

А.И. Иванов ✉, Е.Е. Лоскутов, А.И. Журавлев, М.С. Иванов,

А.А. Кравченко

Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, г. Якутск, Россия

✉ aiivanov@diamond.ysn.ru

ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЙ И ПЕТРО-ГЕОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВЫ МЕЗОЗОЙСКИХ (?) МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД ПОЛОВИНКИНСКОЙ ВПАДИНЫ (АЛДАНО-СТАНОВОЙ ШИТ)

Аннотация. Рассмотрены особенности петрографического и геохимического составов мезозойских магматических пород Половинкинской впадины из скважин К1, К2, К3, расположенной в пределах центральной части Алдано-Станового щита, на границе Тындинского и Нимнырского террейнов в пределах Амгинской зоны тектонического меланжа. По взаимоотношению пород, а также по особенностям петрографического состава предполагается следующая последовательность внедрения и образования: 1) габбро; 2) роговообманково-авгитовые андезиты, что подтверждается значениями и вариациями петрохимического состава. По петрохимическим и геохимическим характеристикам габбро близки толеитовой серии. Андезиты относятся к известково-щелочной петрохимической серии, латитам шошонитового типа. Присутствие таких пород как габбро и андезиты, характерно для зрелых островных дуг и активных континентальных окраин, что не противоречит имеющимся представлениям предшественников. Схожими по геологическому строению объектами, являются продуктивные на золото габбро-тоналит-гранодиорит-гранитные (ГТГГ) массивы Урала, представляющие собой надсубдукционные образования на активной континентальной окраине андийского типа. Наличие пород ГТГГ формации в пределах Половинкинской впадины служит благоприятным фактором благородно-металльных рудогенерирующих процессов.

Ключевые слова: Алдано-Становой щит, Половинкинская впадина, габбро, роговообманково-авгитовые андезиты, петрохимия, геохимия, толеиты, шошониты, мантийный источник, континентальная кора, вулканические дуги.

Для цитирования: Иванов А.И., Лоскутов Е.Е., Журавлев А.И., Иванов М.С., Кравченко А.А. Петрографический и петро-геохимический составы мезозойских (?) магматических пород Половинкинской впадины (Алдано-Становой щит). *Вестник СВФУ. Серия «Науки о Земле»*. 2024, № 4. С. 11–32. DOI: 10.25587/2587-8751-2024-4-11-32

Работа выполнена в рамках Государственного задания НИР ИГАБМ СО РАН.

А.И. Иванов ✉, Е.Е. Loskutov, A.I. Zhuravlev, M.S. Ivanov,

А.А. Kravchenko

Diamond and precious metal geology institute SB RAS, Yakutsk, Russia

✉ aiivanov@diamond.ysn.ru

PETROGRAPHIC AND PETRO-GEOCHEMICAL COMPOSITIONS OF MESOZOIC (?) IGNEOUS ROCKS OF THE POLOVINKINSKAYA DEPRESSION (ALDAN-STANOVVOY SHIELD)

Abstract. The article considers the features of the petrographic and geochemical compositions of the Mesozoic igneous rocks of the Polovinkinskaya depression from earth bores K1, K2, K3, located within the central part of the Aldan-Stanovoy shield, on the boundary of the Tynnda and Nimnyr terranes within the Amginskaya zone of tectonic mélange. Based on the relationship of rocks, as well as on the features of the petrographic composition, the following sequence of introduction and formation is assumed: 1) gabbro; 2) hornblende-augite andesites. This is confirmed by the values and variations of the petrochemical composition. According to the petrochemical and geochemical characteristics, gabbros are close to the tholeiitic series. Andesites belong to the calc-alkaline

petrochemical series, latites of the shoshonite type. The presence of such rocks as gabbro and andesites is typical for mature island arcs and active continental margins, which does not contradict the existing ideas of predecessors. Similar in geological structure objects are gold-producing gabbro-tonalite-granodiorite-granite (GTGG) massifs of the Urals, which are supra-subduction formations on the active continental margin of the Andean type. The presence of rocks of the GTGG formation within the Polovinkinskaya depression serves as a favorable factor for noble-metal ore-generating processes.

Keywords: Aldan-Stanovoy shield, Polovinkinskaya depression, gabbro, hornblende-augite andesites, petrochemistry, geochemistry, tholeiites, shoshonites, mantle source, continental crust, volcanic arcs.

For citation: Ivanov A.I., Loskutov E.E., Zhuravlev A.I., Ivanov M.S., Kravchenko A.A. Petrographic and petro-geochemical compositions of Mesozoic (?) igneous rocks of the Polovinkinskaya depression (Aldan-Stanovoy shield). *Vestnik of NEFU. Earth Sciences*. 2024, № . 4. Pp. 11–32. DOI: 10.25587/2587-8751-2024-4-11-32

This study was conducted within the framework of the State Research Assignment of the DPMGI SB RAS.

Введение

Исследуемый район расположен на территории Республики Саха (Якутия) и занимает площадь в центральной части Алдано-Станового щита (рис. 1) – на границе Тындинского и Нимнырского террейнов, которая представлена Амгинской зоной тектонического меланжа (рис. 2). Территория сложена докембрийскими метаморфическими комплексами и терригенно-осадочными породами платформенного чехла, заполняющими грабены (Токариканский, Половинкинский). В протерозое и мезозое здесь проявлены этапы тектоно-магматической активизации.

С мезозойским этапом активизации связаны многочисленные рудопроявления золота. В частности, в результате поисковых работ в конце 70-х гг. в Верхне-Тимптонском районе, в бассейне руч. Колбочи-Муравьевский-Скобельцинский, Дорожный-Орогоччу и Речной (Амарская, 1978 ф), установлена генетическая связь диоритов с жильным кварцем, последний по мнению авторов, является продуктом постмагматической деятельности конечного этапа становления мезозойских тел среднего и умеренно кислого состава.

В конце 1980-х гг. в Верхне-Тимптонском и Средне-Сутамском районах В.Г. Амарским и др. (1989), Б.П. Подъячевым и др. (1989) выполнены поисково-съёмочные работы, в результате чего была выделена золото-серебряная формация, связанная с гипабиссальным магматизмом мезозойского возраста.

Помимо мезозойских магматических образований кислого состава, телам габбро и покровам андезитов не уделялось должного внимания. В связи с чем, фундаментальными и актуальными задачами исследования являются установление петрологических параметров составов магматических пород в зависимости от условий их образования, выявление характера магмообразующего субстрата, определение геодинамического режима, существовавшего на период образования пород, и обнаружение пространственной связи с золотым оруденением, на наличие которого указывают единичные находки самородного и медистого золота в экзоконтактных частях габброидных тел.

Геологическое строение района работ

В геологическом строении территории принимают участие стратифицированные образования широкого возрастного диапазона (рис. 2). В различном объеме представлены метаморфические докембрийские комплексы пород, слагающие складчатый фундамент, а также осадочные мезозойские и кайнозойские комплексы. Породы метаморфических комплексов претерпели неоднократный прогрессивный и регрессивный метаморфизм нескольких фаций: гранулитовой, амфиболитовой, эпидот-амфиболитовой и зеленосланцевой. В отдельный комплекс выделены породы регрессивного метаморфизма эпидот-амфиболитовой и зеленосланцевой фаций, которые на площади работ образуют мощные зоны диафтореза. Вопросы возраста и генезиса диафторитов в настоящее время однозначно не решены и остаются дискуссионными.

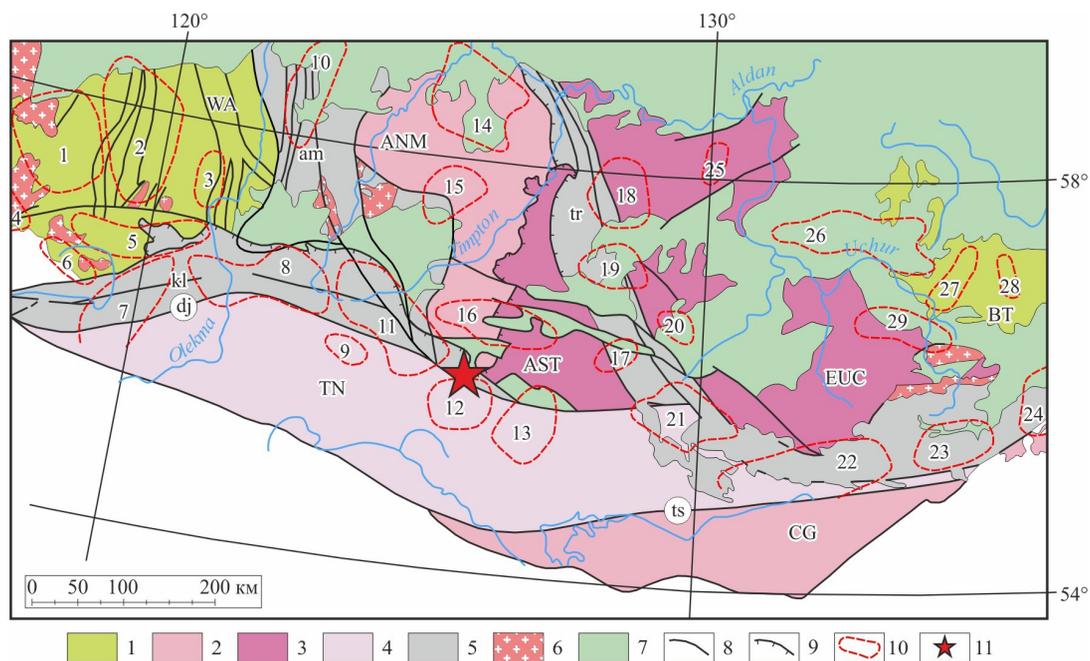


Рис. 1. Тектоническая схема Алдано-Станового щита [3] с положением рудных районов [1]

Условные обозначения: 1 – гранит-зеленокаменные террейны (WA – Западно-Алданский, BT – Батомгский); 2 – гранулит-ортоogneисовые террейны (ANM – Нимнырский, CG – Чогарский); 3 – гранулит-параogneисовые террейны (AST – Сутамский, EUC – Учурский); 4 – Тоналит-тронджемит-ogneисовые террейны (TN – Тындинский); 5 – зоны тектонического меланжа (am – Амгинская, kl – Каларская, tr – Тыркандинская); 6 – сшивающие раннепротерозойские гранитные интрузии; 7 – осадочный чехол Сибирской платформы; 8 – разломы (dj – Джелтулакский, ts – Таксакандинский); 9 – надвижки; 10 – рудные районы (1 – Чарский; 2 – Токкинский; 3 – Олдонгсинский; 4 – Кодарский; 5 – Ханинский; 6 – Удоканский; 7 – Каларский; 8 – Олекмо-Куртахский; 9 – Апсаканский; 10 – Верхне-Амгинский; 11 – Верхне-Тимптонский; 12 – Гонамский; 13 – Средне-Сутамский; 14 – Центрально-Алданский; 15 – Эвотинский; 16 – Гувилгринский; 17 – Атугейский; 18 – Тыркандинский; 19 – Ломамский; 20 – Алтан-Чайдахский; 21 – Верхнетокский; 22 – Купури-Майский; 23 – Джанинский; 24 – Магейский; 26 – Учурский; 27 – Чумиканский; 28 – Одолинский; 29 – Уянский. Черной рамкой показан район работ.

Figure 1. Tectonic scheme of the Aldan-Stanovoy Shield [3] with the location of ore regions [1]

Legend: 1 – granite-greenstone terranes (WA – West Aldan, VT – Batomga); 2 – granulite-orthogneiss terranes (ANM – Nimnyr, CG – Chogar); 3 – granulite-paragneiss terranes (AST – Sutam, EUC – Uchur); 4 – Tonalite-trondhjemite-gneiss terranes (TN – Tynda); 5 – zones of tectonic melange (am – Amga, kl – Kalar, tr – Tyrkanda); 6 – sutured Early Proterozoic granite intrusions; 7 – sedimentary cover of the Siberian platform; 8 – faults (dj – Dzheltulak, ts – Taksakanda); 9 – thrusts; 10 ore districts (1 – Chara; 2 – Tokko; 3 – Oldongo; 4 – Kodar; 5 – Khani; 6 – Udokan; 7 – Kalar; 8 – Olyokma-Kurtakh; 9 – Apsakan; 10 – Upper Amga; 11 – Upper Timpton; 12 – Gonam; 13 – Middle Sutam; 14 – Central-Aldan; 15 – Evoti; 16 – Guvilgri; 17 – Atugei; 18 – Tyrkanda; 19 – Loma; 20 – Altan-Chaidakh; 21 – Upper Tokko; 22 – Kupuri-Maya; 23 – Dzhanan; 24 – Magei; 26 – Uchur; 27 – Chumikan; 28 – Odolin; 29 – Uyan. The black frame shows the area of work.

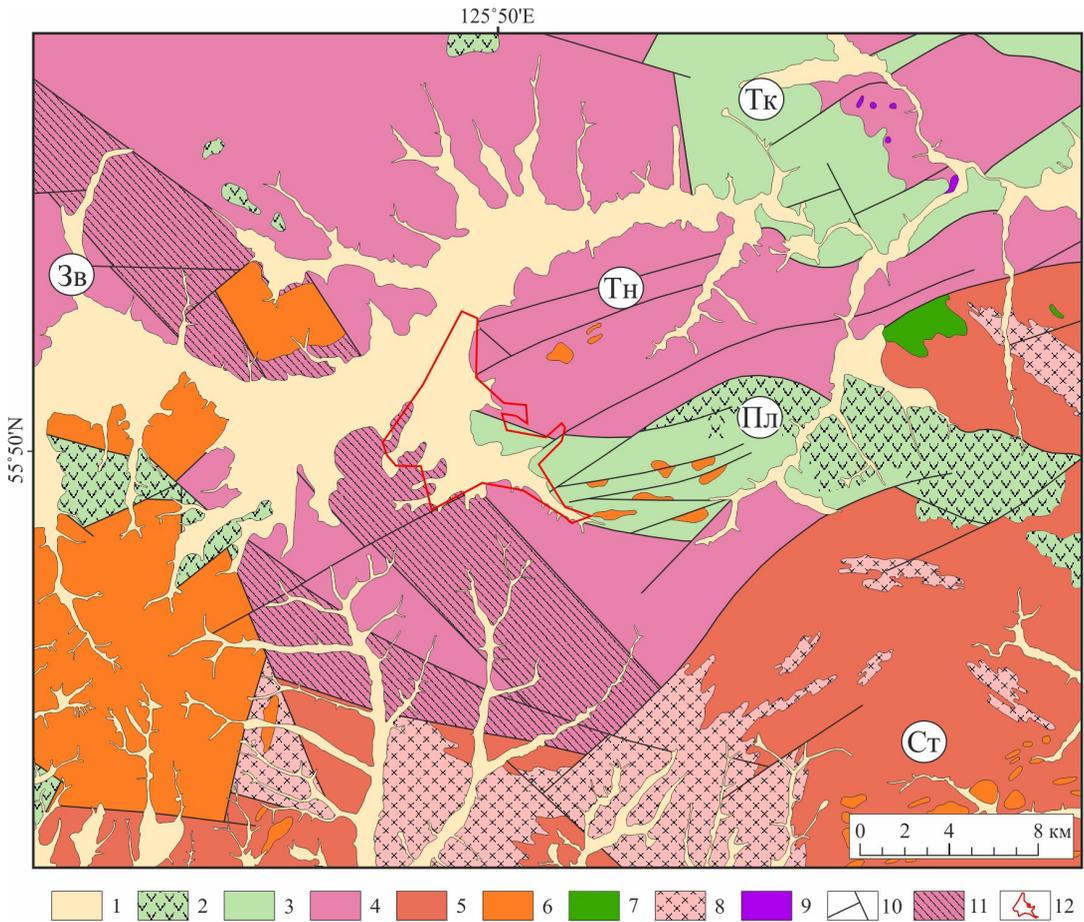


Рис. 2. Геологическая схема верхнего течения р. Гонам. По материалам (Гиммельфарб, 1971ф), с изменениями и дополнениями авторов

Условные обозначения: 1-3 – отложения: 1 – четвертичные; 2 – мезозойские вулканогенно-осадочные; 3 – мезозойские терригенно-осадочные слагающие впадины (Тк – Токариканская, Пл – Половинкинская); 4-5 стратифицированные метаморфические комплексы: 4 – Южно-Алданская область (архей) (Тн – Тангракский блок, Зв – Зверевский блок); 5 – Становая (Ст) область (протерозой); 6-9 – магматические тела: 6 – мезозойские щелочные; 7 – протерозойские основного состава; 7 – протерозойские гранитные; 9 – архейские ультраосновного состава; 10 – разрывные нарушения; 11 – зоны диафторитов; 12 – площадь работ.

Figure 2. Geological map of the upper reaches of the Gonam River. Based on materials (Gimmelfarb, 1971f), with changes and additions by the authors

Legend: 1-3 – deposits: 1 – Quaternary; 2 – Mesozoic volcanogenic-sedimentary; 3 – Mesozoic terrigenous-sedimentary constituent basins (Tk – Tokarikanskaya, Pl – Polovinskaya); 4-5 stratified metamorphic complexes: 4 – South Aldan region (Archean) (Tn – Tangrak block, Zv – Zverevsk block); 5 – Stanovaya (St) region (Proterozoic); 6-9 – igneous bodies: 6 – Mesozoic alkaline; 7 – Proterozoic basic composition; 7 – Proterozoic granite; 9 – Archean ultrabasic composition; 10 – faults; 11 – diaphthorite zones; 12 – work area.

В тектоническом плане исследуемая территория расположена в районе влияния Становой зоны разломов, разделяющей крупные структуры – Алданский щит и Становую складчатую область [1] (рис. 1). Тектоническое строение района является сложным, что обусловлено длительностью и многоэтапностью его становления, сопровождавшееся неоднократными процессами метаморфизма, магматизма и деформации [2]. Представления о тектоническом строении района развивались по мере изучения территории и появления новых концепций и моделей. Еще в 60-е годы в пределах Алданского щита выделялись крупные участки, различающиеся по составу слагающих их метаморфических и магматических комплексов, характеру и степени метаморфизма, и структурному стилю [3]. Эти участки различными авторами назывались блоками, мегаблоками, структурно-фациальными зонами, складчатыми зонами или системами, литоплитами [4 – 6].

Мезозойские магматические образования широко распространены на площади в виде даек на западе и отдельных массивов на востоке. Возраст их определяется как позднеюрский – раннемеловой, по аналогии с соседним участком, расположенным севернее района работ, где подобные образования прорывают юрские отложения, а сингенетические им эффузивные породы имеют нижнемеловой возраст (Ветлужских, 1969 ф). Последовательность становления мезозойских магматических пород изучена В. Г. Амарским и Ю. А. Калининым (Леонова, 1972 ф; Пачерская, 1992 ф). По вещественному составу среди этих образований выделяются диориты, диоритовые порфириды, монцодиориты, граниты, гранит-порфиры, кварцевые порфиры. По возрасту выделены позднеюрская и раннемеловая группы, породы которых объединены соответственно в мукундинский, карабуранский комплексы [7].

Магматические породы мезозоя имеют свежий облик, четкие контакты с вмещающими стратифицированными толщами, в которых иногда отмечается ороговикование.

Материалы и аналитические методы

Каменный материал, использованный в работе отобран из керна скважин К1, К2, К3 и предоставлен ООО Юрский. Изучение петрографического состава пород и подсчет содержания основных породообразующих компонентов осуществлялось с помощью поляризационного микроскопа МИН-8 (32 шлифа). Фотографии шлифов выполнены на электронном микроскопе Olympus BX 50, оснащенный камерой Zeiss Axio CamICc 3. Содержания петрогенных элементов в породах определялись силикатным методом на 19 элементов; определение Cr, Ni, Co, V, Ba, Sr, Y, Yb, Zr, Nb, Sc, Sn, B, Pb, Zn, Cu – атомно-эмиссионным методом. Аналитическая работа выполнена в Центре коллективного пользования физико-химических методов анализа (ЦКП ФХМА, руководитель Васильева А.С.). Проанализирована 41 проба. Содержания микроэлементов Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Cs, Ba, Hf, Th, U и лантаноидов определялись масс-спектрометрическим методом с индуктивно-связанной плазмой ICP-MS (ELAN модель DRC-e) в химико-аналитическом центре «Плазма» (ООО ХАЦ «Плазма», г. Томск).

Петрография магматических пород

В керне скважин участка Юрский мезозойские магматические образования представлены габбро и впервые выделенными нами андезитами. В основном, эти породы встречаются в нижних горизонтах скважин и на границе фундамента, а также в меловых терригенно-осадочных породах. Встречаются участки, где описанные магматические породы интродуцируют нижнемеловые конгломераты.

Габбро двутироксеновое – выявленные в 1, 2 и частично в 3 скважине, породы с мелко-средне-крупнокристаллической, габбровой структурой и массивной текстурой. Контакт с вмещающими нижнемеловыми конгломератами неровный, с обилием обломочного материала конгломератов, из-за чего трудно проследить четкие границы контакта (рис. 3 а). Петрографический состав наименее измененных габбро представлен в следующем виде: измененный плагиоклаз (лабрадор) – 20 %, пироксен (авгит, эгирин) – 40 %, роговая обманка – 10 %, биотит – 3 %, вторичные минералы – хлорит, серицит, уралит – 20 %, рудный минерал – 7 %. Акцессорные минералы представлены магнетитом, ильменитом, сфеном.

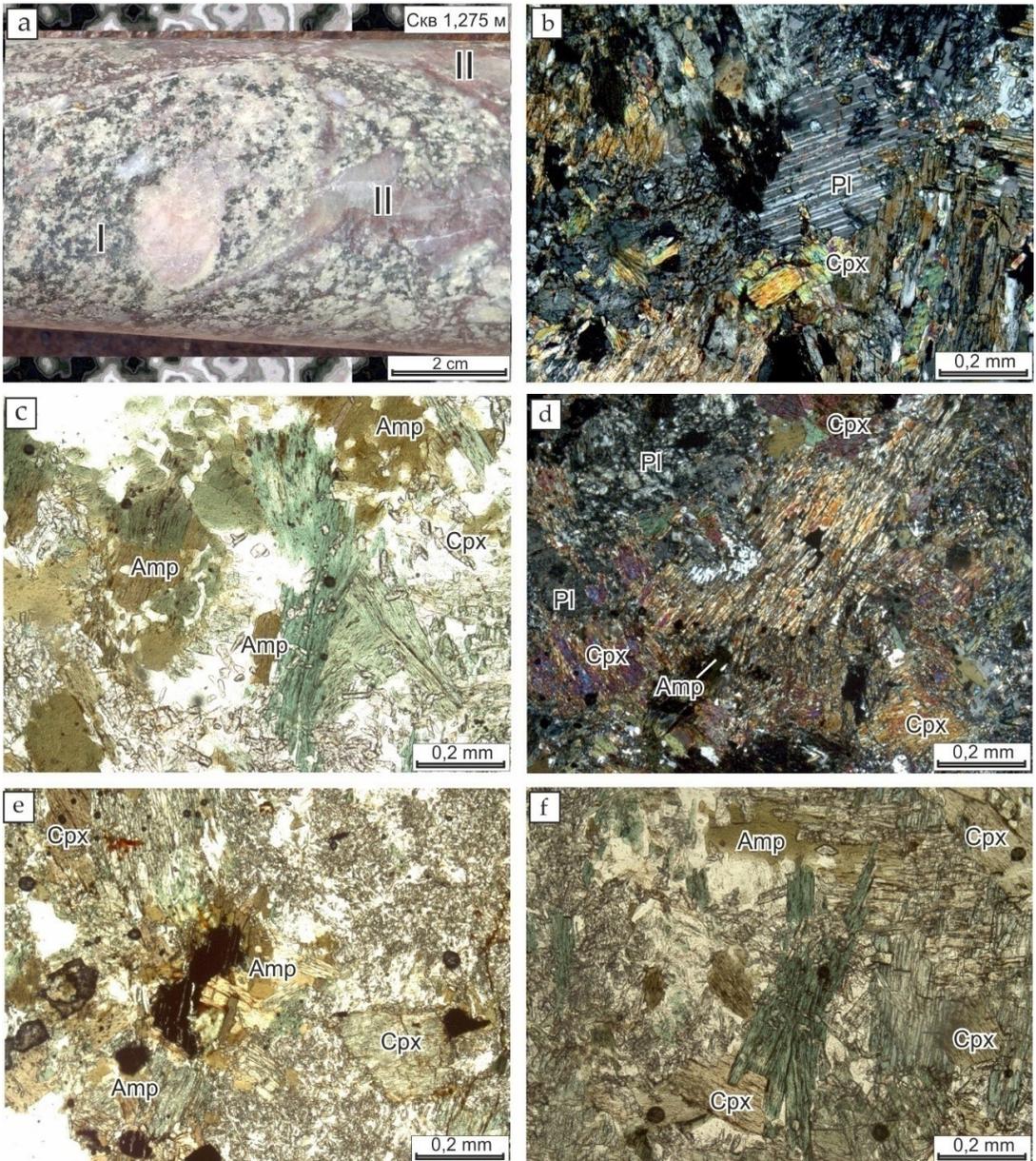


Рис. 3. Наименее измененные габбро на участке Юрский

Условные обозначения: а – контакт обломочного характера габбро (I) с конгломератами (II); б – шлиф K2320/1, габбровая структура пород, николи +; в – шлиф K2275/1, хлоритизация амфибола, николи -; д – шлиф K2275/1, уралитизация пироксена, николи +; е –шлироподобные скопления темноцветных минералов, николи-, ф –хлоритизация темноцветных минералов, николи-. Здесь и далее сокращения минералов по [8]: Pl – плагиоклаз; Cpx – клинопироксен; Amp – амфибол; Ser – серицит. Николи: скрещенные +, параллельные -

Figure 3. The least altered gabbro from the Jurassic area

Legend: a – contact of clastic gabbro (I) with conglomerates (II); b – thin section K2320/1, gabbro structure of rocks, nicol +; c – thin section K2275/1, chloritization of amphibole, nicol -; d – thin section K2275/1, uranalitization of pyroxene, nicol +; thin section K3128/1: e – schlieren-like accumulations of dark-colored minerals, nicol -, f – chloritization of dark-colored minerals, nicol -. From here on, mineral abbreviations are according to [8]: Pl – plagioclase; Cpx – clinopyroxene; Amp – amphibole; Ser – sericite. Nicoli: crossed +, parallel -

Плагиоклаз – *лабрадор* (An_{50-60}) интенсивно серицитизирован, деанортитизирован, местами почти нацело замещен карбонатом, диагностируется только по отдельным фрагментам (рис. 3 б). Наименее измененный из *авгитов* имеет зеленоватый и буроватый оттенки. Редкий *эгириин* выделяется по зеленой окраске и резкому плеохроизму. В целом, пироксены встречаются в виде кристаллов призматической, часто неправильной форм до 0,3 мм, границы которых не ровные, из-за сильных вторичных изменений таких как хлоритизация и опацификация (рис. 3б-ф). Нередко отмечается замещение авгита роговой обманкой с образованием *уралита* почти до полных псевдоморфоз (рис. 3 д). Призматические зерна *роговой обманки* нередко фрагментированы, раздроблены, размером до 0,6 мм; плеохроизм от светлой желтовато-коричневой до коричневой окраски (рис. 3 с-ф). Более мелкие кристаллы роговой обманки образуют шпироподобные скопления (рис. 3 е). По амфиболу развиваются неправильные агрегаты вторичного хлорита, имеющие зеленую окраску (рис. 3 с, ф). Редкий *биотит* наблюдается в виде изоморфных зерен, или замещает амфибол до полных псевдоморфоз. Отмечаются зерна биотита с волнистым погасанием, что является признаком пластической деформации. *Рудный минерал* представлен в виде самостоятельных зёрен 0,4 мм или связан с опацификацией первичных вкрапленников.

Андезиты роговообманково-авгитовые установлены только в 3 скважине. Контакт с вмещающими меловыми алевролитами ровный, четкий (рис.4 а, б), контакт с телами габбро не обнаружен. Структура порфировая с пилотакситовой основной массой, текстура массивная.

Около 60 % породы составляют вкрапленники, представленные плагиоклазом (андезин, редко олигоклаз) – 45 %, амфиболом (роговая обманка) – 10 %, пироксеном (авгит) – 5 %; основная масса сложена лейстами плагиоклаза, редкими зернами пироксена и вулканическим стеклом (составляющем около 3 % основной массы породы); рудный минерал – не более 5 %. Порода интенсивно преобразована. Вторичные минералы составляют около 30-35 % объема породы (или площади шлифа) представлены – хлоритом, серицитом, кальцитом, уралитом.

Вкрапленники плагиоклаза – *андезин* (An_{30-50}), представлены идиоморфными кристаллами, размером до 0,8 мм, призматического, таблитчатого габитусов, частично серицитизированы, сосюритизированы и карбонатизированы, нередко имеет зональное строение. Для наименее измененных кристаллов андезина, характерны широкие полисинтетические двойники. Редкий *олигоклаз* выделяется по более тонким полисинтетическим двойникам (рис. 4 с), также, как и андезин подвержен вторичным изменениям. *Авгит* наблюдается в виде удлиненной формы кристаллов с неровными краями (до 0,3 мм) светлого или бледного травяно-зеленого цвета (рис. 4 с, д). Часто замещается роговой обманкой почти до полных псевдоморфоз (рис. 4 е); в единичных случаях содержит мелкие включения *апатита* (рис. 4 д). *Роговая обманка* образует призматические кристаллы, размером до 0,6 мм; плеохроизм от светлой желтовато-коричневой до коричневой окраски (рис. 4 е). Вкрапленники темноцветных минералов нередко хлоритизированы; светло-зеленый *хлорит* развивается вдоль спайности и по краям кристаллов (рис. 4 е). Основная масса состоит из хлоритизированного *вулканического стекла* и лейст сосюритизированного и карбонатизированного *плагиоклаза* ориентированных в одном направлении (рис. 4 с, д). *Рудный минерал* не равномерно распределен в породе в качестве выделений 0,3 мм неправильной формы и развивается по темноцветным минералам формируя опацифовые каймы (рис.4 ф). Редко отмечаются кристаллы *апатита* с характерными кристаллографическими очертаниями (рис. 4 д).

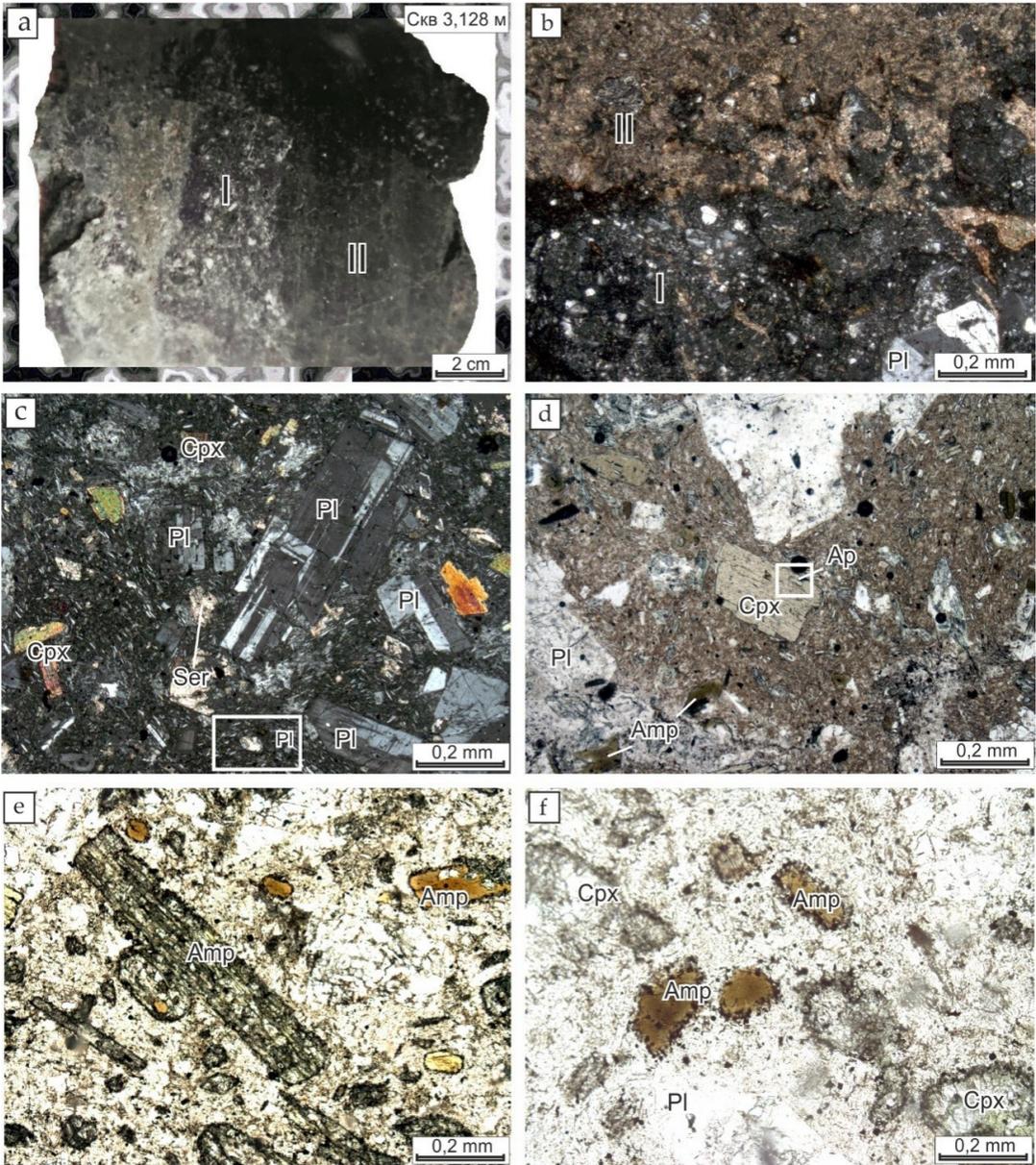


Рис. 4. Наименее измененные андезиты участка Юрский (скважина 3)

Условные обозначения: а – скв. 3-128м, контакт андезитов (I) с алевролитами (II); б – шлиф K3128/1, контакт андезита с вмещающими алевролитами, николи +; в – шлиф K3117/1, пилотаксовая структура основной массы николи +; д – шлиф K3115/1, идиоморфный авгит, с включением апатита николи -; е – шлиф K3182/1, хлоритизированный амфибол, николи -; ф – шлиф K3182/1, опацитовая каемка по темноцветным минералам, николи-. Обозначения минералов см. на рис. 3

Figure 4. The least altered andesites of the Jurassic area (well 3)

Legend: a – well 3-128 m, contact of andesites (I) with siltstones (II); b – thin section K3128/1, contact of andesite with host siltstones, nicoli +; c – thin section K3117/1, pilotaxite structure of the groundmass, nicoli +; d – thin section K3115/1, euhedral augite with inclusion of apatite, nicoli -; e – thin section K3182/1, chloritized amphibole, nicoli -; f – thin section K3182/1, opacite rim over dark-colored minerals, nicoli-. For mineral designations, see Fig. 3

Петрохимический состав пород

Выделенные в результате исследования керн скважин *габбро*, слагающие интрузивные тела участка Юрский, по суммарному содержанию щелочей относятся как к щелочным, так и в большей мере к умереннощелочным породам [9, 10] ($Na_2O+K_2O=2,27-6,93\%$, калиево-натриевого типа щелочности ($Na_2O/K_2O=1-4$) (рис. 5 а, табл. 1). Породы принадлежат к низкоглиноземистой ($al' - 0,42-0,61 < 0,75$) и магниальной ($f^* - 0,31-0,51 < 0,78$) сериям (табл. 1). Согласно классификационной диаграмме $(Na_2O+K_2O)-SiO_2$ [11] рассматриваемые породы относятся к габбро (рис. 5 а). Фигуративные точки на диаграмме CI-AN [9] располагаются преимущественно в поле базальтов (рис. 5 с) и по составу плагиоклаза ($Ab'-An-Or$) [9] соответствуют высококалиевым породам (рис. 6 а). По вариациям составов на диаграммах $FeO^*/MgO-SiO_2$ [13] и AFM [9] габбро наиболее близки к образованиям толеитовой петрохимической серии (рис. 6 с, d).

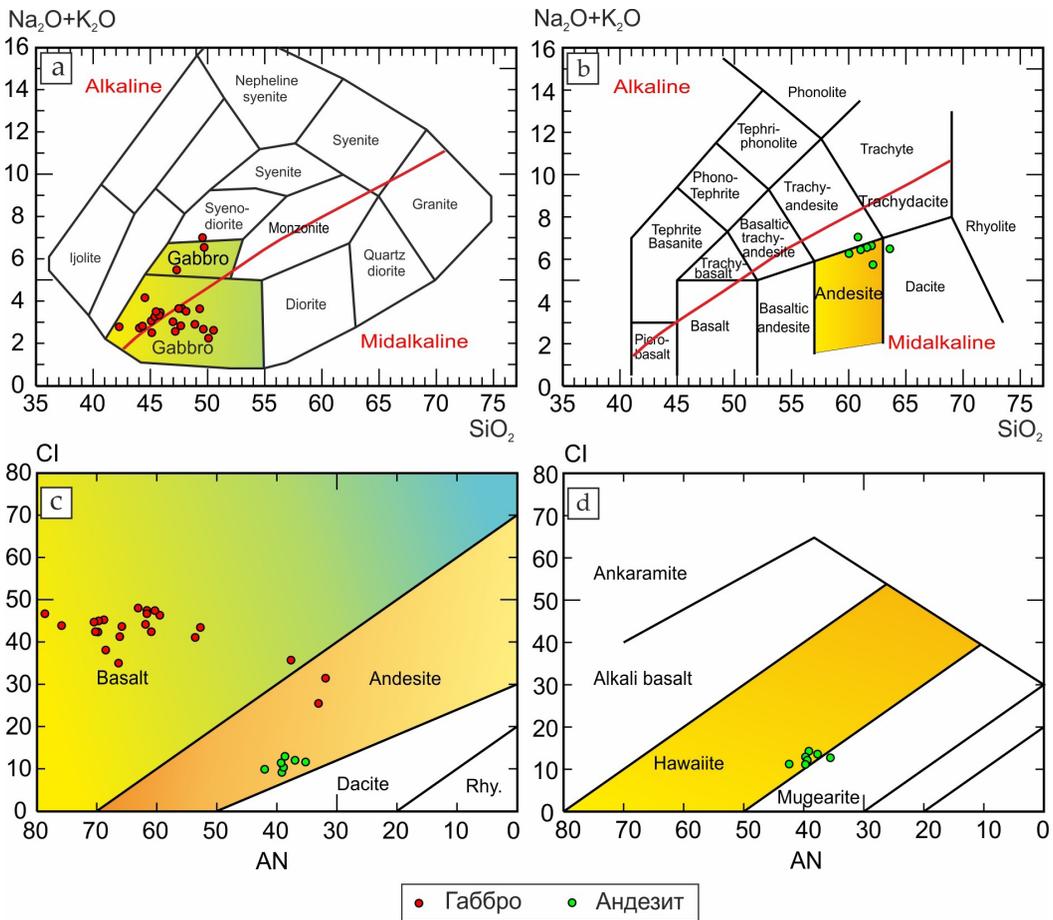


Рис. 5. Классификационные диаграммы для мезозойских магматических образований участка Юрский
 а – Диаграмма классификации интрузивных пород $(Na_2O+K_2O) - SiO_2$ по [11]. Здесь и на диаграмме (b) красная линия – разделение пород по типу щелочности по [9]
 б – Диаграмма классификации вулканических пород $(Na_2O+K_2O) - SiO_2$ по [12].
 с, d – Диаграммы дифференциации магматических серий CI-AN по [9]

Figure 5. Classification diagrams for Mesozoic igneous formations of the Jurassic area
 а – Classification diagram of intrusive rocks $(Na_2O+K_2O) - SiO_2$ according to [11]. Here and in the diagram (b) the red line is the division of rocks by alkalinity type according to [9]
 б – Classification diagram of volcanic rocks $(Na_2O+K_2O) - SiO_2$ according to [12].
 с, d – Differentiation diagrams of igneous series CI-AN according to [9]

Таблица 1 – Петрохимический состав мезозойских(?) магматических пород участка Юрский (вес %)
 Table 1 – Petrochemical composition of Mesozoic(?) igneous rocks of the Jurassic area (weight %)

№ образца	K1262/1	K1281/1	K1282/1	K1297/1	K1302/1	K1305/1	K2243/1	K2263/2	K2264/1	K2267/1	K2275/1	K2276/1	K2289/1	K2292/1	K2314/1	K2318/1
Породы																
SiO ₂	47,4	50,54	50,07	45,42	47,61	47,65	42,3	49,71	49,55	44,37	49,68	48,11	45,52	45,21	45,16	44,55
TiO ₂	1,95	1,01	1,03	1,18	1,46	1,36	1,2	1,97	1,65	1,81	1,02	0,79	1,33	1,34	1,45	1,42
Al ₂ O ₃	15,02	14,09	14,56	14,87	14,48	14,12	13,82	15,63	15,76	13,83	13,04	15,04	14,9	15,26	14,98	15,89
Fe ₂ O ₃	7,33	4,45	4,28	5,31	6,07	5,34	7,95	7,77	5,67	9,91	5,51	5,64	6,41	5,16	6,03	8,82
FeO	6,85	7,41	7,28	6,9	6,72	6,79	7,17	2,54	4,28	4,86	6,87	6,56	7,79	6,56	6,03	5,31
MnO	0,23	0,24	0,23	0,2	0,22	0,23	0,25	0,11	0,11	0,23	0,23	0,18	0,21	0,18	0,19	0,23
MgO	5,41	6,82	6,87	7,2	6,88	7,94	5,88	7,24	7,32	5,65	7,49	7,21	6,21	8,01	8,06	5,75
CaO	9,91	10,3	10,89	12,3	9,65	11,58	11,58	3,48	4,74	11,35	10,18	8,17	9,68	11,26	11,57	7,54
Na ₂ O	2,66	2,01	1,85	1,8	1,94	1,99	1,7	2,95	3,94	0,9	1,72	1,7	0,4	1,52	1,58	1,7
K ₂ O	1,03	0,62	0,42	1,73	1,77	0,85	1,09	3,64	2,99	1,9	0,95	1,82	2,83	1,46	0,91	2,43
H ₂ O ⁻	0,4	0,38	0,34	0,18	0,32	0,3	0,78	0,62	0,94	1,03	0,42	0,64	0,56	0,76	0,5	0,74
H ₂ O ⁺	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P ₂ O ₅	0,13	0,06	0,06	0,11	0,1	0,09	0,13	0,85	0,87	0,1	0,07	0,07	0,1	0,12	0,11	0,1
CO ₂	0,37	0,81	1,07	1,13	1,18	1,16	4,2	0,84	0,25	1,97	0,32	0,22	0,77	1,06	0,5	1,68
Li ₂ O	0,224	0,145	0,146	0,240	0,255	0,161	0,313	0,503	0,338	0,268	0,226	0,325	0,299	0,250	0,235	0,271
Rb ₂ O	0,277	0,158	0,089	0,385	0,483	0,180	0,373	0,814	0,692	0,582	0,252	0,410	0,676	0,247	0,139	0,532
S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,03	0	0	0	0	0
F	0,05	0,03	0,03	0,1	0,09	0,09	0,08	0,06	0,1	0,16	0,13	0,09	0,12	0,25	0,3	0,2
Summa	100,16	99,94	100,1	100,1	99,94	100,2	100,2	100,1	100,51	99,58	99,33	99,61	99,79	99,45	99,7	99,58
Na ₂ O+K ₂ O	3,69	2,63	2,27	3,53	3,71	2,84	2,79	6,59	6,93	2,8	2,67	3,52	3,23	2,98	2,49	4,13
Na ₂ O/ K ₂ O	2,58	3,24	4,40	1,04	1,10	2,34	1,56	0,81	1,32	0,47	1,81	0,93	0,14	1,04	1,74	0,70
K ₂ O/ Na ₂ O	0,39	0,31	0,23	0,96	0,91	0,43	0,64	1,23	0,76	2,11	0,55	1,07	7,08	0,96	0,58	1,43
al [*]	0,53	0,46	0,48	0,47	0,47	0,43	0,46	0,58	0,56	0,50	0,40	0,48	0,48	0,46	0,46	0,57
f [*]	0,51	0,44	0,43	0,42	0,44	0,39	0,51	0,32	0,34	0,48	0,41	0,41	0,49	0,38	0,38	0,48
ASI	0,64	0,62	0,62	0,55	0,64	0,56	0,55	1,03	0,86	0,57	0,58	0,77	0,70	0,62	0,61	0,83

№ образца	K2320/1	K2321/1	K2327/1	K2330/1	K2338/1	K2352/1	K3213/1	K3244/1	K3115/1	K3117/1	K3119/1	K3129/1	K3134/1	K3189/1	K3194/1
	1								2						
SiO ₂	48,91	47,2	45,93	44,16	47,01	47,23	49,43	46,22	60,78	61,48	61,84	63,6	62,17	59,97	60,99
TiO ₂	1,09	1,2	1,31	1,49	0,86	1,45	1,19	0,84	0,43	0,49	0,58	0,4	0,37	0,39	0,54
Al ₂ O ₃	13,9	13,81	13,29	14,99	13,77	14,02	13,92	16,03	17,03	16,11	15,76	15,66	15,83	15,46	15,79
Fe ₂ O ₃	4,5	5,28	7,35	6,06	6,02	2,94	5,61	5,4	1,43	0	1,18	1,17	1,13	1,48	1,15
FeO	7,39	7,46	4,78	7,26	6,47	6,24	5,06	5,57	2,74	2,99	2,92	2,83	2,4	3,41	2,43
MnO	0,23	0,24	0,21	0,21	0,23	0,15	0,19	0,18	0,05	0,06	0,06	0,05	0,06	0,05	0,06
MgO	7,21	7,42	6,08	6,46	7,42	9,25	7,11	5,97	2,44	2,96	2,87	3,14	2,95	2,69	2,52
CaO	11,2	11,05	9,95	10,32	11,44	7,67	10,52	11,52	4,13	4,34	4,17	3,29	3,99	4,46	4,98
Na ₂ O	2,04	1,99	0,93	1,55	2,04	3,55	2,47	1,71	3,16	3,51	3,55	3,33	3,47	3,43	3,42
K ₂ O	0,85	0,58	2,47	1,13	0,99	1,94	1,23	1,62	3,9	3,1	3,15	3,16	2,26	2,89	3,07
H ₂ O	0,28	0,42	0,72	0,64	0,34	0,42	0,48	0,36	1,73	0,78	1,1	1,12	1,12	0,99	1,06
H ₂ O*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P ₂ O ₅	0,07	0,1	0,11	0,11	0,07	0,79	0,12	0,06	0,18	0,18	0,18	0,16	0,17	0,17	0,17
CO ₂	0,02	1,53	2,6	1,91	0,59	1,56	0,94	1,79	1,79	1,88	1,87	1,42	2,26	3,78	2,96
Li ₂ O	0,135	0,140	0,274	0,237	0,148	0,332	0,202	0,219	0,144	0,223	0,204	0,227	0,303	0,209	0,216
Rb ₂ O	0,185	0,130	0,633	0,329	0,189	0,275	0,262	0,380	0,954	0,687	0,705	0,737	0,753	0,840	0,768
S	0	0	0	0	0	0,14	0	0	0	0,07	0,02	0,06	0,07	0	0
F	0,08	0,2	0,19	0,19	0,2	0,18	0,14	0,14	0,13	0,12	0,09	0,1	0,1	0,08	0,09
Summa	99,77	99,75	99,32	99,75	99,24	99,6	99,27	99,5	100,48	99,44	99,95	100,1	99,28	99,7	100,3
Na ₂ O+K ₂ O	2,89	2,57	3,4	2,68	3,03	5,49	3,7	3,33	7,06	6,61	6,7	6,49	5,73	6,32	6,49
Na ₂ O/K ₂ O	2,40	3,43	0,38	1,37	2,06	1,83	2,01	1,06	0,81	1,13	1,13	1,05	1,54	1,19	1,11
K ₂ O/Na ₂ O	0,42	0,29	2,66	0,73	0,49	0,55	0,50	0,95	1,23	0,88	0,89	0,95	0,65	0,84	0,90
al'	0,44	0,42	0,49	0,49	0,43	0,41	0,48	0,61	1,55	1,37	1,30	1,23	1,37	1,23	1,50
f*	0,42	0,43	0,43	0,46	0,41	0,31	0,37	0,43	0,44	0,36	0,40	0,37	0,36	0,46	0,40
ASI	0,56	0,58	0,60	0,67	0,55	0,64	0,57	0,63	1,01	0,95	0,94	1,05	1,03	0,92	0,88

Примечания: 1 – габбро, 2 – андезиты; al' Al/(Fe*+Mg), f*FeO*/(FeO*+MgO), ASI Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O) мол.
 Notes: 1 – gabbro, 2 – andesites; al' Al/(Fe*+Mg), f* FeO*/(FeO*+MgO), ASI Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O) mol.

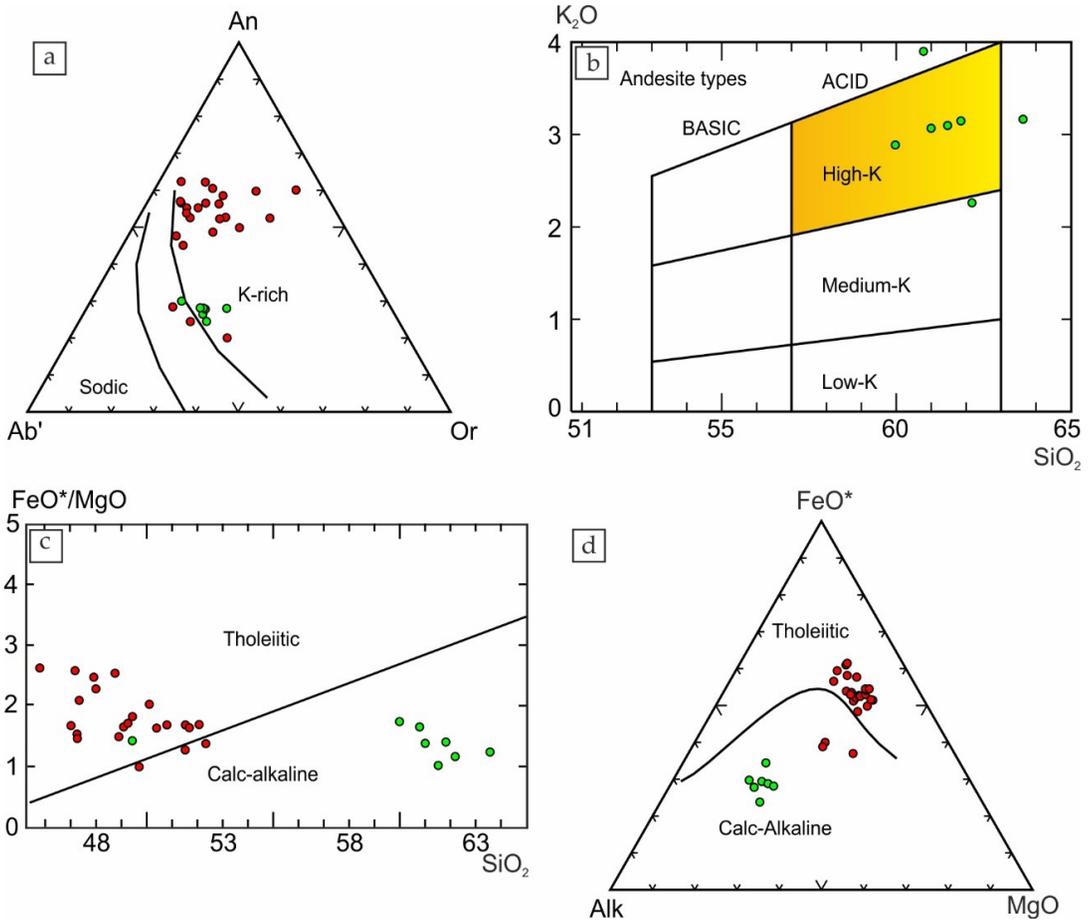


Рис. 6. Классификационные диаграммы для магматических образований участка Юрский
 а – Диаграмма состава плагиоклаза (Ab'-An-Or), по [9]
 б – Диаграмма типизации андезитов ($K_2O - SiO_2$), по [14]
 в – Диаграмма разделения базальтов на толеитовую и известково-щелочную серии ($FeO^*/MgO - SiO_2$), по [13]
 г – Диаграмма дифференциации магмы на толеитовую и известково-щелочную серии (AFM), по [9]
 Условные обозначения пород на рис. 3.

Figure 6. Classification diagrams for igneous formations of the Jurassic area
 а – Plagioclase composition diagram (Ab'-An-Or), according to [9]
 б – Andesite typification diagram ($K_2O - SiO_2$), according to [14]
 в – Diagram of basalt division into tholeiitic and calc-alkaline series ($FeO^*/MgO - SiO_2$), according to [13]
 г – Diagram of magma differentiation into tholeiitic and calc-alkaline series (AFM), according to [9]
 Legend's symbols for rocks in Fig. 3

Выделенные впервые *андезиты* участка Юрский по суммарному содержанию щелочей ($Na_2O+K_2O=5,73-7,06$ % отвечают умереннощелочным образованиям [9, 10] (рис. 5 б, табл. 1). Породы характеризуются калиево-натриевым типом щелочности ($Na_2O/K_2O=1-4$), а также относятся к высокоглиноземистой ($al' 1,23-1,55$) и магнезиальной ($f^* 0,36-0,4$) сериям (табл. 1). По классификационным данным (Na_2O+K_2O)- SiO_2 [12] рассматриваемые составы пород относятся к андезитам (рис. 5 б). Что согласуется с построениями на диаграммах (CI-AN) [9], где последние занимают положение полей андезитов (рис. 5 в) или гавайтов (рис. 5 г) и отвечают [9, 14] высококалиевым породам (рис. 6 а, б). По распределению составов на диаграммах ($FeO^*/MgO-SiO_2$) [13] и (AFM) [9] андезиты относятся к известково-щелочной петрохимической серии (рис. 6 в, г).

Геохимический состав пород

Габбро геохимически специализированы на литофильные элементы Sr, Ba, Cr, B, V, Sc, Nb, Zr, Y; халькофильные (Cu, Sn, Zn Pb, Ge) и сидерофильные (Ni, Co) элементы содержатся в значительно меньших концентрациях (табл. 2). По содержаниям элементов – Cr (100-470 г/т), V (170-420 г/т), Ni (89-330 г/т), Co (39-54 г/т), отношению Ni/Co (1,83-3,26), (табл. 2), Rb (7,22-18,14 г/т), Sr (216,35-452,42 г/т), Zr (46,47-61,33 г/т), Hf (0,99-1,33 г/т), La (2,02-6,01 г/т), Ce (5,74-11,94 г/т), Y (18,09-19,22 г/т), при вариациях отношения K/Rb (434,77-637,73) (табл. 3) габбро соответствуют производным толеитовой серии пород [15]. Распределение РЗЭ характеризуется пониженными концентрациями, как легких, так и тяжелых элементов \sum РЗЭ 28,93-41,94 (табл. 3, рис. 7а). Отмечаются пологие спектры распределения РЗЭ с содержаниями на уровне 10 хондритовых, со слабой отрицательной Eu аномалией ($Eu/Eu^*=0,76-0,94$). На спайдер-диаграмме отчетливо заметны минимумы в содержаниях Rb и Th, а также ярко выраженные максимумы Ba, La и Sr.

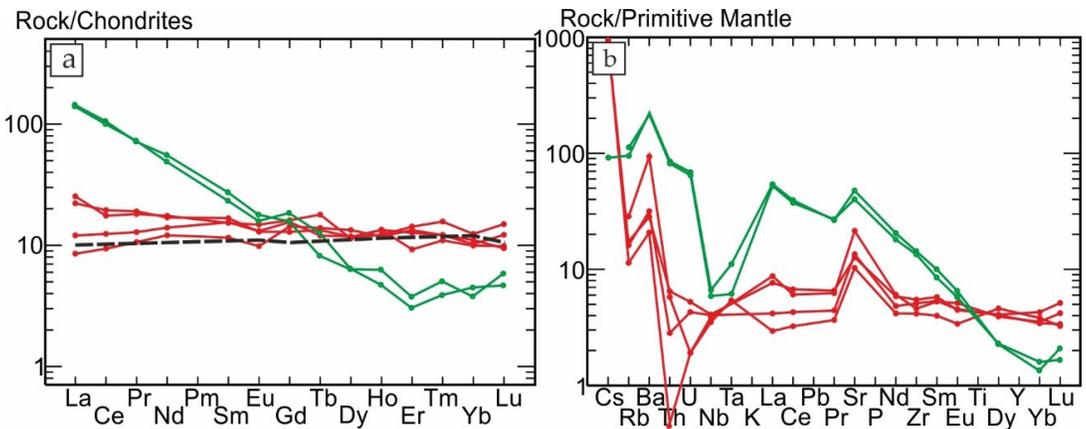


Рис. 7. Спектры распределения РЗЭ (а), спайдер-диаграмма распределения микроэлементов и РЗЭ (б).

Линии спектров: красный цвет – габбро, зеленый – андезиты. Нормирование составов:

а – к хондриту [16]; б – к примитивной мантии [17]

Figure 7. REE distribution spectra (a), spider diagram of microelement and REE distribution (b).

Spectrum lines: red – gabbro, green – andesites. Normalization of compositions [16];

b – to primitive mantle [17]

Таблица 2 – Геохимический состав магматических пород участка Юрекий по данным МАЭС+PGS-2 (г/т)
 Table 2 – Geochemical composition of igneous rocks of the Jurassic site according to MAES+PGS-2 data (ppm)

№ пробы	I										II					III		
	Sr	Ba	Cr	V	Sc	Nb	Zr	Y	Cu	Sn	Zn	Pb	Ge	Ni	Co	Ni/Co		
По [18]																		
K1262/1	560	240	130	420	72	9,89	140	32	100	2,84	80,2	12,6	1,92	110	39,3	2,80		
K1281/1	210	160	280	280	57	6,38	70,8	18	100	3,34	90	5,02	1,54	110	48,7	2,26		
K1282/1	240	320	330	280	61	9,97	76,8	23,9	50,4	2,13	90,5	4,83	2,16	120	47,1	2,55		
K1297/1	690	480	120	260	43	10,6	85,7	17,5	24,8	2,59	91,3	24,2	2,14	88,6	44,9	1,97		
K1302/1	510	330	190	350	57	13,8	110	28,6	28,6	3,19	120	15,6	2,04	110	48,5	2,27		
K1305/1	270	230	230	340	63	7,61	83,1	20,1	63,6	2,9	91,4	8,45	2,03	89	47	1,89		
K2243/1	840	360	170	450	94	38,5	200	36	56,2	2,71	140	8,88	2,15	120	48,3	2,48		
K2263/2	2400	1900	270	170	26,7	36,4	240	28,8	36,3	4,9	250	16,2	1,01	240	35	6,86		
K2264/1	3200	910	330	190	34	34,8	210	29,4	72,7	2,69	87,9	20,1	0,928	220	43,6	5,05		
K2267/1	660	170	220	350	77	26,8	140	27,6	83,1	2,63	120	16,5	1,86	87,8	47,6	1,84		
K2275/1	600	520	470	270	67	20,1	110	20,9	17,2	2,5	110	6,75	1,7	130	50	2,60		
K2276/1	510	470	620	280	62	12,8	82,2	19,8	30,8	35,3	120	7,28	1,93	130	47,6	2,73		
K2289/1	820	370	170	280	66	35,6	190	35,2	150	2,64	220	16,6	1,72	90,4	39,5	2,29		
K2292/1	550	420	190	250	62	24,8	120	22	62,6	2,47	180	12,1	2,06	110	54,1	2,03		
K2314/1	360	160	190	240	53	11,9	110	15,4	35,2	4,01	110	7,81	1,9	110	45,5	2,42		
K2318/1	1400	250	170	300	82	21,7	140	40,1	73	5,16	150	42,6	2,59	110	46,4	2,37		
K2320/1	330	240	260	330	58	9,7	100	21,6	56,5	1,82	130	13,8	2,9	110	49,3	2,23		
K2321/1	460	140	240	280	70	19,4	110	25,8	69,8	2,52	83,9	11,4	2,01	91	45,2	2,01		
K2327/1	960	470	240	290	68	29,6	120	28,5	16,3	2,62	150	10,8	2,64	96,4	44,4	2,17		
K2330/1	790	300	400	350	68	15,2	110	27,7	41,4	2,91	330	15,7	2,78	170	52,2	3,26		
K2338/1	190	140	200	330	65	8,85	99	20,4	260	3,41	88,7	11,9	1,96	76,9	42,1	1,83		
K2352/1	2200	2900	360	190	28	15,6	180	21,2	120	5,96	130	14,9	0,878	330	43,9	7,52		
K3213/1	560	520	230	280	52	8,74	110	17,5	37,7	1,99	97,3	12,9	1,68	90,4	46	1,97		
K3244/1	1100	290	100	190	66	28,2	110	18,6	46,4	1,82	97,1	29	1,28	81,3	38,6	2,11		
K3115/1	1400	1600	140	81,1	16,6	25,5	280	13,5	32,4	3,01	42,6	65,4	0,871	61	14,3	4,27		
K3117/1	1500	1200	300	56,6	16,2	23,5	270	12,6	53,5	4,62	47,1	75,2	1,41	64,8	12,3	5,27		
K3119/1	1300	1200	370	63,3	14,8	10,1	250	11,8	8,2	2,76	46,2	67,8	1,29	57,3	14	4,09		
K3129/1	1200	1300	230	55,7	13,4	13,9	230	12,4	63	4,39	140	91,6	1,73	59,3	11,8	5,03		
K3134/1	1100	1700	160	70,7	10,9	19,8	240	10,4	39,3	3,02	82,2	83,8	1,84	56,8	15,3	3,71		
K3189/1	1100	1100	130	69,3	11,4	20,3	260	9,23	24,3	2,73	52,7	61	0,955	60,9	15,2	4,01		
K3194/1	1400	1100	220	57,2	9,66	24,1	250	9,67	18,6	1,41	42,3	49,7	0,835	62	13,4	4,63		

Примечания: 1 – габбро, 2 – андезиты; Элементы по классификации [18]: I – литофильные, II – халькофильные, III – сидерофильные.

Notes: 1 – gabbro, 2 – andesites; Elements according to classification [16]: I – lithophile, II – chalcophile, III – siderophile.

Характеристика геохимической специализации *андезитов* схожа с габбро, т.е. при преобладании в составе пород элементов литофильной группы Sr, Ba, Cr, B, V, Sc, Nb, Zr, Y, отмечается снижение концентраций халькофильных Cu, Sn, Zn Pb, Ge и сидерофильных Ni, Co элементов (табл. 2). При этом, в сравнении с габбро, наблюдается рост содержаний части литофильных элементов Sr, Ba, Cr, Zr и значительное снижение значений халькофильных Cu, Sn, Zn Pb, Ge и сидерофильных Ni, Co групп (табл. 2).

Содержания элементов – Ba (1200-1700 г/т), Ni (57,3-64,8 г/т), Co (11,8-15,3 г/т), при отношении значений Rb/Sr (0,06-0,08) (табл. 2), Sr (792,61-939,28), Zr (143,51-152,63), Hf (3,17-3,27), Yb (0,65-0,77) (табл. 3) в андезитах отвечают латитовой серии пород (латиты шошонитового типа)[15]. Спектры распределения РЗЭ имеют отрицательный наклон при резком преобладании легких над тяжелыми элементами, со слабыми отрицательными Eu (Eu/Eu*=0,77-0,86) и Er аномалиями, а также с положительной Gd аномалией (рис. 7а, табл. 2). Суммарное содержание РЗЭ при сопоставлении с габбро значительно выше Σ РЗЭ 138,10-145,74 (табл. 3). На спайдер-диаграмме андезитов максимальные концентрации установлены для Ba, La, Sr и минимальные для Nb, Ta (рис. 7 б).

Таблица 3 – Геохимический состав магматических пород участка Юрский по данным ICPMS (г/т)
Table 3 – Geochemical composition of igneous rocks of the Jurassic site according to ICP MS data (ppm)

№ проб	K1281/1	K1282/1	K2275/1	K2320/1	K3119/1	K3194/1
Породы	1			2		
Rb	10,24	7,22	18,14	11,06	55,88	65,99
Sr	284,69	216,35	452,42	267,15	939,28	792,61
Y	19,22	19,04	18,89	18,09	7,89	7,73
Zr	57,11	46,47	51,44	61,33	152,63	143,51
Nb	2,87	2,50	2,77	2,91	4,54	4,03
Cs	7,30	7,44	<0,01	<0,01	0,67	<0,01
Ba	221,36	145,03	655,45	197,57	1429,65	1375,10
La	2,86	2,02	6,01	5,26	34,65	33,56
Ce	7,59	5,74	10,75	11,94	65,49	62,08
Pr	1,22	1,01	1,72	1,81	6,90	7,02
Nd	6,53	5,65	8,18	7,93	26,28	23,16
Sm	2,37	1,77	2,34	2,56	4,24	3,61
Eu	0,76	0,57	0,86	0,75	1,05	0,93
Gd	3,20	2,94	3,31	2,65	3,27	3,84
Tb	0,45	0,52	0,67	0,50	0,31	0,48
Dy	3,00	3,39	2,89	2,98	1,63	1,65
Ho	0,69	0,67	0,76	0,76	0,36	0,27
Er	2,36	2,21	2,10	1,53	0,63	0,51
Tm	0,40	0,31	0,31	0,28	0,13	0,10
Yb	2,11	1,88	1,74	1,69	0,65	0,77
Lu	0,38	0,24	0,31	0,25	0,15	0,12
Hf	0,99	1,12	1,33	1,05	3,27	3,17
Ta	<0,01	0,22	<0,01	<0,01	0,43	0,24
Th	0,24	0,04	0,49	0,55	6,70	6,42
U	0,09	0,04	0,04	0,11	1,34	1,26
K/Rb	502,71	483,12	434,77	637,73	469,36	386,15
Rb/Sr	0,04	0,03	0,04	0,04	0,06	0,08
Ba/Rb	21,62	20,10	36,14	17,86	25,58	20,84
Nb/La	1,00	1,24	0,46	0,55	0,13	0,12

Th/U	2,51	1,04	12,86	4,84	5,01	5,09
Y/Nb	6,71	7,62	6,83	6,23	1,74	1,92
Eu/Eu*	0,84	0,76	0,94	0,88	0,86	0,77
ΣPЗЭ	33,91	28,93	41,94	40,88	145,74	138,10

Примечания: 1 – габбро; 2 – андезиты; $Eu/Eu^* = Eu_N / [Sm_N \times Gd_N]^{1/2}$

Notes: 1 – gabbro; 2 – andesites; $Eu/Eu^* = Eu_N / [Sm_N \times Gd_N]^{1/2}$

Условия образования магматических пород

На диаграммах геодинамических обстановок $K_2O-TiO_2-P_2O_5$ [19] тела *габбро* относятся к континентальным образованиям, с незначительной долей океанических разностей (рис. 8 а). Напротив, исходя из особенностей петрохимического состава, на диаграмме $MgO-FeO^*-Al_2O_3$

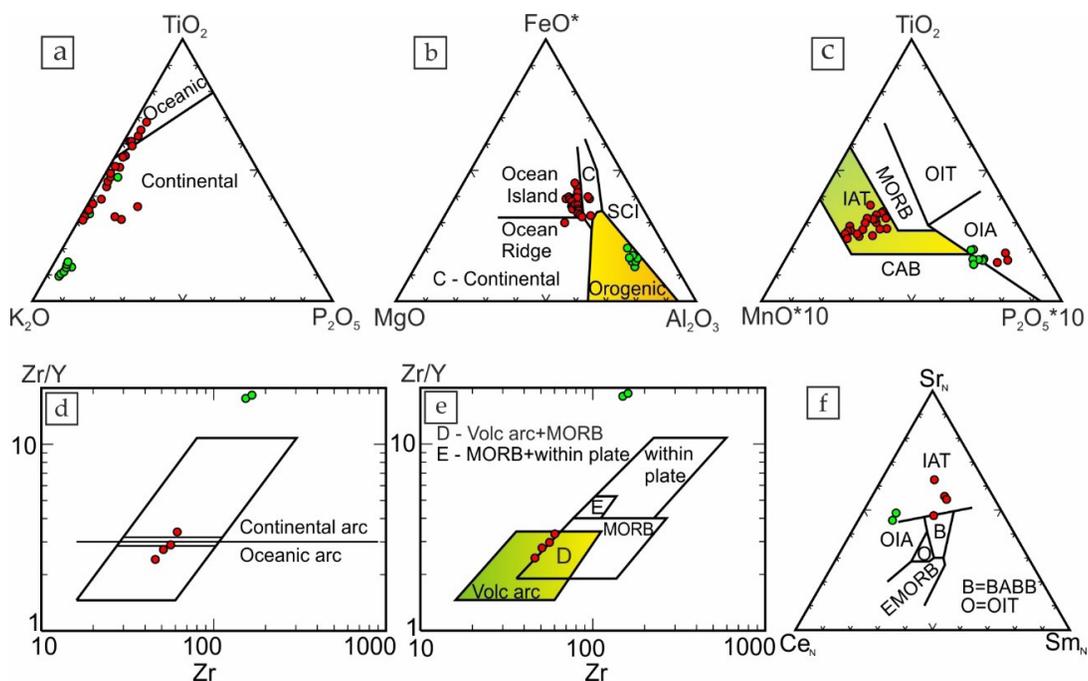


Рис. 8. Дискриминационные диаграммы для мезозойских магматических пород участка Юрский

а – Диаграмма разделения океанических и континентальных базальтов $K_2O-TiO_2-P_2O_5$, по [19]

б – Диаграмма для пород базальтового и андезитового состава $MgO-FeO^*-Al_2O_3$, по [20]

с – Диаграмма для пород базальтового и андезитового состава $Mn^*10-TiO_2-P_2O_5^*10$, по [21]

д, е – Диаграммы разделения базальтов $Zr/Y-Zr$, по [22]

ф – Диаграмма разделения базальтов $Ce_N-Sr_N-Sm_N$, по [20]

Обозначения полей диаграмм: CAB – известково-щелочные базальты; IAT – островодужные толеиты; MORB – базальты срединно-океанических хребтов; OIT – толеиты океанических островов; OIA – андезиты океанических островов; BABB – базальты задуговых бассейнов

Figure 8. Discriminant diagrams for Mesozoic igneous rocks of the Jurassic area

a – Diagram of separation of oceanic and continental basalts $K_2O-TiO_2-P_2O_5$ [19]

b – Diagram for rocks of basaltic and andesitic composition $MgO-FeO^*-Al_2O_3$ [20]

c – Diagram for rocks of basaltic and andesitic composition $Mn^*10-TiO_2-P_2O_5^*10$ [21]

d, e – Diagrams of separation of basalts $Zr/Y-Zr$ [22]

f – Diagram of separation of basalts $Ce_N-Sr_N-Sm_N$ [20]

Designations of diagram fields: CAB – calc-alkaline basalts; IAT – island-arc tholeiites; MORB – basalts of mid-ocean ridges; OIT – tholeiites of oceanic islands; OIA – andesites of oceanic islands; BABB – back-arc basin basalts

[20], точки составов занимают поле базальтов океанических островов (рис. 8 б). Что подтверждается расположением фигуративных точек составов на диаграмме $Mn^{*}10-TiO_2-P_2O_5*10$ [21], где габбро преимущественно занимает поле островодужных толеитов (рис. 8 с).

По соотношениям $Zr/Y-Zr$ [22], габбро относятся к образованиям как океанических, так и в меньшей мере континентальных вулканических дуг (рис. 8 d, e), что также определяется индексом $ASI Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O) < 1,05$ [23] (табл. 1). Наличие фигуративных точек в области островодужных толеитов, выделенных при интерпретации петрохимических параметров подтверждается отношением $Se_N-Sr_N-Sm_N$ [20] (рис. 8 f).

В результате анализа различных индексов, отражающих условия формирования габбро – K/Rb (434,77-637,73), Rb/Sr (0,03-0,04), Ba/Rb 17,86-36,14 (табл. 3) характерны для пород, образовавшихся из мантийного источника [24]. Отношения Nb/La (0,55-1,24), а также Th/U (в пределах 1,04-12,86) (табл. 3) отражает степень контаминации магм континентальной корой [25, 26]. Высокое отношение Y/Nb (6,23-7,62) (табл. 3) также отражает вклад мантийных источников [27]. Для тел, сложенных габбро как уже отмечалось, характерно наличие слабой отрицательной Eu -аномалией $Eu/Eu^*=0,76-0,94$ (табл. 3) что может говорить о формировании первичных мантийных магм при фракционной кристаллизации темноцветных породообразующих минералов [27].

На диаграмме отношений $K_2O-TiO_2-P_2O_5$ [19] фигуративные точки составов *андезитов* ложатся в поле континентальных образований (рис. 8 а). По отношению $MgO-FeO^*-Al_2O_3$ [20], относятся к образованиям вулканических дуг и активных континентальных окраин (рис. 8 б). Значение индекса $ASI Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O) < 1,05$ [22] (табл. 1) характерно для образований вулканических дуг.

На классификационной диаграмме $Mn^{*}10-TiO_2-P_2O_5*10$ [21] фигуративные точки андезитов попадают в области океанических островов и известково-щелочных базальтов (рис. 8 с). По соотношениям $Zr/Y-Zr$ [22], андезиты относятся к континентальным образованиям (рис. 8 d, e). В тоже время по отношению $Se_N-Sr_N-Sm_N$ рассматриваемые породы близки островодужным толеитам [20] (рис. 8 f). Слабая отрицательная Eu -аномалия $Eu/Eu^*=0,77-0,86$ (табл. 3) в андезитах, свидетельствует о формировании первичных мантийных магм при фракционной кристаллизации темноцветных породообразующих минералов [27].

Отношения K/Rb (386,15-469,36), Rb/Sr (0,06-0,08), Ba/Rb (20,84-25,58) в рассматриваемых андезитах (табл. 3), характерны для пород, образовавшихся из мантийного источника [24]. Отношения Nb/La (0,12-0,13) и Th/U (5,01-5,09) (табл. 3) отражают степень контаминации магм континентальной корой [25, 26], на что также указывают низкие значения отношения Y/Nb (1,74-1,92) (табл. 3) [27].

Обсуждение

Петрографическое изучение рассматриваемых пород показало, что габбро интенсивно преобразованы вторичными процессами (серицитизацией, соссюритизацией, карбонатизацией, хлоритизацией, уралитизацией). В силу чего в большинстве случаев породы не поддаются диагностике на микроуровне. Контакты габбро с вмещающими породами не четкие, с обилием обломков конгломератов, кристаллосланцев, гнейсов, до образования брекчий магматического характера. Стоит отметить наибольшее содержание рудного минерала в габбро до 7 %, в отличие от наименее измененных вторичными процессами роговообманково-авгитовых андезитов (скважина К3). Контакты последних с вмещающими алевролитами четкие, ровные. По взаимоотношению пород, а также по особенностям петрографического состава предполагается следующая последовательность образования и внедрения: 1) меловые конгломераты; 2) габбро; 3) роговообманково-авгитовые андезиты.

Габбро, по суммарному содержанию щелочей (Na_2O+K_2O) относятся как к щелочным, так и к умереннощелочным породам [9, 10], с низкими показателями $K_2O_{cp} = 1,39$ % (здесь и далее среднее значение дано по наименее измененным разностям) и отношения $K_2O/Na_2O_{cp} = 0,59$

(табл. 1). По петрохимическим характеристикам близки к породам толеитовой серии [9, 13], что подтверждается присутствием характерных литофильных элементов [15]. Распределение РЗЭ имеют первичный хондритовый состав, что типично для толеитов островных дуг [27, 28]. Отрицательная Rb, Th и положительная Ba, La, Sr аномалии в составе пород, характерны для базальтов надсубдукционных комплексов [29].

В целом петро-геохимические характеристики габбро не однозначны и имеют двойственность составов, по которым они близки как к континентальным [19], так и к океаническим образованиям [22]. Последнее утверждение подтверждается большинством параметров составов, по которым тела габбро близки к океаническим толеитам островных дуг [20 – 23]. По различным петро-геохимическим отношениям, для тел габбро характерна мантийная природа образования [24, 27], при незначительном участии корового материала [25, 26].

Андезиты по суммарному содержанию щелочей ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) относятся к умереннощелочным породам при более высоких, по сравнению с габбро, содержаниях $\text{K}_2\text{O}_{\text{ср}} = 3,07$ и отношении $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}_{\text{ср}} = 0,85$. По петрохимическим характеристикам отвечают высоко-калиевым андезитам или гавайтам и относятся к известково-щелочной петрохимической серии пород [9, 13, 14]. Геохимическая специализация отвечает породам латитовой серии, или латитам шошонитового типа [15]. При этом, по сравнению с габбро, наблюдается рост содержаний части литофильных элементов Sr, Ba, Cr, Zr и значительное снижение значений халькофильных Cu, Sn, Zn Pb, Ge и сидерофильных групп Ni, Co. Распределение и концентрация РЗЭ типично для пород известково-щелочных лав и шошонитов [27, 28] (линия спектров имеет отрицательный наклон при резком преобладании легких над тяжелыми элементами); концентрация РЗЭ по сравнению с габбро – $\Sigma\text{РЗЭ}$ (28,93-41,94), значительно выше – $\Sigma\text{РЗЭ}$ (138,10-145,74).

В поперечном профиле островной дуги выделяются три ассоциации вулканических пород, несколько различающихся по содержанию главных петрогенных, редких и рассеянных элементов: 1. толеиты, 2. известково-щелочные лавы, 3. шошониты (высококалиевые известково-щелочные породы) [28]. Толеиты островных дуг лишь незначительно отличаются от океанических и встречаются преимущественно на внешней стороне фронтальной дуги. Они извергаются на ранних стадиях эволюции островной дуги [28]. Толеиты островных дуг имеют первичный хондритовый состав РЗЭ; известково-щелочные лавы слагают часть фронтальной дуги, прилегающей к активным вулканам, а шошониты – зону активных вулканов. Переход между толеитами, известково-щелочными лавами и шошонитами постепенный [28]. Он выражается в росте значений K_2O – для габбро (1,39 %), андезитов (3,07 %), и $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ – для габбро (0,59), андезитов (0,85); уменьшении содержания железа, увеличении концентраций легких РЗЭ и суммы РЗЭ [28] – для габбро $\Sigma\text{РЗЭ}$ (28,93-41,94), андезитов $\Sigma\text{РЗЭ}$ (138,10-145,74) (табл. 1, 3).

Присутствие таких пород как габбро и андезитов, характерно для зрелых островных дуг и активных континентальных окраин [15]. Что не противоречит имеющимся представлениям предшественников [3]. А также схожим по геологическому строению объектам, каковыми являются продуктивные на золото габбро-тоналит-гранодиорит-гранитные (ГТГГ) массивы Урала и представляющие собой надсубдукционные образования на активной континентальной окраине андийского типа [30].

Заключение

Таким образом, по петрографическому составу выделяются две группы пород: габбро и андезиты. Что подтверждается значениями и вариациями петрохимического состава. По геохимическим характеристикам габбро близки таковым толеитовой серии. По тем же показателям андезиты относятся к известково-щелочной петрохимической серии, латитам шошонитового типа. Присутствие таких пород как габбро и андезитов, характерно для зрелых, островных дуг и активных континентальных окраин. Что не противоречит имеющимся представлениям предшественников. А также схожим по геологическому строению объектам, каковыми являются продуктивные на золото габбро-тоналит-гранодиорит-гранитные (ГТГГ) массивы Урала

и представляющие собой надсубдукционные образования на активной континентальной окраине андийского типа. Таким образом, наличие пород ГТГГ формации в пределах Половинкинской впадины служит благоприятным фактором благородно-металльных рудогенерирующих процессов.

Литература

1. Молчанов, А. В. Золоторудные районы и узлы Алдано-Становой металлогенической провинции / А. В. Молчанов, А. В. Терехов, В. В. Шатов, О. В. Петров, К. А. Кукушкин, Д. С. Козлов, Н. В. Шатова. – Текст : непосредственный // Региональная геология и металлогения. 2017 – № 71. – С. 93–111.
2. Котов, А. Б. Граничные условия геодинамических моделей формирования континентальной коры Алданского щита: 25.00.01 : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук : защищена 27.05.2003 : утверждена 05.12.2003 / Котов Александр Борисович. – Санкт-Петербург, 2003. – 79 с – Текст : непосредственный.
3. Тектоника геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / под общей редакцией Л. М. Парфенова, М. И. Кузмина ; Институт геологии алмаза и благородных металлов – Москва : МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. – 571 с. – Текст : непосредственный.
4. Максимов, Е. П. Геологическое строение центральной части Алданского щита / Е. П. Максимов, А. Н. Угрюмов. – Текст : непосредственный // Геология и петрология докембрия Алданского щита. – Москва : Наука, 1966. – С. 51–58.
5. Дзевановский, Ю. К. История геологического развития Алданского щита / Ю. К. Дзевановский, Е. П. Миронюк, Г. Ю.Лагздина. – Текст : непосредственный // Тектоника Сибири. Том 3. Тектоника Сибирской платформы. – Москва : Наука, 1970. – С. 132–141.
6. Кицул, В. И. Отражение тектонической структуры фундамента Алданского щита в метаморфических и минеральных фациях / В. И. Кицул, Л. М. Богомолова, В. Л. Дук [и др.]. – Текст : непосредственный // Метаморфизм горных пород Урала. – Свердловск : УНЦ АН СССР, 1979. – С. 41–46.
7. Радьков, А. В. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Алдано-Забайкальская. Лист О–52 – Томмот. Объяснительная записка. / А. В. Радьков, А. В. Молчанов, Е. В. Беленко, Д. С. Козлов [и др.] – Санкт-Петербург : Издательство СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2016. – 280 с. – Текст : непосредственный
8. Whitney, D. L. Abbreviations for names of rock-forming minerals / D. L. Whitney, B. W. Evans. – Text : unmediated // American Mineralogist. – 2010. – Volume 95. – P. 185–187.
9. Irvine, T.N. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks / T. N. J. Irvine, W. R. A. Baragar. – Text : unmediated // Canadian journal of earth sciences. – 1971. – 8 (5). – P. 523–548.
10. Le Maitre, R.W. Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms, 2nd edition / R.W. Le Maitre, A. Streckeisen, B. Zanettin [et al.]. – Cambridge : Cambridge University Press, 2002. – 254 p. – Text : unmediated.
11. Wilson, M. Review of igneous petrogenesis / M. Wilson. – Text : unmediated // A global tectonic approach. Terra Nov. – 1989. – 1. – P. 218–222.
12. Le Bas, M. J. A chemical classification of volcanic rocks based on the Total Alkali-Silica Diagram / M. J. Le Bas, R. W. Maitre, A. Streckeisen [et al.]. – Text : unmediated. // Journal of Petrology. – 1986. – 27. – P. 745–750.
13. Miyashiro, A. Volcanic rock series in Island Arcs and active continental margins / A. Miyashiro. – Text : unmediated // American Journal of Science. – 1974. – 274 (4). – P. 321–355.
14. Gill, J. B. Orogenic andesites and plate tectonics / J. B. Gill. – Berlin: Spriger-Verlag, 1981. – 390 p. – Text : unmediated.
15. Интерпретация геохимических данных : учебное пособие / Т. В. Донская, А. В. Иванов, Д. П. Гладкочуб ; научная редакция Е. В. Склярв. – Москва : Интернет инжиниринг, 2001. – 287 с. – Текст : непосредственный.
16. Sun, S. S. Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts: Implications for Mantle Composition and Processes / S. S. Sun, W. F. McDonough. – Text : electronic // Geological Society. – 1989. – v. 42. – London,

Special Publications. – p. 313–345. – URL : <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-chemicalandisotopicsystematicsofoceanicbasaltssunmcdonough1989normalisation.pdf?ysclid=m43n69cdse858298051>.

17. McDonough, W. F. Potassium, Rubidium and Cesium in the Earth and Moon and the evolution of the mantle of the Earth / W. F. McDonough, S. S. Sun, A. E. Ringwood, E. Jagoutz, A. W. Hofmann. – Text : electronic // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 1992. – 56. – P. 1001–1012. – URL : https://www.researchgate.net/publication/245539704_Potassium_rubidium_and_cesium_in_the_Earth_and_Moon_and_the_evolution_of_the_mantle_of_the_Earth

18. Goldschmidt, V. M. *Geochemistry* / V. M. Goldschmidt. – Clarendon Press, Oxford; 1954. – Text : unmediated.

19. Pearce, T. H. The TiO₂-K₂O-P₂O₅ diagram: a method of discriminating between oceanic and non-oceanic basalts / T. H. Pearce, B. E. Gorman, T. C. Birkett. – Text : unmediated // *Earth and Planetary Science Letters*. – 1975. – Volume 24, Issue 3. – P. 419–426.

20. Pearce, R. G. Fault plane solutions using relative amplitudes of P and pP / R. G. Pearce – Text : unmediated // *Geophysical Journal International*. – 1977. – Volume 50, Issue 2. – P. 381–394.

21. Mullen, E. D. MnO/TiO₂/P₂O₅: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis / E. D. Mullen. – Text : unmediated // *Earth and Planetary Science Letters*. – 1983. – 62 (1). – P. 53–62.

22. Pearce, J. A. Ophiolite origin investigated by discriminant analysis using Ti, Zr and Y / J. A. Pearce, J. R. Cann. – Text : unmediated // *Earth and Planetary Science Letters*. – 1971. – 12 (3). – P. 339–349.

23. Maniar, P. D. Tectonic Discrimination of Granitoids / P. D. Maniar, P. M. Piccoli. – Text : unmediated // *Geological Society of America Bulletin*. – 101 (5). – P. 635–643.

24. Даценко, В. М. Петрогеохимическая типизация гранитоидов юго-западного обрамления Сибирской платформы / В. М. Даценко. – Текст : непосредственный // *Петрография на рубеже XXI века: итоги и перспективы*. – 2000. – Т. III. – С. 270–274.

25. Lightfoot, P. C. Remobilisation of the Continental Lithosphere by a Mantle Plume: Major Trace-Element, and Sr-, Nd-, and Pb-Isotopic Evidence from Picritic and Tholeiitic Lavas of the Noril'sk District, Siberian Trap, Russia / P. C. Lightfoot, C. J. Howkesworth, J. Hergt [et al] // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. – 1993. – 114 (2). – P. 171–188

26. Taylor, S. R. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution* / S. R. Taylor, S. M. McLennan. – USA: Blackwell Scientific Publications; 1985. – 312 p. – Text : unmediated.

27. Балашов, Ю. А. Геохимия редкоземельных элементов / Ю. А. Балашов. – Москва : Наука, 1976. – 267 с. – Текст : непосредственный.

28. Швеллер, У. Дж. Островные дуги / У. Дж. Швеллер. – Текст : непосредственный // *Структурная геология и тектоника плит*. – 1991. Т.2. – С. 165–176.

29. Rollinson, H. *Using geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation* / H. Rollinson. – London : Longman Scientific & Technical, 1993. – 379 p. – Text : unmediated.

30. Ферштатер, Г. Б. Золотоносные габбро-тоналит-гранодиорит-гранитные массивы Урала: возраст, геохимия, особенности магматической и рудной эволюции / Г. Б. Ферштатер, В. В. Холоднов, А. А. Кременецкий [и др.]. – Текст : непосредственный // *Геология рудных месторождений*. – 2010. – 52 (1). – С. 65–84.

References

1. Molchanov AV, Terekhova V, Shatov V, Petrov OV, Kukushkin KA, Kozlov DS, Shatov NV. Gold mining areas and nodes of the Aldan-Stanovoy metallogenic province. *Regional geology and metallogeny*. 2017;2:93–111. (in Russian)

2. Kotov AB. Boundary conditions of geodynamic models of the formation of the continental crust of the Aldan shield. Summary of Doctoral dissertation (Geology). St. Petersburg, 2003. (in Russian)

3. Parfenov LM, Kuzmin MI. Tectonics, geodynamics and metallogeny of the territory of the Republic of Sakha (Yakutia). Moscow: MAIK Nauka/Interperiodics, 2001:571. (in Russian)

4. Maksimov EP., Ugryumova N. The geological structure of the central part of the Aldan shield. *Geology and petrology of the Precambrian of the Aldan shield*. 1966:51–58. (in Russian)
5. Dzevanovsky YuK, Mironyuk EP, Lagzdina GYu. The tectonics of Siberia. Volume 3. *Tectonics of the Siberian platform. The history of the geological development of the Aldan shield*. Moscow: Nauka; 1970:132–141. (in Russian)
6. Kitsul VI, Bogomolova LM, Duk VL, et al. Reflection of the tectonic structure of the foundation of the Aldan shield in metamorphic and mineral facies. *Metamorphism of the rocks of the Urals*, 1979:41–46. (in Russian)
7. Radkova V, Molchanova V, Belenko EV, et al. State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1000000 (third generation). The Aldano-Zabaikalskaya series. Sheet O–52 – Tommot (Explanatory note). St. Petersburg: Publishing house of St. Petersburg kartfabriki VSEGEI; 2016:280. (in Russian)
8. Whitney DL, Evans BW. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *Am. Mineral.* 2010;95(1):185–187.
9. Irvine TN, Baragar WRA. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.*, 1971;8:523–548.
10. Le Maitre RW, Streckeisen A, Zanettin B, Le Bas M.J, Bonin B, Bateman P. (Eds.) *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms*, 2nd ed.; Cambridge University Press: Cambridge, UK; 2002:254.
11. Wilson M. Review of igneous petrogenesis: Aglobal tectonic approach. *Terra Nov.* 1989;1:218–222.
12. Le Bas MJ, Le Maitre RW, Streckeisen A, Zanettin B. A chemical classification of volcanic rocks based on the Total Alkali-Silica Diagram. *J. Petrol.* 1986;27:745–750.
13. Miyashiro A. Volcanic rock series in Island Arcs and active continental margins. *Am. J. Sci.*, 1974;274:321–355.
14. Gill JB. *Orogenic andesites and plate tectonics*. Springer Verlag, Berlin; 1981:390.
15. Sklyarov EV, Gladkochub DP. Interpretation of geochemical data. Moscow: Internet Engineering; 2001:287. (in Russian)
16. Sun SS, McDonough WF. Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts: Implications for Mantle Composition and Processes. *Geol. Soc. Spec. Publ.* 1989; 42:313–345.
17. McDonough WF, Sun SS, Ringwood AE, Jagoutz E, Hofmann AW. Potassium, Rubidium and Cesium in the Earth and Moon and the evolution of the mantle of the Earth. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 1992;56:1001–1012.
18. Goldschmidt VM. *Geochemistry*. Clarendon Press, Oxford; 1954.
19. Pearce TH, Gorman BE, Birkett TC. The TiO₂-K₂O-P₂O₅ diagram: a method of discriminating between oceanic and non-oceanic basalts. *Earth Planet. Sci. Lett.* 1975;24:419–426.
20. Pearce RG. Fault plane solutions using relative amplitudes of P and pP. *Geophys. J. R. astr. Soc.* 1977;50:381–394.
21. Mullen ED. MnO/TiO₂/P₂O₅: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis. *Earth Planet. Sci. Lett.* 1983;62(1):53–62.
22. Pearce JA, Cann JR. Ophiolite origin investigated by discriminant analysis using Ti, Zr and Y. *Earth and Planetary Science Letters*. 1971;12(3):339–349.
23. Maniar PD, Piccoli PM. Tectonic Discrimination of Granitoids. *Geol. Soc. Am. Bull.* 1989;101:635–643.
24. Dotsenko VM. Petrogeochemical typification of granitoids of the southwestern framing of the Siberian platform. *Petrography at the turn of the XXI century: results and prospects*. Vol. III. 2000:270-274. (in Russian)
25. Lightfoot PC, Howkesworth CJ, Hergt J, et al. Remobilisation of the Continental Lithosphere by a Mantle Plume: Major Trace-Element, and Sr-, Nd-, and Pb-Isotopic Evidence from Picritic and Tholeiitic Lavas of the Noril'sk District, Siberian Trap, Russia. *Contrib. Mineral. Petrol.* 1993;114:171–188.
26. Taylor SR, McLennan SM. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Oxford, MS, USA: Blackwell Scientific Publications; 1985.
27. Balashov YU. *Geochemistry of rare earth elements*. Moscow: Nauka; 1976:267.
28. Shveller UDzh. Island arcs. *Structural Geology and Plate tectonics*. Vol. 2. 1991:165-176. (in Russian)
29. Rollinson H. *Using geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation*. London: Longman Scientific & Technical; 1993:379.

30. Fershtater GB, Kholodnov VV, Kremenetsky A, Krasnobaev A, Borodina NS, Zenkova EA, Pribilkin SV. Gold-bearing gabbro-tonalite-granodiorite-granite massifs of the Urals: age, geochemistry, features of magmatic and ore evolution. *Geology of ore deposits*. 2010;52(1):65–84. (in Russian)

Сведения об авторах

ИВАНОВ Алексей Иванович – к.г.-м.н., с.н.с., ИГАБМ СО РАН, Researcher ID: JBR-7954-2023, Scopus Author ID: 57674640500, РИНЦ Author ID: 176449, <https://orcid.org/0000-0002-5485-3127>. E-mail: aiivanov@diamond.ysn.ru

IVANOV Alexey I. – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher, Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, Researcher ID: JBR-7954-2023, Scopus Author ID: 57674640500, RSCI Author ID: 176449, <https://orcid.org/0000-0002-5485-3127>

ЛОСКУТОВ Евгений Евгеньевич – к.г.-м.н., с.н.с., ИГАБМ СО РАН. Researcher ID: ААО-4823-2021. Scopus Author ID: 57205150102. РИНЦ Author ID: 729281. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7491-1067>. E-mail: Loskutov@diamond.ysn.ru

LOSKUTOV Evgeniy E. – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher, Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS. Researcher ID: ААО-4823-2021. Scopus Author ID: 57205150102. RSCI Author ID: 729281. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7491-1067>

ЖУРАВЛЕВ Анатолий Иванович – м.н.с., ИГАБМ СО РАН. Researcher ID: AAC-6095-2019, Scopus Author ID: 57200217371, РИНЦ Author ID: 857832, <https://orcid.org/0000-0003-0115-5146>. E-mail: ai.zhuravlevgeo@gmail.com

ZHURAVLEV Anatolii I. – Junior Researcher, Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS. Researcher ID: AAC-6095-2019, Scopus Author ID: 57200217371, RINC Author ID: 857832, <https://orcid.org/0000-0003-0115-5146>

ИВАНОВ Мичил Спартакович – м.н.с., ИГАБМ СО РАН. Research ID: AAL-7447-2021, Scopus Author ID: 57212410522, РИНЦ Author ID: 1050170 <https://orcid.org/0000-0002-0204-1653>. E-mail: ivanov.michil@bk.ru

IVANOV Michil S. – Junior Researcher, Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS. Research ID: AAL-7447-2021, Scopus Author ID: 57212410522, RSCI Author ID: 1050170 <https://orcid.org/0000-0002-0204-1653>, e-mail: ivanov.michil@bk.ru

КРАВЧЕНКО Александр Александрович – к.г.-м.н., с.н.с., ИГАБМ СО РАН. Scopus Author ID: 15750892800, РИНЦ Author ID: 152465 <https://orcid.org/0000-0001-9767-6610>. E-mail: freshrock@yandex.ru

KRAVCHENKO Alexander A. – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher, Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS. Scopus Author ID: 15750892800, РИНЦ Author ID: 152465 <https://orcid.org/0000-0001-9767-6610>