

А.И. Иванов, М.С. Иванов, Е.Е. Лоскутов, А.И. Журавлев, В.Ф. Тимофеев
 Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, г. Якутск, Россия
 E-mail: Leps_2002@mail.ru
 E-mail: Ivanov.michil@bk.ru
 E-mail: brannerit@mail.ru
 E-mail: Ai.zhuravlevgeo@gmail.com
 E-mail: vf_timofeev@mail.ru

ПЕТРОГРАФИЯ И ПЕТРОХИМИЯ МЕЗОЗОЙСКИХ МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЭВОТИНСКОГО РУДНОГО РАЙОНА (ЮЖНАЯ ЯКУТИЯ, АЛДАНСКИЙ ЩИТ)

Аннотация. В работе рассматриваются петрографический и петрохимический составы мезозойских магматических пород Михайловского массива и малых тел. Изученные магматические образования пространственно расположены в северо-восточной части Эвотинского рудного района центральной части Нимнырского террейна. Несмотря на то, что в пределах Центрально-Алданского рудного района большинство золоторудных месторождений (Рябиновое, Самолазовское и др.) связаны с многостадийным мезозойским магматизмом, в пределах Хохойского рудного узла (Верхне-Амгинский рудный район) подобные золотосульфидные рудопроявления сопряжены с группой мезозойских однофазовых массивов сиенитов и монцонитов. При полевых работах, авторами было установлено, что образования пород Михайловского массива, происходило в один этап внедрения. На основе изучения фондовой и специализированной литературы, авторами сделан вывод о незначительной изученности последнего, равно как и малых тел рассматриваемой территории. По результатам проведенных исследований, сделаны основные выводы: по различным классификационным данным породы Михайловского массива сложены кварцевыми монцонитами и близки к породам как высококальциевой известково-щелочной, так и большей мере к шошонитовой петрохимической сериям. Образования силла относятся к кварцевым монцонитам высококальциевой известково-щелочной петрохимической серии. Малые тела даек сложены кварцевыми сиенитами и в большей мере отвечают породам шошонитовой петрохимической серии магматических пород. Отношение к шошонитовой серии пород массива Михайловский, а также тел даек сиенитов предполагает мантийную природу образующих их расплавов. По проведенным исследованиям выдвинута последовательность внедрения магматических пород, от образований массива Михайловский до внедрения тел даек сиенитов. На основе петрохимического анализа, а также по схожести с массивами сиенитов и монцонитов Лебединского монцонит-сиенит-гранитового комплекса Верхне-Амгинского рудного района выдвинуто предположение о потенциальной рудоносности последнего.

Ключевые слова: Эвотинский рудный район, массив Михайловский, силл, дайки, кварцевые монцониты, сиениты, петрография, петрохимия, химический состав, классификация.

A.I. Ivanov, M.S. Ivanov, E.E. Loskutov, A.I. Zhuravlev, V.F. Timofeev
 Diamond and Precious Metal Geology Institute, SB RAS, Yakutsk, Russia
 E-mail: Leps_2002@mail.ru
 E-mail: Ivanov.michil@bk.ru
 E-mail: brannerit@mail.ru
 E-mail: Ai.zhuravlevgeo@gmail.com
 E-mail: vf_timofeev@mail.ru

PETROGRAPHY AND PETROCHEMISTRY OF MESOZOIC IGNEOUS ROCKS IN THE NORTHEASTERN PART OF THE EVOTA ORE REGION (SOUTH YAKUTIA, ALDAN SHIELD)

Abstract. The paper considers the petrographic and petrochemical compositions of the Mesozoic igneous rocks of the Mikhailovsky massif and small bodies. The studied igneous formations are spatially located in the

northeastern part of the Evota ore region in the central part of the Nimnyr terrane. Despite the fact that within the Central Aldan ore region, most of the gold ore deposits (Ryabinovoye, Samolazovskoye, etc.) are associated with multi-stage Mesozoic magmatism, within the Khokhoi ore cluster (Verkhne-Amginsky ore region), such gold sulfide ore occurrences are associated with a group of Mesozoic single-phase massifs syenites and monzonites. During fieldwork, the authors found that the formation of rocks of the Mikhailovsky massif occurred in one stage of intrusion. Based on the study of stock and specialized literature, the authors concluded that the latter, as well as small bodies of the territory under consideration have been little studied. Based on the results of the studies, the main conclusions were drawn: according to various classification data, the rocks of the Mikhailovsky massif are composed of quartz monzonites and are close to rocks of both high-potassium calc-alkaline and, to a greater extent, shoshonitic petrochemical series. The sill formations belong to quartz monzonites of the high-potassium calc-alkaline petrochemical series. Small dike bodies are composed of quartz syenites and mostly correspond to rocks of the shoshonitic petrochemical series of igneous rocks. The relation to the shoshonite series of the rocks of the Mikhailovsky massif, as well as the bodies of the syenite dikes, suggests the mantle nature of the melts that form them. Based on the studies carried out, a sequence of intrusion of igneous rocks has been put forward, from the formations of the Mikhailovsky massif to the intrusion of syenite dike bodies. Because of petrochemical analysis, as well as similarity with the massifs of syenites and monzonites of the Lebedinsky monzonite-syenite-granite complex of the Verkhne-Amga ore region, an assumption was made about the potential ore content of the latter.

Keywords: Evota ore region, Mikhailovsky massif, sill, dikes, quartz monzonites, syenites, petrography, petrochemistry, chemical composition, classification.

Введение

Проблемы определения металлогенической специализации магматических пород рудных районов всегда актуальны, решение последних, приводит к различным выводам и заключениям многих специалистов [1–8]. Одним из ключевых моментов в решении этих проблем является комплексное изучение отдельно взятых объектов – в частности выявление особенностей петрографического и петрохимического составов магматических пород во взаимосвязи с условиями образования и металлогенической оценки последних, позволяющих получить объективную картину по решению этих проблем.

В пределах Эвотинского рудного района, пространственно расположенного в центральной части Нимнырского террейна (рис. 1), помимо многостадийных магматических массивов сиенит-монзонитовой формации (Эвотинского, Медведевского, Таежного [9, 10]), образованных в период мезозойской тектоно-магматической активизации [8, 11–12], сосредоточены выходы небольших штоков, одним из которых является Михайловский массив, а также многочисленные малые тела даек и силлов.

Несмотря на то, что в пределах Центрально-Алданского рудного района большинство золоторудных месторождений (Рябиновое, Самолазовское и др.) связаны с многостадийным мезозойским магматизмом [8, 11 – 26], в пределах Хохойского рудного узла (Верхне-Амгинский рудный район) подобные золотосульфидные рудопроявления сопряжены с группой мезозойских однофазовых массивов сиенитов и монзонитов [27]. При полевых работах, авторами было установлено, что образования пород Михайловского массива, происходило в один этап внедрения (рис. 2). На основе изучения фондовой и специализированной литературы, авторами сделан вывод о незначительной изученности последнего, равно как и малых тел рассматриваемой территории. С этой позиции, основополагающей и фундаментальной целью нашей работы, является установление петрографических и петрохимических характеристик слагающих пород Михайловского массива и малых тел, а также выявления их возможной металлогенической специализации.

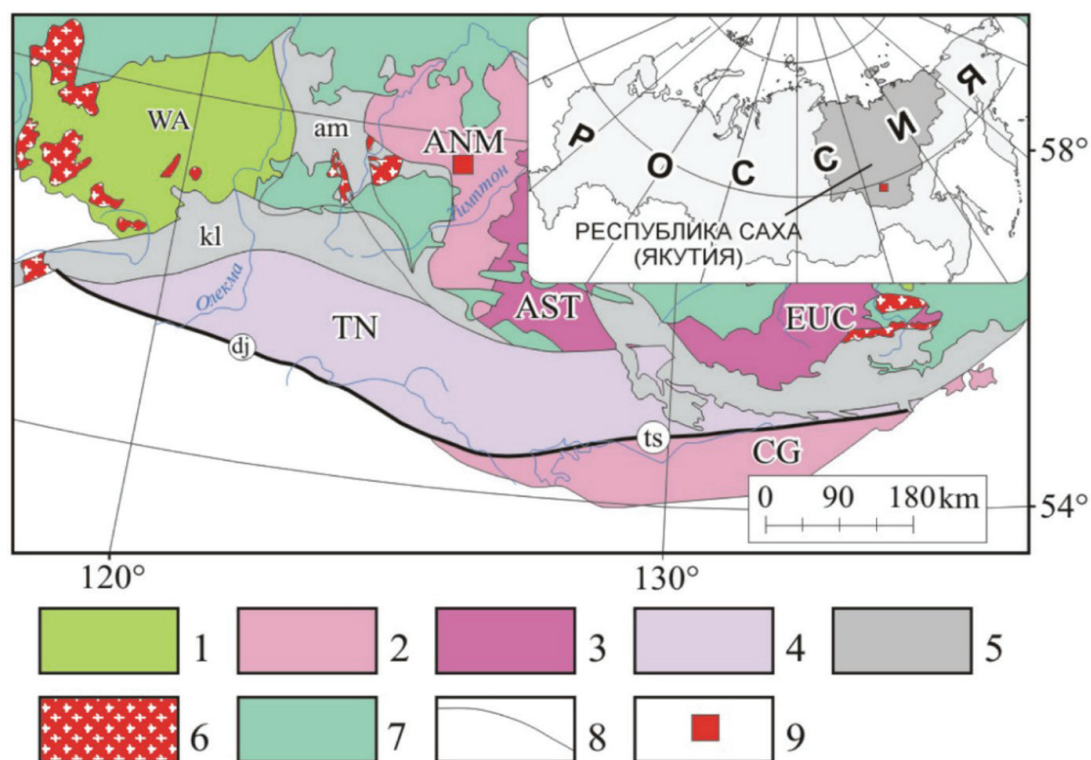


Рис. 1. Тектоническая схема Алданского щита [15]

1 – гранит-зеленокаменные террейны (WA – Западно-Алданский, BT – Батомгский); 2 – гранулит-ортогнейсовые террейны (ANM – Нимнырский, CG – Чогарский); 3 – гранулит-парагнейсовые террейны (AST – Сутамский, EUC – Учурский); 4 – Тоналит-трондьемит-гнейсовые террейны (TN – Тыдинский); 5 – Зоны тектонического меланжа (am – Амгинская, kl – Каларская, tr – Тыркандинская); 6 – сшивающие раннепротерозойские граниты; 7 – чехол Сибирской платформы; 8 – разломы (dj – Джелтулакский, ts – Таксакандинский); 9 – район работ.

Fig. 1. Tectonic scheme of the Aldan shield [15]

1 – granite-greenstone terranes (WA – West Aldan, BT – Batomga); 2 – granulite-orthogneiss terranes (ANM – Nimnyr, CG – Chogar); 3 – granulite-paragneiss terranes (AST – Sutam, EUC – Uchur); 4 – tonalite-trondhjemite-gneiss terranes (TN – Tyndinsky); 5 – zones of tectonic melange (am – Amga, kl – Kalar, tr – Tyrkanda); 6 – Early Proterozoic granites; 7 – cover of the Siberian platform; 8 – faults (dj – Dzheltulaksky, ts – Taksakandinsky); 9 – thrusts (sm – Seimsky), 10 – study area.

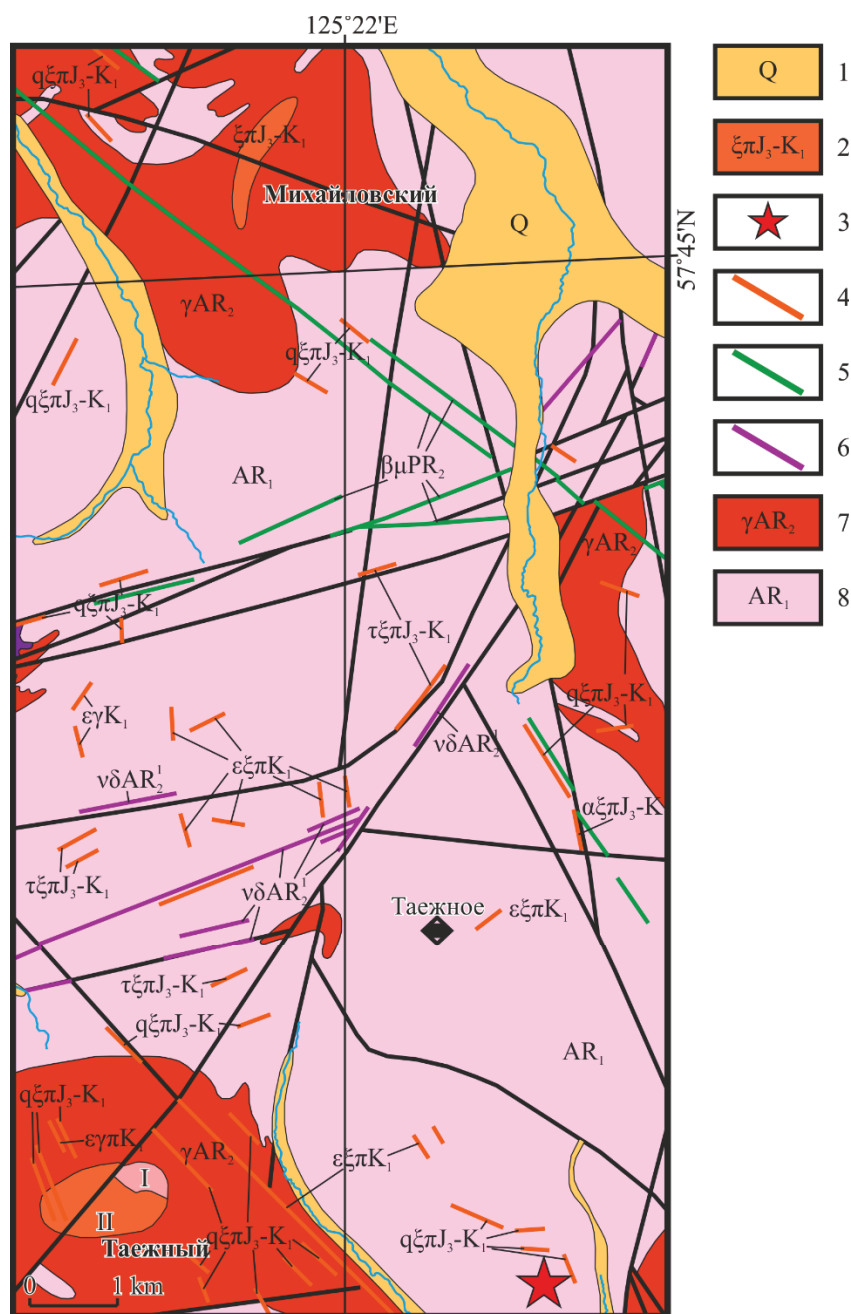


Рис. 2. 1 – четвертичные отложения; 2 – сиенит-порфиры Михайловского и Таежного массивов; 3 – силл; Дайки: 4 – мезозойских сиенитов, 5 – протерозойских диабазов, 6 – архейских пироксеновых метакорнблендитов; 7 – позднеархейские граниты и гранито-гнейсы, нерасчлененные; 8 – породы докембрийского фундамента

Fig. 2. 1 – Quaternary deposits; 2 – syenite-porphyrates of the Mikhailovsky and Taehzhny massifs; 3 – sill; Dikes: 4 – Mesozoic syenites, 5 – Proterozoic diorites, 6 – Archean pyroxene metagranitoides; 7 – Late Archean granites and granite-gneisses, poorly defined; 8 – rocks of the Precambrian basement

Материалы и аналитические методы

Изучение петрографического состава, рассматриваемых магматических мезозойских пород было произведено с помощью поляризационного микроскопа МИН-8 (фирма изготовитель JSC ЛОМО, Санкт Петербург, Россия) в 40 прозрачных шлифах. Цветные фотографии шлифов различных масштабов, произведено на электронном микроскопе Olympus BX 50 (фирма изготовитель Carl Zeiss AG, Oberkochen, Germany), при увеличении X25, X40, X100, камера Zeiss Axio CamICc 3 (фирма изготовитель Leica, Wetzlar, Germany). Главные петроокислы (19 компонентов: SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , H_2O^+ , H_2O^- , P_2O_5 , CO_2 , $\text{S}_{\text{общ}}$, F, Cl, Li_2O , Rb_2O , весовые %) магматических образований были определены методом силикатного анализа (Галенчиковой Л.Т.) в отделе ФХМА ИГАБМ СО РАН (г. Якутск). Общее количество 40 проб.

Геология и петрография магматических образований

Темно-серые, розовато-серые сиениты Михайловского массива (рис. 2, 3 б), характеризуются однообразием состава. Контакты с вмещающими архейскими гранитами четкие, местами плавные, магматического характера. В эндоконтактовой части отмечаются метасоматиты

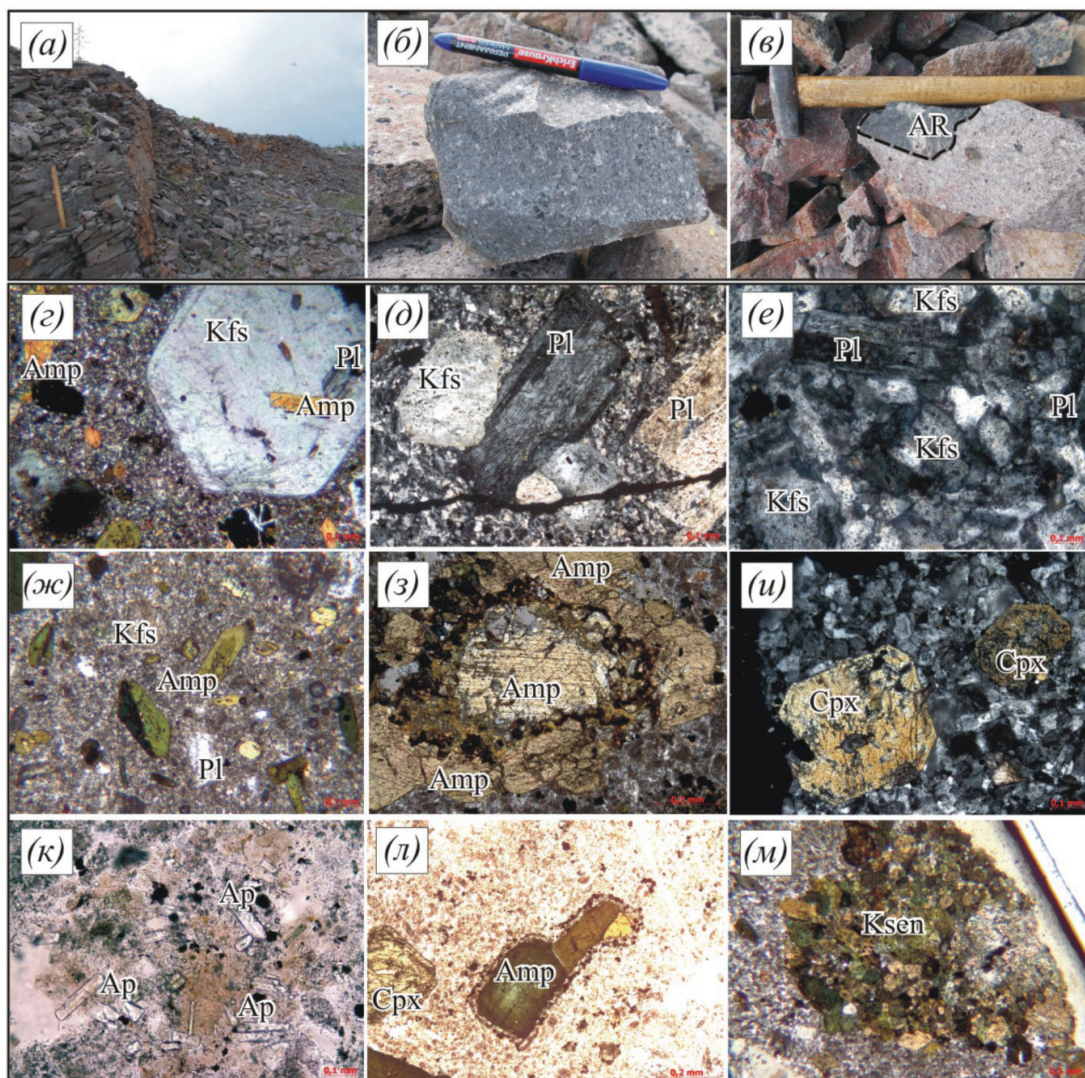


Рис. 3. Фото пород и шлифов магматических образований массива Михайловский.

а – ожелезненные породы массива; б – сиенит с мелкими ксенолитами вмещающих пород; в – ксенолит кристаллосланцев обломочного характера в сиените; г – шлиф И20-12/4, калиевый полевой шпат Kfs первой генерации с мелкими включениями роговой обманки Amp и олигоклаза Pl, увел. 10, николи+;

д – шлиф И20-12, зональный олигоклаз Pl первой генерации, увел. 40, николи+; е – шлиф И20-12, олигоклаз Pl поздней генерации, увел. 200, николи+; ж – шлиф И20-12/8, роговая обманка Amp сиенитов массива Михайловский, увел. 10, николи+; з – шлиф И20-17, моношир роговой обманки Amp, увел. 100, николи+; и – шлиф И20-12, основная масса магматических пород олигоклаз Pl и калиевый полевой шпат Ksp, увел. 100, николи+; к – шлиф И20-12/7, моноскопление апатита Ap, увел. 200, николи-; л – шлиф И20-12а, роговая обманка Amp с каймой опацизации, увел. 40, николи-; м – шлиф И20-12/7, ксенолит (Ksen) кристаллосланцев в породах массива, увел. 40, николи+. Здесь и далее сокращения минералов по [28]: Kfs – калиевый полевой шпат, Pl – плагиоклаз, Amp – амфибол, Cpx – пироксен, Ap – апатит.

Fig. 3. Photos of rocks and thin sections of igneous formations of the Mikhailovsky massif. a – ferruginous rocks of the massif; b – syenite with small xenoliths of host rocks; c – xenolith of detrital crystalline schists in syenite; d – thin section I20-12/4, Potassium feldspar Kfs of the first generation with small inclusions of hornblende Amp and oligoclase Pl, mag. 10x, nicols +; e – thin section I20-12, zoned oligoclase Pl of the first generation, mag. 40x, nicols +; f – thin section I20-12, late generation Pl oligoclase, mag. 200x, nicols +; g – thin section I20-12/8, Amp hornblende from syenites of Mikhailovsky massif, mag. 10x, nicols +; h – thin section I20-17, hornblende monoschire Amp, mag. 100x, nicols +; i – thin section I20-12, The main mass of igneous rocks is oligoclase Pl and potassium feldspar Ksp, mag. 100x, nicols +; j – thin section I20-12/7, apatite monoclast Ap, mag. 200x, nicols -; k – thin section I20-12a, Amp hornblende with an opacitization border, mag. 40x, nicols -; l – thin section I20-12/7, xenolith (Ksen) of crystalline schists in rocks of the massif, mag. 40x, nicols +. Hereinafter, the abbreviations of minerals according to [28]: Kfs – potassium feldspar, Pl – plagioclase, Amp – amphibole, Cpx – pyroxene, Ap – apatite

по прокварцованным гранитам. Стоит отметить, ориентированное расположение темноцветных минералов (роговая обманка, авгит) в сиенитах вдоль контактов с архейскими гранитами. В центральной части Михайловского массива выделяется значительная зона ожелезненных сиенитов, общая протяженность которой составляет 84 м (рис. 3 а), последняя к тому же интенсивно окварцована. Магматические образования массива несут в себе ксенолиты амфибол-гранатовых кристаллосланцев (рис. 3 б, в). Сиениты имеют порфировую структуру, обусловленную присутствием вкрапленников олигоклаза и роговой обманки в меньшей степени ортоклаза, а также массивную текстуру (рис. 3 г-з). Состав наименее измененных пород: калиевый полевой шпат (ортоклаз) 40 % (рис. 3 г), плагиоклаз (олигоклаз) 35 % (рис. 3 д, е), роговая обманка 15 % (рис. 3 ж, з), авгит 2 % (рис. 3 и), апатит 2 % (рис. 3 к), кварц 2 %, рудный минерал 4 % (рис. 3 л).

Породы *силла* изученного нами в карьере в 7 км на востоке от массива Таежный (рис. 2) представлены светло-серыми, сильно выветрелыми сиенитами. По пространственной ориентации (рис 4 а, б) последний является простым наклонным телом, южный контакт аз. пад. 230° Ё пад. 50°, аз. пад. 240° Ё пад. 60° северо-западный контакт аз. пад. 70°, Ё пад. 40°. Мощность силла 3-5 метров, контакты с вмещающими породами согласные, ярко выраженные, магматического характера. Породы сиенитов несут обильные ксенолиты кристаллосланцев разного размера (рис. 4 в, г). Порфировая структура, обусловлена вкрапленниками олигоклаза (рис. 4 д), для пород характерна массивная текстура. Минеральный состав наименее измененных разностей: калиевый полевой шпат (ортоклаз) – 10 %, плагиоклаз (олигоклаз) – 50 % (рис. 4 е), обыкновенная роговая обманка 10 % (рис. 4 ж), апатит – 1 % (рис. 4 з), измененные минералы и их продукты (серицит, карбонат, хлорит, опаци и т.д.) – 20 %, кварц – 3 %, рудные минералы – 6 %.

Малые тела *даек сиенитов* северо-западного, в большей мере северо-восточного простирания имеют наибольшее распространение на территории (рис. 2). Тела даек по площади распространены неравномерно, а на поверхности представлены либо отдельными развалами, либо высыпками (рис 5 а, б). В основном это темно-серые, мелкозернистые, сильно выветрелые разности. Образования даек характеризуются однотипным составом, в котором выделяются существенно полевошпатовые минеральные разности, с порфировой структурой (вкрапленники ортоклаза, олигоклаза и роговой обманки) и массивной текстурой, с труднодиагностируемой

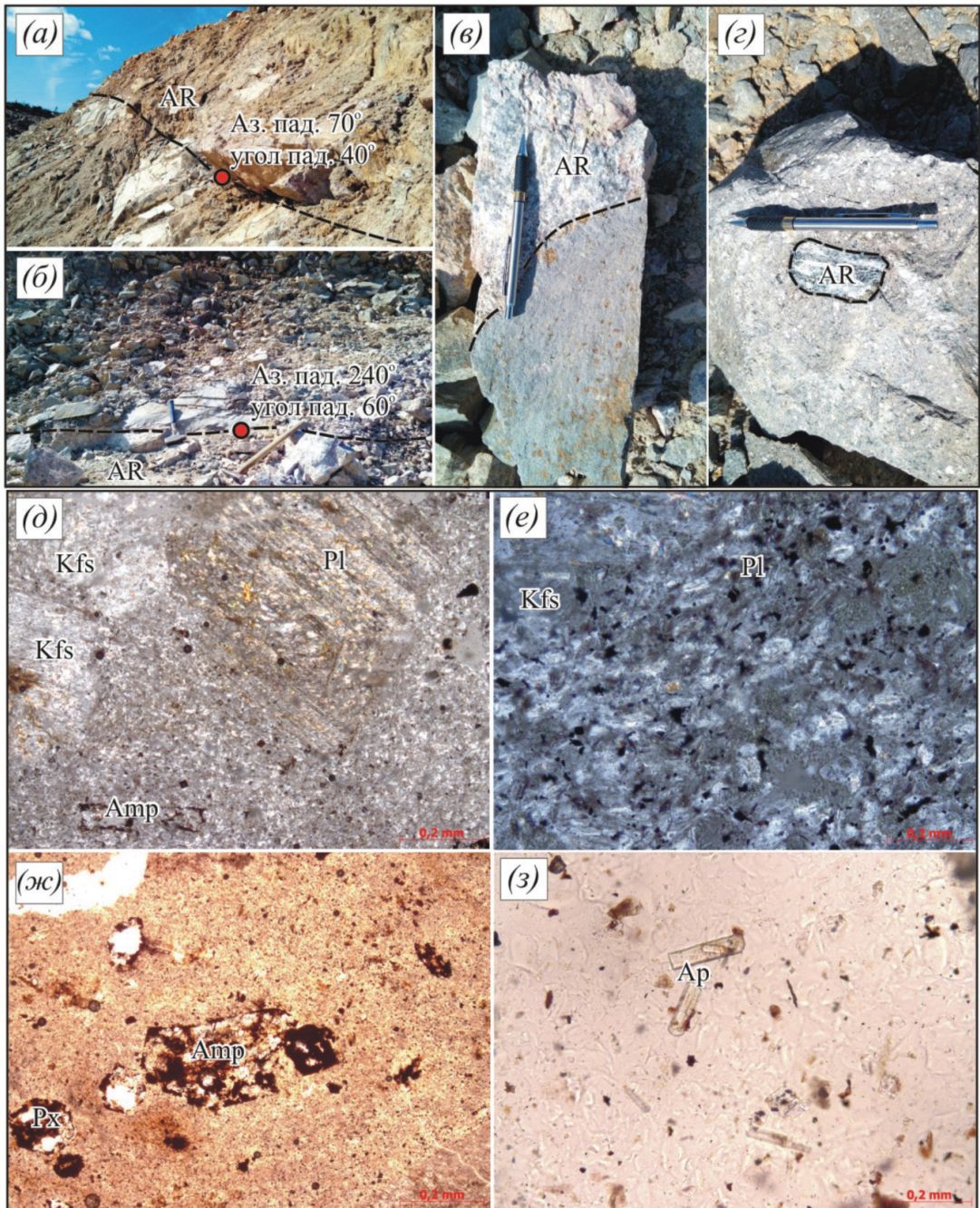


Рис. 4. Выходы пород силла:

а – северный склон, б – южный склон; в – контакт с архейскими вмещающими породами; г – ксенолиты кристаллосланцев в породах силла; д – шлиф И20-51, сильно измененные вкрапленники олигоклаза Pl и калиевого полевого шпата Kfs, увел. 10, николи+; е – основная масса, зерна олигоклаза Pl и ортоклаза Kfs поздних генераций, увел. 100, николи+; ж – сильно измененная роговая обманка Amp с развитым по ней рудным минералом, увел. 10, николи-; з – идиоморфные кристаллы апатита Ap в сиенитах силла, увел. 100, николи-.

Fig. 4. Outcrops of sill rocks:

а – northern slope, б – southern slope; в – contact with Archean host rocks; г – xenoliths in sill rocks; д – thin section I20-51, strongly altered phenocrysts of oligoclase Pl and potassium feldspar Kfs, mag. 10x, nicols +; е – groundmass, grains of oligoclase Pl and orthoclase Kfs of late generations, mag. 100x, nicols +; г – strongly altered Amp hornblende with an ore mineral developed after it, mag. 10x, nicols -; з – idiomorphic crystals of Ap apatite in syenites sill, mag. 100x, nicols -.

основной массой (рис. 5 в). Породы даек по вещественным особенностям идентичны таковым силла в карьере. Состав наименее измененных образований: калиевый полевой шпат (ортоклаз) – 15 % (рис. 5 г), плагиоклаз (олигоклаз) – 50 % (рис. 5 д), обыкновенная роговая обманка – 15 % (рис. 5 е), апатит – 1 % (рис. 5 ж), минералы подверженные вторичным изменениям и их продукты (серицит, карбонат, хлорит и т.д.) – 13 %, кварц, 2 %, рудные минералы – 4 %.

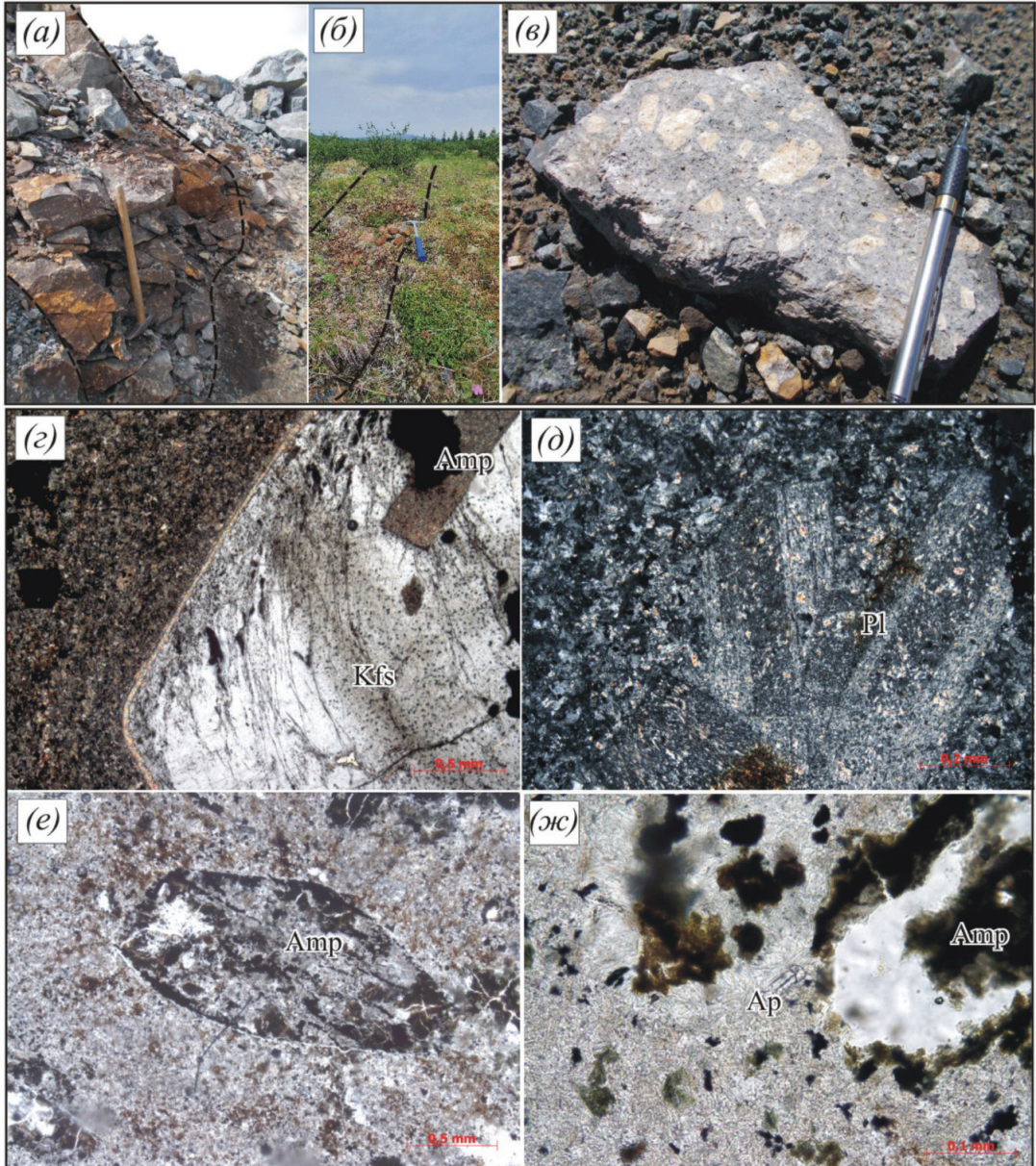


Рис. 5. а – выходы дайки сиенитов в карьере; б – развалы тел даек; в – образец сиенит-порфиров; г – шлиф И20-35, оплавленный вкрапленник калиевого полевого шпата Kfs с включением роговой обманки Amp, увел. 10, николи+; д – серицитизированный кристалл плагиоклаза Pl, увел. 40, николи+; е – измененный кристалл роговой обманки Amp увел. 40, николи+, ж – хлоритизированная роговая обманка Amp и идиоморфный кристалл апатита Ap в центральной части шлифа, увел. 40, николи+.

Fig. 5. а – outcrops of a syenite dike in a quarry; б – breakups of dike bodies; в – syenite-porphyry sample; д – thin section I20-35, melted Kfs phenocryst with inclusion of Amp hornblende, mag. 10x, nicols +; е – sericitized Pl plagioclase crystal, mag. 40x, nicols +; ф – modified hornblende crystal Amp mag. 40x, nicols +; г – chloritized hornblende Amp and euhedral apatite crystal Ap in the central part of the thin section, mag. 40x, nicols +.

Петрохимический состав магматических пород

Породы Михайловского массива по содержанию основных петрогенных окислов относятся к кварцевым монцонитам [29]. Суммарное содержание $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})<12$ в них отвечает умеренно щелочным породам 7,32-9,34 %, при преобладании K_2O 4,11-4,90 % над Na_2O 3,19-4,59 % (табл. 1). Породы характеризуются калиевым типом щелочности $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}<1$ и относятся к низко глиноземистой серии $al'=0,53-0,61$, коэффициент AG 0,60-0,85 (табл. 1). Согласно классификационной диаграмме $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})-\text{SiO}_2$ [30] породы массива относятся к монцонитам (рис. 6 а). Фигуративные точки составов пород массива на диаграмме R_1-R_2 [31] занимают промежуточное положение между монцонитами и кварцевыми монцонитами (рис. 6 б). По соотношению $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ [32] они близки породам как высококалиевой известково-щелочной, так и большей мере к шшонитовой петрохимической сериям (рис. 6 в).

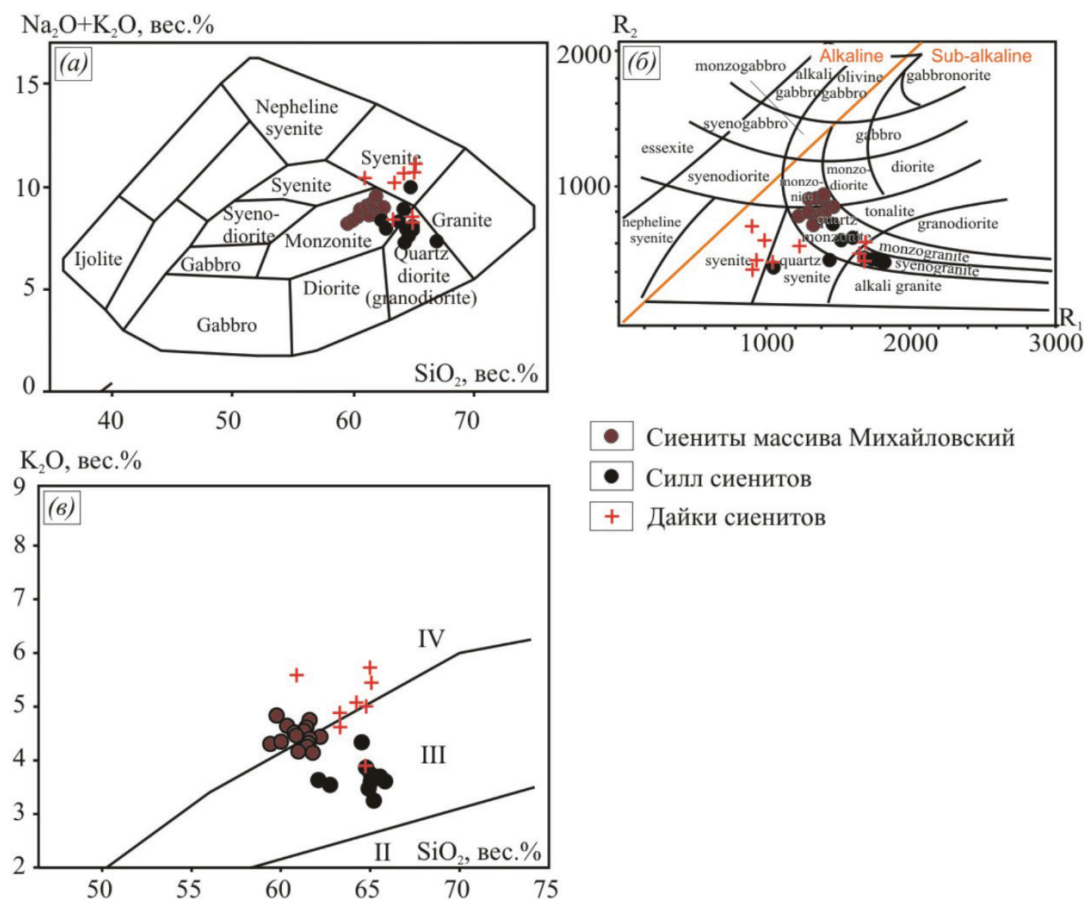


Рис. 6. Классификация магматических образований Михайловского массива и малых тел северной части Эвотинского рудного района: а – Диаграмма $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})-\text{SiO}_2$ [30]; б – Диаграмма (R_1-R_2) [31]. $R_1=4\text{Si}-11(\text{Na}+\text{K})$, $R_2=6\text{Ca}+2\text{Mg}+\text{Al}$; в – Диаграмма $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ [32]. Поля: I – низкокалиевая толеитовая, II – среднекалиевая известково-щелочная, III – высококалиевая известково-щелочная, IV – шшонитовая.

Fig. 6. Classification of igneous rocks of the Mikhailovsky massif and small bodies in the northern part of the Evota ore region: а – Diagram $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})-\text{SiO}_2$ [30]; б – Diagram (R_1-R_2) [31]. $R_1=4\text{Si}-11(\text{Na}+\text{K})$, $R_2=6\text{Ca}+2\text{Mg}+\text{Al}$; в – $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ diagram [32]. Fields: I – low-potassium tholeiite, II – medium-potassium calc-alkaline, III – high-potassium calc-alkaline, IV – shoshonite.

Таблица 1 – Петрохимический состав магматических пород массива Михайловский

Образец	И20-12/2	И20-12/3	И20-12/4	И20-12/7	И20-12/8	И20-13/2	И20-13/3	И20-13/4	И20-13/5	И20-17	И20-17/2	И20-17/3	И20-17/4	И20-17/5	И20-18
SiO ₂	61,9	59,66	61,2	60,6	61,51	62,18	61,56	60,4	61,73	62,52	61,76	61,86	61,36	61,3	59,91
TiO ₂	0,6	0,69	0,62	0,62	0,67	0,62	0,61	0,63	0,6	0,61	0,59	0,62	0,63	0,64	0,71
Al ₂ O ₃	15	15,04	16,15	15,74	15,79	15,69	15,65	15,32	15,76	15,78	15,75	15,82	15,7	16,13	14,69
Fe ₂ O ₃	2,71	3,07	2,96	2,88	2,39	2,95	2,97	2,84	3,71	3,15	3,41	3,32	2,76	3,66	4,76
FeO	3,2	4,28	2,97	3,39	3,54	2,92	3,13	4,38	2,53	2,84	2,64	2,72	3,33	2,87	3,55
MnO	0,08	0,11	0,08	0,09	0,08	0,08	0,08	0,09	0,07	0,07	0,08	0,08	0,09	0,07	0,09
MgO	1,88	2,33	1,63	1,83	1,69	1,77	2,07	1,83	1,9	1,3	1,82	1,84	1,73	1,89	2,04
CaO	3,68	4,79	4,08	4,45	3,92	4,03	3,16	4,7	4,01	3,75	3,85	4,45	4,57	3,9	4,4
Na ₂ O	4,59	3,74	4,02	4,11	4,17	4,45	4,48	4,14	4,26	4,36	4,41	3,99	4,14	3,19	3,2
K ₂ O	4,75	4,32	4,47	4,64	4,45	4,11	4,19	4,21	4,29	4,5	4,51	4,39	4,42	4,13	4,9
H ₂ O ⁻	0,08	0,1	0,08	0,02	0,02	0,2	0,28	0,3	0,32	0,3	0,24	0,38	0,24	0,62	0,4
H ₂ O ⁺	0,15	0,82	0,63	0,68	0,69	0,21	0,69	0,65	0,54	0,73	0,55	0,42	0,46	0,95	0,84
P ₂ O ₅	0,37	0,38	0,35	0,4	0,36	0,36	0,36	0,35	0,38	0,35	0,38	0,37	0,36	0,39	0,34
CO ₂	0,13	0,69	0,17	0,24	0,3	0	0	0,03	0	0	0	0	0	0	0
Li ₂ O	0,0019	0,0029	0,002	0,0013	0,0014	0,0014	0,0023	0,0018	0,0016	0,002	0,0016	0,0016	0,0015	0,0026	0,0015
Rb ₂ O	0,0091	0,0087	0,0096	0,0079	0,0085	0,0075	0,0082	0,0068	0,0069	0,0079	0,0069	0,0071	0,0072	0,0067	0,0084
S	0,01	0,01	0	0,02	0	0,06	0,03	0,05	0,03	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,07
F	0,12	0,06	0,06	0,13	0,11	0,11	0,09	0,09	0,11	0,09	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
Summa	99,26	100,10	99,48	99,85	99,70	99,75	99,36	100,02	100,25	100,42	100,16	100,42	99,95	99,89	100,02
Na+K	9,34	8,06	8,49	8,75	8,62	8,56	8,67	8,35	8,55	8,86	8,92	8,38	8,56	7,32	8,1
Na/K	0,96	0,86	0,89	0,88	0,93	1,08	1,06	0,98	0,99	0,96	0,97	0,90	0,93	0,77	0,65
al ⁺	0,57	0,53	0,61	0,56	0,60	0,59	0,66	0,53	0,60	0,61	0,60	0,57	0,55	0,67	0,55
AG	0,85	0,72	0,71	0,75	0,74	0,75	0,76	0,74	0,74	0,76	0,77	0,72	0,74	0,60	0,72

Таблица 1 – Петрохимический состав магматических пород силла

Образец	И20-50	И20-50/2	И20-51/2	И20-51/3	И20-51/4	И20-53	И20-53/2	И20-53/3	И20-54	И20-55	И20-55/2
SiO ₂	65,19	64,69	64,66	65,02	64,91	62,44	62,86	64,48	64,71	63,73	64,15
TiO ₂	0,46	0,41	0,47	0,5	0,52	0,51	0,51	0,51	0,42	0,47	0,57
Al ₂ O ₃	17,72	17,99	17,39	17,18	17,37	16,64	16,7	18,01	17,23	16,41	17,65
Fe ₂ O ₃	3,8	4,16	3,83	3,84	3,74	2,55	3,19	4,04	4,02	3,78	4,01
FeO	0,86	0,39	0,42	0,84	1,07	2,18	1,42	0,66	0,72	1,21	0,56
MnO	0,07	0,07	0,07	0,04	0,07	0,07	0,05	0,07	0,08	0,06	0,08
MgO	0,93	0,91	0,28	0,93	0,91	0,85	0,92	0,8	0,96	0,93	0,03
CaO	0,78	0,6	0,66	0,91	0,88	3,58	2,55	0,63	0,57	2,56	1,35
Na ₂ O	4,66	4,21	6,4	4,56	4,59	4,85	4,66	3,84	4,32	4,89	4,78
K ₂ O	3,44	3,78	3,69	3,62	3,15	3,57	3,4	3,38	3,73	3,55	4,29
H ₂ O ⁻	0,78	0,56	0,42	0,5	0,56	0,46	0,41	0,66	0,68	0,6	0,54
H ₂ O ⁺	1,63	1,81	0,58	1,16	1,7	0,59	1,5	2,03	1,51	0,92	1,33
P ₂ O ₅	0,22	0,21	0,23	0,3	0,23	0,22	0,22	0,17	0,2	0,22	0,18
CO ₂	0	0,08	0,15	0,6	0,17	1,74	1,47	0,26	0,26	0,26	0,17
Li ₂ O	0,0019	0,0025	0,0023	0,0016	0,0017	0,0019	0,0014	0,0018	0,0014	0,0014	0,0017
Rb ₂ O	0,0083	0,0105	0,0136	0,0082	0,008	0,0068	0,0067	0,0063	0,007	0,0074	0,0088
S	0,02	0,01	0,07	0,02	0,01	0	0,02	0,01	0,02	0,03	0,01
F	0,09	0,07	0,04	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,09	0,11	0,12
Summa	100,66	99,96	99,38	100,14	T	100,37	100,09	99,67	99,53	99,74	99,83
Na+K	8,1	7,99	10,09	8,18	7,74	8,42	8,06	7,22	8,05	8,44	9,07
Na/K	1,35	1,11	1,73	1,26	1,46	1,36	1,37	1,14	1,16	1,38	1,11
al'	1,25	1,36	1,03	1,17	1,23	0,67	0,81	1,47	1,30	0,77	1,01
AG	0,64	0,61	0,83	0,66	0,63	0,71	0,68	0,55	0,65	0,72	0,71

Таблица 3 – Петрохимический состав даек

Образец	И20-2/2	И20-4/2	И20-6	И20-22	И20-22А	И20-23В	И20-15	И20-23А	И20-23/2
SiO ₂	63,29	65,09	64,85	60,89	65,08	65,13	64,87	64,23	63,34
TiO ₂	0,66	0,33	0,56	0,5	0,52	0,51	0,55	0,48	0,55
Al ₂ O ₃	15,23	18,26	17,16	16,12	16,88	16,73	16,73	16,63	16,44
Fe ₂ O ₃	5,32	0,02	3,88	2,98	3,59	3,56	3,18	3,12	3,77
FeO	1,71	2,02	1,27	1,12	0,71	0,84	1,91	2,96	0,83
MnO	0,03	0,01	0,03	0,05	0,06	0,05	0,09	0,07	0,05
MgO	1,74	0,6	0,09	0,03	0	0	1,05	0,34	0
CaO	1,32	1,82	1,25	3,85	1,3	1,33	2,15	0,62	2,75
Na ₂ O	3,45	3,39	3,73	4,83	5,44	5,3	4,42	5,65	5,66
K ₂ O	4,89	7,81	5	5,6	5,73	5,45	3,9	5,05	4,59
H ₂ O ⁻	0,7	0,38	0,8	0,16	0,18	0,18	0,38	0,18	0,32
H ₂ O ⁺	0,67	0,14	0,69	0,64	0,28	0,11	1,29	0,35	0,68
P ₂ O ₅	0,37	0,25	0,17	0,2	0,21	0,21	0,2	0,2	0,21
CO ₂	0,1	0,05	0,12	2,76	0,47	0,8	0	0,58	0,85
Li ₂ O	0,0044	0,0023	0,0013	0,0035	0,0059	0,0057	0,0024	0,0049	0,004
Rb ₂ O	0,0101	0,0185	0,01	0,0099	0,0097	0,01	0,0082	0,009	0,0074
S	0,05	0,01	0	0,02	0,03	0,03	0	0,06	0,02
F	0,08	0,08	0,1	0,11	0,11	0,14	0,09	0,12	0,07
Summa	100	100,29	100,13	99,67	100,38	100,15	100,57	100,41	99,81
Na+K	8,34	11,2	8,73	10,43	11,17	10,75	8,32	10,7	10,25
Na/K	0,71	0,43	0,75	0,86	0,95	0,97	1,13	1,12	1,23
al'	1,49	4,16	3,81	4,52	5,12	4,83	2,62	2,36	4,59
AG	0,72	0,77	0,67	0,87	0,90	0,87	0,65	0,89	0,87

Примечание: $al' = Al / (2Ca + Na + K)$; $AG = (Na_2O + K_2O) / Al_2O_3$ молекулярные количества

Породы *силла* по содержанию основных петроокислов [29] относятся к кварцевым монцонитам. Суммарное содержание $(Na_2O + K_2O) < 12$ в них отвечает умеренно щелочным породам 7,22-10,09 %, при преобладании Na_2O 3,84-6,4 % над K_2O 3,15-4,29 % (табл. 2). Породы характеризуются калиево-натриевым типом щелочности $Na_2O/K_2O > 1$ и относятся к умеренно глиноземистой серии $al' = 0,67-1,36$, коэффициент AG 0,65-0,89 (табл. 2). На диаграмме $(Na_2O + K_2O) - SiO_2$, [30], фигуративные точки составов образований *силла* занимают промежуточное положение между монцонитами и кварцевыми диоритами (рис. 6 а). Соотношение составов $R_1 - R_2$ [31] в них варьирует от субщелочных кварцевых монцонитов до сиеногранитов (рис. 6 б). По соотношению $K_2O - SiO_2$ [32] (рис. 6 в) последние, относятся к высококалиевой известково-щелочной серии магматических пород.

Породы *даек* по химическому составу относятся к кварцевым сиенитам [29]. Суммарное содержание $(Na_2O + K_2O) < 12$ в них отвечает умеренно щелочным породам при преобладании K_2O 3,90-7,81 % над Na_2O 3,39-5,66 %. (табл. 3). Породы по отношению $0,6 < Na_2O/K_2O > 1$ характеризуются калиево-натриевым типом щелочности и относятся к весьма высокоглиноземистой серии $al' = 1,49-5,12$, коэффициент AG 0,67-0,90 (табл. 3). Породы *даек* на классификационной диаграмме $(Na_2O + K_2O) - SiO_2$ [30] в большей мере локализируются в поле сиенитов, незначительная часть – в монцонитах и кварцевых диоритах (рис. 6 а). Фигуративные точки составов на классификационной диаграмме $R_1 - R_2$ [31] занимают промежуточное положение между субщелочными сиенитами, кварцевыми сиенитами и сиеногранитами (рис. 6 б). По соотношению

K_2O-SiO_2 [32] в большей мере отвечают породам шошонитовой петрохимической серии магматических пород (рис. 6 в).

Обсуждения

По полевым и петрографическим наблюдениям выявлено, что магматические образования, участвующие в строение Михайловского массива представлены меланократовыми сиенит-порфирами, без видимых различий составов фаз внедрения или фациальных переходов. Наименее измененные породы массива по классификационным данным относятся к кварцевым монцонитам, близким породам как высококалиевой известково-щелочной, так и в большей степени к шошонитовой петрохимической сериям. Образования силла также сильно изменены что отражается на петрографическом и петрохимическом составах пород. По значительным вариациям последней породы силла занимают промежуточную позицию от монцонитов до диоритов, которые относятся только к высококалиевой известково-щелочной серии магматических пород. Породы даек по всем показателям относятся к кварцевым сиенитам, отвечающие – образованиям шошонитовой петрохимической серии. Все рассмотренные породы несут в себе значительное количество ксенолитов вмещающих пород чехла и фундамента, что скорее всего и отражается на разнообразии вариаций петрохимического состава.

Для кварцевых монцонитов Михайловского массива характерен калиевый тип щелочности $Na_2O/K_2O < 1$, тогда как для пород силла характерен калиево-натриевый тип щелочности, для сиенитов даек этот показатель является промежуточным в большей мере отвечающий условиям $Na_2O/K_2O > 1$. Повышение значений глиноземистости от пород массива Михайловский $al' = 0,53-0,61$, к сиенитам даек $1,49-5,12$ (породы силла $al' = 0,67-1,36$), при заметном увеличении значений коэффициента AG в этом ряду от $AG\ 0,60-0,85$, $AG\ 0,65-0,89$ до $AG\ 0,67-0,90$, наряду с петрографическими исследованиями, может отражать следующую последовательность внедрения пород: кварцевые монцониты массива Михайловский – кварцевые монцониты силла – сиениты даек. Повышенная калиевоность, отношение к шошонитовой серии пород массива Михайловский, а также тел даек сиенитов указывает на мантийную природу образующих расплавов.

Принадлежность пород Михайловского массива, а также тел даек сиенитов к шошонитовой серии имеет важное металлогеническое значение, так как именно с ней связывают разнообразные типы оруденения: промышленное молибденовое, полиметаллическое, золотополиметаллическое и золотое оруденение, а также проявления мышьяка, сурьмы и других металлов [33–38].

Стоит отметить, что в отличие от Центрально-Алданского рудного района, где многочисленные золоторудные месторождения связаны с многостадийным мезозойским магматизмом, в пределах Хохойского рудного узла (Верхне-Амгинский рудный район) ведущим рудоконтролирующим фактором (в образовании золотосульфидного оруденения), является наличие мезозойских однофазовых массивов сиенит-монцонитовой формации [27]. Таким образом, с учетом приведенных фактов, можно выдвинуть предположение о взаимосвязи золоторудной минерализации с процессами магматизма Михайловского массива, что также подтверждается полевыми находками видимого россыпного золота в непосредственной близости от массива. Этот факт требует дальнейшего исследования в этом направлении, как и роль малых тел в рудообразовании Эвотинского района в целом.

Заключение

Таким образом, по результатам проведенных исследований, можно сделать основные выводы:

1. по различным классификационным данным породы Михайловского массива, как и образования силла, сложены кварцевыми монцонитами, малые тела даек – кварцевыми сиенитами.
2. По проведенным исследованиям выдвинута последовательность внедрения магматических пород: от образований массива Михайловский до внедрения тел даек сиенитов, что требует подтверждения дополненными исследованиями абсолютного возраста.

3. Принадлежность пород Михайловского массива, а также тел даек сиенитов к шошонитовой петрохимической серии магматических пород предполагает мантийную природу образующих их расплавов.

4. Находки россыпного золота в непосредственной близости от Михайловского массива, схожесть с таковыми Верхне-Амгинского рудного района позволяет выдвинуть предположение о потенциальной рудоносности последних.

Благодарности

Работа выполнена в рамках Государственного задания НИР ИГАБМ СО РАН, также в рамках работ по договору с АО «Золото Селигара».

Литература

1. Формационно-генетические типы гранитоидов / составители: Г.М. Беляев, В.А. Рудник. – Ленинград: Недра. 1978.
2. Проблемы рудно-формационного анализа и металлогении / составитель В.А. Кузнецов. – Новосибирск: Наука. 1988.
3. Орлов Ю.С. Критерии связи эндогенного оруденения с магматизмом (на примере оловорудных узлов Восточной Якутии) / Ю.С. Орлов, В.А. Трунилина. // Вопросы магматизма и оруденения Якутии. – Якутск: ЯФ СО АН СССР. – 1992. – С. 43–57.
4. Магматизм различных геодинамических обстановок (зона сочленения Верхоянской окраины Сибирского континента и Колымо-Омолонского микроконтинента) / составитель В.А. Трунилина. – Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1999.
5. Оловоносные системы Дальнего востока: магматизм и рудогенез / составитель В.Г. Гоневчук. – Владивосток: Дальнаука, 2002.
6. Генезис и флюидный режим формирования рудно-магматической системы Шибановского рудного узла / составитель Ю.А. Степнова. – Владивосток: Дальнаука. 2013.
7. Геохронология мезозойского щелочного магматизма для Тыркандинской и Амгинской тектонических зон (Алданский щит): новые U-Pb и Ar-Ar данные / А.В. Пономарчук, И.Р. Прокопьев, А.Г. Дорошкевич [и др.] // Геосферные исследования. – 2020. – № 4. – С. 6–24
8. Максимов Е.П. Централь-Алданская золото-урановорудная магматогенная система (Алдано-Становой щит, Россия) / Е.П. Максимов, В.И. Уюттов, В.М. Никитин // Тихоокеанская геология. – 2010. – № 2 (29). – С. 3–26.
9. Ivanov A.I. Petrography of the Mesozoic alkaline rocks of the Medvedev massif (South Yakutia, Leglier ore cluster, Aldan-Stanovoy shield) / A.I. Ivanov, M.S. Ivanov, A.I. Zhuravlev // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science – 2020. – № 609 (DOI:10.1088/1755-1315/609/1/012003).
10. Иванов А.И. Петро- и геохимический состав мезозойских магматических пород массива Таежный (Южная Якутия, Алданский щит, Эвотинский золотоносный район) / А.И. Иванов, М.С. Иванов, А.И. Журавлев // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2022. – № 3 (27). – С. 346–362.
11. Золоторудные месторождения Центрального Алдана / В.Г. Ветлужских, В.И. Казанский, А.Я. Кочетков, В.М. Яновский // Геология рудных месторождений. – 2002. – № 6 (44). – С. 467–499.
12. Кочетков А.Я. Мезозойские золотоносные рудно-магматические системы Центрального Алдана / А.Я. Кочетков // Геология и геофизика. – 2006. – № 7 (47). – С. 850–864.
13. Петрография СССР. Серия 1: Региональная петрография. Выпуск 11. Петрография Алдана. Постюрские интрузии Алданского района / составитель Билибин Ю.А. – Москва-Ленинград: АН СССР, 1941.
14. Избранные труды. Т.1. / составитель Билибин Ю.А. – Москва: АН СССР, 1958
15. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / составители: Парфенов Л.М., Кузьмин М.И. – Москва МАИК “Наука/Интерпериодика”. 2001.
16. Дворник Г.П. Золоторудные метасоматические формации Центрально-Алданского района / Г.П. Дворник. // Литосфера. 2012. – Т. 2. – С. 90–105.

17. Терехов А.В. Рудоносность гидротермально-метасоматических образований Эльконского золото-уранового узла (Южная Якутия): диссертация на соискание ученой степени канд. геол.-мин. наук. Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ. 2012.
18. Шатова Н.В. Рудоносность гидротермально-метасоматических образований Рябиного рудного поля (Южная Якутия): диссертация. на соискание ученой степени канд. геол.-мин. наук. Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ. 2016.
19. Казанский В.И., Геологическая позиция и история формирования Эльконского урановорудного района (Алданский щит, Россия) / В.И. Казанский, Е.П. Максимов // Геология рудных месторождений. – 2000. – № 3 (42). – С. 212–230.
20. Металлогеническое районирование Центрально-Алданского рудного района Республики Саха (Якутия) / В.Е. Бойцов, А.А. Верчеба, Г.Н. Пилипенко, А.В. Жданов // Известия Высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2010. – № 5. – С. 23–32.
21. Месторождения благородных, радиоактивных и редких металлов / составители: В.Е. Бойцов, Г.Н. Пилипенко, Н.А. Солодов – Москва: НИИ-Природа, 1999.
22. Захаров Е.Е. О золотоносности мезозойских метасоматитов в кристаллическом фундаменте Центрально-Алданского района / Е.Е. Захаров, В.П. Новиков, Г.Н. Пилипенко // Геология рудных месторождений. – 1969. – № 2. – С. 85–88.
23. Казанский В.И. Уникальный Центрально-Алданский золотоурановый район (Россия) / В.И.Казанский // Геология рудных месторождений. – 2004. – № 3 (46). – С. 195–211.
24. Металлогения золота Алданской провинции / Н.В. Попов, М.Н. Шапорина, В.А. Амузинский [и др.] // Геология и геофизика. – 1999. № 5 (40). С. 716–729.
25. Леонтьев В.И. Самолазовское золоторудное месторождение (Центрально-Алданский рудный район): геологическое строение и особенности оруденения глубоких горизонтов / В.И. Леонтьев, Я.Ю. Бушуев, К.А. Черниговцев // Региональная геология и металлогения. – 2018. – № 75. – С. 90–103
26. Первые данные о U-Pb возрасте и составе циркона из рудоносных сиенитов Горы Рудная (Южная Якутия) / В.Е. Гузев, А.В. Терехов, С.Г. Скублов [и др.] // Тихоокеанская геология. – 2021. – № 6 (40). – С. 85–99.
27. Мезозойские щелочные магматические образования Хохойского рудного поля (Верхнеамгинский район) / А.И. Иванов, Е.Е. Лоскутов, А.И. Журавлев [и др.] // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Серия: Науки о Земле. – 2019. – № 1 (13) – С. 5-14.
28. Whitney D.L. Abbreviations for names of rock-forming minerals / D.L. Whitney, B.W. Evans // Am. Mineral. – 2010. – Vol. 95. – № 1. – P. 185–187.
29. Петрографический кодекс России. – С-Петербург: ВСЕГЕИ. 2009.
30. Wilson M. Review of igneous petrogenesis: a global tectonic approach / M. Wilson // Terra Nov. – 1989. – Vol. 1. – № 2. – P. 218–222.
31. De la Roche H. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1R2-diagram and major-element analyses – Its relationships with current nomenclature / H. De la Roche // Chem. Geol. – 1980. – Vol. 29. – № 1–4. – P. 183–210.
32. Whitford D.J. Spatial variations in the geochemistry of quaternary lavas across the Sunda arc in Java and Bali / D.J. Whitford, I.A. Nicholls, S.R. Taylor // Contrib. to Mineral. Petrol. Springer-Verlag. – 1979. – Vol. 70. – № 3. – P. 341–356.
33. Сасим С.А. Шошонит-латитовая и трахибазальтовая серии Восточного Забайкалья: изотопно-геохимические особенности и генезис магматических пород Александрово-Заводской впадины: диссертация на соискание ученой степени канд. геол.-мин. наук. Иркутск: ИГХ им. А.П. Виноградова СО РАН. 2014.
34. Петрология золотогенерирующего магматизма / составитель А.И. Гусев. –Москва: Акад. естествознания, 2012
35. Petrogenesis of Post Collisional Magmatism at Scheelite Dome, Yukon, Canada: Evidence for a Lithospheric Mantle Source for Magmas Associated with Intrusion-Related Gold Systems / J.L. Mair, G.L. Farmer, D.I. Groves [etc] // Economic Geology. – 2011. – № 4 (106). – P. 451-480.
36. Степанов В.А. Бамское золоторудное месторождение (Становой хребет, Россия) / В.А. Степанов // Геология рудных месторождений. – 2001. – № 1 (43). – С. 38-51.

37. Djenshuraeva R. Middle Tien-Shan Backarc magmatic belt and gold deposits / R. Djenshuraeva. // Understanding the genesis of ore deposits to meet the demands of the 21-st Quadrennial IAGOD Symposium. – 2006. – Pp. 147-148.

38. Металлогения шошонитового магматизма: в 2 т. / составитель Соловьев С.Г. – Москва: Науч. Мир, 2014.

References

1. Formacionno-geneticheskie tipy granitoidov / sostaviteli: G.M. Beljaev, V.A. Rudnik. – Leningrad: Nedra. 1978.

2. Problemy rudno-formacionnogo analiza i metallogenii / sostavitel' V.A. Kuznecov. – Novosibirsk: Nauka. 1988.

3. Orlov Ju.S. Kriterii svyazi jendogenogo orudneniya s magmatizmom (na primere olovorudnyh uzlov Vostochnoj Jakutii) / Ju.S. Orlov, V.A. Trunilina. // Voprosy magmatizma i orudneniya Jakutii. – Jakutsk: JaF SO AN SSSR. – 1992. – S. 43–57.

4. Magmatizm razlichnyh geodinamicheskikh obstanovok (zona sochlenenija Verhojanskoj okrainy Sibirskogo kontinenta i Kolymo-Omolonskogo mikrokontinenta) / sostavitel' V.A. Trunilina. – Jakutsk: JaNC SO RAN, 1999.

5. Olovonosnye sistemy Dal'nego vostoka: magmatizm i rudogenez / sostavitel' V.G. Gonevchuk. – Vladivostok: Dal'nauka, 2002.

6. Genezis i fljuidnyj rezhim formirovaniya rudno-magmaticheskoy sistemy Shibanovskogo rudnogo uzla / sostavitel' Ju.A. Stepnova. – Vladivostok: Dal'nauka. 2013.

7. Geohronologija mezozojskogo shhelochnogo magmatizma dlja Tyrkandinskoj i Amginskoj tektonicheskikh zon (Aldanskij shhit): novye U-Pb i Ar-Ar dannye / A.V. Ponomarchuk, I.R. Prokop'ev, A.G. Doroshkevich [i dr.] // Geosfernye issledovanija. – 2020. – № 4. – S. 6–24

8. Maksimov E.P. Central'no-Aldanskaja zoloto-uranovorudnaja magmatogennaja sistema (Aldano-Stanovoj shhit, Rossija) / E.P. Maksimov, V.I. Ujutov, V.M. Nikitin // Tihookeanskaja geologija. – 2010. – № 2 (29). – S. 3–26.

9. Ivanov A.I. Petrography of the Mesozoic alkaline rocks of the Medvedev massif (South Yakutia, Leglier ore cluster, Aldan-Stanovoy shield) / A.I. Ivanov, M.S. Ivanov, A.I. Zhuravlev // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science – 2020. – № 609 (DOI:10.1088/1755-1315/609/1/012003).

10. Ivanov A.I. Petro- i geohimicheskij sostav mezozojskikh magmaticheskikh porod massiva Tazhnyj (Juzhnaja Jakutija, Aldanskij shhit, Jevotinskij zolotonosnyj rajon) / A.I. Ivanov, M.S. Ivanov, A.I. Zhuravlev // Prirodnye resursy Arktiki i Subarktiki. – 2022. – № 3 (27). – S. 346-362.

11. Zolotorudnye mestorozhdenija Central'nogo Aldana / V.G. Vetluzhskih, V.I. Kazanskij, A.Ja. Kochetkov, V.M. Janovskij // Geologija rudnyh mestorozhdenij. – 2002. – № 6 (44). – S. 467–499.

12. Kochetkov A.Ja. Mezozojskie zolotonosnye rudno-magmaticheskie sistemy Central'nogo Aldana / A.Ja. Kochetkov // Geologija i geofizika. – 2006. – № 7 (47). – S. 850–864.

13. Petrografija SSSR. Serija 1: Regional'naja petrografija. Vypusk 11. Petrografija Aldana. Poslejsurskie intruzii Aldanskogo rajona / sostavitel' Bilibin Ju.A. – Moskva-Leningrad: AN SSSR, 1941.

14. Izbrannye trudy. T.1. / sostavitel' Bilibin Ju.A. – Moskva: AN SSSR, 1958

15. Tektonika, geodinamika i metallogenija territorii Respubliki Saha (Jakutija) / sostaviteli: Parfenov L.M., Kuz'min M.I. – Moskva MAIK "Nauka/Interperiodika". 2001.

16. Dvornik G.P. Zolotorudnye metasomaticheskie formacii Central'no-Aldanskogo rajona / G.P. Dvornik. // Litosfera. 2012. – T. 2. – S. 90–105.

17. Terehov A.V. Rudonosnost' gidrotermal'no-metasomaticheskikh obrazovanij Jel'konskogo zoloto-uranovogo uzla (Juzhnaja Jakutija): dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kand. geol.-min. nauk. Sankt-Peterburg: VSEGEI. 2012.

18. Shatova N.V. Rudonosnost' gidrotermal'no-metasomaticheskikh obrazovanij Rjabinogo rudnogo polja (Juzhnaja Jakutija): dissertacija. na soiskanie uchenoj stepeni kand. geol.-min. nauk. Sankt-Peterburg: VSEGEI. 2016.

19. Kazanskij V.I., Geologicheskaja pozicija i istorija formirovanija Jel'konskogo uranovorudnogo rajona (Aldanskij shhit, Rossiya) / V.I. Kazanskij, E.P. Maksimov // *Geologija rudnyh mestorozhdenij*. – 2000. – № 3 (42). – S. 212–230.
20. Metallogenicheskoe rajonirovanie Central'no-Aldanskogo rudnogo rajona Respubliki Saha (Jakutija) / V.E. Bojcov, A.A. Vercheba, G.N. Pilipenko, A.V. Zhdanov // *Izvestija Vysshih uchebnyh zavedenij. Geologija i razvedka*. – 2010. – № 5. – S. 23–32.
21. Mestorozhdenija blagorodnyh, radioaktivnyh i redkih metallov / sostaviteli: V.E. Bojcov, G.N. Pilipenko, N.A. Solodov – Moskva: NIA-Priroda, 1999.
22. Zaharov E.E. O zolotonosnosti mezozojskih metasomatitov v kristallicheskom fundamente Central'no-Aldanskogo rajona / E.E. Zaharov, V.P. Novikov, G.N. Pilipenko // *Geologija rudnyh mestorozhdenij*. – 1969. – № 2. – S. 85–88.
23. Kazanskij V.I. Unikal'nyj Central'no-Aldanskij zolotouranovyj rajon (Rossija) / V.I. Kazanskij // *Geologija rudnyh mestorozhdenij*. – 2004. – № 3 (46). – S. 195–2011.
24. Metallogenija zolota Aldanskoj provincii / N.V. Popov, M.N. Shaporina, V.A. Amuzinskij [i dr.] // *Geologija i geofizika*. – 1999. № 5 (40). S. 716–729.
25. Leont'ev V.I. Samolazovskoe zolotorudnoe mestorozhdenie (Central'no-Aldanskij rudnyj rajon): geologicheskoe stroenie i osobennosti orudenenija glubokih gorizontov / V.I. Leont'ev, Ja.Ju. Bushuev, K.A. Chernigovcev // *Regional'naja geologija i metallogenija*. – 2018. – № 75. – S. 90–103
26. Pervye dannye o U-Pb vozraste i sostave cirkona iz rudosnyh sienitov Gory Rudnaja (Juzhnaja Jakutija) / V.E. Guzev, A.V. Terehov, S.G. Skublov [i dr.] // *Tihookeanskaja geologija*. – 2021. – № 6 (40). – S. 85–99.
27. Mezozojskie shhelochnye magmaticheskie obrazovaniya Hohojkogo rudnogo polja (Verhneamginskij rajon) / A.I. Ivanov, E.E. Loskutov, A.I. Zhuravlev [i dr.] // *Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta im. M.K. Ammosova. Serija: Nauki o Zemle*. – 2019. – № 1 (13) – S. 5-14.
28. Whitney D.L. Abbreviations for names of rock-forming minerals / D.L. Whitney, B.W. Evans // *Am. Mineral*. – 2010. – Vol. 95. – № 1. – P. 185–187.
29. Petrograficheskij kodeks Rossii. – S-Peterburg: VSEGEI. 2009.
30. Wilson M. Review of igneous petrogenesis: a global tectonic approach / M. Wilson // *Terra Nov*. – 1989. – Vol. 1. – № 2. – P. 218–222.
31. De la Roche H. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1R2-diagram and major-element analyses – Its relationships with current nomenclature / H. De la Roche // *Chem. Geol*. – 1980. – Vol. 29. – № 1–4. – P. 183–210.
32. Whitford D.J. Spatial variations in the geochemistry of quaternary lavas across the Sunda arc in Java and Bali / D.J. Whitford, I.A. Nicholls, S.R. Taylor // *Contrib. to Mineral. Petrol. Springer-Verlag*. – 1979. – Vol. 70. – № 3. – P. 341–356.
33. Sasim S.A. Shoshonit-latitovaja i trahibazal'tovaja serii Vostochnogo Zabajkal'ja: izotopno-geohimicheskie osobennosti i genezis magmaticheskikh porod Aleksandrovo-Zavodskoj vpadiny: dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kand. geol.-min. nauk. Irkutsk: IGH im. A.P. Vinogradova SO RAN. 2014.
34. Petrologija zolotogenerirujushhego magmatizma / sostavitel' A.I. Gusev. – Moskva: Akad. estestvoznaniya, 2012
35. Petrogenesis of Post Collisional Magmatism at Scheelite Dome, Yukon, Canada: Evidence for a Lithospheric Mantle Source for Magmas Associated with Intrusion-Related Gold Systems / J.L. Mair, G.L. Farmer, D.I. Groves [etc] // *Economic Geology*. – 2011. – № 4 (106). – P. 451-480.
36. Stepanov V.A. Bamskoe zolotorudnoe mestorozhdenie (Stanovoj hrebet, Rossiya) / V.A. Stepanov // *Geologija rudnyh mestorozhdenij*. – 2001. – № 1 (43). – S. 38-51.
37. Djenshuraeva R. Middle Tien-Shan Backarc magmatic belt and gold deposits / R. Djenshuraeva. // *Understanding the genesis of ore deposits to melt the demands of the 21-st Quadrennial IAGOD Symposium*. – 2006. – Pp. 147-148.
38. Metallogenija shoshonitovogo magmatizma: v 2 t. / sostavitel' Solov'ev S.G. – Moskva: Nauch. Mir, 2014.

Сведения об авторах

ИВАНОВ Алексей Иванович – к.г.-м.н., с.н.с., лаборатории геодинамики и региональной геологии Института Геологии алмаза и благородных металлов СО РАН.

E-mail: Leps_2002@mail.ru

IVANOV Alexey Ivanovich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Geodynamics and Regional Geology, Institute of Geology of Diamond and Precious Metals SB RAS.

ИВАНОВ Мичил Спартакович – м.н.с., лаборатории геодинамики и региональной геологии Института Геологии алмаза и благородных металлов СО РАН.

E-mail: Ivanov.michil@bk.ru

IVANOV Michil Spartakovich – engineer of the 1st category, Laboratory of Geodynamics and Regional Geology, Institute of Geology of Diamond and Precious Metals SB RAS.

ЛОСКУТОВ Евгений Евгеньевич – к.г.-м.н., н.с., лаборатории металлогении Института Геологии алмаза и благородных металлов СО РАН.

E-mail: brannerit@mail.ru

LOSKUTOV Evgeny Evgenievich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Researcher, Laboratory of Metallogeny, Institute of Geology of Diamond and Precious Metals SB RAS.

ЖУРАВЛЕВ Анатолий Иванович – м.н.с., лаборатории геологический музей Института Геологии алмаза и благородных металлов СО РАН.

E-mail: Ai.zhuravlevgeo@gmail.com

ZHURAVLEV Anatolii Ivanovich – junior researcher, Geological Museum, Institute of Geology of Diamond and Precious Metals SB RAS.

ТИМОФЕЕВ Владимир Федорович – инженер 1 категории, лаборатории геодинамики и региональной геологии Института Геологии алмаза и благородных металлов СО РАН.

E-mail: vf_timofeev@mail.ru

TIMOFEEV Vladimir Fedorovich – engineer of the 1st category, Laboratory of Geodynamics and Regional Geology, Institute of Geology of Diamond and Precious Metals SB RAS.