II фазы имеют стабильные формулы и мало чем отличаются друг от друга. Однако они заметно разнятся от составов биотитов монцогаббро и монцодиоритов, в частности по  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $K_2O$  и  $CaO$ . Судя по содержанию MnO (от 2,94% до 3,39%) и CaO (от 4,18% до

4,40%), гранаты порфировидных гранитов относятся к группе альмандина.

Обратимся к рисункам 3, а и 3, б, на которых в координатах  $X_{Mg} = Mg/(Mg + Fe + Mn)$  (значения мольных долей компонентов в биотите, гранате и амфиболе) вынесены точки составов 5 минеральных фаз (1–3 — для порфировидных гранитов, 4 — монцогаббро и 5 — монцодиорита). Три точки гранат-биотитовых парагенезисов образуют на рисунке 3 компактную область, ограниченную параметрами  $X_{Mg}^{Bi} = 0,57–0,61$  и  $X_{Mg}^{Gr} = 0,26–0,27$ , что соответствует температуре 680–700 °С. Для биотит-амфиболовой пары, отобранной из монцогаббро,  $X_{Mg}^{Bi} = 0,57$ ,  $X_{Mg}^{Amf} = 0,53$ , а  $T = 575$  °С (точка 4), для монцодиоритовой пары  $X_{Mg}^{Bi} = 0,54$ ,  $X_{Mg}^{Amf} = 0,45$ , а  $T = 550$  °С (точка 5).

Расчет давления по известной температуре и коэффициенту  $\ln K$ , где  $K = X_{Mg}^{Bi}/X_{Mg}^{Gr}$  [11], в гранат-биотитовой ассоциации порфировидных гранитов (точки 1–3, рисунок 4) ( $\ln K_1 = -0,8$ ;  $\ln K_2 = -0,78$ ;  $\ln K_3 = -0,82$ ) показал значения в пределах 7,1–7,4 кбар, что соответствует абиссальной зоне глубинности (23–24 км). Для биотит-амфиболового парагенезиса (точки 4 и 5) тоже можно рассчитать величину давления по известной температуре и коэффициенту  $X_{Mg}^{Bi}$  (см. рисунок 3, б). С этой целью значения  $T = 575$  °С,  $X_{Mg}^{Bi} = 0,57$

**Таблица 2.** Химический состав биотита (Bi), амфибола (Amf) и граната (Gr) в породах Кисегачского массива (в вес. %)

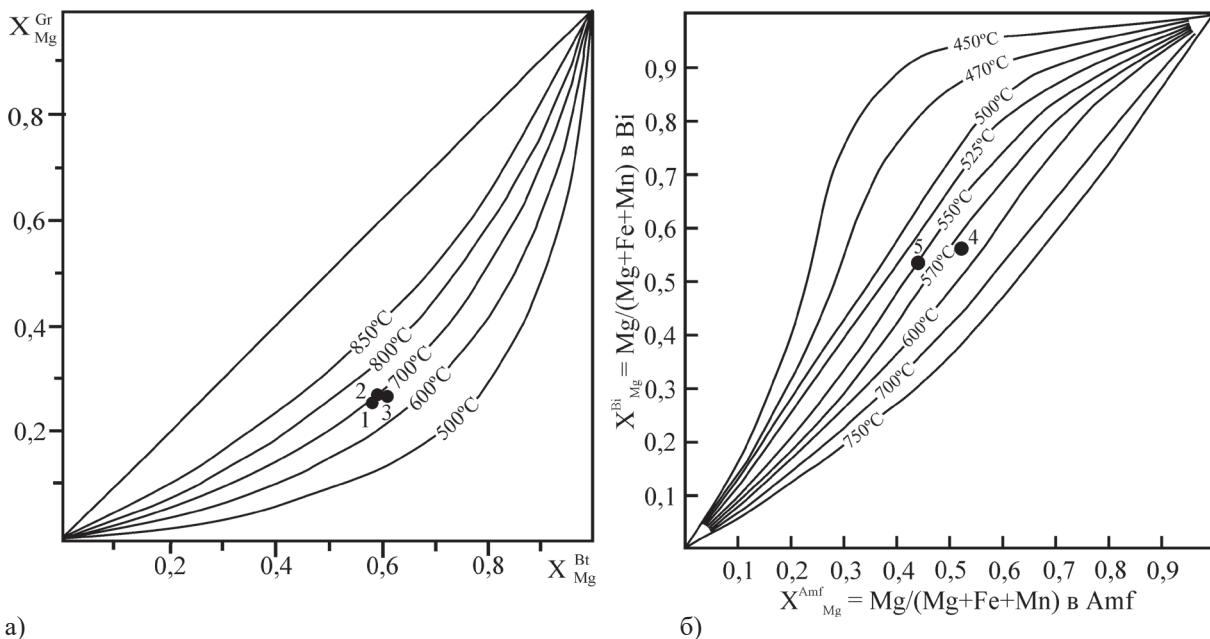
Минерал	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Сумма	X <sub>Mg</sub> <sup>Bi,Gr</sup>
Bi-1	37,07	2,60	16,44	18,29	0,28	—	14,59	0,25	8,39	97,91	0,58
Gr-1	38,50	—	22,03	26,41	3,39	4,40	5,75	—	—	100,48	0,26
Bi-2	38,42	1,76	16,80	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
Bi-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
Bi-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
Bi-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

Bi-1 — (K<sub>0,79</sub>Na<sub>0,04</sub>)<sub>0,83</sub>(Mg<sub>1,59</sub>Fe<sub>1,12</sub>Mn<sub>0,02</sub>Ti<sub>0,14</sub>Al<sub>0,13</sub>)<sub>3</sub>(Si<sub>2,72</sub>Al<sub>0,28</sub>)<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>  
 Gr-1 — (Ca<sub>0,37</sub>Fe<sub>1,72</sub>Mg<sub>0,67</sub>Mn<sub>0,22</sub>)<sub>2,98</sub>Al<sub>2,02</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>12</sub>  
 Bi-2 — (K<sub>0,80</sub>Na<sub>0,03</sub>)<sub>0,83</sub>(Mg<sub>1,56</sub>Fe<sub>1,07</sub>Mn<sub>0,03</sub>Ti<sub>0,10</sub>Al<sub>0,24</sub>)<sub>3</sub>(Si<sub>2,80</sub>Al<sub>1,20</sub>)<sub>4</sub>O<sub>10</sub>[O<sub>0,07</sub>(OH)<sub>1,93</sub>]<sub>2</sub>  
 Gr-2 — (Ca<sub>0,36</sub>Fe<sub>1,71</sub>Mg<sub>0,72</sub>Mn<sub>0,22</sub>)<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>12</sub>  
 Bi-3 — (K<sub>0,87</sub>Na<sub>0,03</sub>)<sub>0,90</sub>(Mg<sub>1,47</sub>Fe<sub>0,96</sub>Mn<sub>0,01</sub>Ti<sub>0,12</sub>Al<sub>0,44</sub>)<sub>3</sub>(Si<sub>2,92</sub>Al<sub>1,08</sub>)<sub>4</sub>O<sub>10</sub>[O<sub>0,53</sub>(OH)<sub>1,47</sub>]<sub>2</sub>  
 Gr-3 — (Ca<sub>0,35</sub>Fe<sub>1,73</sub>Mg<sub>0,73</sub>Mn<sub>0,20</sub>)<sub>3,01</sub>Al<sub>1,99</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>12</sub>  
 Bi-4 — (Ca<sub>0,04</sub>K<sub>0,75</sub>Na<sub>0,01</sub>)<sub>0,80</sub>(Mg<sub>1,57</sub>Fe<sup>+2</sup><sub>0,86</sub>Mn<sub>0,01</sub>Fe<sup>+3</sup><sub>0,30</sub>Ti<sub>0,12</sub>Al<sub>0,13</sub>)<sub>3</sub>(Si<sub>2,94</sub>Al<sub>1,06</sub>)<sub>4</sub>O<sub>10</sub>[O<sub>0,43</sub>(OH,F)<sub>1,57</sub>]<sub>2</sub>  
 Amf-4 — (Ca<sub>1,73</sub>K<sub>0,23</sub>Na<sub>0,50</sub>)<sub>2,46</sub>(Mg<sub>2,57</sub>Fe<sup>+2</sup><sub>1,45</sub>Mn<sub>0,05</sub>Fe<sup>+3</sup><sub>0,77</sub>Ti<sub>0,08</sub>Al<sub>0,08</sub>)<sub>5</sub>(Si<sub>6,66</sub>Al<sub>1,34</sub>)<sub>8</sub>O<sub>22</sub>[O<sub>0,86</sub>(OH,F)<sub>1,14</sub>]<sub>2</sub>  
 Bi-5 — (Ca<sub>0,07</sub>K<sub>0,80</sub>Na<sub>0,05</sub>)<sub>0,92</sub>(Mg<sub>1,51</sub>Fe<sup>+2</sup><sub>0,87</sub>Mn<sub>0,03</sub>Fe<sup>+3</sup><sub>0,39</sub>Ti<sub>0,12</sub>Al<sub>0,08</sub>)<sub>3</sub>(Si<sub>2,94</sub>Al<sub>1,06</sub>)<sub>4</sub>O<sub>10</sub>[O<sub>0,64</sub>(OH,F)<sub>1,36</sub>]<sub>2</sub>  
 Amf-5 — (Ca<sub>1,79</sub>K<sub>0,30</sub>Na<sub>0,57</sub>)<sub>2,67</sub>(Mg<sub>2,13</sub>Fe<sup>+2</sup><sub>1,62</sub>Mn<sub>0,07</sub>Fe<sup>+3</sup><sub>0,89</sub>Ti<sub>0,10</sub>Al<sub>0,19</sub>)<sub>5</sub>(Si<sub>6,47</sub>Al<sub>1,53</sub>)<sub>8</sub>O<sub>22</sub>[O<sub>0,80</sub>(OH,F)<sub>1,20</sub>]<sub>2</sub>

*Примечание:* пары Bi-1, Gr-1; Bi-2, Gr-2 и Bi-3, Gr-3 — отобраны из порфировидных гранитов II фазы (данные авторов); пары Bi-4, Amf-4 и Bi-5, Amf-5 — соответственно из монцогаббро и монцодиорита (данные Г.Б. Ферштатера и др. [2]). В составе Bi-4, Bi-5, Amf-4, Amf-5 установлены: H<sub>2</sub>O (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 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (5,27 %; 6,79 %; 6,86 % и 7,79 %). В таблице для Bi-4, Amf-4, Bi-5 и Amf-5 указана сумма FeO и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

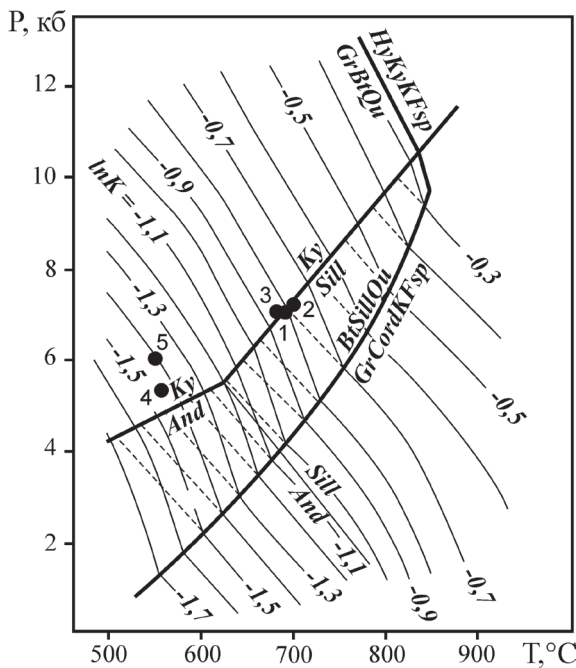
(точка 4) и T = 550 °C, X<sub>Mg</sub><sup>Bi</sup> = 0,54 (точка 5) выносим на диаграмму X<sub>Mg</sub><sup>Bi</sup> — X<sub>Mg</sub><sup>Gr</sup> (см. рисунок 3, а) и получаем вначале величины X<sub>Mg</sub><sup>Gr</sup> = 0,14 (точка 4) и X<sub>Mg</sub><sup>Gr</sup> = 0,13 (точка 5), а затем X<sub>Mg</sub><sup>Gr</sup>/X<sub>Mg</sub><sup>Bi</sup> = 0,246, lnX = -1,4 (точка 4)

и X<sub>Mg</sub><sup>Gr</sup>/X<sub>Mg</sub><sup>Bi</sup> = 0,241, lnX = -1,42 (точка 5). Эти данные, вынесенные на диаграмму T lnK (рисунок 4), приводят к расчету давления для точки 4 равного 5,4 кбар, для точки 5 — 6,0 кбар.



а) 500–800 — изограды температур образования гранат-биотитовой и амфибол-биотитовой ассоциаций, °C (точки 1–5, см. таблицу 2)

**Рисунок 3.** Диаграммы фазового соответствия X<sub>Mg</sub><sup>Gr</sup> — X<sub>Mg</sub><sup>Bi</sup> (а) и X<sub>Mg</sub><sup>Amf</sup> — X<sub>Mg</sub><sup>Bi</sup> (б) [10] для определения P-T условий формирования пород Кисегачского массива



Поля минералов: And — андалузит, Ку — кианит, Sill — силлиманит, Bi — биотит, Gr — гранат, Cord — кордиерит, KFsp — калиевый полевой шпат, Qu — кварц, Ну — гиперстен

**Рисунок 4.** Диаграмма P-T для определения давления по T и lnK [11] в породах Кисегачского массива (точки 1–5, см. таблицу 2)

**Выводы**

Кисегачский массив сложен в основном гнейсовидными биотитовыми гранитами I фазы, заметно меньше граносиенитами и порфиroidными 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. рисунок 1) [1] в состав мигматит-гранитной формации, получены низкие температуры образования (510–540 °C) [14], указывающие на их метасоматическую природу, можно с большой долей уверенности исключить магматический генезис и для гнейсовидных гранитов рассматриваемого нами массива.

Полученные результаты температур и давления по биотит-гранатовому термобарометру следует интерпретировать как физико-химические условия кристаллизации порфиroidных гранитов (T = 680–700 °C, P = 7,1–7,4 кбара), а по биотит-амфиболовому — этап регионального метаморфизма монцогаббро и монцодиритов (T = 550–575 °C, P = 5,4–6,0 кбар) в условиях эпидот-амфиболитовой фации [11].

Примечательно, что полученные нами ранее температуры, давления и фация регионального метаморфизма 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 [15]. 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.

*Работа выполнена в рамках Государственного задания ИГ УФИЦ РАН, тема № 0246-2019-0078.*

**СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Пермяков Б.Н. Кисегачский гранитный массив (Южный Урал). Миасс: ИГЗ УрО РАН, 1999. 224 с.
2. Ферштатер Г.Б., Бородин Н.С., Рапопорт М.С., Осипова Т.А., Смирнов В.Н., Левин В.Я. Орогенный гранитоидный магматизм Урала. Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, 1994. 250 с.
3. Петров В.И., Шалагинов А.Э., Пунегов Б.Н. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200000. 2-е изд. Серия Южно-уральская. Лист N-41-VII (Миасс). Объяснительная записка. М.: Московский филиал ФГУП «ВСЕГЕИ», 2003. 167 с.
4. Рыкус М.В., Сначёв В.И., Кузнецов Н.С., Савельев Д.Е., Бажин Е.А., Сначёв А.В. Рудоносность

- дунит-гарцбургитовой и черносланцевой формаций пограничной зоны между Южным и Средним Уралом // Нефтегазовое дело. 2009. Т. 7. № 2. С. 17–27.
5. Сначёв А.В., Сначёв В.И., Рыкус М.В. Перспективы рудоносности углеродистых отложений западного обрамления Суундукского гранитного массива // Нефтегазовое дело. 2010. Т. 8. № 2. С. 11–20.
6. Бушляков И.Н., Калеганов Б.А., Краснобаев А.А. Новые данные изотопного датирования гранитоидов и метаморфитов Ильменогорского комплекса // Ежегодник-1993: сб. тр. Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, 1994. С. 107–110.
7. Ронкин Ю.Л., Бушляков И.Н., Акгун Ф., Лепихина О.П. K-Ar и Rb-Sr изотопная систематика гранитоидов Кисегачского массива Ильменогорского ком-

плекса // Гранитоидные вулканоплутонические ассоциации: тез. докл. всеросс. совещания. Сыктывкар: ИГ КНЦ РАН, 1997. С. 44–46.

8. Кононова В.А., Донцова Е.И., Кузнецова Л.Д. Изотопный состав кислорода и стронция Ильмено-Вishневогорского щелочного комплекса и вопросы генезиса миаскитов // Геохимия. 1979. № 12. С. 1784–1795.

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

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

11. Глебовицкий В.А., Другова Г.М., Екимов С.П. Термо- и барометрия метаморфических пород. Л.: Наука, 1977. 207 с.

12. 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.

13. Колман Р.Г., Донато М.М. Еще раз об океанических плагиогранитах // Трондъемиты, дациты и связанные с ними породы / Под ред. Ф. Баркера. М.: Мир, 1983. С. 118–130.

14. Сначёв В.И., Сначев А.В., Рыкус М.В. Геология и Физико-химические условия формирования гранитоидов Чашковского массива и их металлогеническая специализация // Нефтегазовое дело. 2019. Т. 17. № 2. С. 33–41. DOI: 10.17122/ngdelo-2019-2-33-41.

15. Сначёв В.И., Муркин В.П. Новые данные по магматизму, метаморфизму и металлогении Кочкарской площади (Южный Урал). Уфа: БНЦ УрО АН СССР, 1989. 23 с.

## REFERENCES

1. Permyakov B.N. *Kisegachskii granitnyi massiv (Yuzhnyi Ural)* [Kisegach Granite Massif (South Ural)]. Miass, IGZ UrO RAN Publ., 1999. 224 p. [in Russian].

2. Fershtater G.B., Borodina N.S., Rapoport M.S., Osipova T.A., Smirnov V.N., Levin V.Ya. *Orogennyi granitoidnyi magmatizm Urala* [Orogenic Granitoid Magmatism of the Urals]. Ekaterinburg, IGG UrO RAN Publ., 1994. 250 p. [in Russian].

3. Petrov V.I., Shalaginov A.E., Punegov B.N. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. Masshtab 1:200000. 2-e izd. Seriya Yuzhnoural'skaya. List N-41-VII (Miass). Ob»yasnitel'naya zapiska* [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:200000. 2nd Ed. Yuzhnouralskaya Series. Sheet N-41-VII (Miass). Explanatory Letter]. Moscow, Moskovskii filial FGUP «VSEGEI» Publ., 2003. 167 p. [in Russian].

4. Rykus M.V., Snachev V.I., Kuznetsov N.S., Savelev D.E., Bazhin E.A., Snachev A.V. Rudonosnost' dunit-gartsburgitovoi i chernoslantsevoi formatsii pogranichnoi zony mezhdz Yuzhnyim i Srednim Uralom [Ore Mineralization of Dunite-Harzburgite and Black Shale Formations in a Transitional Area between the South and Middle Urals]. *Neftgazovoe delo — Petroleum Engineering*, 2009, Vol. 7, No. 2, pp. 17–27. [in Russian].

5. Snachev A.V., Snachev V.I., Rykus M.V. Perspektivy rudonosnosti uglerodistykh otlozhenii zapadnogo obramleniya Suundukskogo granitnogo massiva [Prospects for Ore Mineralization of Carbonaceous Deposits in the Western

Border of Suunduksky Granitic Massif]. *Neftgazovoe delo — Petroleum Engineering*, 2010, Vol. 8, No. 2, pp. 11–20. [in Russian].

6. Bushlyakov I.N., Kaleganov B.A., Krasnobaev A.A. Novye dannye izotopnogo datirovaniya granitoidov i metamorfитov Il'menogorskogo kompleksa [New Data of Isotope Dating of Granitoids and Metamorphites of the Ilmenogorsk Complex]. *Sbornik trudov «Ezhegodnik-1993»* [Collection of Works «Yearbook-1993»]. Ekaterinburg, IGG UrO RAN Publ., 1994, pp. 107–110. [in Russian].

7. Ronkin Yu.L., Bushlyakov I.N., Akgun F., Lepikhina O.P. K-Ar i Rb-Sr izotopnaya sistematika granitoidov Kisegachskogo massiva Il'menogorskogo kompleksa [K-Ar and Rb-Sr Isotope Systematics of Granitoids of the Kisegach Massif of the Ilmenogorsk Complex]. *Tezisy dokladov Vserossiiskogo soveshchaniya «Granitoidnye vulkano-plutonicheskie assotsiatsii»* [Abstracts of the Reports of the All-Russian Meeting «Granitoid Volcano-Plutonic Associations»]. Syktyvkar, IG KNTs RAN Publ., 1997, pp. 44–46. [in Russian].

8. Kononova V.A., Dontsova E.I., Kuznetsova L.D. Izotopnyi sostav kislороda i strontsiya Il'menovishnevogorskogo shchelochnogo kompleksa i voprosy genезisa miaskitov [Oxygen and Strontium Isotopic Composition of the Ilmeno-Vishnevogorsk Alkaline Complex and Questions of the Genesis of Miaskites]. *Geokhimiya — Geochemistry International*, 1979, No. 12, pp. 1784–1795. [in Russian].

9. Borneman-Starynkevich I.D. *Rukovodstvo po raschetu formul mineralov* [Mineral Formula Calculation Guide]. Moscow, Nauka Publ., 1964. 224 p. [in Russian].

10. Perchuk L.L., Ryabchikov I.D. *Fazovoe sootvetstvie v mineral'nykh sistemakh* [Phase Matching in Mineral Systems]. Moscow, Nedra Publ., 1976. 287 p. [in Russian].

11. Glebovitskii V.A., Drugova G.M., Ekimov S.P. *Termo- i barometriya metamorficheskikh porod* [Thermo- and Barometry of Metamorphic Rocks]. Leningrad, Nauka Publ., 1977. 207 p. [in Russian].

12. Snachev A.V., Puchkov V.N., Snachev V.I., Savelev D.E., Bazhin E.A. Bol'shakovskii gabbrovyy massiv fragment Yuzhno-Ural'skoi zony rannekamennougol'nogo rифта [Bol'shakovskii Gabbro Massif as a Fragment of the Southern Urals Zone of Early Carboniferous Rift]. *Doklady Akademii nauk — Doklady Akademii Nauk*, 2009, Vol. 429, No. 1, pp. 79–81. [in Russian].

13. Kolman R.G., Donato M.M. Eshche raz ob okeanicheskikh plagiogranitakh [Once Again about Oceanic Plagiogranites]. *Trond'emity, datsity i svyazannye s nimi porody* [Trondhjemites, Dacites and Related Rocks]. Moscow, Mir Publ., 1983. pp. 118–130. [in Russian].

14. Snachev V.I., Snachev A.V., Rykus M.V. Geologiya i fiziko-khimicheskie usloviya formirovaniya granitoidov Chashkovskogo massiva i ikh metallogenicheskaya spetsializatsiya [Geology and Physical and Chemical Conditions of Chashkovsky Massif Granitoids Formation and their Metallogenic Specialization]. *Neftgazovoe delo — Petroleum Engineering*, 2019, Vol. 17, No. 2, pp. 33–41. DOI: 10.17122/ngdelo-2019-2-33-41. [in Russian].

15. 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 Kochkar Area (South Urals)]. Ufa, BNTs UrO AN SSSR Publ., 1989. 23 p. [in Russian].



СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ  
ABOUT THE AUTHORS

**Сначёв Владимир Иванович**, д-р геол.-минерал. наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт геологии УФИЦ РАН. г. Уфа, Российская Федерация

*Vladimir I. Snachev, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Chief Researcher, Institute of Geology, UFRS RAS, Ufa, Russian Federation*

*e-mail: SAVant@inbox.ru*

**Сначёв Александр Владимирович**, канд. геол.-минерал. наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией рудных месторождений, Институт геологии УФИЦ РАН г. Уфа, Российская Федерация

*Aleksandr V. Snachev, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, Head of Ore Field Laboratory, Institute of Geology, UFRS RAS, Ufa, Russian Federation*

*e-mail: SAVant@rambler.ru*

**Рыкус Михаил Васильевич**, канд. геол.-минерал. наук, доцент кафедры «Геология и разведка нефтяных и газовых месторождений», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

*Mikhail V. Rykus, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Assistant Professor of Geology and Exploration of Oil and Gas Field Department, USPTU, Ufa, Russian Federation*

*e-mail: rykusmihail@mail.ru*