

## Удурчуканская свита и аякитский комплекс: размещение, возраст, геохимия (Буреинский массив, Сихотэ-Алинь)

Неогеновые базальты на востоке Буреинского массива и прилегающей к нему Курско-Комсомольской зоны Сихотэ-Алиньской складчатой системы рассредоточены вдоль зон Хинганского, Амгуньского и Танлу-Харпийского глубинных разломов, в области высокой тектонической и сейсмической активности. Анализ датировок их возраста в исследуемых районах указывает на 3 этапа проявленности базальтоидного магматизма в миоцене: раннемиоценовый (удурчуканская свита: 22,6–18,6 млн лет), среднемиоценовый (аякитский комплекс: 14,8–13,0 млн лет) и позднемиоценовый (аякитский комплекс: 10,0–9,3 млн лет). Исследуемые образования – базальты (Аякитское плато), андезибазальты (Удурчуканское плато), лейцититы (о. Ядасен) – обогащены оксидами натрия, калия, титана, железа, магния, фосфора. Две пробы из щелочных оливинных базальтов Аякитского плато показали высокие Кк Те (578,0) и Ag (172,7), повышенные Кк – у высокозарядных Nb (6,2), Та (3,4) и радиоактивных Th (2,7), U (2,4). Содержания Co, Ni, Zr, Mo, W, Zn, Sr, Ba, Hg, лёгких и средних РЗЭ выше кларковых значений для пород основного состава в 1,1–1,5 раза и более. Отмечается небольшой дефицит Sb, Cs, Bi, Cu, Li, Sc, Rb, Tm, Yb, Lu (Кк < 0,7). Близкий к ним химический состав базальтов САСС вблизи пос. Солнечный и на о. Ядасен может указывать на единый для них источник магмы.

*Ключевые слова:* аякитский комплекс, удурчуканская свита, базальты, андезибазальты, лейцититы, возраст, химический состав, Буреинский массив, Сихотэ-Алиньская складчатая система.

НИГАЙ ЕЛЕНА ВАЛЕНТИНОВНА, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории тектоники, helenvn54@gmail.com

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт тектоники и геофизики им. Ю. А. Косыгина Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИТИГ ДВО РАН), г. Хабаровск

## Udurchukan formation and ayakit complex (Bureya massif, Sikhote-Alin): location, age and geochemistry

E. V. NIGAI

Yu. A. Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences (ITIG FEB RAS), Khabarovsk

Neogene basalts in the eastern of the Bureya massif and the adjacent Kursk-Komsomolskaya zone of the Sikhote-Alin fold system occur in the seismically and tectonically active area along the Khingan, Amgun and Tanlu-Kharpi deep faults. Analysis of age constraints on the timing of basaltoid magmatism in the Miocene suggests three phases of magmatism in the study areas: Early Miocene (Udurchukan Formation: 22,6–18,6 Ma); Middle Miocene (Ayakit Complex: 14,8–13,0 Ma), and Late Miocene (Ayakit Complex: 10,0–9,3 Ma). Rock studies have found that basalts (Ayakit plateau), basaltic andesites (Udurchukan plateau), and leucitites (Yadasen Island) are enriched in sodium oxides, potassium, titanium, iron, magnesium, and phosphorus. Two samples of alkaline olivine basalts from the Ayakit plateau yielded high KkTe (578,0) and Ag (172,7); elevated Kk in high field-strength Nb (6,2), Ta (3,4) and radioactive Th (2,7), U (2,4). The contents of Co, Ni, Zr, Mo, W, Zn, Sr, Ba, Hg, light and middle REE are 1,1–1,5 times or even higher than the clarke values for mafic rocks. There is a slight deficit of Sb, Cs, Bi, Cu, Li, Sc, Rb, Tm, Yb, Lu (Kk < 0,7). A similar chemical composition of the SASS basalts (Solnechny settlement and Yadasen Island) suggests that they have a common magma source.

*Key words:* Ayakit complex, Udurchukan Formation, basalts, basaltic andesites, leucitites, age, chemical composition, Bureya massif, Sikhote-Alin fold system.

Районы исследований – восточная часть Буреинского массива (БМ) и прилегающая к нему часть Сихотэ-Алинской складчатой системы (САСС), объекты исследований – миоценовые базальтоиды удурчуканской свиты и аякитского комплекса. Ареалы распространения этих молодых базальтоидных образований свидетельствуют о высокой сейсмической и тектонической активности земной коры в зоне их локализации. Здесь часты землетрясения магнитудой от 3 до 7 баллов. Высокая активность разломной тектоники и высокая водонасыщенность горных пород явились, в частности, причиной образования крупного Буреинского оползня 2018 г. Характерны повышенные значения теплового потока, составляющие 30–35 мВ/м<sup>2</sup> [9, 30]. Геотермические аномалии проявлены в виде горячих гидротермальных источников (Кульдур и др.).

Миоценовые базальтоиды (как и более молодые неоген-четвертичные и домиоценовые) могут играть важную роль индикаторов оруденения, в том числе скрытого. На это обратили внимание В. И. Гаврилов и В. В. Онихимовский, писавшие, что «изучение минералогии и геохимии базальтов... позволит использовать базальты в качестве провинциального индикатора скрытого оруденения» [4, с. 105]. Минералогические исследования искусственных шлихов, изготовленных из проб миоценовых базальтов, отобранных в Комсомольском рудном районе, позволили выявить в их составе магнетит, ильменит, хромит, цирконы, единичные зёрна касситерита, пирита, халькопирита, арсенопирита, пироморфита, шеелита, турмалина. Содержание в них TiO<sub>2</sub>, MgO, CaO было повышенным, а содержание Bi, Ag, Cu, Pb, Zn, Sn значительно выше кларковых [4, с. 102]. В. Г. Хомич и Н. Г. Борискина, изучавшие особенности размещения платинометаллальной минерализации Сибири и Дальнего Востока, подчеркнули роль молодого вулканизма, показав на схеме Удокан-Чинейского рудного района широкое распространение неоген-четвертичных трахибазальтов в районе локализации Удоканского, Чинейского и Катугинского рудных полей [22]. С. В. Рассказов, изучавший неогеновые базальтоиды Удоканского вулканического района (вблизи упомянутого Удокан-Чинейского рудного района), указал на связь рудогенерирующего магмообразования с молодым вулканизмом [16, с. 3]. Им же в соавторстве с В. С. Приходько, Е. В. Сараниной и др. изучались мантийно-коровые компоненты в позднекайнозойских базальтоидах потенциально рудоносных площадей Среднеамурской впадины [17].

Проблеме генезиса и возраста позднекайнозойских покровных и субвулканических базальтов Дальнего Востока, изучению минералого-геохимического

и изотопного составов, выяснению их эволюции в крупных структурах фанерозоя посвящена обширная литература. В то же время исследования неогеновых базальтов восточной части Буреинского массива проводились в основном в рамках картосоставительских работ среднего и мелкого масштабов. Большое значение имеют картосоставительские работы по ГДП-200 [1, 2, 7, 8] и масштаба 1:1 000 000 третьего поколения [3, 15].

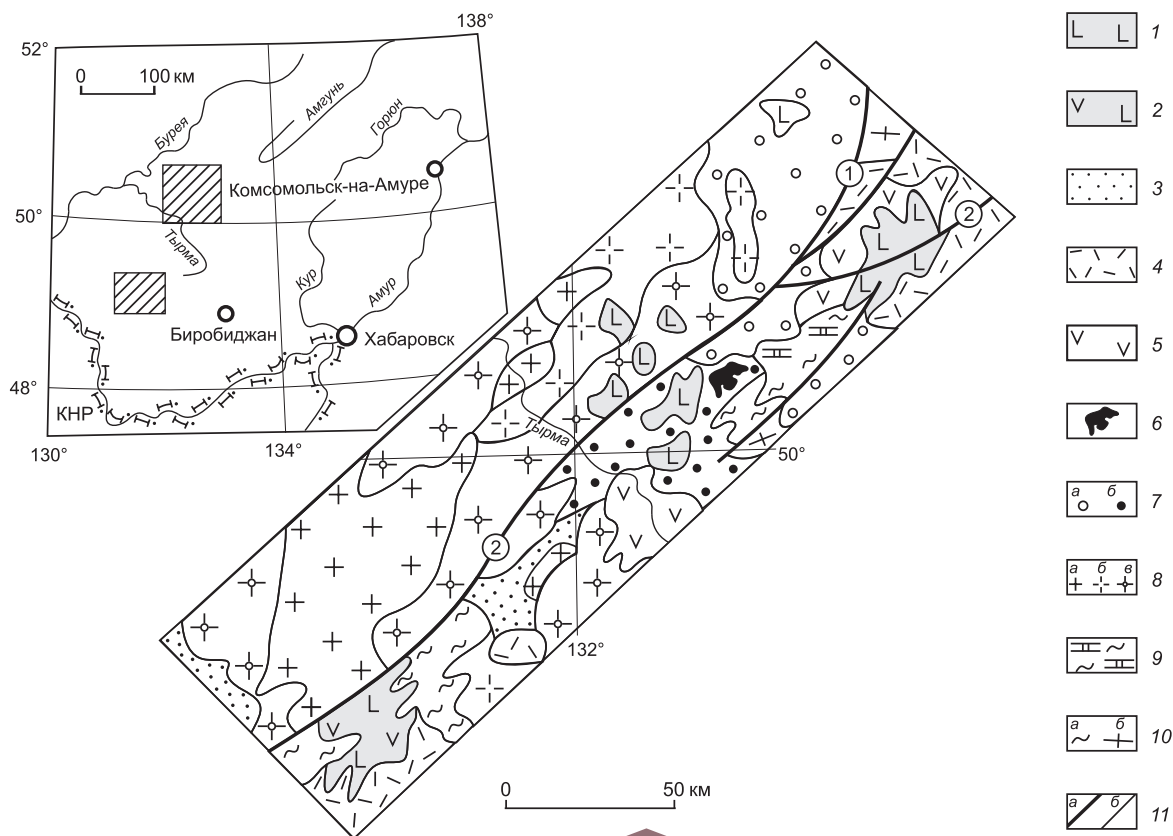
Цель настоящих исследований – выяснение геологических особенностей размещения базальтоидов удурчуканской свиты и аякитского комплекса БМ, включая аякитские базальты приграничных частей САСС, сравнение их возраста и петрогеохимии, интерпретация геодинамической обстановки.

Исходными материалами для составления схем геологического строения явились геологические карты масштабов 1:1 000 000, 1:1 500 000 и 1:200 000 [2, 3, 7, 8, 15, 19]. Для построения диаграмм были использованы данные по химическому и элементному составу неогеновых вулканитов исследуемых районов [1, 2, 7, 8, 16] и новые данные по элементному составу двух проб оливиновых щелочных базальтов, отобранных из Аякитского плато.

Методы исследований заключаются в следующем: это сравнительный анализ особенностей размещения, возраста, состава базальтоидов удурчуканской свиты и аякитского комплекса, составление схем геологического строения исследуемой площади, подбор диаграмм; петрохимические расчёты, построение типовых петро- и геохимических диаграмм. Элементный состав щелочных оливиновых базальтов (53 элемента) определен в ИТиГ ДВО РАН методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (аналитики А. В. Штарева, А. Ю. Лушников) на приборе ICP-MS Elan DRC II Perkin Elmer (USA).

**Результаты исследований. Особенности размещения.** Континентальная кора восточной части Буреинского массива претерпела длительную историю геологического развития. Это докембрийский период гранитоидного магматизма, крупные периоды раннепалеозойского магматизма, следующего за ним крупного пермско-триасового, поздне триасового и мелового магматизма и неоген-четвертичного базальтоидного вулканизма. В миоцене вдоль Хингано-Амгуньского, Курского и Танлу-Харпийского разломов произошли излияния базальтов удурчуканской свиты и аякитского комплекса.

На востоке Буреинского массива аякитский комплекс представлен покровами платобазальтов вдоль зоны Хингано-Амгуньского разлома (рисунки 1 и 2). Базальты с вкрапленниками оливина, пироксена, плагиоклаза (лабрадор, битовнит), магнетита слагают крупное Аякитское плато (площадь 30 × 40 км<sup>2</sup>, мощность 300 м), залегая на поздне меловых вулканитах



**Рис. 1. Схема размещения миоценовых базальтов на востоке Буреинского массива. Составила Е. В. Нугай с использованием данных [3, 7, 8, 15]:**

миоценовые: 1 – базальты аякитского комплекса, 2 – андезибазальты удурчуканской свиты; 3 – эоцен-миоценовые алевропелиты, глины, пески, галечники, лигниты; позднемиоценовые: 4 – риолиты, риодациты и 5 – андезиты, андезидациты; 6 – раннемиоценовые диоритовые порфиры иороханского комплекса; 7 – юрские терригенные и кремнисто-терригенные осадочные породы с примесью туфов (а), юрско-меловые угленосные толщи ургальской серии (б); 8 – гранитоидные комплексы: а – харинский (Т<sub>3</sub>-Т<sub>1</sub>), б – тырмо-буреинский (Р<sub>3</sub>-Т<sub>1</sub>), в – суларинский, кивилийский, биробиджанский (Е-О); 9 – кварциты, мраморы, кристаллические сланцы (PR<sub>1</sub>) гуджальской свиты; 10 – докембрийские кристаллосланцы, амфиболиты амурской серии и дяддаглейской толщи (а), плагиограниты, гранитогнейсы древнебуреинского комплекса (б); 11 – разломы: а – Тастахский (1) и Хинганский (Хингано-Амгуньский) (2), б – прочие; районы исследований показаны штриховкой на врезке

Баджальского вулcano-плутона. К западу от Аякитского плато они с размывом залегают на осадочных породах Тырминской впадины, Буреинского и Гуджикского прогибов и магматитах палеозоя и мезозоя (см. рис. 2). Разность отметок подошвы и кровли базальтовых покровов составляет в среднем от 50 до 300 м [1, 8].

К востоку от Буреинского массива базальты аякитского комплекса получили развитие в северо-восточной части Курско-Комсомольской зоны Сихотэ-Алинской складчатой системы, в долинах рек бассейна р. Амгунь (см. рис. 2), где образуют покровы средней величины (18 × 20 км<sup>2</sup>). Часть их приурочена к Дукинскому и Курскому разломам, остальные (1,5 × 2,0 км<sup>2</sup>) размещаются в Эльгинской, Хогдинской и других впадинах. Покровы базальтов слагают во-

доразделы, иногда борта впадин и прогибов. Толща (190 м) трахиандезибазальтов к северу от р. Горин закартирована в долине р. Эвур (Эвурское плато, 40 × 20 км<sup>2</sup>). Она перекрывает позднемиоценовые вулканиды омельдинской толщи. Это оливиновые и оливин-пироксеновые базальты, их туфы и лавобрекчии мощностью 120 м (истоки р. Харпичикан). Мощность базальтов в верховьях р. Силенка 90 м. Покров базальтов мощностью 60 м описан в устье р. Харпин (впадает в оз. Болонь) [3, 12].

Базальты аякитского комплекса, слагающие Болоньский вулкан на о. Ядасен (оз. Болонь; рис. 2, пробы 12, 1, 3), по возрасту близки базальтам Аякитского плато (табл. 1). Остров представляет собой остаток потухшего вулкана площадью 270 × 120 м<sup>2</sup>, с двумя некками и свежими пористыми лавовыми



**1. Возраст миоценовых базальтов востока БМ и приграничной части САСС**

Название комплекса	Ареал распространения, места отбора проб	Возраст, млн лет, [источник]
1. Аякитский комплекс	Аякитское плато (БМ)	10,0 [2]
2. Аякитский комплекс	пос. Солнечный (САСС)	13,0; 14,8 [12]
3. Аякитский комплекс	о. Ядасен (оз. Болонь, САСС)	9,3; 9,68 [16].
4. Удурчуканская толща	Удурчуканское плато (БМ)	18,6; 22,1; 22,3; 22,6 [8]
5. Острогорский комплекс	Верховья рек Гур, Анюй, Немта (САСС)	11,0; 18,0 [10]
6. Острогорский комплекс	Правобережье р. Анюй (САСС)	27,0 [10]

От вулканитов мела отличаются более низкой радиоактивностью. В основании свиты – линзы галечников (до 10 м) и вулканических стёкол. Установлены 4 потока тёмно-серых андезибазальтовых лав, разделённых слоями осадочных пород; в центре лавы массивные, по окраинам – пористые. Вверх по разрезу увеличивается основность эффузивов – от андезитов до трахибазальтов. От базальтов мела отличаются свежестью пироксена и других включений [8].

К юго-востоку от Буреинского массива, вдоль восточного борта Среднеамурской впадины широко распространены базальтоиды *острогорского* комплекса САСС [3, 10], близкие по возрасту и составу удурчуканской свите и аякитскому комплексу. Возраст их олигоцен-миоценовый (см. табл. 1). Площадь выхода острогорских базальтов в 3–4 раза больше, чем аякитских. Для них характерен и более широкий возрастной диапазон проявленности магматизма.

**2. Химический состав базальтов Аякитского плато [1]**

Компонент	4025	9-1	К-1280	3318	383	572	552	321-1	321-2
SiO <sub>2</sub>	45,13	44,10	48,04	46,11	43,86	42,89	49,67	47,43	48,25
TiO <sub>2</sub>	2,58	2,65	2,27	2,05	2,52	2,29	1,74	1,97	2,04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,56	14,54	14,00	14,31	14,59	14,65	15,48	15,72	16,67
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,69	3,79	3,18	4,15	4,64	4,56	2,67	2,67	5,31
FeO	6,88	8,17	8,88	6,96	7,93	8,13	6,70	8,47	5,59
MnO	0,13	0,15	0,16	0,14	0,17	0,18	0,17	0,14	0,19
MgO	8,67	8,42	8,22	8,77	8,66	8,39	7,69	8,55	7,20
CaO	8,64	8,93	7,98	8,68	8,50	10,6	7,62	8,51	8,41
Na <sub>2</sub> O	3,49	4,30	1,62	3,07	3,92	3,96	3,15	2,94	3,00
K <sub>2</sub> O	2,20	1,84	1,46	1,62	1,37	1,36	1,47	1,65	1,73
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,68	0,78	0,58	0,41	0,89	0,98	0,38	0,39	0,41
SO <sub>2</sub>	0,04	0,04	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01
CO <sub>2</sub>	0,16	0,29	0,63	0,34	0,00	0,00	0,00	0,04	0,01
H <sub>2</sub> O	1,74	1,54	1,52	3,05	2,41	2,06	1,98	1,90	1,64
Σ	99,6	99,5	99,8	99,5	99,4	100,0	98,72	100,4	100,5

**Возраст базальтов** аякитского комплекса по многочисленным изотопным калий-аргоновым датировкам валовых проб представлен в табл. 1. Единичные датировки по цирконам, показавшие раннепалеозойский возраст, не соответствуют позднекайнозойскому геологическому возрасту базальтов, поэтому они не приводятся (содержатся в отчёте С.Н. Добкина по составлению ГГК-200/2 за 2015 г.). В базальтах о. Ядасен возраст установлен по лейцититу [17]. Для сравнения приведены данные по возрасту острогорских базальтов. Как видно из табл. 1, самыми молодыми являются базальты о. Ядасен, базальты Аякитского плато также имеют позднемиоценовый возраст, а андезибазальты удурчуканской толщи наиболее древние (ранний миоцен).

**Минералого-геохимические особенности.** В аякитских базальтах преобладают субщелочные оливиновые базальты с вкрапленниками оливина, пироксена, полевых шпатов. Трахибазальты с плагиоклазом, пироксеном отличаются от них ясной порфировой структурой. В щелочных базальтах Аякитского

плато помимо оливина, пироксена и полевых шпатов есть нефелин, роговая обманка, авгит. Поры заполнены цеолитом, анальцимом, халцедоном, шабазитом. Щелочные базальты по составу близки к оливиновым тефритам и базанитам, а повышенное содержание  $TiO_2$  (до 3,6%) сближает их с ультраосновными фойдитами [2]. Андезибазальты удурчуканской толщи с вкрапленниками авгита, пироксена, оливина, андезина, лабрадора (от 3–7 до 20%) натрий-кальциевого типа. Коэффициент окисленности железа составляет 0,64.

Химический состав петрогенных оксидов в базальтах Аякитского плато представлен в табл. 2 [2].

Как видно из табл. 2, базальты Аякитского плато обогащены оксидами натрия, калия, титана, железа ( $Fe_2O_3 + FeO$ ), магния и фосфора. Содержание пентоксида фосфора в несколько раз выше, чем в базальтах вулканов Курильских островов – 0,1–0,2% [6].

В табл. 3 приведены новые данные по составу элементов-примесей и их кларков концентраций (Кк)

### 3. Содержания и Кк отдельных элементов в базальтах Аякитского плато

Элемент	8144	8146	Элемент	8144	8146	Элемент	8144	8146
Li (г/т)	9,03/0,4	9,22/0,5	Y	18,82/0,7	21,84/0,8	Tb	0,83/1,2	1,06/1,5
Be	1,35/3,4	1,46/3,6	Zr	166,9/1,1	222,27/1,5	Dy	4,64/0,9	5,74/1,1
B	4,14/0,8	5,37/1,1	Nb	27,16/3,9	43,73/6,2	Ho	0,85/0,7	1,03/0,9
P	2154,1/1,7	3000,7/2,4	Mo	1,89/1,5	3,38/2,6	Er	2,31/0,8	2,82/0,9
Sc	21,51/0,7	22,31/0,7	Ag	2,85/28,5	17,28/172,7	Tm	0,26/0,1	0,32/0,1
Ti	11369,7/1,0	15187,3/1,4	Cd	0,06/0,3	0,10/0,5	Yb	1,81/0,9	2,28/1,1
V	181,76/0,6	197,01/0,7	Sn	1,33/0,7	1,70/0,8	Lu	0,23/0,5	0,29/0,6
Cr	269,35/1,2	226,73/0,6	Sb	0,19/0,5	0,04/0,1	Hf	4,81/2,5	6,25/2,5
Mn	1615,05/1,1	1380,79/0,9	Te	4,05/578,5	4,05/578,0	Ta	2,14/2,1	3,43/2,6
Co	42,58/1,4	41,56/1,4	Cs	0,28/0,3	0,41/0,4	W	1,15/1,1	1,28/1,3
Ni	109,84/1,4	123,20/1,5	Ba	316,06/1,1	330,3/1,1	Re	0,001/0,0	0,001/0,0
Cu	39,28/0,4	51,04/0,6	La	21,77/1,3	32,85/1,9	Hg	0,03/0,8	0,08/2,6
Zn	107,51/1,3	111,58/1,3	Ce	48,12/1,5	68,65/2,2	Tl	0,001/0,0	0,001/0,0
Ga	19,96/1,1	22,95/1,3	Pr	5,95/1,6	8,20/2,2	Pb	5,62/0,9	5,88/1,0
Ge	1,25/0,8	1,34/0,9	Nd	26,26/1,6	35,60/2,2	Bi	0,01/0,2	0,03/0,5
As	3,77/1,9	3,51/1,7	Sm	5,89/1,5	7,65/1,9	Th	3,90/2,2	4,93/2,7
Rb	29,69/0,6	25,31/0,5	Eu	1,95/1,3	2,43/1,6	U	1,05/1,8	1,45/2,4
Sr	1041,6/2,7	833,50/1,8	Gd	6,85/1,5	8,82/1,9	<i>Всего: 53 элемента</i>		

*Примечание.* В числителе – содержание, в знаменателе – Кк; выделены Кк > 1; анализы выполнены методом ISP-MS в лаборатории ИТиГ ДВО РАН А. В. Штаревой и А. Ю. Лушниковой в 2017 г.

4. Состав базальтов аякитского комплекса Курско-Комсомольской зоны САСС [16]

Компонент	133	134	135	136	137	138	12	1	3
SiO <sub>2</sub> , %	48,25	48,37	46,19	48,37	49,58	47,47	44,02	44,28	44,44
TiO <sub>2</sub>	1,92	1,92	2,11	1,82	1,59	1,80	2,37	2,36	2,42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,08	15,45	14,07	14,37	14,07	14,84	13,75	13,45	13,80
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,66	2,50	2,18	2,67	3,01	1,77	3,04	5,33	5,60
FeO	Н. д.	7,80	8,94	8,26	7,93	8,74	7,88	5,69	5,62
MnO	0,15	0,13	0,15	0,13	0,12	0,13	0,17	0,17	0,15
MgO	5,69	7,70	9,82	9,70	8,43	9,44	10,38	10,22	10,02
CaO	8,54	8,27	8,12	7,62	7,36	7,67	8,50	8,59	8,10
Na <sub>2</sub> O	3,49	3,07	2,64	2,90	3,18	2,94	4,07	4,17	4,25
K <sub>2</sub> O	1,97	1,36	1,65	1,41	1,19	1,44	3,89	3,79	3,63
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,55	0,36	0,49	0,36	0,28	0,36	1,14	1,16	1,18
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	Н. д.	0,42	0,55	0,52	1,05	0,47	0,08	0,12	0,32
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	Н. д.	2,77	3,58	2,44	1,95	2,87	0,96	1,11	0,93
Сумма	97,27	100,12	100,49	100,57	99,74	99,94	100,25	100,44	100,46
Sc (мкг/г)	Н. д.	24,4	22,8	27,1	25,0	27,3	18,3	18,6	23,0
Rb	26,0	15,0	26,4	19,7	19,5	22,5	<b>50,3</b>	<b>52,4</b>	<b>56,3</b>
Sr	<b>692</b>	<b>547</b>	<b>910</b>	<b>584</b>	<b>424</b>	<b>762</b>	<b>1102</b>	<b>1109</b>	<b>1274</b>
Y	18,0	21,1	20,5	23,1	23,5	21,1	26,2	26,4	<b>28,8</b>
Zr	<b>187</b>	<b>159</b>	<b>197</b>	<b>175</b>	144	<b>157</b>	<b>261</b>	<b>261</b>	<b>278</b>
Nb	<b>23</b>	<b>22,6</b>	<b>41,3</b>	<b>27,9</b>	<b>22,8</b>	<b>23,3</b>	<b>79</b>	<b>80</b>	<b>87</b>
Sn	Н. д.	1,42	1,67	1,47	1,12	1,25	1,64	1,89	<b>2,09</b>
Cs	Н. д.	0,25	0,46	0,18	0,26	0,56	0,97	0,90	<b>1,03</b>
Ba	230	182	<b>292</b>	242	200	199	<b>679</b>	<b>689</b>	<b>739</b>
La	Н. д.	16,6	<b>24,1</b>	<b>19,2</b>	<b>26,7</b>	<b>17,3</b>	<b>61,4</b>	<b>61,4</b>	<b>64,6</b>
Ce	Н. д.	<b>35,4</b>	<b>49,6</b>	<b>40,8</b>	<b>44,9</b>	<b>36,5</b>	<b>112,5</b>	<b>114,5</b>	<b>119,8</b>
Pr	Н. д.	<b>4,57</b>	<b>5,91</b>	<b>5,22</b>	<b>5,08</b>	<b>4,73</b>	<b>13,78</b>	<b>13,86</b>	<b>14,53</b>
Nd	Н. д.	<b>19,9</b>	<b>26,1</b>	<b>25,4</b>	<b>21,4</b>	<b>22,4</b>	<b>50,7</b>	<b>50</b>	<b>56,5</b>
Sm	Н. д.	<b>4,46</b>	<b>5,4</b>	<b>5,38</b>	<b>4,69</b>	<b>4,49</b>	<b>9,46</b>	<b>9,60</b>	<b>10,17</b>
Eu	Н. д.	1,46	<b>1,73</b>	<b>1,60</b>	1,40	<b>1,53</b>	<b>2,93</b>	<b>3,07</b>	<b>2,95</b>
Gd	Н. д.	<b>4,80</b>	<b>4,92</b>	<b>4,80</b>	<b>4,83</b>	4,22	<b>7,79</b>	<b>7,92</b>	<b>7,68</b>
Tb	Н. д.	0,68	<b>0,73</b>	<b>0,79</b>	<b>0,74</b>	0,66	<b>1,10</b>	<b>1,16</b>	<b>1,30</b>
Dy	Н. д.	3,57	3,59	4,15	3,43	3,67	<b>5,39</b>	<b>5,55</b>	<b>5,86</b>
Ho	Н. д.	0,65	0,62	0,71	0,60	0,61	0,87	0,86	0,98
Er	Н. д.	1,72	1,54	1,75	1,68	1,75	2,32	2,45	2,75
Tm	Н. д.	0,25	0,23	<b>0,29</b>	<b>0,30</b>	<b>0,29</b>	Н. д.	Н. д.ю	<b>0,32</b>
Yb	Н. д.	1,38	1,20	1,47	1,67	1,53	1,78	1,82	1,98
Lu	Н. д.	0,17	0,17	0,19	0,22	0,21	0,25	0,25	0,30
Hf	Н. д.	<b>3,12</b>	<b>3,93</b>	<b>3,51</b>	<b>3,03</b>	<b>3,47</b>	<b>6,03</b>	<b>5,99</b>	<b>6,47</b>
Ta	Н. д.	<b>1,14</b>	<b>2,03</b>	<b>1,53</b>	<b>1,32</b>	<b>1,27</b>	<b>4,71</b>	<b>4,58</b>	<b>4,59</b>
Pb	5	3,5	3,7	4,0	3,9	3,1	4,8	4,7	<b>6,9</b>
Th	<b>3</b>	<b>2,07</b>	<b>3,15</b>	<b>2,61</b>	<b>2,76</b>	<b>2,01</b>	<b>7,02</b>	<b>6,85</b>	<b>7,47</b>
U	Н. д.	<b>0,71</b>	<b>0,99</b>	<b>0,79</b>	<b>0,65</b>	<b>0,62</b>	<b>1,79</b>	<b>1,81</b>	<b>2,16</b>

Примечание. 133–138 – базальты пос. Солнечный; 12, 1, 3 – базальты оз. Болонь, по С. В. Рассказову и др., 2003; выделены содержания выше кларковых (Кк > 1), кларки для основных пород приняты по [20].

(пробы отобраны из базальтов Аякитского плато). РЗЭ и другие элементы в базальтах определены в ХИАНЦ ИТиГ ДВО РАН.

Как видно из табл. 3, содержания большей части металлов и фосфора выше кларка пород основного состава в 1,1–2,0 раза, что говорит в пользу обогащённого металлами мантийно-корового источника магмы. Высокие Кк имеют Те – 578,0, Ag – 172,7, что характерно и для иороханского золотоносного диоритового комплекса, распространённого в восточной части Буреинского массива [13]. Повышенные Кк: Nb, Ta, Sr, Hf, Mo, Th, U (Кк > 2,5). Содержания Co, Ni, Cr, лёгких и средних РЗЭ, Zr, W, Sr, Ba, Zn, Ga выше кларковых значений для пород основного состава в 1,1–1,5 раза и более. Наблюдается небольшой дефицит Sb, Cs, Bi, Cu, Li, Sc, Rb, Lu, Tm (Кк < 0,7). Остальные имеют близкие к кларковым значения, принятые для пород основного состава по [20], в том числе Sn, Pb, Cr, Mn, Ge, Y, Yb, Ho.

Химический состав базальтов аякитского комплекса вблизи пос. Солнечный и о. Ядасен, расположенных в прилегающей к Буреинскому массиву приграничной части СССС, представлен в табл. 4. На основании этих данных нами построены диаграммы (представлены далее), позволяющие сравнивать особенности химического состава и элементов-примесей базальтоидов Аякитского и Удурчуканского плато, пос. Солнечный и о. Ядасен. Сопоставляя базальты пос. Солнечный и о. Ядасен, отметим, что первые менее титанистые, менее магниальные, в них меньше Na, K, P. В базальтах о. Ядасен отмечается повышенная концентрация P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (1,2%): в 4 раза больше, чем в пос. Солнечный и в 5–10 раз больше, чем в неоплейстоценовых базальтах вулканов Ветровой, Тяты, в которых содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0,12–0,25% [6]. По сравнению с пос. Солнечный концентрации Rb, Ba, Nb, Cs, Nd, Th, U, La выше в 2 раза (см. табл. 4).

Химический состав андезибазальтов удурчуканской свиты представлен в таблицах 5 и 6 [8]. Эти данные использовались при построении диаграмм.

**Систематика миоценовых вулканитов.** На диаграмме Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O–SiO<sub>2</sub> [14] вулканиты чётко разделились на два комплекса (рис. 3, А) – аякитский и удурчуканский, что объясняется разницей в содержании кремнезёма (на 5–8%). Первый представлен доминирующими субщелочными трахибазальтами, высокощелочными базальтами (лейцититами) о. Ядасен (оз. Болонь), щелочными оливиновыми базальтами и щелочными пикробазальтами Аякитского плато. Удурчуканская свита представлена в основном андезибазальтами, андезитами, трахиандезибазальтами и трахиандезитами. Диаграмма разделения вулканитов по соотношениям K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O (см. рис. 3, Б) [28] показывает, что большая часть

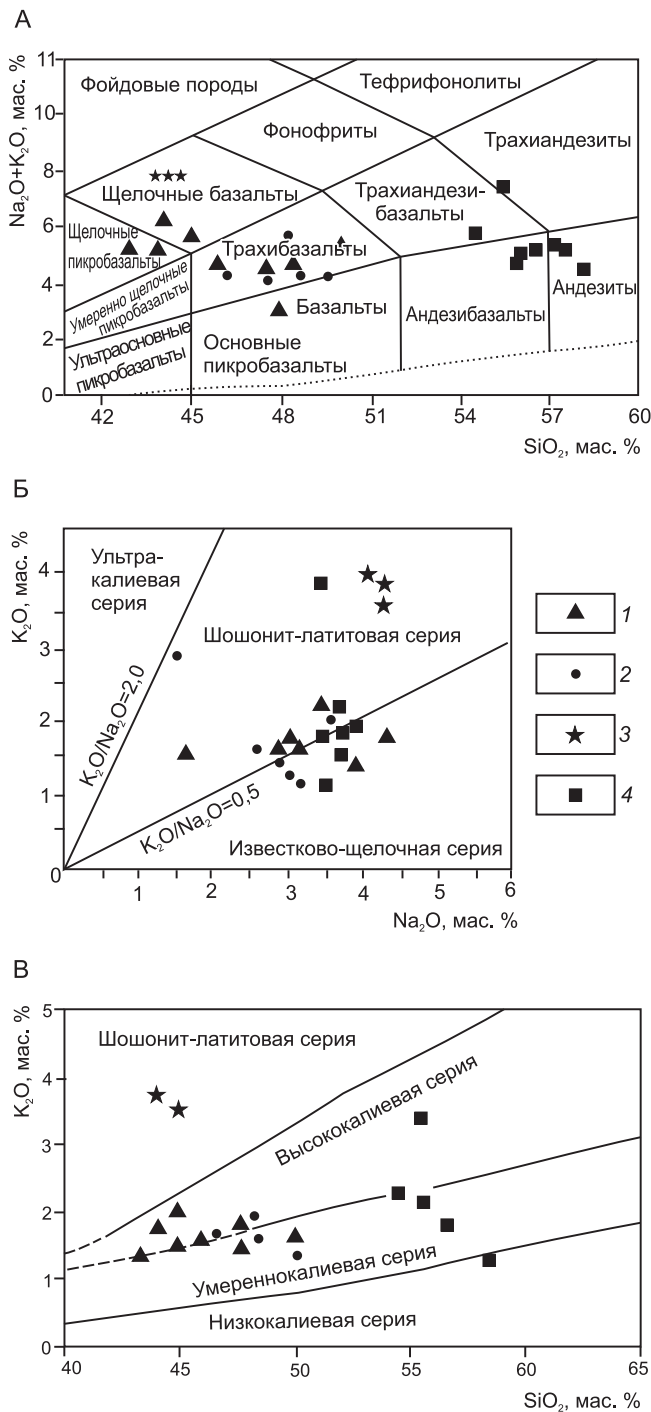


Рис. 3. Сравнительные классификационные диаграммы для миоценовых вулканитов аякитского комплекса и удурчуканской свиты:

А – классификационная TAS-диаграмма для вулканических пород Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O–SiO<sub>2</sub> [14]; Б – разделение вулканитов по соотношениям K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O, границы по [28]; В – разделение по содержанию калия K<sub>2</sub>O–SiO<sub>2</sub>, границы по [27]; 1–3 – аякитский комплекс: 1 – щелочные пикробазальты и трахибазальты Аякитского плато, 2 – трахибазальты пос. Солнечный, 3 – высокощелочные базальты (лейцититы) оз. Болонь (о. Ядасен); 4 – андезибазальты удурчуканской свиты Малого Хингана

5. Химический состав андезибазальтов удурчуканской свиты [8]

Компонент	1176	743	775	783	3205	K-911	852
SiO <sub>2</sub>	55,89	56,50	57,44	54,36	58,32	55,93	61,79
TiO <sub>2</sub>	1,71	1,56	1,77	1,66	1,59	1,6	1,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,35	14,51	13,9	14,33	14,08	15,73	17,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,28	2,76	4,98	3,09	4,23	3,77	2,87
FeO	6,58	5,71	4,24	6,72	4,03	5,75	3,85
MnO	0,11	0,12	0,12	0,12	0,14	0,10	0,11
MgO	4,82	4,69	5,02	5,43	4,64	4,27	2,07
CaO	6,7	6,53	5,96	6,15	5,17	6,79	3,27
Na <sub>2</sub> O	3,43	3,68	3,69	3,45	3,52	3,6	3,37
K <sub>2</sub> O	1,69	1,5	1,68	2,22	1,24	1,24	1,24
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,28	0,25	0,28	0,32	0,21	0,28	0,0
SO <sub>2</sub>	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,21
CO <sub>2</sub>	0,15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,12
H <sub>2</sub> O	1,23	1,20	0,92	1,36	0,89	0,79	2,09
Σ	99,42	99,01	99,40	99,71	98,06	100,05	100,52

6. Химический состав и элементы-примеси в андезибазальтах удурчуканской свиты [8]

Компонент	40	41	42	43
SiO <sub>2</sub> (%)	55,46	57,24	54,77	57,25
TiO <sub>2</sub>	1,89	1,60	1,97	1,49
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,16	15,65	15,29	15,50
FeO <sup>1</sup>	8,37	7,78	9,00	8,71
MnO	0,11	0,12	0,12	0,13
MgO	3,97	4,57	4,35	4,26
CaO	5,58	6,37	6,11	6,54
Na <sub>2</sub> O	3,86	3,77	3,67	3,84
K <sub>2</sub> O	3,38	1,66	2,95	1,25
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,62	0,29	0,57	0,24
Σ	98,41	99,06	98,80	99,21
Va (мкг/г)	1080/3,7	526/1,8	919/3,1	328/1,1
Nb	40/5,7	12/1,7	32/4,6	8/1,1
Ni	74/0,9	101/1,3	78/1,0	106/1,3
Pb	6/1,0	4/0,7	6/1,0	3/0,5
Rb	74/1,5	31/0,6	54/1,1	25/0,5
Sr	839/1,8	502/1,1	861/1,9	346/0,7
Th	4/2,2	2/1,1	4/2,2	2/1,1
Y	15/0,5	17/0,6	17/0,6	17/0,6
Zr	200/1,3	131/0,9	188/1,2	143/0,9

Примечание. В числителе – содержание, в знаменателе – Кк; выделены Кк > 1; кларки для пород основного состава по [20].

фигуративных точек попала в область шошонит-латитовой серии. Наблюдается также их скопление на границе со значениями K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O = 0,5 (или Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O = 2). При этом основная часть точек, характеризующих удурчуканскую свиту, попала в область известково-щелочной серии. По содержанию K<sub>2</sub>O [27] базальтоиды аякитского комплекса относятся к высококалиевым и умереннокалиевым (см. рис. 3, В).

Сравнение пород аякитского комплекса и удурчуканской свиты на основе анализа представленных вариационных диаграмм для петрогенных элементов [18] указывает на заметные различия в характере их распределения (рис. 4). В первую очередь отмечается высокое содержание титана, особенно в щелочных базальтах Аякитского плато и трахибазальтах о. Ядасен (оз. Болонь): содержания TiO<sub>2</sub> варьируют от 1,8–2,8 до 3,57% [3]. Для удурчуканских андезибазальтов и базальтов пос. Солнечного доля TiO<sub>2</sub> в 2 раза меньше. Содержания Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в базальтоидах миоценового возраста восточной части Буреинского массива и Курско-Комсомольской зоны САСС отличаются на 2,5–3,0%: от 16,0–16,8% (Удурчуканское и Аякитское плато БМ) до 13,5–14,8% (о. Ядасен, пос. Солнечный), что говорит о более высокой глинозёмистости миоценовых базальтоидов Буреинского массива. Удурчуканские андезибазальты образуют обособленные группы на графиках Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>общ – SiO<sub>2</sub> и MgO–SiO<sub>2</sub>. Аякитские базальты отличаются повышенными значениями железистости (9,0–12,5%) и особенно магнезиальности (7,5–10,5%), удурчуканские андезибазальты менее железистые (8,0–9,5%), в них в 2 раза меньше MgO (4,0–5,5%).

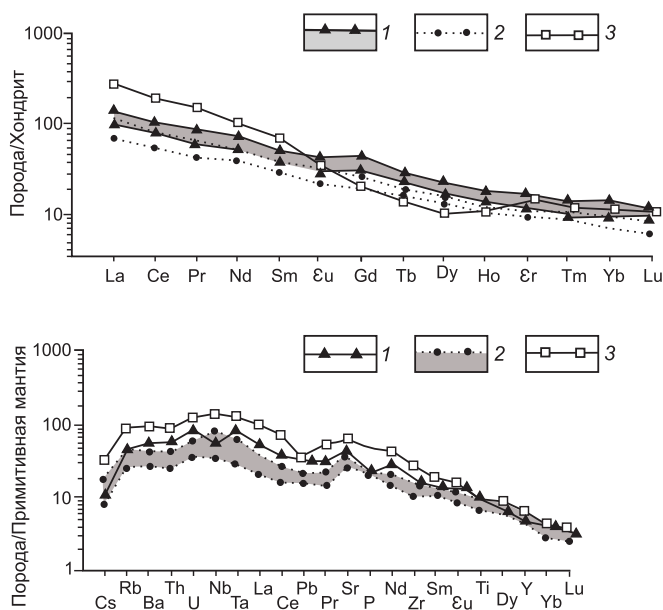


Рис. 4. Спектры распределения редкоземельных и редких элементов, нормированные по хондриту и примитивной мантии, состав их, по [25]:

1 – Аякитское плато; 2 – пос. Солнечный; 3 – оз. Болонь (о. Ядасен)

Содержание СаО зависит от того или иного количества кальцийсодержащих минералов (пироксенов, анортита и др.). Аякитские базальты более основные по составу, они имеют СаО – 7,5–10,5%, а удурчуканские андезибазальты – 5,0–6,5%. Преобладание Na<sub>2</sub>O над K<sub>2</sub>O (2:1) характерно для базальтоидов вследствие преобладания в их составе натриевых основных плагиоклазов (анортита, битовнита, лабрадора) над калиевыми полевыми шпатами – ортоклазом и микроклином. Самую высокую щёлочность имеют базальты Аякитского плато и о. Ядасен (5,8–6,0 и 7,8–7,9%), базальты последнего получили название «лейцититы» – по классификации Н. А. Румянцевой [11]. Они сильно обогащены P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (1,18%). К этим значениям приближается и содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в базальтах Аякитского плато (0,8–0,9%). Менее насыщенные P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> удурчуканские и солнечногогорские вулканы (0,2–0,6 и 0,25–0,5% соответственно).

Спектр РЗЭ, нормированных по хондриту, показывает высокую обогащённость лёгкими РЗЭ и небольшую – тяжёлыми. Отношение La/Yb составляет 12,0–14,4. Наиболее заметная контрастность в распределении значений характерна для лейцититов о. Ядасен (оз. Болонь). Отсутствует европиевый минимум. В целом кривые имеют плавный характер распределения. Сопоставление спектра редких и РЗЭ

в исследуемых породах с примитивной мантией, по [25], показывает дифференцированный характер распределения сопоставляемых элементов (рис. 5). При этом максимумы характерны для Rb, Ba, Sr, Th, U, Nb, Ta, La, Nd, а также для высокозарядных Nb, Ta и радиоактивных Th, U. Минимумы характерны для тяжёлых лантаноидов. Отмечается отсутствие европиевого минимума. При этом графики распределения РЗЭ и редких элементов в базальтах Аякитского плато, пос. Солнечного и о. Ядасен близки по характеру, что говорит в пользу единого источника магмы, предположительно мантийно-корового. Наибольшей контрастностью распределения элементов обладают лейцититы о. Ядасен.

**Геодинамические обстановки.** Диаграмма FeO\*–MgO (рис. 6, А) указывает на сходство геодинамических обстановок [21], в которых находились базальты аякитского комплекса и удурчуканской свиты. При этом первые имеют сходный состав с базальтами OIB и MORB, а вторые – сходство с составом IAB, а также с MORB.

Соотношения Th/La и La/Yb (см. рис. 6, Б) в породах аякитского комплекса приближаются к таковым в породах Гавайских островов, по [23], характеризующих горячие точки в плюмовых областях. Отличие от них заключается в более высоких соотношениях La/Yb.

Диаграмма К. Конди Zr/Nb–Nb/Th [24] (см. рис. 6, В) показывает, что отношения Zr/Nb и Nb/Th для вулкаников аякитского комплекса и удурчуканской свиты довольно низкие и максимально приближены к составу океанических островов OIB с рециклированным компонентом [5], что подтверждает рифтогенную природу внутриплитных базальтов. Под ними предполагается астеносферный выступ или мантийный плюм.

На диаграмме Zr/Y–Zr по Дж. Пирсу и др. [26] основная часть фигуративных точек аякитского комплекса попала в область внутриплитных базальтов (см. рис. 6, Г). Точки, характеризующие удурчуканскую свиту, расположены вблизи области WPB; для её пород соотношения Zr/Y выше.

**В заключение** отметим, что покровы базальтов миоценового возраста являются свидетельством молодого магматизма, изменившего в неогене палеорельеф востока Буреинского массива и прилегающих зон Сихотэ-Алинской складчатой системы. Они размещаются вдоль зон Хинганского, Амгуньского и Танлу-Харпийского разломов и их крупных ответвлений. Извержения вулканического материала и излияния базальтоидной магмы происходили во внутриплитной рифтогенной обстановке, изучение геодинамики которой сопряжено с множеством проблем, в первую очередь с недостатком информации

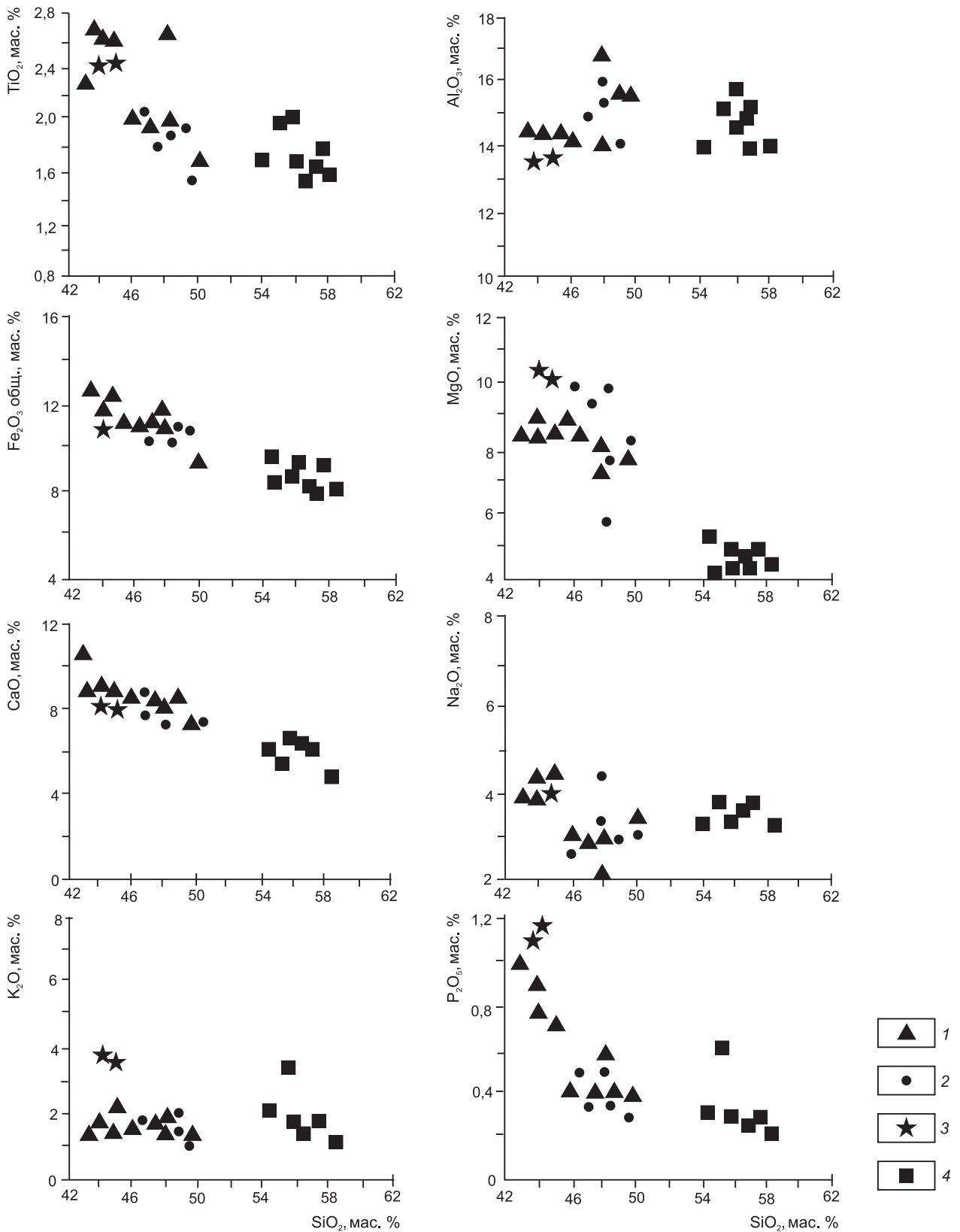


Рис. 5. Вариационные диаграммы для пород аякитского комплекса и удурчуканской свиты [18]:

1 – Аякитское плато; 2 – пос. Солнечный; 3 – оз. Болонь; 4 – андезибазальты Удурчуканского плато

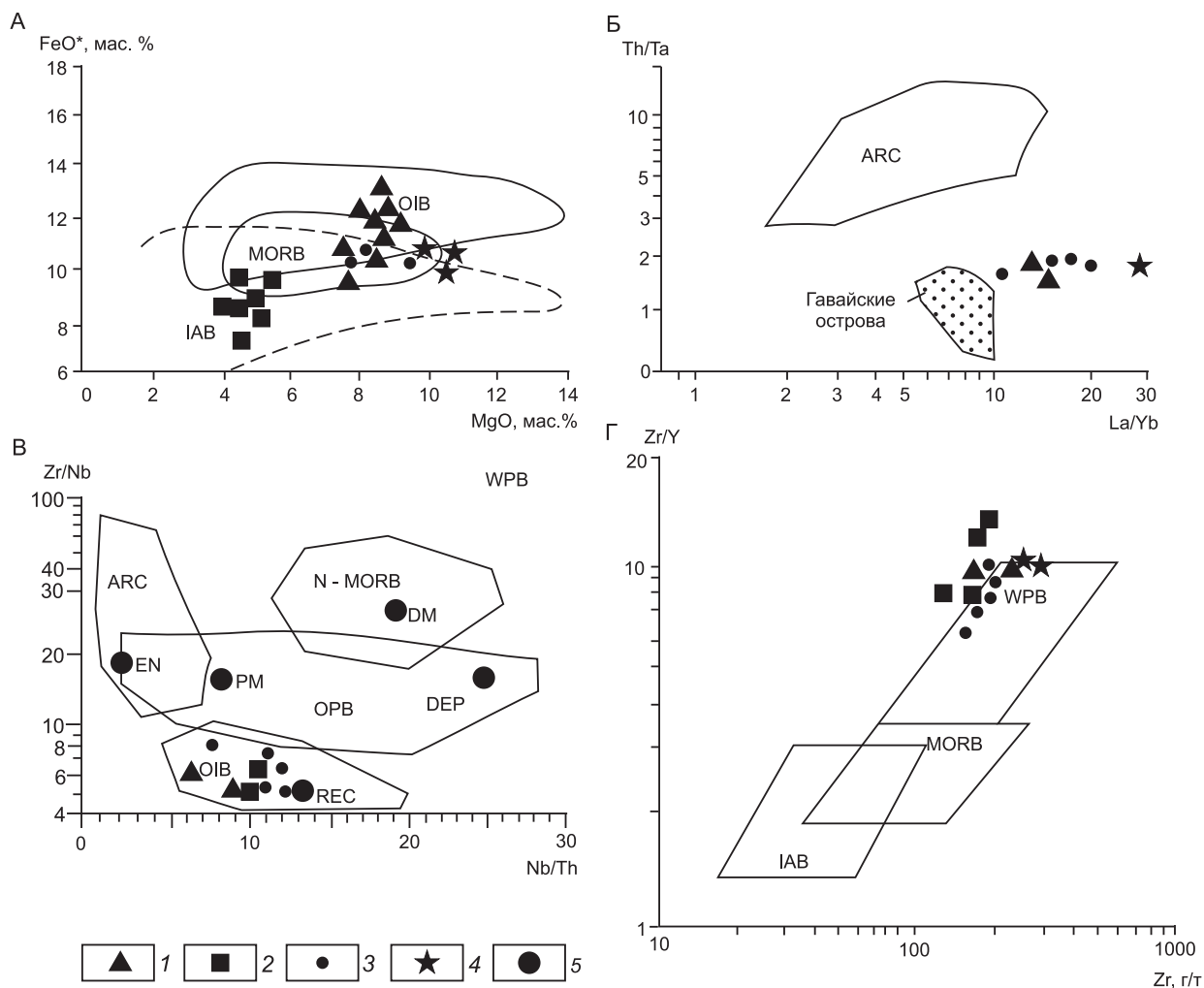


Рис. 6. Диаграммы: А – FeO\*–MgO [21]; Б – Th/Ta–La/Yb [23]; В – Zr/Nb–Nb/Th [24]; Г – Zr/Y–Zr [26]:

1, 3, 4 – аякитский комплекс; 2 – удурчуканская свита; 5 – геодинамические обстановки; IAB, ARC – базальты островных дуг; MORB, N-MORB – базальты срединно-океанических хребтов, OIB – базальты океанических островов, OPB – базальты океанических плато, DM – деплетированная мантия, PM – примитивная мантия, DEP – глубинная деплетированная мантия, REC – рециклированный компонент, EN – обогащенный компонент, WPB – внутриплитные базальты

по датированию молодых вулканических пород, а также с методами его определения.

Анализ имеющихся датировок возраста рассмотренных базальтоидов позволил установить 3 этапа магматизма в миоцене. Это раннемиоценовый (Удурчуканское плато: 22,6–18,6 Ма), среднемиоценовый (пос. Солнечный: 14,8–13,0 Ма) и позднемиоценовый (Аякитское плато и о. Ядасен: 10,0; 9,3; 9,68 Ма).

Главные особенности химизма рассмотренных миоценовых базальтоидов (оливиновых базальтов, трахибальтов, щелочных андезибазальтов, лейцититов) заключаются в следующем. Они, как правило, обогащены Na, K, а также Ti, Fe, Mg и особенно

фосфором (базальты о. Ядасен). Установлено, что отдельные пробы из базальтов Аякитского плато (новые данные) имеют высокие кларки концентраций (Кк) Te (578,0) и Ag (172,7, 28,5), повышенные Кк Nb (6,2) и Ta (3,4), радиоактивных Th, U (2,7 и 2,4). Содержания Co, Ni, Zr, Mo, W, Zn, Sr, Ba, лёгких и средних РЗЭ выше кларковых для пород основного состава в 1,1–1,5 раза и более. Отмечается дефицит Sb, Cs, Bi, Cu, Li, Sc, Rb, Y, Er, Ho, Lu, Tm (Кк < 0,8). Остальные элементы, включая Sn, Pb, Cr, Mn, Ge, Ho, Dy, Yb, Y, имеют содержания, близкие к кларковым для пород основного состава. Близкий к ним химический состав базальтоидов Сихотэ-Алинской

складчатой системы (пос. Солнечный и о. Ядасен) указывает на единый для них источник магмы, предположительно мантийно-коровый.

Высокие Кк металлов (и неметаллов), входящих в состав рудных минералов, в слабоизученных, но потенциально рудоносных районах, сложенных при этом молодыми базальтами, могут стать важным индикатором, указывающим на рудоносность участка либо на скрытые под базальтами зоны рудной минерализации. Их детальное минералогическое и петролого-геохимическое изучение (при условии необходимого количества анализов) может привести к открытию новых рудных площадей.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИГиГ ДВО РАН при поддержке Федерального агентства по недропользованию.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анойкин В. И.* Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Изд. 2-е. Серия Буреинская. Лист М-53-VIII (Чегдомын). Объяснит. записка. – СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2002. – 123 с.
2. *Анойкин В. И., Заблоцкий Е. М.* Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Изд. 2-е. Серия Буреинская. Лист М-53-XIV. Объяснит. записка. – СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2004. – 102 с.
3. *Васькин А. Ф., Дымович В. А., Атрашенко А. Ф.* и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (3-е поколение). Серия Дальневосточная. Лист М-53. Объяснит. записка. – СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2009. – 376 с.
4. *Гаврилов В. И., Онихимовский В. В.* Некоторые минералого-геохимические особенности базальтов // Вулканогенное оруденение на Дальнем Востоке. – Владивосток: ДВНЦ, 1980. – С. 100–106.
5. *Гладкочуб Д. П., Донская Т. В., Мазукабзов А. В.* и др. Мезопротерозойский мантийный плюм под северной частью Сибирского кратона // Геология и геофизика. – 2016. – Т. 57, № 5. – С. 856–873.
6. *Горшков Г. С.* Вулканизм Курильской островной дуги. – М.: Наука, 1967. – 281 с.
7. *Добкин С. Н.* Государственная геологическая карта Российской Федерации (2-е изд.). Масштаб 1:200 000. Лист М-53-XIII. Буреинская серия. Объяснит. записка // Под ред. Г. В. Роганова. – СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2015. – 384 с.
8. *Добкин С. Н.* Государственная геологическая карта Российской Федерации (2-е изд.). Масштаб 1:200 000. Лист М-52-XXX. Буреинская серия. Объяснит. записка // Под ред. Г. В. Роганова. – СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2000. – 236 с.
9. *Дучков А. Д., Железняк М. Н., Аюнов Д. Е.* и др. Геотермический атлас Сибири и Дальнего Востока. – Новосибирск: Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, 2015. – 157 с.
10. *Дымович В. А.* Государственная геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Сихотэ-Алинская. Лист М-53-XXX. Объяснит. записка. – М.: Союзгеолфонд, 1987. – 111 с.
11. *Ефремова С. В., Стафеев К. Г.* Петрохимические исследования горных пород. Справочное пособие. – М.: Недра, 1985. – 511 с.
12. *Забродин В. Ю., Бородин А. М., Гурьянов В. А.* и др. Государственная геологическая карта РФ. Масштаб 1:1 000 000 3-е поколение. Серия Дальневосточная. Лист N-53 (Шантарские о-ва). Объяснит. Записка // Гл. ред. Г. В. Роганов. – СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2007. – 448 с.
13. *Низгай Е. В.* Иороханский интрузивный комплекс: размещение, возраст, золотоносность, петрохимия // Маркшейдерия и недропользование. – 2018. – № 5. – С. 29–34.
14. *Петрографический кодекс России.* Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2009. – 200 с.
15. *Петрук Н. Н., Волкова Ю. Р., Шилова М. Н.* и др. Государственная геологическая карта РФ. Масштаб 1:1 000 000 (3-е поколение). Серия Дальневосточная. Лист М-52. Благовещенск. Объяснит. записка / Гл. ред. А. С. Вольский. – СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2012. – 496 с.
16. *Рассказов С. В.* Базальтоиды Удокана (Байкальская рифтовая зона). – Новосибирск: Наука, 1985. – 144 с.
17. *Рассказов С. В., Приходько В. С., Саранина Е. В.* и др. Пространственно-временные вариации мантийных и коровых компонентов в позднекайнозойских вулканических породах Среднеамурской впадины // Тихоокеанская геология. – 2003. – Т. 22, № 3. – С. 3–27.
18. *Сасим С. А., Дриль С. И., Травин А. В.* и др. Шошонит-латитовая серия Восточного Забайкалья:  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  возраст, геохимия и Sm-Nd изотопный состав пород Акатуевской вулcano-плутонической ассоциации Александрово-Заводской впадины // Геология и геофизика. – 2016. – Т. 57, № 5. – С. 962–982.
19. *Тектоника, глубинное строение, металлогения области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов* // Под ред. Л. П. Карсакова. Объяснит. записка к тектонической карте масштаба 1:1 500 000. – Владивосток: ДВО РАН, 2005. – 264 с.
20. *Требования к геохимической основе госгеолкарты РФ масштаба 1:1 000 000.* – М., 2001.
21. *Туркина О. М., Ножкин А. Д.* Океанические и рифтогенные метавулканические ассоциации зеленокаменных поясов северо-западной части Шарыжалгайского выступа, Прибайкалье // Петрология. – 2008. – № 3. – С. 3–21.
22. *Хомич В. Г., Борискина Н. Г.* Особенности размещения платинометалльной минерализации на юго-

- востоке России // Геология и геофизика. – 2014. – № 7. – С. 1065–1080.
23. *Condie K. C.* Sources of Proterozoic mafic dyce swarms: constraints from Th/Ta and La/Yb ratios // *Precambrian Research*. – 1997. – V. 81. – P. 3–14.
  24. *Condie K. C.* High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes? // *Lithos*. – 2005. – V. 79. – P. 491–504.
  25. *Mac Donough, Sun S. S.* The composition of the Earth // *Chemical Geology*. – 1995. – V. 120, № 3–4. – P. 223–253.
  26. *Pearse J. A., Norry M. J.* Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y, and Nb variations in volcanic rocks // *Contr. Miner. Petrol.* – 1979. – V. 69. – P. 33–47.
  27. *Peccerillo A., Taylor S. R.* Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey // *Contr. Miner. Petrol.* – 1976. – V. 58, № 1. – P. 63–81.
  28. *Turner S., Arnaud N., Liu J., et al.* Post-collision, shoshonitic volcanism on the Tibetan Plateau: Implications for convective thinning of the lithosphere and the source of ocean island basalts // *Journal of petrology*. – 1996. – V. 37. – P. 45–71.
  29. *Сайт Хабаровска* [Электронный ресурс]. – URL: [www.dv.hab.ru/](http://www.dv.hab.ru/) (дата обращения 21.06.2021).
  30. *Электронный геотермический атлас Сибири и Дальнего Востока* [Электронный ресурс]. – URL: <http://maps.nrcgit.ru/geoterm/>. Дата обращения 21.12.2020.

## REFERENCES

1. *Anoykin V. I.* Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1:200 000. Izd. 2-ye. Seriya Bureinskaya. List M-53-VIII (Chegdomyn). Obyasnit. Zapiska [State geological map of the Russian Federation at a scale of 1: 200,000. 2<sup>nd</sup>. Bureinskaya series. Sheet M-53-VIII (Chegdomyn). Explain note]. St. Petersburg, Kartfabrika VSEGEI publ., 2002, 123 p. (In Russ.)
2. *Anoykin V. I., Zablotkiy Ye. M.* Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1:200 000. Izd. 2-ye. Seriya Bureinskaya. List M-53-XIV. Obyasnit. Zapiska [State geological map of the Russian Federation at a scale of 1: 200 000. Ed. 2<sup>nd</sup>. Bureinskaya series. Sheet M-53-XIV. Explain note]. St. Petersburg, Kartfabrika VSEGEI publ., 2004, 102 p. (In Russ.)
3. *Vaskin A. F., Dymovich V. A., Atrashenko A. F. et al.* Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1:1 000 000 (3-ye pokoleniye). Seriya Dalnevostochnaya. List M-53. Obyasnit. Zapiska [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1: 1,000,000 (3<sup>rd</sup> generation). Far Eastern series. Sheet M-53. Explain note]. St. Petersburg, Kartfabrika VSEGEI publ., 2009, 376 p. (In Russ.)
4. *Gavrilov V. I., Onikhimovskiy V. V.* Nekotoryye mineralogo-geokhimicheskiye osobennosti bazaltov [Some mineralogical and geochemical features of basalts]. Vulkanogennoye orudneniye na Dalnem Vostoke, Vladivostok, DVNTS publ., 1980, P. 100–106. (In Russ.)
5. *Gladkochub D. P., Donskaya T. V., Mazukabzov A. V. et al.* Mezoproterozoyskiy mantiynnyy plyum pod severnoy chastyu Sibirskogo kratona [Mesoproterozoic mantle plume beneath the northern part of the Siberian craton]. *Geologiya i geofizika*, 2016, V. 57, No. 5, P. 856–873. (In Russ.)
6. *Gorshkov G. S.* Vulkanizm Kurilskoy ostrovnnoy dugi [Volcanism of the Kuril island arc]. Moscow, Nauka publ., 1967, 281 p. (In Russ.)
7. *Dobkin S. N.* Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii (2-ye izd.). Masshtab 1:200 000. List M-53-XIII. Bureinskaya seriya. Obyasnit. Zapiska [State Geological Map of the Russian Federation (2<sup>nd</sup> ed.). Scale 1: 200,000. Sheet M-53-XIII. Bureinskaya series. Explain note]. Pod red. G. V. Roganova, St. Petersburg, Kartfabrika VSEGEI publ., 2015, 384 p. (In Russ.)
8. *Dobkin S. N.* Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii (2-ye izd.). Masshtab 1:200 000. List M-52-XKHKH. Bureinskaya seriya. Obyasnit. zapiska [State Geological Map of the Russian Federation (2<sup>nd</sup> ed.). Scale 1: 200,000. Sheet M-52-XXX. Bureinskaya series. Explain note]. Pod red. G. V. Roganova, St. Petersburg, Kartfabrika VSEGEI publ., 2000, 236 p. (In Russ.)
9. *Duchkova A. D., Zheleznyak M. N., Ayunov D. Ye. et al.* Geotermicheskiy atlas Sibiri i Dalnego Vostoka [Geothermal Atlas of Siberia and the Far East]. Novosibirsk, Institut neftegazovoy geologii i geofiziki SO RAN, 2015, 157 p. (In Russ.)
10. *Dymovich V. A.* Gosudarstvennaya geologicheskaya karta SSSR masshtaba 1:200 000. Seriya Sikhote-Alinskaya. List M-53-XXX. Obyasnit. Zapiska [State geological map of the USSR on a scale of 1: 200,000. Sikhote-Alin series. Sheet M-53-XXX. Explain note]. – Moscow, Soyuzgeolfond publ., 1987, 111 p. (In Russ.)
11. *Yefremova S. V., Stafeyev K. G.* Petrokhimicheskiye issledovaniya gornyx porod. Spravochnoye posobiye [Petrochemical studies of rocks. Reference manual]. Moscow, Nedra publ., 1985, 511 p. (In Russ.)
12. *Zabrodin V. Yu., Borodin A. M., Guryanov V. A. et al.* Gosudarstvennaya geologicheskaya karta RF. Masshtab 1:1 000 000 (3-ye pokoleniye). Seriya Dalnevostochnaya. List N-53 (Shantarskiye o-va). Obyasnit. Zapiska [State geological map of the Russian Federation. Scale 1: 1,000,000 (3<sup>rd</sup> generation). Far Eastern series. Sheet N-53 (Shantar Islands). Explain Note]./Gl. red. G. V. Roganov, St. Petersburg, Kartfabrika VSEGEI publ., 2007, 448 p. (In Russ.)
13. *Nigay Ye. V.* Iorokhanskiy intruzivnyy kompleks: razmeshcheniye, vozrast, zolotonosnost, petrokhimiya [Iorohansk intrusive complex: location, age, gold content, petrochemistry]. *Marksheyderiya i nedropolzovaniye*, 2018, No. 5, P. 29–34. (In Russ.)
14. *Petrograficheskiy kodeks Rossii. Magmaticheskiye, metamorficheskiye, metasomaticheskiye, impaktnyye obrazovaniya*

- [Petrographic Code of Russia. Magmatic, meta-morphic, metasomatic, impact formations]. St. Petersburg, VSEGEI publ., 2009, 200 p. (In Russ.)
15. *Petruk N. N., Volkova Yu. R., Shilova M. N.* et al. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta RF. Masshtab 1:1 000 000 (3-ye pokoleniye). Seriya Dalnevostochnaya. List M-52. Blagoveshchensk. Obyasnit. Zapiska [State geological map of the Russian Federation. Scale 1: 1,000,000 (3<sup>rd</sup> generation). Far Eastern series. Sheet M-52. Blagoveshchensk. Explain note]. Gl. red. A. S. Volskiy, St. Petersburg, Kartfabrika VSEGEI publ., 2012, 496 p. (In Russ.)
  16. *Rasskazov S. V.* Bazaltoidy Udokana (Baykalskaya riftovaya zona) [Basaltoids of the Udokan (Baikal rift zone)]. Novosibirsk, Nauka publ., 1985, 144 p. (In Russ.)
  17. *Rasskazov S. V., Prikhodko V. S., Saranina Ye. V.* et al. Prostranstvenno-vremennyye variatsii mantiynykh i korovykh komponentov v pozdnekaynozoykskikh vulkani cheskikh porodakh Sredneamurskoy vpadiny [Spatio-temporal variations of mantle and crustal components in Late Cenozoic volcanic rocks of the Middle Amur Basin]. Tikhookeanskaya geologiya, 2003, V. 22, No. 3, P. 3–27. (In Russ.)
  18. *Sasim S. A., Dril S. I., Travin A. V.* et al. Shoshonit-latitovaya seriya Vostochnogo Zabaykalya:  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  vozrast, geokhimiya i Sm-Nd izotopnyy sostav porod Akatuyevskoy vulkano-plutonicheskoy assotsiatsii Aleksandrovo-Zavodskoy vpadiny [Shoshonite-latite series of Eastern Transbaikalia:  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age, geochemistry and Sm-Nd isotopic composition of rocks of the Akatuevskaya volcano-plutonic association of the Aleksandrovo-Zavodskaya depression]. Geologiya i geofizika, 2016, V. 57, No. 5, P. 962–982. (In Russ.)
  19. *Tektonika*, glubinnoye stroyeniye, metallogeniya oblasti sochleneniya Tsentralno-Aziatskogo i Tikhookeanskogo poyasov [Tectonics, deep structure, metallogeny of the junction area of the Central Asian and Pacific belts]. Pod red. L. P. Karsakova. Obyasnit. zapiska k tektonicheskoy karte masshtaba 1:1 500 000. Vladivostok, DVO RAN, 2005, 264 p. (In Russ.)
  20. *Trebvaniya* k geokhimicheskoy osnove gosgeolkarty RF masshtaba 1:1 000 000 [Requirements for the geochemical basis of the state geological map of the Russian Federation on a scale of 1: 1 000 000]. Moscow, 2001. (In Russ.)
  21. *Turkina O. M., Nozhkin A. D.* Okeanicheskiye i riftogenyye metavulkanicheskiye assotsiatsii zelenokamennykh poyasov severo-zapadnoy chasti Sharyzhalgayskogo vystupa, Pribaykalye [Oceanic and riftogenic metavolcanic associations of greenstone belts in the northwestern part of the Sharyzhalgai uplift, Cisbaikalia]. Petrologiya, 2008, No. 3, P. 3–21. (In Russ.)
  22. *Khomich V. G., Boriskina N. G.* Osobennosti razmeshcheniya platinometalloy mineralizatsii na yugo-vostoke Rossii [Peculiarities of the location of platinum-metal mineralization in the south-east of Russia]. Geologiya i geofizika, 2014, No. 7, P. 1065–1080. (In Russ.)
  23. *Condie K. C.* Sources of Proterozoic mafic dyce swarms: constraints from Th/Ta and La/Yb ratios, Precambrian Research, 1997, V. 81, P. 3–14.
  24. *Condie K. C.* High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes?. Lithos, 2005, V. 79, P. 491–504.
  25. *Mac Donough, Sun S. S.* The composition of the Earth. Chemical Geology, 1995, V. 120, No. 3–4, P. 223–253.
  26. *Pearse J. A., Norry M. J.* Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y, and Nb variations in volcanic rocks. Contr. Miner. Petrol, 1979, V. 69, P. 33–47.
  27. *Peccerillo A., Taylor S. R.* Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. Contr. Miner. Petrol, 1976, V. 58, No. 1, P. 63–81.
  28. *Turner S., Arnaud N., Liu J.*, et al. Post-collision, shoshonitic volcanism on the Tibetan Plateau: Implications for convective thinning of the lithosphere and the source of ocean island basalts. Journal of petrology, 1996, V. 37, P. 45–71.
  29. *Khabarovsk* website, available at: <https://www.dvhab.ru/> (21.06.2021)
  30. *Electronic* geothermal atlas of Siberia and the Far East, available at: [https://maps.nrcgit.ru/geoterm/\(21.12.2020\)](https://maps.nrcgit.ru/geoterm/(21.12.2020))