

УДК 553.411.071

<https://doi.org/10.31242/2618-9712-2022-27-3-346-362>

## **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**

*Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, г. Якутск, Российская Федерация*

✉ [aiivanov@diamond.ysn.ru](mailto:aiivanov@diamond.ysn.ru)

### **Аннотация**

В работе приводятся результаты изучения петро- и геохимических особенностей составов магматических образований массива Таежный. Массив расположен в центральной части Нимнырского блока Алданского щита, в пределах Леглиерского рудного узла Эвотинского золотоносного района. По нашим полевым и петрографическим наблюдениям впервые было установлено двухфазовое строение массива. Первая фаза представлена сиенит-порфирами, вторая – лейкократовыми сиенитами. На поздних стадиях развития магматизма происходило внедрение даек бостонитов и вогезитов. В ходе исследований петро- и геохимических составов всех мезозойских магматических образований, участвующих в строении массива Таежный, выявлены следующие особенности: по различным классификационным данным в массиве выделяются две группы пород – кварцевые сиениты (I фаза) с неоднозначными петрохимическими характеристиками, по которым они близки как к высококалусовой известково-щелочной, так и к шошонитовой петрохимической серии; лейкократовые сиениты (II фаза) шошонитовой петрохимической серии; бостониты дайки близки сиенитам и отвечают породам только шошонитовой петрохимической серии; вогезиты дайки (сиенит-монцонитовый лампрофир) отвечают породам шошонитовой петрохимической серии. Все породы геохимически специализированы на Rb, Ba, Sr, В, Cr, V, Nb, Sc, т. е. на литофильные элементы. По различным отношениям и соотношениям элементов примесей все рассматриваемые породы несут как коровые, так и мантийные метки. А также сделан вывод о том, что все породы, участвующие в строении массива, могут рассматриваться в составе монцонит-сиенитового формационного типа.

**Ключевые слова:** Эвотинский золотоносный район, Леглиерский рудный узел, Алданский щит, магматизм, массив, дайки, сиенит, вогезит

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках Государственного задания НИР ИГАБМ СО РАН и договора с АО «Золото Селигдара».

**Для цитирования:** Иванов А.И., Иванов М.С., Журавлев А.И. Петро- и геохимический состав мезозойских магматических пород массива Таежный (Южная Якутия, Алданский щит, Эвотинский золотоносный район). *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2022;27(3):346–362. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2022-27-3-346-362>

## **Petro- and geochemical composition of mesozoic magmatic rocks of the Taezhny massif (South Yakutia, Evotinsky gold bearing region)**

**A. I. Ivanov, M. S. Ivanov, A. I. Zhuravlev**

*Diamond and Precious Metal Geology Institute,  
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation*

✉ [aiivanov@diamond.ysn.ru](mailto:aiivanov@diamond.ysn.ru)

### **Abstract**

We studied petro- and geochemical features of the compositions of magmatic formations in the Taezhny massif. The massif is located in the central part of the Nimnyr block of the Aldan shield within the Leglier ore cluster in the Evotinsky gold bearing region. For the first time, according to our field and petrographic observations, the two-phase structure of the massif has been established. The first phase was represented by syenite-porphyry, and the second, by leucocratic syenite. At the later stages of magmatism development, the intrusion of bostonite and

vogesite dikes took place. According to various classification data, we distinguish two groups of rocks in the Tazhny massif: quartz syenites (phase I) with ambiguous petrochemical characteristics, which make them close to both high-potassium calc-alkaline and shoshonite petrochemical series; leucocratic syenites (phase II) of the shoshonite petrochemical series; bostonite dikes, similar to syenites and corresponding to rocks of the shoshonite petrochemical series only; vogesite dikes (syenite-monzonite lamprophyre) correspond to rocks of the shoshonite petrochemical series. All rocks are geochemically specialized for lithophilic elements: Rb, Ba, Sr, B, Cr, V, Nb, Sc. According to the ratios of trace elements, all studied rocks bear both crustal and mantle marks. We conclude that all the rocks involved in the structure of the massif could be considered as part of the monzonite-syenite formation type.

**Keywords:** Evotinsky gold-bearing region, Leglier ore cluster, Aldan shield, magmatism, massif, dykes, syenite, vogesite

**Funding.** This study was carried out within the framework of the State Assignment to DPMGI SB RAS and contract with PJSC «Seligdar».

**For citation:** Ivanov A.I., Ivanov M.S., Zhuravlev A.I. Petro- and geochemical composition of mesozoic magmatic rocks of the Tazhny massif (South Yakutia, Evotinsky gold bearing region). *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2022;27(3):346–362. (In Russ.) <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2022-27-3-346-362>

## Введение

Проблемы генезиса и металлогенической специализации многофазовых магматических образований рудных районов всегда актуальны и дискуссионны [1–6; и др.]. Одним из ключевых моментов в решении этих проблем является комплексное изучение отдельно взятых объектов, в частности, их петро- и геохимических характеристик, металлогенической специализации во взаимосвязи с условиями образования.

В Эвотинском золотоносном районе на территории Леглиерского рудного узла многофазовые магматические образования периода мезозойской тектономагматической активизации представлены Медведевским и Таежным массивами, а также многочисленными малыми телами – штоками, силлами и дайками, разобщенными по площади и приуроченными к разрывным нарушениям. На смежной территории Центрально-Алданского рудного района золоторудные проявления генетически связаны с многофазовым? мезозойским магматизмом [7–15; и др.].

## Материалы и аналитические методы

Петрографический состав пород был изучен на поляризационном микроскопе МИН-8 (70 шлифов). Фото шлифов сделаны на поляризационном микроскопе Olympus BX 50, при увеличении 25, 40, 100, камера Zeiss Axio CamICs 3. Главные компоненты и микроэлементы пород определялись, соответственно, методами силикатного анализа (Галенчикова Л.Т.) и многоканальной атомно-эмиссионной спектрометрии (Коркина С.Ю.) в отделе физико-химических методов анализа ИГАБМ СО РАН (г. Якутск). Проанализировано 70 проб. Содержания микроэлементов

в породах (25 проб) определялись с помощью масс-спектрометра ELAN модель DRC-е в лаборатории ООО «ХАЦ «Плазма» (г. Томск).

## Геология массива Таежный

Эвотинский золотоносный район расположен в центральной части Алданского щита и пространственно совпадает с Центрально-Алданским супертеррейном. На западе по Амгинской зоне тектонического меланжа он граничит с Западно-Алданским составным террейном, а на востоке по Тыркандинской зоне тектонического меланжа – с Восточно-Алданским супертеррейном. В его составе различаются Нимнырский и Сутамский составные террейны, разделенные Сеймским надвигом [10] (рис. 1).

Массив Таежный расположен в пределах Леглиерского рудного узла центральной части Нимнырского блока Алданского щита, Эвотинского золотоносного района. На современном уровне эрозионного среза массив имеет форму неправильного эллипсоида, длинная ось которого ориентирована в северо-восточном направлении (рис. 2). По нашим полевым наблюдениям впервые было установлено его двухфазовое строение. Первая фаза представлена сиенит-порфирами, вторая – лейкократовыми сиенитами (рис. 2, 3, б, в). Контакт между ними ровный, четкий (см. рис. 2, 3, а). Массив интродуцирует породы фундамента (см. рис. 3, б), а сам прорывается дайками бостонитов и вогезитов.

## Петрография пород массива Таежный

Наименее распространенными породами массива Таежный являются *сиенит-порфиры* (см. рис. 3, а), которые образуют небольшой выход в

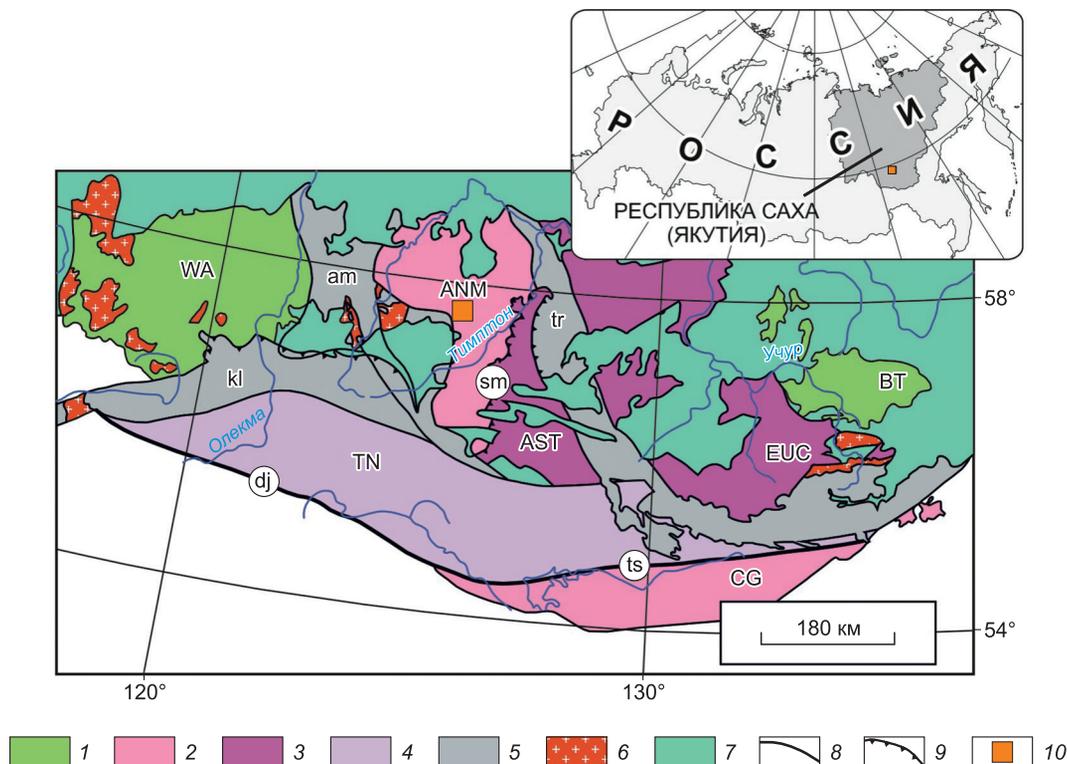


Рис. 1. Тектоническая схема Алданского щита [10].

1 – гранит-зеленокаменные террейны (WA – Западно-Алданский, BT – Батомгский); 2 – гранулит-ортоogneiss террейны (ANM – Нимнырский, CG – Чогарский); 3 – гранулит-параgneiss террейны (AST – Сутамский, EUC – Учурский); 4 – тоналит-трондjemит-гнейсовые террейны (TN – Тындинский); 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 – надвиги (sm – Сеймский), 10 – район работ.

Fig. 1. Tectonic scheme of the Aldan shield [10].

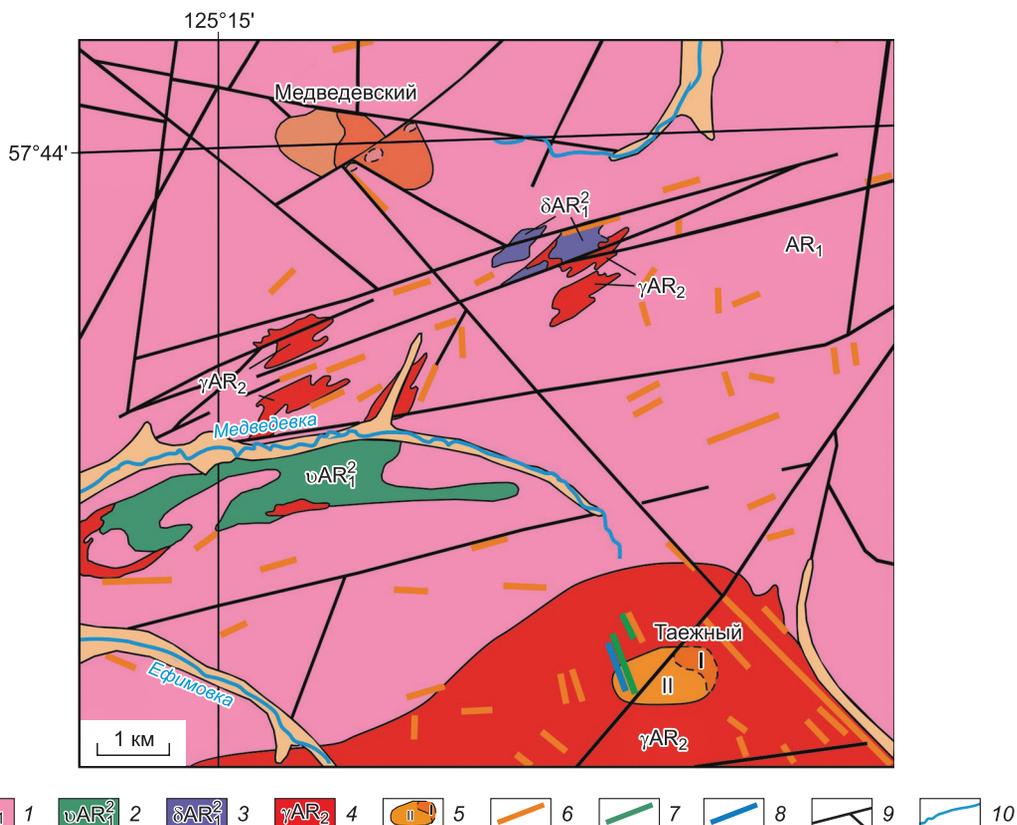
1 – granite-greenstone terranes (WA – West Aldan, BT – Batomgsky); 2 – granulite-orthogneiss terranes (ANM – Nimnysky, CG – Chogarsky); 3 – granulite-paragneiss terranes (AST – Sutamskiy, EUC – Uchurskiy); 4 – Tonalite-trondhjemite-gneiss terranes (TN – Tyndinsky); 5 – Zones of tectonic melange (am – Amginskaya, kl – Kalarskaya, tr – Tyrkandinskaya); 6 – stitching early Proterozoic granites; 7 – sedimentary cover of the Siberian platform; 8 – faults (dj – Dzheltulaksky, ts – Taksakandinsky), 9 – thrusts (sm – Seimsky), 10 – work area.

его северо-восточной части. Порфировая структура пород обусловлена наличием вкрапленников КППШ и плагиоклаза размерами до 5 мм. Текстура пород массивная. Основная масса микрозернистая. Из особенностей минерального состава отмечается преобладание плагиоклаза (60 %) над КППШ (20 %), амфибола (8 %) над пироксеном (2 %), содержание кварца – 6 %, содержание апатита и циркона – 2 %, рудного минерала – 2 % (см. рис. 3, в). Породы фазы несут следы вторичных изменений (пелитизация, серитизация, хлоритизация).

Гипидиоморфно-зернистые, существенно лейкократовые сиениты характеризуются наибольшим распространением по площади массива (см. рис. 3, б, е). Текстура пород массивная. Из особенностей петрографического состава наименее

измененных разностей стоит отметить преобладание КППШ (60 %) над плагиоклазом (30 %), амфибола (3 %) над пироксеном (1 %), содержание биотита – 1 % и кварца – до 5 %. Породы несут многочисленные ксенолиты сиенит-порфиров предыдущей фазы, а также вмещающих пород фундамента (см. рис. 3, г, д). Для пород фазы характерно наличие следов вторичных изменений – пелитизации, серицитизации, хлоритизации. В юго-западной части массива в обломках метасоматитов по архейским гранитам отмечаются единичные друзы и щетки кварца, в целом породы фазы значительно прокварцованы.

Для дайки бостонитов, секущей массив Таежный, характерна бостонитовая структура, обусловленная извилистыми очертаниями лейст КППШ и плагиоклаза (см. рис. 3, ж). Текстура пород мас-



**Рис. 2.** Фрагмент схематической геологической карты Леглиерского рудного узла [16] с дополнениями авторов. 1 – породы чехла, 2 – габбро нерасчлененные, 3 – оливин-пироксеновые горнблендиты, 4 – позднеархейские граниты и гранитогнейсы, нерасчлененные; мезозойские магматические образования: 5 – породы Таежного массива, сиениты (I) и монзониты (II), дайки: 6 – сиенитов, 7 – бостонитов, 8 – вогезитов; 9 – разрывные нарушения, 10 – реки.

**Fig. 2.** Fragment of the schematic geological map of the Legliersky ore cluster [16] with the additions of the authors. 1 – rocks of sedimentary cover, 2 – undivided gabbro, 3 – olivine-pyroxene hornblendites, 4 – Late Archean granites and granite-gneisses, undivided; Mesozoic igneous formations: 5 – rocks of the Taezhny massif, syenites (I) and monzonites (II), dikes: 6 – syenites, 7 – bostonites, 8 – vogesites; 9 – faults, 10 – rivers.

сивная. Состав пород: калиевый полевой шпат (КПШ) – 60 %, плагиоклаз – 15, пироксен – 15, амфибол – 5, биотит – 5 %. В дайке отмечаются мелкие ксенолиты вмещающих пород фундамента и лейкократовых сиенитов массива Таежный (см. рис. 3, ж), что говорит о более позднем возрасте пород этой дайки по отношению к массиву.

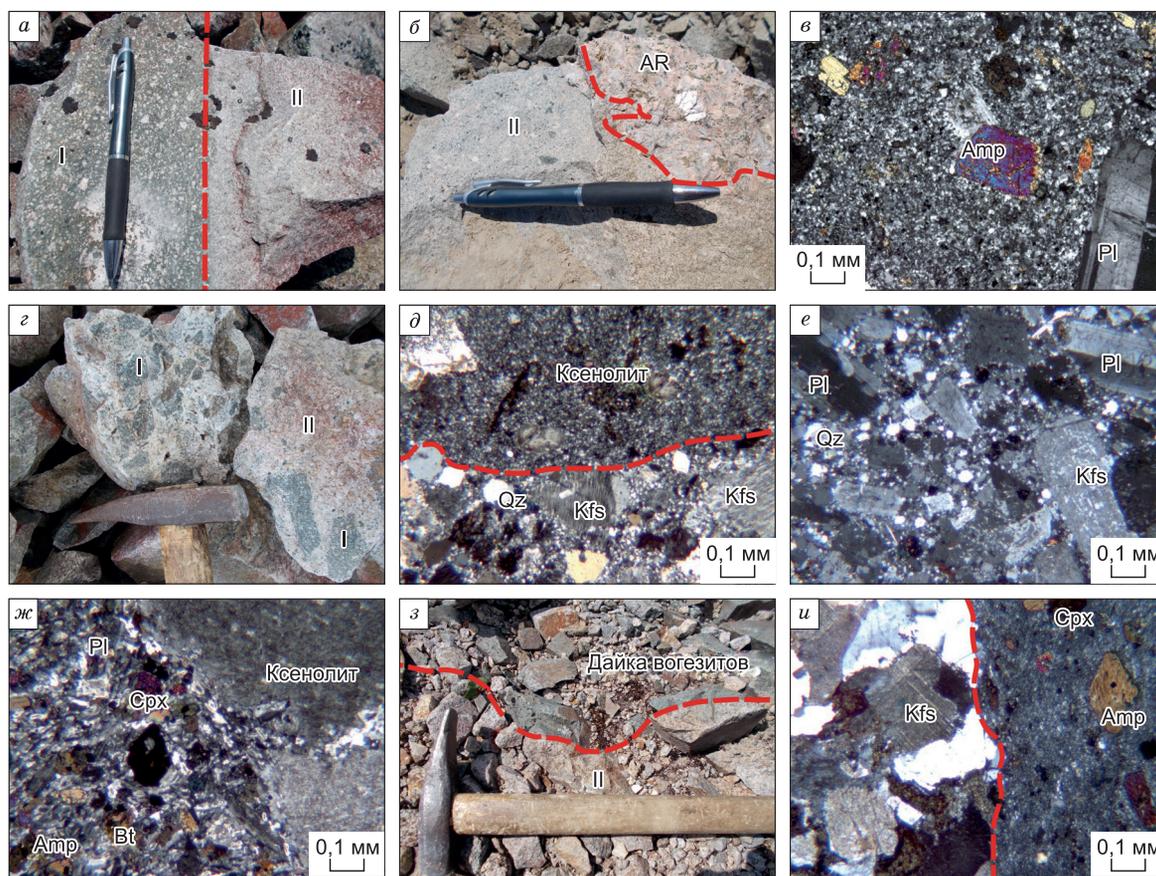
*Дайка бостонитов*, расположенная в непосредственной близости от массива, по петрографическому составу отличается от предыдущей преобладанием амфибола над пироксеном. Структура пород бостонитовая с лейстоподобной основной массой. Текстура массивная. Состав наименее измененных разностей: КПШ – 55 %, плагиоклаз – 30, пироксен – 2, амфибол – 10, биотит – 3 %.

*Дайка вогезитов*, расположенная в юго-западной части массива Таежный (см. рис. 2), имеет лампрофировую структуру, массивную текстуру

и следующий петрографический состав: плагиоклаз и КПШ – 50 %, роговая обманка – 35, баркевикит – 10, клинопироксен – 5 %. Основная масса породы микрокристаллическая, трудно диагностируемая даже при больших увеличениях. Вкрапленники представлены роговой обманкой и диопсидом. Помимо обыкновенной роговой обманки часто наблюдаются простые двойники и зональные кристаллы баркевикита. Контакт с вмещающими породами в основном ровный, четкий (см. рис. 3, з, и).

### Петрохимический состав пород массива Таежный

Сиенит-порфиры массива Таежный по содержанию петрогенных окислов относятся к кварцевым сиенитам [18] (табл. 1, рис. 4, а). Суммарное содержание щелочей ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) в них отвечает щелочным породам (9,23–12,83 %), при



**Рис. 3.** Породы, принимающие участие в строении массива Таежный.

*a* – контакт между сиенит-порфирами (I) и лейкократовыми сиенитами (II); *б* – контакт между лейкократовыми сиенитами и породами фундамента; *в* – шлиф И19, вкрапленники Amp и зонального Pl в сиенитах массива Таежный, увел. 40, николи +; *г* – ксенолиты сиенит-порфиров в лейкократовых сиенитах; *д* – шлиф И19, ксенолит сиенит-порфира в поздних сиенитах, увел. 10, николи +; *е* – пелитизированный Kfs в лейкократовых сиенитах, увел. 40, николи +; *ж* – шлиф И19-31/3, ксенолит пород массива Таежный в породах дайки бостонитов, увел. 40, николи +; *з* – контакт дайки вогезитов с породами массива Таежный; *и* – шлиф И19-33/2, контакт дайки вогезитов с вмещающими породами, увел. 10, николи +. Сокращения минералов [17]: Срх – клинопироксен; Amp – амфибол; Bt – биотит; Kfs – калиевый полевой шпат; Pl – плагиоклаз, Qz – кварц.

**Fig. 3.** Rocks participating in the structure of the Taizhny massif.

*a* – contact between syenite-porphyr (I) and leucocratic syenite (II); *б* – contact between leucocratic syenite and basement rocks; *в* – thin section I19 phenocrysts of Amp and zonal Pl in syenites of the Taizhny massif, mag. x40, nicols +; *г* – xenoliths of syenite-porphyr in leucocratic syenites; *д* – thin section I19 xenolith syenite-porphyr in late syenite, mag. x10, nicols +; *е* – pelitized Kfs in leucocratic syenites, mag. x40, nicols +; *ж* – thin section I19-31 / 3, xenolith of the Taizhny massif rocks in the rocks of the bostonite dike, mag. x40, nicols +; *з* – contact of the vogesite dike with the rocks of the Taizhny massif; *и* – thin section I19-33 / 2: contact of the vogesite dike with the host rocks, mag. x10, nicols +. Abbreviations of minerals [17]: Срх – clinopyroxene; Amp – amphibole; Bt – biotite; Kfs – potassium feldspar; Pl – plagioclase, Qz – quartz.

незначительном преобладании  $K_2O$  (3,79–7,29 %) над  $Na_2O$  (3,92–6,15 %) (см. табл. 1). Породы характеризуются калиевым типом щелочности  $Na_2O/K_2O < 1$  и относятся к весьма высокоглиноземистой серии ( $al' = 1,14–4,13$ ), (коэффициент  $AG$  0,82–1,13) (см. табл. 1). Согласно классификационной диаграмме  $(Na_2O+K_2O)-SiO_2$  [19], породы фазы относятся к сиенитам (рис. 4, *a*). Фигуративные точки составов пород массива на классификационной диаграмме  $R_1-R_2$  [20] зани-

мают промежуточное положение между сиенитами и кварцевыми монцонитами (рис. 4, *б*). По соотношению  $K_2O-SiO_2$  [21] они близки породам как высококалиевой известково-щелочной, так и шошонитовой петрохимической серии (рис. 4, *в*).

Наименее измененные разности лейкократовых сиенитов массива в отличие от образований предыдущей фазы, характеризуются несколько повышенными содержаниями  $SiO_2$  и  $Al_2O_3$  и

## Петрохимический состав магматических пород массива Тасжньий

## Petrochemical composition of magmatic rocks of the Tazhny massif

| Показатель                     | И19-24/2 | И19-24/4 | И19-26   | И19-26/2 | И19-26/3 | И19-26/4 | И19-26/5 | И19-29   | И19-29/2 | И19-29/4 |
|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| фаза                           | 1        |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| SiO <sub>2</sub>               | 63,97    | 63,54    | 63,92    | 63,29    | 62,17    | 66       | 59,71    | 62,28    | 61,24    | 65,06    |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,36     | 0,3      | 0,42     | 0,34     | 0,48     | 0,31     | 0,57     | 0,52     | 0,53     | 0,2      |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 16,14    | 16,33    | 15,93    | 16,13    | 13,88    | 15,74    | 14,03    | 15,03    | 16       | 16,47    |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2,87     | 2,47     | 2,62     | 2,64     | 1,85     | 2,03     | 3,23     | 3,19     | 3,5      | 1,68     |
| FeO                            | 1,26     | 1,29     | 1,37     | 1,29     | 2,67     | 0,99     | 2,15     | 1,65     | 2,11     | 1        |
| MnO                            | 0,08     | 0,03     | 0,07     | 0,08     | 0,05     | 0,06     | 0,09     | 0,11     | 0,11     | 0,06     |
| MgO                            | 1,21     | 1,22     | 1,15     | 1,23     | 2,46     | 0,97     | 2,86     | 1,06     | 1,18     | 0,61     |
| CaO                            | 3,53     | 3,56     | 2,8      | 3,62     | 3,51     | 2,29     | 4,75     | 2,91     | 3,68     | 1,74     |
| Na <sub>2</sub> O              | 5,53     | 5,56     | 6,15     | 5,65     | 4,18     | 4,71     | 3,93     | 5,61     | 5,1      | 5,49     |
| K <sub>2</sub> O               | 3,79     | 4,72     | 4,79     | 4,61     | 7,29     | 5,75     | 7,12     | 7,22     | 5,37     | 6,19     |
| H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>  | 0,12     | 0,32     | 0,14     | 0,22     | 0,16     | 0,26     | 0,24     | 0,26     | 0,46     | 0,1      |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  | 0,2      | 0        | 0,03     | 0,22     | 0,04     | 0        | 0        | 0,04     | 0,28     | 0,27     |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,23     | 0,24     | 0,24     | 0,24     | 0,44     | 0,19     | 0,5      | 0,24     | 0,28     | 0,09     |
| CO <sub>2</sub>                | 0,27     | 0,17     | 0,27     | 0,27     | 0,16     | 0,28     | 0,44     | 0,34     | 0,55     | 0,52     |
| S                              | 0        | 0        | 0,01     | 0        | 0        | 0        | 0,02     | 0,03     | 0,01     | 0,01     |
| F                              | 0,08     | 0,05     | 0,05     | 0,08     | 0,08     | 0,05     | 0,12     | 0,09     | 0,01     | 0,03     |
| Summa                          | 99,67    | 99,8     | 99,96    | 99,91    | 99,42    | 99,64    | 99,76    | 100,58   | 100,41   | 99,52    |
| Na+K                           | 9,32     | 10,28    | 10,94    | 10,26    | 11,47    | 10,46    | 11,05    | 12,83    | 10,47    | 11,68    |
| Na/K                           | 1,46     | 1,18     | 1,28     | 1,23     | 0,57     | 0,82     | 0,55     | 0,78     | 0,95     | 0,89     |
| al'                            | 2,42     | 2,51     | 2,44     | 2,43     | 1,24     | 3,06     | 1,14     | 2,13     | 1,95     | 4,09     |
| AG                             | 0,82     | 0,87     | 0,96     | 0,89     | 1,06     | 0,89     | 1,01     | 1,13     | 0,89     | 0,95     |
|                                | И19-29/5 | И19-30/2 | И19-30/3 | И19-30/4 | И19-30/5 | И19-27/2 | И19-27/4 | И19-27/5 | И19-27/6 | И19-27/7 |
| фаза                           |          |          |          |          |          | 2        |          |          |          |          |
| SiO <sub>2</sub>               | 66,78    | 64,42    | 65,14    | 64,9     | 61,91    | 67,48    | 67,69    | 66,43    | 67,22    | 65,66    |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,22     | 0,44     | 0,45     | 0,41     | 0,47     | 0,19     | 0,14     | 0,22     | 0,2      | 0,2      |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 16,25    | 16,38    | 15,92    | 15,37    | 15,96    | 15,97    | 16,06    | 15,85    | 15,82    | 15,63    |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1,39     | 2,69     | 2,53     | 2,9      | 2,18     | 1,68     | 1,75     | 2,67     | 1,21     | 1,88     |
| FeO                            | 1,15     | 1,43     | 1,37     | 1,66     | 3,75     | 1        | 0,7      | 0,17     | 1,39     | 1        |
| MnO                            | 0,05     | 0,06     | 0,06     | 0,06     | 0,09     | 0,05     | 0,04     | 0,08     | 0,05     | 0,09     |
| MgO                            | 0,56     | 0,79     | 0,84     | 1,14     | 1,02     | 0,75     | 0,8      | 0,33     | 0,24     | 0,42     |
| CaO                            | 1,17     | 2,83     | 2,91     | 2,63     | 3,5      | 1,85     | 0,66     | 1,74     | 1,13     | 1,91     |
| Na <sub>2</sub> O              | 5,2      | 4,95     | 4,82     | 4,76     | 4,8      | 5,09     | 5,61     | 5,94     | 6        | 6,28     |
| K <sub>2</sub> O               | 6,12     | 4,59     | 4,63     | 5,04     | 4,43     | 4,91     | 5,06     | 5,9      | 6,12     | 6,33     |
| H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>  | 0,3      | 0,32     | 0,18     | 0,3      | 0,3      | 0,26     | 0,28     | 0,08     | 0,58     | 0,26     |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  | 0,21     | 0,26     | 0,21     | 0,28     | 0,05     | 0,14     | 0,13     | 0,42     | 0,34     | 0,01     |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,06     | 0,2      | 0,21     | 0,31     | 0,26     | 0,13     | 0,13     | 0,12     | 0,11     | 0,13     |
| CO <sub>2</sub>                | 0,25     | 0,25     | 0,33     | 0,4      | 0,58     | 0,49     | 0,55     | 0,14     | 0,29     | 0,11     |
| S                              | 0,01     | 0        | 0        | 0,01     | 0,02     | 0,02     | 0        | 0,02     | 0,01     | 0,02     |
| F                              | 0,01     | 0,01     | 0,04     | 0,06     | 0,07     | 0,05     | 0,04     | 0,01     | 0,01     | 0,01     |
| Summa                          | 99,73    | 99,62    | 99,64    | 100,23   | 99,39    | 100,06   | 99,68    | 100,12   | 100,72   | 99,95    |

Продолжение таблицы 1

|                                |          |          |          |          |        |          |          |          |          |        |
|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|--------|----------|----------|----------|----------|--------|
| Na+K                           | 11,32    | 9,54     | 9,45     | 9,8      | 9,23   | 10       | 10,67    | 11,84    | 12,12    | 12,61  |
| Na/K                           | 0,85     | 1,08     | 1,04     | 0,94     | 1,08   | 1,04     | 1,11     | 1,01     | 0,98     | 0,99   |
| al'                            | 4,13     | 2,85     | 2,8      | 2,17     | 1,72   | 3,64     | 3,89     | 3,89     | 5,7      | 4,73   |
| AG                             | 0,93     | 0,8      | 0,81     | 0,86     | 0,79   | 0,86     | 1        | 0,92     | 1,02     | 1,04   |
|                                | И19-28   | И19-28/2 | И19-28/3 | И19-28/4 | И19-31 | И19-31/2 | И19-31/3 | И19-31/4 | И19-31/5 | И19-33 |
| фаза                           |          |          |          |          | 3      |          |          |          |          | 4      |
| SiO <sub>2</sub>               | 64,71    | 66,26    | 62,32    | 66,05    | 58,77  | 58,53    | 60,64    | 59,53    | 58,87    | 60,84  |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,14     | 0,18     | 0,44     | 0,2      | 0,69   | 0,8      | 0,65     | 0,61     | 0,61     | 0,64   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 16,5     | 16,23    | 15,45    | 15,35    | 14,74  | 14,63    | 14,43    | 14,89    | 14,99    | 15,15  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1,22     | 1,68     | 2,86     | 1,42     | 4,26   | 3,96     | 4,51     | 3,96     | 4,68     | 3,06   |
| FeO                            | 1,11     | 0,57     | 1,41     | 1,23     | 2,83   | 2,97     | 2,66     | 2,79     | 2,44     | 3,13   |
| MnO                            | 0,06     | 0,06     | 0,1      | 0,06     | 0,11   | 0,1      | 0,11     | 0,11     | 0,1      | 0,09   |
| MgO                            | 0,57     | 0,4      | 0,92     | 0,5      | 2,48   | 2,51     | 2,57     | 2,5      | 2,49     | 2,08   |
| CaO                            | 1,64     | 0,83     | 2,91     | 1,27     | 4,04   | 4,38     | 4,34     | 4,07     | 4        | 3,74   |
| Na <sub>2</sub> O              | 6,25     | 5,75     | 5,83     | 5,55     | 4,38   | 4,24     | 3,96     | 3,95     | 4,91     | 3,9    |
| K <sub>2</sub> O               | 6,59     | 7,86     | 7,2      | 8,12     | 5,82   | 4,59     | 4,68     | 4,84     | 5,44     | 4,77   |
| H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>  | 0,1      | 0,26     | 0,18     | 0,18     | 0,18   | 0,32     | 0,38     | 0,42     | 0,4      | 0,2    |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  | 0,32     | 0,18     | 0,31     | 0,08     | 0,31   | 0,2      | 0,16     | 0,36     | 0,05     | 0,48   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,07     | 0,06     | 0,2      | 0,07     | 0,5    | 0,5      | 0,53     | 0,53     | 0,52     | 0,43   |
| CO <sub>2</sub>                | 0,18     | 0,28     | 0,17     | 0,24     | 0,39   | 1,88     | 0,4      | 1,67     | 0,44     | 1,03   |
| S                              | 0        | 0        | 0,01     | 0        | 0      | 0,01     | 0,01     | 0,05     | 0        | 0,01   |
| F                              | 0,01     | 0,09     | 0,04     | 0,03     | 0,17   | 0,13     | 0,13     | 0,12     | 0,17     | 0,08   |
| Summa                          | 99,47    | 100,69   | 100,35   | 100,35   | 99,67  | 99,75    | 100,47   | 100,4    | 100,28   | 99,63  |
| Na+K                           | 12,84    | 13,61    | 13,03    | 13,67    | 10,2   | 8,83     | 8,64     | 8,79     | 10,35    | 8,67   |
| Na/K                           | 0,95     | 0,73     | 0,81     | 0,68     | 0,75   | 0,92     | 0,85     | 0,82     | 0,9      | 0,82   |
| al'                            | 4,24     | 4,35     | 5,63     | 2,51     | 3,93   | 1,13     | 1,12     | 1,1      | 1,16     | 1,18   |
| AG                             | 1,1      | 1,06     | 1,11     | 1,12     | 1,17   | 0,92     | 0,82     | 0,8      | 0,79     | 0,931  |
|                                | И19-33/2 | И19-33/3 | И19-33/4 | И19-33/5 | И-35   | И-35/2   | И-35/3   |          |          |        |
| фаза                           | 4        |          |          |          | 5      |          |          |          |          |        |
| SiO <sub>2</sub>               | 61,96    | 60,12    | 61,08    | 61,76    | 62,47  | 62,05    | 61,74    |          |          |        |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,79     | 0,59     | 0,54     | 0,46     | 0,57   | 0,54     | 0,55     |          |          |        |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 15,06    | 14,92    | 15,05    | 15,9     | 14,89  | 14,87    | 14,79    |          |          |        |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3,36     | 3,62     | 3,33     | 3,39     | 3,54   | 3,45     | 3,61     |          |          |        |
| FeO                            | 2,65     | 2,59     | 2,52     | 2,32     | 2,23   | 2,48     | 1,96     |          |          |        |
| MnO                            | 0,06     | 0,08     | 0,06     | 0,05     | 0,09   | 0,09     | 0,08     |          |          |        |
| MgO                            | 1,73     | 2,08     | 2,02     | 1,69     | 2,2    | 2,24     | 2,09     |          |          |        |
| CaO                            | 2,62     | 2,86     | 2,86     | 2,98     | 4,66   | 4,98     | 4,4      |          |          |        |
| Na <sub>2</sub> O              | 4,38     | 4,3      | 3,72     | 4,31     | 4,42   | 4,32     | 4,94     |          |          |        |
| K <sub>2</sub> O               | 5,94     | 5,59     | 5,93     | 5,25     | 4,49   | 4,56     | 4,84     |          |          |        |
| H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>  | 0,6      | 0,44     | 0,5      | 0,4      | 0,16   | 0,18     | 0,24     |          |          |        |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  | 0,51     | 1,12     | 0,35     | 0,06     | 0,32   | 0,28     | 0,48     |          |          |        |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,5      | 0,38     | 0,37     | 0,31     | 0,35   | 0,34     | 0,33     |          |          |        |
| CO <sub>2</sub>                | 0,49     | 0,91     | 1,21     | 0,59     | 0,12   | 0        | 0,03     |          |          |        |
| S                              | 0        | 0        | 0,24     | 0        | 0      | 0        | 0        |          |          |        |
| F                              | 0,13     | 0,13     | 0,15     | 0,07     | 0,1    | 0,09     | 0,12     |          |          |        |

|       |        |       |       |       |        |        |       |  |  |  |
|-------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|--|--|--|
| Summa | 100,86 | 99,73 | 99,93 | 99,59 | 100,68 | 100,53 | 100,2 |  |  |  |
| Na+K  | 10,32  | 9,89  | 9,65  | 9,56  | 8,91   | 8,88   | 9,78  |  |  |  |
| Na/K  | 0,74   | 0,77  | 0,63  | 0,82  | 0,98   | 0,95   | 1,02  |  |  |  |
| al'   | 1,3    | 1,47  | 1,33  | 1,39  | 5,27   | 1,36   | 1,31  |  |  |  |
| AG    | 0,764  | 0,905 | 0,879 | 0,833 | 0,83   | 0,81   | 0,81  |  |  |  |

*Примечание.* 1 – сиенит-порфиры; 2 – лейкократовые сиениты; 3 – дайка бостонитов в массиве; 4 – дайка вогезитов; 5 – дайка бостонитов в экзоконтакте массива.  $al' = Al/(2Ca + Na + K)$ ;  $AG = (Na_2O + K_2O)/Al_2O_3$ .

*Note.* 1 – syenite porphyry; 2 – leucocratic syenites; 3 – bostonite dike in the massif; 4 – dike vogesites; 5 – bostonite dike in the exocontact of the massif.  $al' = Al/(2Ca + Na + K)$ ;  $AG = (Na_2O + K_2O)/Al_2O_3$ .

низкими –  $TiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $FeO$ ,  $MnO$ ,  $MgO$  и  $CaO$  (см. табл. 1). Для пород фазы характерна высокая суммарная щелочность ( $Na_2O+K_2O = 10–13,67\%$ ), где  $K_2O$  (4,91–8,12 %) преобладает над  $Na_2O$  (5,09–6,28 %) (см. табл. 1). Породы характеризуются калиевым типом щелочности ( $Na_2O/K_2O < 1$ ) и относятся к весьма высокоглиноземистой серии ( $al' = 2,51–5,70$ ), при значении коэффициента  $AG$  0,86–1,12 (см. табл. 1). По соотношениям  $(Na_2O+K_2O)–SiO_2$  породы отвечают сиенитам (см. рис. 4, а). На классификационной диаграмме  $R_1–R_2$  точки их составов образуют секущий тренд от сиенитов в поле кварцевых сиенитов (см. рис. 4, б). По соотношениям  $K_2O–SiO_2$  лейкократовые сиениты относятся к шошонитовой петрохимической серии (см. рис. 4, в).

Породы *дайки бостонитов*, секущей массив Таежный, по содержанию петрогенных окислов относятся к кварцевым сиенитам [18] (см. табл. 1). Суммарное содержание щелочей ( $Na_2O+K_2O = 8,64–10,35\%$ ) в них отвечает щелочным породам при преобладании  $K_2O$  (4,59–5,82 %) над  $Na_2O$  (3,95–4,91 %) (см. табл. 1). Породы характеризуются калиевым типом щелочности ( $Na_2O/K_2O < 1$ ) и высокой глиноземистостью ( $al' = 1,10–3,92$ , коэффициент  $AG$  0,79–1,17) (см. табл. 1). По классификации  $(Na_2O+K_2O)–SiO_2$  породы дайки отвечают сиенитам (см. рис. 4, а). На классификационной диаграмме  $R_1–R_2$  точки их составов образуют секущий тренд от сиенитов в поле кварцевых монцонитов (см. рис. 4, б), а на диаграмме  $K_2O–SiO_2$  локализуются в поле пород шошонитовой петрохимической серии (см. рис. 4, в).

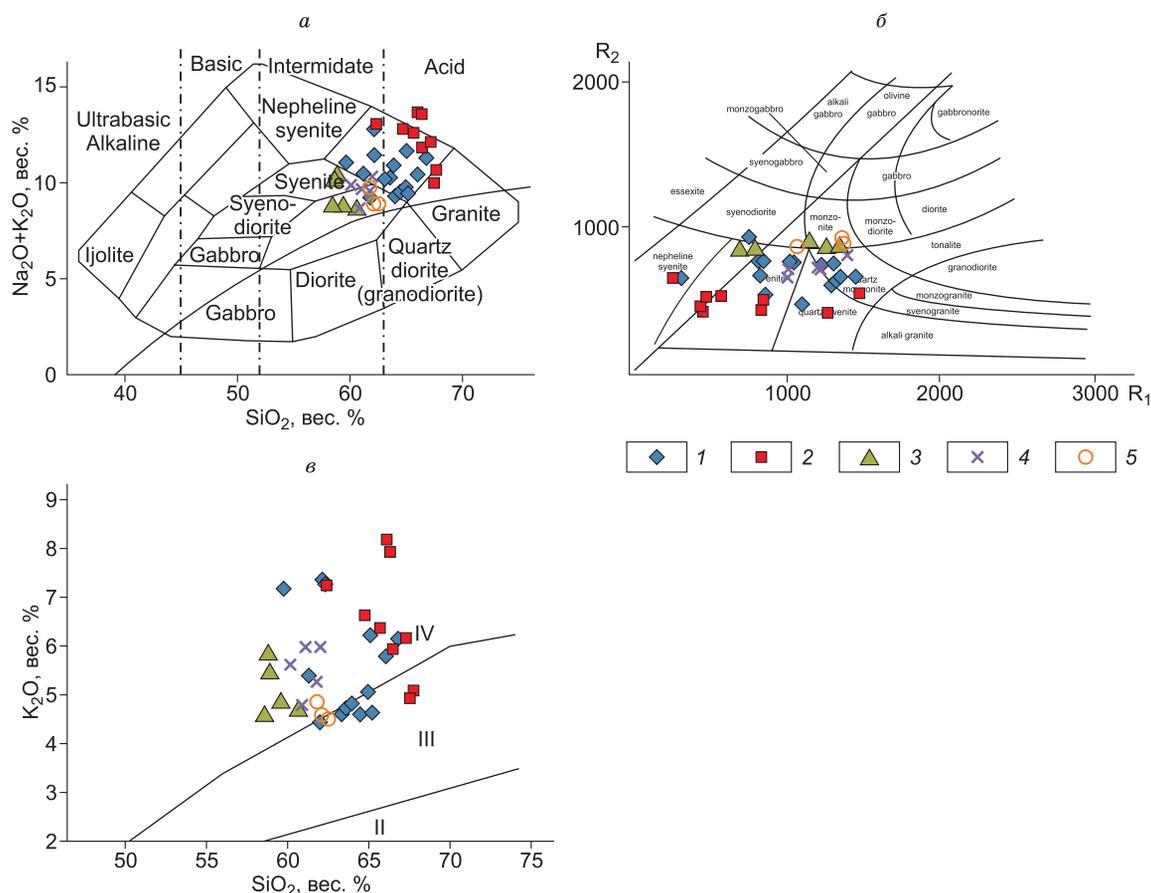
Породы *дайки бостонитов*, расположенные вблизи массива, по химическому составу близки монцонитам [18] (см. табл. 1, рис. 4, а). Сумма ( $Na_2O+K_2O$ ) в них отвечает щелочным образованиям (8,81–9,785 %), при незначительном пре-

обладании  $K_2O$  (4,49–5,98 %) над  $Na_2O$  (4,32–4,94 %) (табл. 1). Породы характеризуются калиевым типом щелочности ( $Na_2O/K_2O < 1$ ) и весьма высокой глиноземистостью ( $al' = 1,18–1,47$ , коэффициент  $AG$  0,76–0,93). По классификации  $(Na_2O+K_2O)–SiO_2$  породы дайки близки монцонитам (см. рис. 4, а). На классификационной диаграмме  $R_1–R_2$  точки их составов образуют секущий тренд от сиенитов в поле кварцевых монцонитов (см. рис. 4, б), соотношения  $K_2O–SiO_2$  в них отвечают шошонитовой петрохимической серии (см. рис. 4, в).

Породы *дайки вогезитов*, секущей массив Таежный, по содержанию петрогенных окислов наиболее близки к кварцевым монцонитам [18] (см. табл. 1). Суммарное содержание щелочей ( $Na_2O+K_2O$ ) в них отвечает щелочным породам (8,67–10,32 %), при заметном преобладании  $K_2O$  (4,77–5,94 %) над  $Na_2O$  (3,72–4,38 %) (см. табл. 1). Породы характеризуются калиевым типом щелочности ( $Na_2O/K_2O < 1$ ) и высокой глиноземистостью ( $al' = 1,31–5,27$ , коэффициент  $AG$  0,81–0,83). По классификации  $(Na_2O+K_2O)–SiO_2$  породы фазы отвечают монцонитам (см. рис. 4, а). На классификационной диаграмме  $R_1–R_2$  точки составов образуют секущий тренд от сиенитов к монцонитам (см. рис. 4, б). По соотношению  $K_2O–SiO_2$  отвечают породам шошонитовой петрохимической серии (см. рис. 4, в).

### Геохимический состав пород массива Таежный

*Сиенит-порфиры* массива геохимически специализированы на литофильные элементы Rb, Ba, Sr, B, Cr, V, Nb, Sc (табл. 2). Содержания в них как халькофильных Cu, Sn, Zn Pb, Ge, так и сидерофильных Ni, Co элементов значительно ниже литофильных. Породы массива по высокому содержанию Rb (66–223 г/т), Sr (330–1100 г/т),



**Рис. 4.** Классификация магматических образований массива Таежный: *a* – диаграмма  $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})\text{--SiO}_2$  [19]; *б* – диаграмма  $(R_1\text{--}R_2)$  [20].  $R_1 = 4\text{Si}-11(\text{Na}+\text{K})$ ,  $R_2 = 6\text{Ca}+2\text{Mg}+\text{Al}$ ; *в* – диаграмма  $\text{K}_2\text{O}\text{--SiO}_2$  [21]. Поля: I – низкокальциевая толеитовая, II – среднекальциевая известково-щелочная, III – высококальциевая известково-щелочная, IV – шощонитовая. 1 – сиенит-порфиры, 2 – лейкократовые сиениты, 3 – дайка бостонитов в массиве, 4 – дайка вогезитов в массиве, 5 – дайка бостонитов рядом с массивом.

**Fig. 4.** Classification of magmatic formations of the Taehzny massif: *a* – Diagram  $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})\text{--SiO}_2$  [19]; *б* – Diagram  $(R_1\text{--}R_2)$  [20].  $R_1 = 4\text{Si}-11(\text{Na}+\text{K})$ ,  $R_2 = 6\text{Ca}+2\text{Mg}+\text{Al}$ ; *в* – Diagram  $\text{K}_2\text{O}\text{--SiO}_2$  [21]. Fields: I – low-potassium tholeiitic, II – medium-potassium calc-alkaline, III – high-potassium calc-alkaline, IV – shoshonite. Legend of the compositions of magmatic formations of the Taehzny massif: 1 – syenite-porphiry, 2 – leucocratic syenite, 3 – bostonite dike in the massif, 4 – vogesite dike in the massif, 5 – bostonite dike near the massif.

аномально высокому – Ва (1200–2700 г/т), а также по концентрациям Zr (81–160 г/т) и Co (4–15 г/т) наиболее близки к производным латитовой магмы [22, 23]. Отношения  $\text{K/Rb} = 271\text{--}560$ ,  $\text{Rb/Sr} = 0,07\text{--}0,22$  и соотношения  $\text{K/Rb} - \text{Rb, Sr} - \text{Rb/Sr}$  (рис. 5, *a, б*) в сиенит-порфирах массива характерны для пород, образовавшихся из мантийного источника [22, 24].

Породы фазы имеют плавный отрицательный наклон в распределении РЗЭ, т. е. они обогащены легкими (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu) и обеднены тяжелыми (Y, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) элементами (табл. 3, рис. 5, *в*). Величины отношений  $\text{La/Yb} = 14,42\text{--}16,93$ ,  $\text{Ce/Yb} = 28,90\text{--}33,21$  в сиенит-порфирах массива близки таковым пород

латитового ряда [23]. Для сиенит-порфиров массива характерно наличие слабой отрицательной Eu-аномалии ( $\text{Eu/Eu}^* = 0,88\text{--}0,90$ ) что может говорить о формировании материнского расплава при фракционной кристаллизации темноцветных породообразующих минералов [25].

*Лейкократовые сиениты* отличаются от сиенит-порфиров низкими значениями как халькофильных, так и литофильных элементов (см. табл. 2). По содержаниям Rb (90–126 г/т), Ва (450–3000 г/т), Sr (230–1000 г/т), Zr (80,2–190 г/т), Nb (5,9–11,8 г/т) Co (3,2–7,8 г/т) они наиболее близки к производным латитовой магмы [22, 23]. Отношения  $\text{K/Rb} = 359\text{--}734,3$ ,  $\text{Rb/Sr} = 0,1\text{--}0,4$  и соотношения  $\text{K/Rb} - \text{Rb, Sr} - \text{Rb/Sr}$  [24] (рис. 5, *б, в*)

## Геохимический состав магматических пород массива Таяжньий

## Geochemical composition of magmatic rocks of the Taezhny massif

| Показатель | И19-24/2 | И19-24/4 | И19-26   | И19-26/2 | И19-26/3 | И19-26/4 | И19-26/5 | И19-29   | И19-29/2 | И19-29/4 |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| фаза       | 1        |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| Cu         | 20       | 11       | 7,5      | 7,4      | 20       | <5       | 8        | 5,6      | 17       | 8,1      |
| Sn         | <4       | <4       | <4       | <4       | <4       | <4       | <4       | <4       | <4       | <4       |
| Zn         | <60      | <60      | <60      | <60      | <60      | <60      | <60      | <60      | -57      | <60      |
| Pb         | 16       | 16       | 15       | 15       | 10       | 30       | 13       | 19       | 20       | 29       |
| Ge         | <2,2     | <2,2     | <2,2     | <2,2     | 2,4      | <2,2     | -2,1     | <2,2     | <2,2     | <2,2     |
| Cr         | 180      | 48       | 37       | 140      | 160      | 92       | 220      | 220      | 87       | 45       |
| V          | 85       | 85       | 79       | 75       | 120      | 66       | 170      | 150      | 110      | 71       |
| Sc         | 7,7      | 7,8      | 9,2      | 7,6      | 16       | 5,8      | 18       | 12       | 13       | 4,9      |
| Ba         | 2000     | 2100     | 2500     | 2500     | 1200     | 2000     | 1900     | 1800     | 2300     | 2300     |
| Sr         | 860      | 1000     | 940      | 910      | 330      | 790      | 640      | 670      | 950      | 720      |
| Rb         | 66       | 70       | 82,8     | 76,5     | 223,2    | 93,6     | 139,5    | 117      | 82,8     | 108      |
| Nb         | 8,9      | 6,5      | 9,1      | 11       | 6,2      | 8,8      | 6,9      | 6,3      | 6,7      | 6,1      |
| Zr         | 98       | 120      | 130      | 95       | 120      | 120      | 150      | 150      | 160      | 81       |
| B          | <9       | <9       | <9       | <9       | <9       | <9       | <9       | <9       | <9       | <9       |
| Y          | 12       | 13       | 16       | 14       | 18       | 8,8      | 1,9      | 21       | 20       | 9,3      |
| Yb         | 1,6      | 1,8      | 1,9      | 1,7      | 2,1      | 1,2      | 2,5      | 2,5      | 2,8Fe    | 1,4      |
| Ni         | 17       | 14       | 11       | 16       | 35       | 12       | 34       | 17       | 18       | 11       |
| Co         | 8,2      | 7,2      | 6,9      | 6,9      | 9,1      | 4,5      | 15       | 8,4      | 10       | 5,2      |
| K/Rb       | 476,7    | 559,74   | 480,23   | 500,25   | 271,13   | 509,96   | 423,69   | 512,27   | 538,38   | 475,79   |
| Rb/Sr      | 0,08     | 0,07     | 0,09     | 0,08     | 0,68     | 0,12     | 0,22     | 0,17     | 0,09     | 0,15     |
| Ba/Rb      | 30,3     | 30       | 30,19    | 32,68    | 5,38     | 21,37    | 13,62    | 15,38    | 27,78    | 21,3     |
|            | И19-29/5 | И19-30/2 | И19-30/3 | И19-30/4 | И19-30/5 | И19-27/2 | И19-27/3 | И19-27/4 | И19-27/5 | И19-27/6 |
| фаза       |          |          |          |          |          | 2        |          |          |          |          |
| Cu         | 6,1      | 16       | 38       | 32       | 28       | 5,1      | 5,5      | <5       | 5        | 5,8      |
| Sn         | <4       | <4       | <4       | <4       | <4       | <4       | <4       | <4       | <4       | <4       |
| Zn         | <60      | <60      | <60      | <60      | <60      | <60      | <60      | <60      | <60      | <60      |
| Pb         | 38       | 22       | 17       | 21       | 19       | 31       | 18       | 25       | 30       | 31       |
| Ge         | <2,2     | <2,2     | <2,2     | <2,2     | <2,2     | <2,2     | <2,2     | <2,2     | <2,2     | <2,2     |
| Cr         | 190      | 28       | 37       | 230      | 140      | 190      | 27       | 130      | 230      | 280      |
| V          | 58       | 76       | 75       | 100      | 90       | 42       | 37       | 47       | 45       | 44       |
| Sc         | 3,3      | 8,2      | 8,7      | 12       | 12       | 4,6      | 2,6      | 4,9      | 4,4      | -3,3     |
| Ba         | 2700     | 2200     | 2300     | 2200     | 2200     | 1600     | 450      | 1800     | 1800     | 1700     |
| Sr         | 640      | 910      | 900      | 980      | 1100     | 770      | 230      | 790      | 730      | 610      |
| Rb         | 117      | 72       | 94       | 83,7     | 73,8     | 108      | 90       | 117      | 123      | 125      |
| Nb         | 11       | 11       | 7,5      | 6,4      | 10       | 8,7      | 11       | 7,4      | 7,1      | 9        |
| Zr         | 91       | 130      | 120      | 130      | 160      | 88       | 190      | 110      | 110      | 100      |
| B          | <9       | <9       | <9       | <9       | <9       | <9       | <9       | <9       | <9       | <9       |
| Y          | 7,7      | 15       | 16       | 15       | 18       | 6,6      | 5,4      | 7,3      | 7,2      | 6,2      |
| Yb         | 1,1      | 1,9      | 1,9      | 1,8      | 2,3      | <1       | 1,1      | 1        | 0,9      | 0,9      |

Продолжение таблицы 2

|       |          |        |          |          |          |          |          |          |          |        |
|-------|----------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| Ni    | 16       | 12     | 12       | 19       | 32       | 9,4      | 7        | 7,6      | 11       | 11     |
| Co    | 3,7      | 6,7    | 7        | 8,7      | 9        | 3,4      | <3,2     | <3,2     | 3,2      | <3,2   |
| K/Rb  | 434,22   | 529,21 | 408,88   | 499,86   | 498,3    | 377,4    | 473,17   | 359,01   | 399,73   | 407,24 |
| Rb/Sr | 0,18     | 0,08   | 0,1      | 0,09     | 0,07     | 0,14     | 0,39     | 0,15     | 0,17     | 0,2    |
| Ba/Rb | 23,08    | 30,56  | 24,47    | 26,28    | 29,81    | 14,81    | 5        | 15,38    | 14,69    | 13,63  |
|       | И19-27/7 | И19-28 | И19-28/2 | И19-28/3 | И19-28/4 | И19-31   | И19-31/2 | И19-31/3 | И19-31/4 |        |
| фаза  | 2        |        |          |          |          | 3        |          |          |          |        |
| Cu    | 10       | 7,7    | <5       | 7,9      | 14       | 39       | 17       | 23       | 23       |        |
| Sn    | <4       | <4     | <4       | <4       | <4       | <4       | <4       | <4       | <4       |        |
| Zn    | <60      | <60    | <60      | <60      | <60      | 67       | -56      | 80       | -57      |        |
| Pb    | 17       | 28     | 30       | 24       | 19       | 17       | 20       | 19       | 18       |        |
| Ge    | <2,2     | <2,2   | <2,2     | <2,2     | <2,2     | <2,2     | <2,2     | <2,2     | <2,2     |        |
| Cr    | 48       | 48     | 47       | 44       | 67       | 72       | 220      | 86       | 80       |        |
| V     | 65       | 66     | 68       | 130      | 73       | 180      | 150      | 170      | 170      |        |
| Sc    | 4,4      | 4,4    | 4,1      | 9        | 3,6      | 22       | 24       | 24       | 25       |        |
| Ba    | 1900     | 3000   | 2200     | 2300     | 1700     | 2400     | 2300     | 3200     | 2400     |        |
| Sr    | 710      | 1000   | 770      | 780      | 570      | 750      | 920      | 1100     | 850      |        |
| Rb    | 107      | 126    | 117      | 117      | 91,8     | 117      | 90,9     | 86,4     | 94,5     |        |
| Nb    | 8,4      | 12     | 7        | 5,9      | 8        | 6,7      | 4,2      | 5,6      | 9,9      |        |
| Zr    | 110      | 81     | 80       | 120      | 100      | 190      | 210      | 190      | 180      |        |
| B     | <9       | <9     | <9       | <9       | <9       | <9       | <9       | <9       | <9       |        |
| Y     | 7,5      | 6,9    | 7        | 14       | 6,9      | 20       | 23       | 23       | 23       |        |
| Yb    | 1,1      | 1,2    | 1,1      | 1,9      | 1,1      | 2,9Fe    | 3,2Fe    | 3,5Fe    | 3,1Fe    |        |
| Ni    | 10       | 13     | 8,5      | 14       | 13       | 26       | 32       | 29       | 28       |        |
| Co    | 4,4      | 4,7    | <3,2     | 7,8      | 3,7      | 22       | 21       | 23       | 23       |        |
| K/Rb  | 488,85   | 434,17 | 557,68   | 510,85   | 734,28   | 412,94   | 419,17   | 449,65   | 425,17   |        |
| Rb/Sr | 0,15     | 0,13   | 0,15     | 0,15     | 0,16     | 0,16     | 0,1      | 0,08     | 0,11     |        |
| Ba/Rb | 17,68    | 23,81  | 18,8     | 19,66    | 18,52    | 20,51    | 25,3     | 37,04    | 25,4     |        |
|       | И19-31/5 | И19-33 | И19-33/2 | И19-33/3 | И19-33/4 | И19-33/5 | И19-35   | И19-35/2 | И19-35/3 |        |
| фаза  |          | 4      |          |          |          |          | 5        |          |          |        |
| Cu    | 17       | 15     | 28       | 20       | 24       | 21       | 12       | <5       | 19       |        |
| Sn    | 2,9      | <4     | <4       | <4       | <4       | 2,9      | <4       | <4       | <4       |        |
| Zn    | -54      | <60    | -58      | <60      | 86       | <60      | <60      | 68       | <60      |        |
| Pb    | 18       | 14     | 23       | 37       | 96       | 11       | 17       | 12       | 12       |        |
| Ge    | <2,2     | <2,2   | <2,2     | <2,2     | <2,2     | <2,2     | <2,2     | <2,2     | <2,2     |        |
| Cr    | 80       | 87     | 190      | 180      | 140      | 160      | 110      | 170      | 120      |        |
| V     | 190      | 140    | 150      | 150      | 140      | 120      | 130      | 120      | 120      |        |
| Sc    | 25       | 21     | 20       | 20       | 17       | 14       | 17       | 17       | 14       |        |
| Ba    | 2500     | 2900   | 1200     | 1500     | 1800     | 1800     | 2100     | 2100     | 1300     |        |
| Sr    | 800      | 890    | 490      | 540      | 490      | 570      | 700      | 790      | 540      |        |
| Rb    | 95,4     | 89,1   | 135,9    | 108,9    | 108,9    | 85,5     | 91,8     | 88,2     | 111,6    |        |
| Nb    | 11       | 4      | 4,7      | 4        | 6,6      | 5,9      | 4,8      | 5,9      | 7,6      |        |
| Zr    | 200      | 160    | 210      | 160      | 120      | 140      | 130      | 140      | 130      |        |
| B     | <9       | <9     | <9       | 65       | <9       | <9       | <9       | 8,7      | <9       |        |

Окончание таблицы 2

|       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| Y     | 21     | 22     | 19     | 19     | 15     | 15     | 17     | 15     | 12     |  |
| Yb    | 3,1Fe  | 2,9Fe  | 1,9    | 2,2    | 1,9    | 2      | 2      | 2,2Fe  | 1,7    |  |
| Ni    | 28     | 29     | 24     | 29     | 24     | 24     | 21     | 27     | 23     |  |
| Co    | 23     | 21     | 17     | 19     | 12     | 13     | 16     | 16     | 12     |  |
| K/Rb  | 473,37 | 444,41 | 362,84 | 426,12 | 452,04 | 509,73 | 406,02 | 429,18 | 360,02 |  |
| Rb/Sr | 0,12   | 0,1    | 0,28   | 0,2    | 0,22   | 0,15   | 0,13   | 0,11   | 0,21   |  |
| Ba/Rb | 26,21  | 32,55  | 8,83   | 13,77  | 16,53  | 21,05  | 22,88  | 23,81  | 11,65  |  |

*Примечание.* 1 – сиенит-порфиры; 2 – лейкократовые сиениты; 3 – дайка бостонитов в массиве; 4 – дайка вогезитов; 5 – дайка бостонитов возле массива. Содержание элементов в г/т.

*Note.* 1 – syenite porphyry; 2 – leucocratic syenites; 3 – bostonite dike in the massif; 4 – dike vogesites; 5 – bostonite dike in the exocontact of the massif.

Таблица 3

## Геохимический состав пород массива Таежный по данным ISP MS, г/т

Table 3

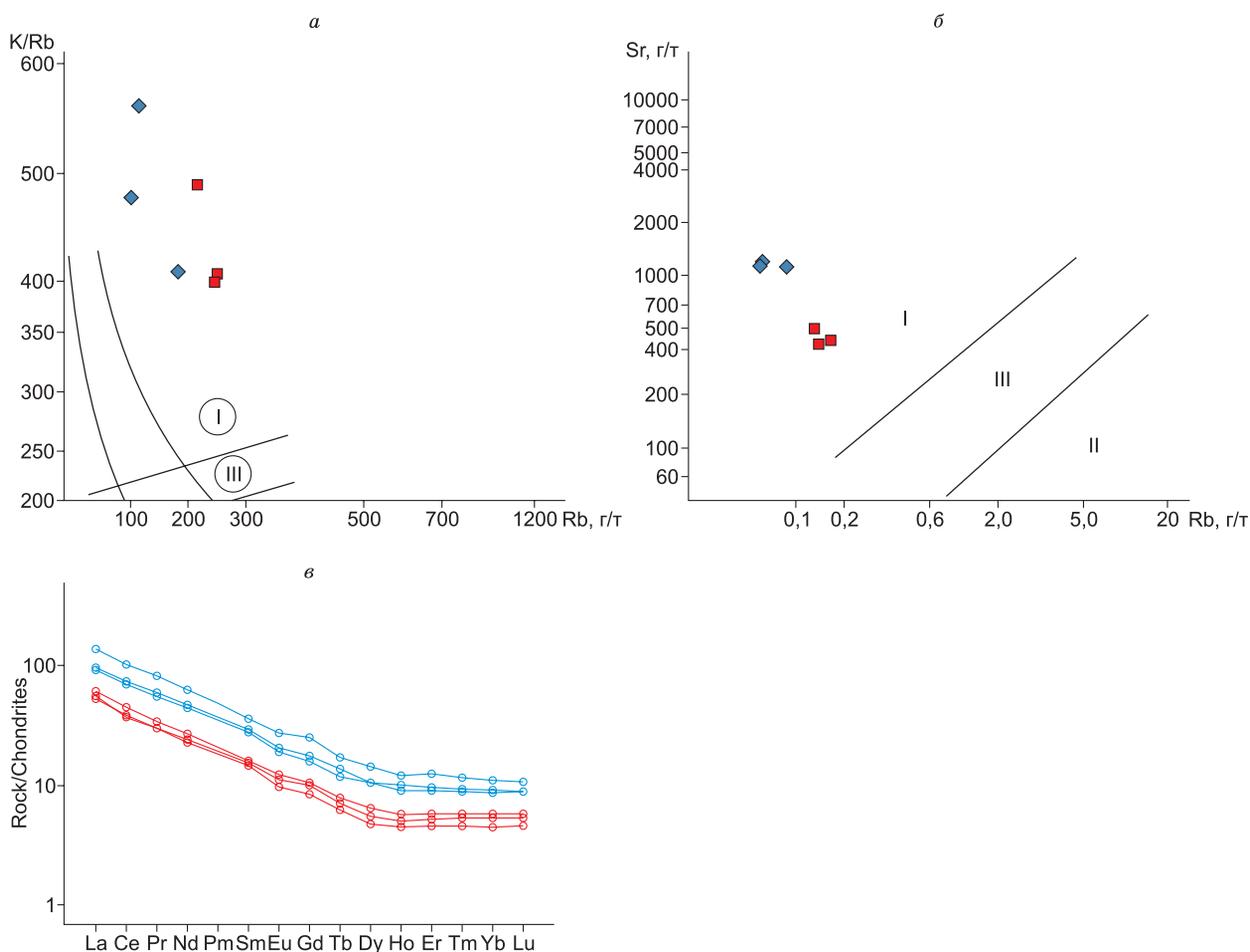
## Geochemical composition of rocks of the Taezhny massif according to ISP MS, g/t

|         | И19-24/2 | И19-24/4 | И19-30/3 | И19-27/5 | И19-27/6 | И19-27/7 |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| фаза    | 1        |          |          | 2        |          |          |
| Элемент |          |          |          |          |          |          |
| Rb      | 66       | 70       | 94       | 123      | 125      | 107      |
| Sr      | 1110     | 1150     | 1080     | 894      | 759      | 828      |
| Y       | 16,2     | 17,0     | 22       | 9,3      | 8,3      | 10,5     |
| Zr      | 130      | 142      | 164      | 119      | 125      | 124      |
| Nb      | 7,0      | 7,0      | 8,9      | 6,5      | 6,3      | 6,2      |
| Cs      | 0,85     | 0,40     | 0,88     | 1,25     | 0,96     | 0,89     |
| Ba      | 1910     | 2060     | 2220     | 1830     | 1660     | 1590     |
| La      | 22       | 23       | 33       | 12,7     | 13,4     | 14,6     |
| Ce      | 43       | 45       | 64       | 24       | 23       | 28       |
| Pr      | 5,3      | 5,7      | 7,9      | 2,9      | 2,9      | 3,3      |
| Nd      | 21       | 22       | 30       | 11,5     | 10,8     | 12,9     |
| Sm      | 4,3      | 4,5      | 5,6      | 2,4      | 2,3      | 2,5      |
| Eu      | 1,11     | 1,19     | 1,61     | 0,66     | 0,57     | 0,73     |
| Gd      | 3,3      | 3,7      | 5,2      | 2,1      | 1,79     | 2,2      |
| Tb      | 0,45     | 0,52     | 0,65     | 0,27     | 0,24     | 0,30     |
| Dy      | 2,7      | 2,7      | 3,7      | 1,44     | 1,23     | 1,68     |
| Ho      | 0,52     | 0,58     | 0,70     | 0,29     | 0,26     | 0,33     |
| Er      | 1,53     | 1,61     | 2,1      | 0,89     | 0,78     | 0,98     |
| Tm      | 0,23     | 0,24     | 0,30     | 0,14     | 0,12     | 0,15     |
| Yb      | 1,50     | 1,58     | 1,92     | 0,94     | 0,78     | 1,00     |
| Lu      | 0,23     | 0,23     | 0,28     | 0,14     | 0,12     | 0,15     |
| Hf      | 3,3      | 3,4      | 4,0      | 3,3      | 3,3      | 3,5      |
| Ta      | 0,34     | 0,34     | 0,40     | 0,28     | 0,27     | 0,28     |
| Th      | 5,5      | 6,2      | 8,9      | 7,1      | 5,5      | 8,6      |
| U       | 2,2      | 2,8      | 3,3      | 1,65     | 1,50     | 1,84     |
| La/Yb   | 14,42    | 14,84    | 16,93    | 13,50    | 17,14    | 14,58    |

|         | И19-24/2 | И19-24/4 | И19-30/3 | И19-27/5 | И19-27/6 | И19-27/7 |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| фаза    | 1        |          |          | 2        |          |          |
| Элемент |          |          |          |          |          |          |
| Ce/Yb   | 28,90    | 28,71    | 33,21    | 25,83    | 29,67    | 28,48    |
| Nb/La   | 0,32     | 0,30     | 0,27     | 0,51     | 0,47     | 0,42     |
| Y/Nb    | 2,31     | 2,43     | 2,43     | 1,43     | 1,33     | 1,70     |
| Th/U    | 2,46     | 2,19     | 2,66     | 4,29     | 3,66     | 4,69     |
| Eu/Eu*  | 0,90     | 0,88     | 0,91     | 0,89     | 0,85     | 0,95     |
| ΣРЗЭ    | 123,65   | 130,25   | 177,95   | 69,97    | 66,89    | 79,69    |

Примечание. 1 – сиенит-порфиры; 2 – лейкократовые сиениты.

Note. 1 – syenite-porphury; 2 – leucocratic syenites.



**Рис. 5.** Дискриминационные диаграммы для магматических образований массива Таежный: а – соотношение K/Rb–Rb в магматических породах [24]. Поля: I – мантийные, III – мантийно-коровые. б – соотношение Sr–Rb/Sr в магматических породах [24]. Поля: I – мантийные, II – коровые, III – мантийно-коровые. в – нормирование к хондриту [26] магматических пород массива Таежный. Построения диаграмм по данным ISP MS. Усл. обоз. пород – см. на рис. 4.

**Fig. 5.** Discrimination diagrams for magmatic formations of the Tahezny massif: а – K/Rb–Rb ratio in magmatic rocks [24]. Fields: I – mantle, III – mantle-crustal. б – Sr–Rb/Sr ratio in igneous rocks [24]. Fields: I – mantle, II – crustal, III – mantle-crustal. в – normalization to khondrit [26] of magmatic rocks of the Tahezny massif. Plotting diagrams from ISP MS data. See the rock symbols in fig. 4.

в массиве отвечает породам мантийной природы, а по низкому значению отношения Ba/Rb (до 23) наиболее близки коровым образованиям [23].

Характер распределения РЗЭ в лейкократовых сиенитах близок таковому в сиенит-порфирах, но при пониженных концентрациях всех элементов (см. табл. 3, рис. 5, в). Величины отношений  $La/Yb=13,50-17,14$ ,  $Ce/Yb = 25,83-29,67$  отвечают производным латитового ряда [23]. Значения  $Nb/La = 0,42-0,51$  и  $Th/U = 3,66-4,69$  могут свидетельствовать о контаминации первичных мантийных магм коровым веществом [27–29]. Заметное большее относительное содержание европия ( $Eu/Eu^* = 0,85-0,95$ ), по сравнению с породами предыдущей фазы, ближе к мантийному [25], а также может говорить о формировании расплавов в ходе фракционной кристаллизации только темноцветных породообразующих минералов и свидетельствовать о глубинной дифференциации [25].

*Бостониты даек* отличаются от пород массива более низкими содержаниями халькофильных элементов, кроме Cu – 39 г/т (см. табл. 3), повышенными содержаниями литофильных элементов – Sr до 1100 г/т, Ba до 3200 г/т, Zr до 210 г/т, Co 21–23 г/т, V до 170 г/т и относительно низким Rb до 117 г/т (см. табл. 3). Бостониты даек по содержаниям Rb (86–117 г/т), Ba (2300–3200 г/т), Sr (750–1100 г/т), Zr (180–210 г/т), Nb (5,32–10,80 г/т), Co (21–23 г/т) близки производным латитового ряда [22, 23]. Отношения  $K/Rb = 413-473$ ,  $Rb/Sr$  (до 0,16) в них отвечают мантийной природе, а по низкому значению Ba/Rb (до 23,81) они близки коровым образованиям [22, 23].

Породы дайки *вогезитов* геохимически специализированы на Rb, Ba, Sr, Cr, V, Sc Ni, Co (см. табл. 3), т. е. на литофильные и сидерофильные элементы. Содержания в них халькофильных элементов значительно ниже. Породы дайки по высокому содержанию Rb (86–136 г/т), Ba (1200–2900 г/т), Sr (490–890 г/т), а также по концентрациям Zr (120–210 г/т), Co (12–21 г/т) отвечают производным латитового ряда [22, 23]. Отношения  $K/Rb = 362,84-509,73$ ,  $Rb/Sr = 0,10-0,28$  [22] характерны для пород, образовавшихся из мантийного или в меньшей степени мантийно-корового источника.

### Заключение

По нашим полевым и петрографическим наблюдениям впервые было установлено, что массив Таежный имеет двухфазовое строение.

Первая фаза сложена сиенит-порфирами, вторая – лейкократовыми сиенитами. Последние несут многочисленные ксенолиты сиенит-порфира, т. е. являются более поздними образованиями.

В ходе исследований петро- и геохимических составов мезозойских магматических образований массива Таежный выявлены следующие особенности:

1. По различным классификационным данным, в массиве Таежный выделяются следующие группы пород: кварцевые сиениты (I фаза) с неоднозначными петрохимическими характеристиками, по которым они близки как к высококальциевой известково-щелочной, так и к шошонитовой петрохимической серии; лейкократовые сиениты (II фаза) шошонитовой петрохимической серии; бостониты дайки близки сиенитам и отвечают породам только шошонитовой петрохимической серии; вогезиты дайки (сиенит-монзонитовый лампрофир) отвечают породам шошонитовой петрохимической серии.

2. Для всех пород характерны высокие содержания  $Al_2O_3$ , в сиенитах массива 13,88–16,38 % и 14,43–15,90 % в породах даек, а также низкое содержание  $TiO_2$  (максимум до 0,80 % в дайках бостонитов). По суммарному содержанию щелочей и породы массива, и породы даек характеризуются калиевым типом щелочности.

3. Повышение значений глиноземистости в породах массива Таежный от сиенитов  $al' = 1,14-4,13$  к лейкократовым сиенитам  $al' = 2,51-5,70$  с последующим понижением этого показателя в породах даек бостонитов  $al' = 1,10-3,92$ ,  $al' = 1,18-1,47$  и вновь с ростом этого параметра в дайке вогезитов  $al' = 1,31-5,27$ . При этом значение коэффициента  $AG$  пород заметно снижается в этом ряду от 0,79–1,13 до 0,86–1,12 в породах массива и от 0,79–1,17, 0,76–0,93 в дайках бостонитов до 0,81–0,83 в дайке вогезитов, что, наряду с петрографическими наблюдениями, скорее всего, может отражать последовательность развития магматизма.

4. Все породы геохимически специализированы на Rb, Ba, Sr, B, Cr, V, Nb, Sc (см. табл. 2), т. е. на литофильные элементы. Содержания в них как халькофильных Cu, Sn, Zn Pb, Ge, так и сидерофильных Ni, Co элементов значительно ниже. Высокие содержания во всех породах Rb, Ba, Sr, Rb, Zr, Nb, Co отвечают таковым латитовой серии.

5. По отношениям  $K/Rb$ ,  $Rb/Sr$  и соотношениям  $K/Rb-Rb$ ,  $Sr-Rb/Sr$  элементов, все породы массива близки мантийным образованиям.

6. Распределения РЗЭ в породах массива имеют плавный отрицательный наклон, т. е. они обогащены цериевыми (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu) и обеднены иттриевыми (Y, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) элементами. Величины отношений La/Yb, Ce/Yb во всех породах массива близки производным латитовой серии.

7. Отношения Nb/La < 1 (характерно для всех пород массива), означающие отрицательную нибиевую (танталовую) аномалию, и низкие значения Th/U < 3 можно рассматривать как признак контаминации континентальной корой [27–29].

8. Высокое отношение Y/Nb > 1,2 (в целом, для всех пород массива) может иметь различное происхождение, отражающее вклад как коровых, так и мантийных источников [25].

9. Относительное содержание европия Eu/Eu\* ≈ 1 в породах массива Таежный близко к мантийному, а также может говорить о формировании расплавов в ходе фракционной кристаллизации только темноцветных породообразующих минералов. Стоит отметить наибольшую концентрацию РЗЭ в сиенит-порфирах  $\sum \text{РЗЭ } 177,95_{\text{max}}$ , которая снижается к лейкократовым сиенитам  $\sum \text{РЗЭ } 79,69_{\text{max}}$ . В совокупности со значениями коэффициента AG это может свидетельствовать о ходе нормальной дифференциации.

В целом все изученные магматические образования по петро-геохимическим характеристикам близки породам производных латитовой и шошонитовой серий и могут рассматриваться в составе монцонит-сиенитового формационного типа.

### Список литературы / References

1. Беляев Г.М., Рудник В.А. *Формационно-генетические типы гранитоидов*. Л.: Недра; 1978. 168 с.

[Belyaev G.M., Rudnik V.A. *Formation-genetic types of granitoids*. Leningrad: Nedra; 1978. 168 p. (In Russ.)]

2. Кузнецов В.А. *Проблемы рудно-формационного анализа и металлогении*. Новосибирск: Наука; 1988. 244 с.

[Kuznetsov V.A. *Problems of ore formation analysis and metallogeny*. Novosibirsk: Nauka; 1988. 244 p. (In Russ.)]

3. Орлов Ю.С., Трунилина В.А. Критерии связи эндогенного оруденения с магматизмом (на примере оловорудных узлов Восточной Якутии). *Вопросы магматизма и оруденения Якутии*. Якутск; 1992:43–57.

[Orlov Yu.S., Trunilina V.A. Criteria for the relationship between endogenous mineralization and magmatism (on the example of tin ore clusters in Eastern Yakutia). *Questions of magmatism and mineralization of Yakutia*. Yakutsk; 1992:43–57. (In Russ.)]

4. Трунилина В.А. и др. *Магматизм различных геодинамических обстановок (зона сочленения Верхоянской окраины Сибирского континента и Колымо-Омолонского микроконтинента)*. Якутск: ЯНЦ СО РАН; 1999. 168 с.

[Trunilina V.A. et al. *Magmatism of different geodynamic settings (junction zone of the Verkhoyansk margin of the Siberian continent and the Kolyma-Omolon microcontinent)*. Yakutsk: YaNC SB RAS; 1999. (In Russ.)]

5. Гоневчук В.Г. *Оловоносные системы Дальнего Востока: магматизм и рудогенез*. Владивосток: Дальнаука; 2002. 274 с.

[Gonevchuk V.G. *Tin-bearing systems of the Far East: magmatism and ore genesis*. Vladivostok: Dalnauka; 2002. (In Russ.)]

6. Степнова Ю.А. *Генезис и флюидный режим формирования рудно-магматической системы Шибановского рудного узла*. Владивосток: Дальнаука; 2013. 30 с.

[Stepnova Yu.A. *Genesis and fluid regime of formation of the ore-magmatic system of the Shibanovsky ore cluster*. Vladivostok: Dalnauka; 2013. (In Russ.)]

7. Билибин Ю.А. Послеюрские интрузии Алданского района. *Петрография СССР. Сер. 1: Региональная петрография. Вып. 10. Петрография Алдана*. М.;Л.: Изд-во Акад. наук СССР; 1941. 119 с.

[Bilibin Yu.A. Jurassic intrusions of the Aldan region. *Petrography of the USSR. Ser. 1: Regional petrography. Issue 10. Petrography of Aldan*. M.;L.; Akad. nauk SSSR; 1941. (In Russ.)]

8. Билибин Ю.А. *Избранные труды*. М.: АН СССР; 1958. 1. 432 с.

[Bilibin Yu.A. *Selected works*. Moscow: Akad. nauk SSSR; 1958. 1. (In Russ.)]

9. Максимов Е.П., Уютов В.И., Никитин В.М. Центральнo-Алданская золото-урановорудная магматогенная система (Алдано-Становой щит, Россия). *Тихоокеанская геология*. 2010;2(29):3–26.

[Maksimov E.P., Uyutov V.I., Nikitin V.M. Central Aldan gold-uranium ore magmatogenic system (Aldan-Stanovoy shield, Russia). *Russian journal of Pacific Geology*. 2010;2(29);3–26. (In Russ.)]

10. Парфенов Л.М., Кузьмин М.И. *Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия)*. М.: «Наука/Интерпериодика»; 2001. 571 с.

[Parfenov L.M., Kuzmin M.I. *Tectonics, geodynamics and metallogeny of the territory of the Republic Sakha (Yakutiya)*. Moscow: "Nauka/Interperiodika"; 2001. (In Russ.)]

11. Ветлужских В.Г., Казанский В.И., Кочетков А.Я. Золоторудные месторождения Центрального Алдана. *Геология рудных месторождений*. 2002;6(44): 467–499.

[Vetluzhskikh V.G., Kazanskiy V.I., Kochetkov A.Ya. Gold deposits of the Central Aldan. *Geology of ore deposits*. 2002;6(44):467–499. (In Russ.)]

12. Кочетков А.Я. Мезозойские золотоносные рудно-магматические системы Центрального Алдана. *Геология и геофизика*. 2006;(47):850–864.

[Kochetkov A.Ya. Mesozoic gold-bearing ore-magmatic systems of the Central Aldan. *Geology and Geophysics*. 2006;7(47):850–864. (In Russ.)]

13. Дворник Г.П. Золоторудные метасоматические формации Центрально-Алданского района. *Литосфера*. 2012;2:90–105.

[Dvornik G.P. Gold ore metasomatic formations of the Central Aldan region. *Lithosphere*. 2012;2:90–105. (In Russ.)]

14. Терехов А.В. Рудоносность гидротермально-метасоматических образований Эльконского золото-уранового узла (Южная Якутия). Дис. на соискание ученой степени канд. геол.-мин. наук. Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ; 2012. 220 с.

[Terekhov A.V. *Ore potential of hydrothermal-metasomatic formations of the Elkon gold-uranium cluster (South Yakutia)*. Dissertation for the degree of candidate of geological and mineralogical sciences. St. Petersburg: VSEGEI; 2012. (In Russ.)]

15. Шатова Н.В. Рудоносность гидротермально-метасоматических образований Рябиного рудного поля (Южная Якутия). Дис. на соискание ученой степени канд. геол.-мин. наук. Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ; 2016. 171 с.

[Shatova N.V. *Ore potential of hydrothermal-metasomatic formations of the Rowan ore field (South Yakutia)*. Dissertation for the degree of candidate of geological and mineralogical sciences. St. Petersburg: VSEGEI; 2016. (In Russ.)]

16. Киселев Г.Н. и др. Отчет о геологическом доизучении площади Южно-Алданского железорудного района в масштабе 1:50000 на листах О-51-83-В,Г; О-51-84-В,Г; О-51-93-В,Г; О-51-94-А,Б,В,Г; О-51-95-А,Б,В,Г; О-51-96-А,Б,В,Г. Отчет по результатам работ Эвотинской партии за 1978–1988. Чульман. 1988.

[Kiselev G.N. et al. *Report on the geological additional study of the area of the South Aldan iron ore region on a scale of 1: 50000 on sheets O-51-83-V.G; O-51-84-V.G; O-51-93-B.G; O-51-94-A.B.V.G; O-51-95-A.B.V.G; O-51-96-A.B.V.G. Report on the results of the work of the Evo-tinskaya party for 1978–1988*. Chulman. 1988. (In Russ.)]

17. Whitney D.L., Evans B.W. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *Am. Mineral*. 2010;95(1): 185–187. doi:10.2138/am.2010.3371

18. *Петрографический кодекс России*. СПб.: ВСЕГЕИ. 2008. 200 с.

[*Petrographic code of Russia*. St. Petersburg: VSEGEI; 2008. (In Russ.)]

19. Wilson M. Review of igneous petrogenesis: a global tectonic approach. *Terra Nov*. 1989;1(2):218–222.

20. De la Roche H. et al. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1R2-diagram and major-element analyses – Its relationships with current nomenclature. *Chem. Geol*. 1980;29(1–4):183–210.

21. Whitford D.J., Nicholls I.A., Taylor S.R. Spatial variations in the geochemistry of quaternary lavas across the Sunda arc in Java and Bali. *Contrib. to Mineral. Petrol*. Springer-Verlag. 1979;70(3):341–356.

22. Склярков Е.В., Гладкочуб Д.П. *Интерпретация геохимических данных*. М.: Интернет инжиниринг; 2001. 288 с.

[Sklyarov E.V., Gladkochub D.P. *Interpretation of geochemical data*. Moscow: Internet engineering; 2001. (In Russ.)]

23. Таусон Л.В., Гундобин Г.М., Зорина Л.Д. *Геохимические поля рудно-магматических систем*. Новосибирск: Наука; 1987. 202 с.

[Tauson L.V., Gundobin G.M., Zorina L.D. *Geochemical fields of ore-magmatic systems*. Novosibirsk: Nauka; 1987. (In Russ.)]

24. Руб М.Г. и др. Щелочные элементы и стронций в рудоносных (Sn, W, Ta) дифференцированных магматических ассоциациях. *Докл. АН СССР*. 1984;6(268): 1463–1466.

[Rub M.G. and others. Alkaline elements and strontium in ore-bearing (Sn, W, Ta) differentiated igneous associations. *Reports of the Academy of Sciences of the USSR*. 1984;6(268):1463–1466. (In Russ.)]

25. Балашов Ю.А. *Геохимия редкоземельных элементов*. М.: Наука; 1976. 267 с.

[Balashov Yu.A. *Geochemistry of rare earth elements*. Moscow: Nauka; 1976. (In Russ.)]

26. Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. *Geol. Soc. Spec. Publ. Geological Society of London*. 1989;42(1):313–345.

27. Lightfoot P.C. 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. to Mineral. Petrol*. 1993; 114:171–188.

28. Rudnick R.L., Gao S. Composition of the Continental Crust. *Treatise on Geochemistry*. Elsevier Inc. 2003;3–9:1–64.

29. Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. *Континентальная кора, ее состав и эволюция*. М.: Мир; 1988. 380 с.

[Teylor S.R., Mak-Lennan S.M. *Continental crust, its composition and evolution*. Moscow: Mir; 1988. (In Russ.)]

#### Об авторах

ИВАНОВ Алексей Иванович, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-4216-8421>, e-mail: [aiivanov@diamond.ysn.ru](mailto:aiivanov@diamond.ysn.ru)

ИВАНОВ Мичил Спартакoвич, инженер 1 категории, <https://orcid.org/0000-0002-0204-1653>, e-mail: [ivanov.michil@bk.ru](mailto:ivanov.michil@bk.ru)

*А. И. Иванов и др. ♦ Петро- и геохимический состав мезозойских магматических пород...*

ЖУРАВЛЕВ Анатолий Иванович, младший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0003-0115-5146>,  
e-mail: [ai.zhuravlevgeo@gmail.com](mailto:ai.zhuravlevgeo@gmail.com)

*Аффилиация*

Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, 677980, г. Якутск, пр. Ленина, 39, Российская Федерация

*About the authors*

IVANOV, Alexei Ivanovich, Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-4216-8421>, e-mail: [aiivanov@diamond.ysn.ru](mailto:aiivanov@diamond.ysn.ru)

IVANOV, Michil Spartakovich, Engineer (1st category), <https://orcid.org/0000-0002-0204-1653>, e-mail: [ivanov.michil@bk.ru](mailto:ivanov.michil@bk.ru)

ZHURAVLEV, Anatolii Ivanovich, Junior Researcher, <https://orcid.org/0000-0003-0115-5146>, e-mail: [ai.zhuravlevgeo@gmail.com](mailto:ai.zhuravlevgeo@gmail.com)

*Affiliation*

Diamond and Precious Metal Geology Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 39 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russian Federation

*Поступила в редакцию / Submitted 16.02/2022*

*Поступила после рецензирования / Revised 20.04.2022*

*Принята к публикации / Accepted 03.06.2022*