

## ОБЩАЯ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 552.323.5

DOI: [10.46698/VNC.2021.42.84.002](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.42.84.002)

Оригинальная статья

# Среднеюрские вулканиты Гойтхско-Ачишхинской складчатой зоны Северо-Западного Кавказа: геохимия, геодинамическая типизация и минерагения

В. М. Газеев <sup>1,2</sup>, А. Г. Гурбанов <sup>1,2</sup>, И. А. Кондрашов <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Министерство науки и высшего образования Российской Федерации Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии рудных месторождений петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН), Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., 35, e-mail: gurbanov@igem.ru;

<sup>2</sup>Министерство науки и высшего образования Российской Федерации Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Владикавказский научный центр РАН», Россия, 362027, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркуса, 22, e-mail: gazeev@igem.ru

Статья поступила: 20.07.2021, доработана: 23.08.2021, принята к публикации: 01.09.2021

**Резюме: Актуальность работы.** В пределах южной части Скифской плиты имеются районы с ранне – среднеюрскими вулканитами и ассоциирующими с ними *Au-Ag* и полиметаллическими рудопоявлениями. Геохимическое изучение этих вулканитов необходимо для уточнения особенностей развития региона в этот временной период. **Целью исследования** является получение аналитических данных, уточнение геодинамической позиции и рудной специализации вулканитов. Объектом для исследований выбраны эффузивные и субвулканические образования Гойтхско-Ачишхинской складчатой зоны Северо-Западного Кавказа. **Методы исследования** включали: петрографическое описание пород, анализы количественными методами *XRF*, *ICP-MS*; расчеты геохимических характеристик; анализ дискриминационных диаграмм; сравнительный анализ концентраций элементов с их содержанием в эталонных породах сходного петрохимического типа из различных геодинамических обстановок. **Результаты и их обсуждение.** В результате изучения установлено, что в Гойтхско-Ачишхинской зоне распространены умеренно щелочные основные, средние и нормально щелочные кислые породы. Предполагается, что распространенные здесь умеренно титанистые, низко и умеренно магнезиальные породы основного состава являются производными предварительно эволюционировавшего высокоглиноземистого расплава, образованного при плавлении от 1 до 5% шпинелевого перидотита. Формирование очагов этих расплавов происходило в литосферной мантии на фоне процессов задугового растяжения, в тыловой части Закавказского вулканического пояса. Для вулканитов характерны повышенные концентрации *Li, Ag, Be, Bi, LILE, LREE*. Спектры *REE* основных пород, нормированные к хондриту, имеют вид наклонных линий, аналогичных профилю *E-MORB*. На мультиэлементных спектрах отмечаются отрицательные аномалии *Nb* и *Ta*. Кислые породы – это пересыщенные глиноземом образования, по концентрации *K, Rb, Ba, K/Rb, Ba/Rb* сопоставимые с гранитоидами андезитового ряда. Отмечено, что в региональном плане изученные вулканиты близки к породам Чегем-Черекского и Карачаевского вулканических районов. Установлено, что вулканиты Гойтхско-Ачишхинской зоны по геохимическим параметрам сопоставимы с породами краевых вулкано-плутонических поясов активных континентальных окраин и островных дуг. Сделано предположение о перспективности зоны развития вулканитов на обнаружение золото-серебро-полиметаллического оруденения.

**Ключевые слова:** петрография; геохимия геодинамическая типизация, минерагения.

**Благодарности:** Работа подготовлена в рамках Базовой темы Лаборатории петрографии ИГЕМ РАН «Петрология и минерагения магматизма конвергентных и внутриплитных обстановок: история формирования крупных континентальных блоков» и в рамках плана НИР КНИО ВЦ РАН при финансовой поддержке гос. темы регистрационный номер АААА-А19-119040190054-8.

**Для цитирования:** Газеев В. М., Гурбанов А. Г., Кондрашов И. А. Вулканиты Гойтхско-Ачишхинской складчатой зоны Северо-Западного Кавказа: геохимия, геодинамическая типизация и минерагения. *Геология и геофизика Юга России*. 2021. 11 (3): 17 – 32. DOI: 10.46698/VNC.2021.42.84.002.

---

---

GENERAL AND REGIONAL GEOLOGY

---

---

[DOI: 10.46698/VNC.2021.42.84.002](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.42.84.002)

Original paper

## Middle-Jurassic volcanites of the Goitkhsko-Achishkinsk folded zone of the North-Western Caucasus: geochemistry, geodynamical typification and minerageny

V. M. Gazeev<sup>1, 2</sup>, A. G. Gurbanov<sup>1, 2</sup>, I. A. Kondrashov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of geology of ore deposits, petrography, mineralogy and geochemistry RAS, 35 Staromonetny Lane, Moscow 119017, Russian Federation, e-mail: gurbanov@igem. ru;

<sup>2</sup>Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 22 Markusa Str., Vladikavkaz 362027, Russian Federation, e-mail: gazeev@igem. ru

Received: 20.07.2021, revised: 23.08.2021, accepted: 01.09.2021

**Abstract. Relevance.** Within of southern part of Scythian platform there are areas with Early-Middle Jurassic volcanites and associated with it Au-Ag-polymetallic ore manifestations. Geochemical investigation of these volcanites should be adopted for refinement of peculiarities of this area development in this period of time. **The aim of the research** is to obtaine analytical data, refinement of geodynamical position and ore specialization of volcanites. Object of the research have been selected the effusive rocks and subvolcanic bodies in the Goitkhsko-Achishkinsk folded zone of North-Western Caucasus. **Methods.** Petrographical description, quantative analysis by XRF and ICP-MS methods; calculation of geochemical characteristics; analysis of discriminatory charts; comparing values of average contents of elements with their content in rocks (standards) of close petrochemical type from various geodynamic settings. **Results and its discussion.** As a result of the study, was found that in the Goitkhsko-Achishkinsk folded zone the moderately alkalinity basic, middle and normal alkalinity rocks are spread. It is supposedly, that distributed here moderately titanium, low and moderately magnesian rocks of basic composition is effected by preliminary evolving of high alumina melt which formed during 1-5% melting of spinel peridotites. Shaping focuses of these melts happened in lithospheric mantle on the background of processes of back-arc extension in the rear part of the Transcaucasian volcanic belt. The elevated concentration of Li, Ag, Be, Bi, LILE, LREE are characteristic for volcanites. Spectrums REE in basic rocks normalized to chondrite have a facies of sloping line close with E-MORB profile. On the multielement spectrums there are negative anomalies of Nb and Ta. Acid rocks – this supersaturated by alumina rocks, comparison on concentrations of K, Rb, Ba, K/Rb, Ba/Rb with granitoid of andesitic line. It was shown, that in regional plane investigated volcanites is clouse with rocks of Chegem-Cherekskogo and Karachaevskogo volcanic areas. It is established, that volcanites of the Goitkhsko-Achishkinsk folded zone according geochemical parameters are comparable with rocks of island-arc

and marginal volcano-plutonic belts of active continental margins. The supposition about considerable zone of volcanite development on detection of gold-silver-polymetallic mineralization.

**Keywords:** petrography, geochemistry, geodynamical typification, minerageny.

**Acknowledgments:** *The work was prepared in the framework of Base topic of laboratory petrography of IGEM RAS "Petrology and minerageny of magmatism of convergentic and intraplatformian situation, history of large continental blocs" and in the framework of SIW CSID VSC RAS plan with a financial support of state topics registration number AAAA-A19-119040190054-8.*

**For citation:** Gazeev V. M., Gurbanov A. G., Kondrashov I. A. Middle-Jurassic volcanites of the Goytkhsko-Achishkinsk folded zone of North-Western Caucasus: geochemistry, geodynamical typification and minerageny. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2021. 11 (3): 17 – 32. DOI: 10.46698/VNC.2021.42.84.002.

## Введение

**Актуальность работы.** Начиная со среднеюрского времени, южная оконечность Скифской платформы (СП) представляла собой северное плечо морского бассейна Большого Кавказа (БК) рифтогенной природы. В плинсбахе-тоаре здесь заложились грабенообразные мелководные морские бассейны и вулканические районы. Так в Дигоро-Осетинском, Чегем-Черекском и Карачаевском [Богатиков, Цветков, 1988] вулканических районах (ВР) происходили излияния лав и внедрение интрузивов. На Западном Кавказе подобные события развивались в Гойтхском ВР [Ломизе, 1969] (рис. 1). В связи с тем, что с ранне-среднеюрскими вулканоплутоническими комплексами ассоциируют полиметаллическое, золото-полиметаллическое и золото-серебряно-полиметаллическое оруденения, их комплексное изучение весьма актуально для уточнения особенностей геодинамического развития региона и его минерагении. **Целью исследования** является получение аналитических данных количественными методами, геодинамическая типизация вулкаников, расшифровка петрологических процессов, оценка потенциальной рудоносности пород по геохимическим и минералогическим данным и выявление пространственных ассоциаций с ними рудных объектов. **Объектом для исследования** были среднеюрские эффузивные и субвулканические породы Гойтхско-Ачишхинской складчатой зоны (ГАСЗ) Северо-Западного Кавказа, распространенные в Псехако-Березовской (ПБЗ) и Гойтхской (ГЗ) складчатых зонах.

Вулканики ПБЗ известны в разрезах пород Гузайской, Туровой и Чаталтапинской свит. В Гузайской (синемюр-ранний плинсбах) и Туровой свитах (плинсбах-ранний тоар) это линзы туфов и туффитов среднего состава. В Чаталтапинской свите (аален) – туфы и лавы базальтового, андезитового, дацитового составов. В ГЗ вулканики присутствуют в разрезах пород макаровской свиты и свиты горы Индюк. Макаровская свита (ранний аален) содержит горизонты туфов риодацитового состава. Свита горы Индюк (поздний аален) включает мощные горизонты туфов дацитового, риодацитового составов и незначительное количество лав базальтовых порфиритов. Субинтрузивные образования ГАСЗ выделяются в качестве отдельных вулканических комплексов «Чаталтапинского» базальтового и «Гойтхского» риолитового. Первый развит в пределах ПБЗ и представлен небольшими силлами, дайками габброидов, долеритов, диабазов и плагиогранитов. Второй развит в пределах ГЗ и представлен субсогласными телами дацитов, риодацитов и редкими дайками щелочных габброидов (тешенитов), прорывающих породы свиты горы Индюк [Корсаков и др., 2002]. В процентном отношении количество базальтоидов достигает 35%, дацитов и риолитов – 64%, трахиандезитов и трахитов 1% [Большой Кавказ...., 2007].

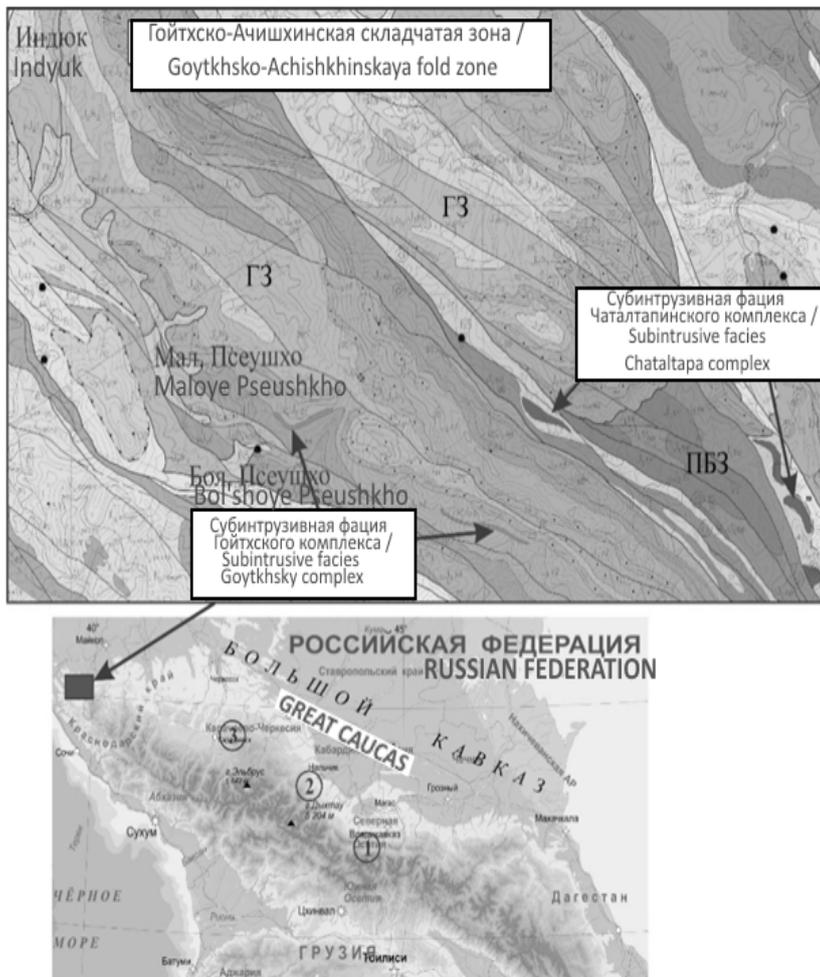


Рис. 1. Геологическая карта Гойтхско-Ачишхинской складчатой зоны (по данным ФГУГП «Кавказгеолсъёмка», лист L-37-XXXIV, 2002 г.). Условные обозначения: ПБЗ – Псехако-Березовская зона; ГЗ – Гойтхская зона. Вулканические районы; 1 – Дигоро-Осетинский; 2 – Чегем-Черекский; 3 – Карачаевский /

Fig. 1. Geological map of Goitkhsko-Achishkhinsk folded zone (according materials of FGUGP «Kavkazgeols'emka», sheet L-37-XXXIV, 2002y.). Legend: ПБЗ – Psekhako-Berezovskaya zone; ГЗ – Goitkhskaya zone. Volcanic areas: 1 – Digoro-Osetian; 2 – Chegem-Chereksky; 3 – Karachaevsky

Нами приводятся результаты геохимического изучения распространенных в ГАСЗ вулканических пород, их геодинамической типизации, геохимических особенностей и минерагенической специализации.

### Фактический материал и методы исследований

В качестве исходного фактического материала использована коллекция вулканитов Гойтхско-Ачишхинской складчатой зоны, собранная в 1988-1991 и 2010 гг. Лабораторные исследования выполнены в ЦКП «ИГЕМ-Аналитика». Определения концентраций микроэлементов и содержаний петрогенных оксидов (27 проб) получены на спектрометре «Респект-100» (XRF – рентгено-флюоресцентный анализ). Редкие, редкоземельные и рудные элементы определены с использованием спектроскопического метода индукционно-связанной плазмы с масс-спектрометрическим окончанием (ICP-MS, масс-спектрометр X-SeriesII). Применение данной методики принято в ЦКП «ИГЕМ-Аналитика». Точность измерений контролировалась рос-

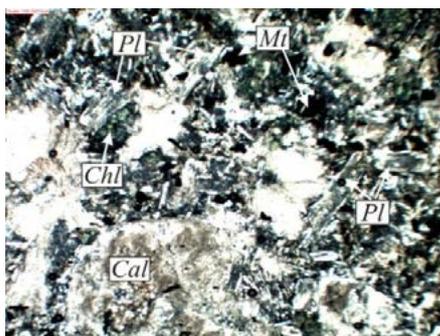


Рис. 2-1. Измененный базальтовый порфирит. (Д-2,9) /  
Fig. 2-1. Modified basaltic porphyrite (D-2.9)



Рис. 2-2. Диабазовый порфирит. Структура порфировая. Основная масса – микродиабазовая (Д-2,9) /  
Fig. 2-2. Diabase- porphyrite. Texture porphyritic, basic mass is microdiabasic (D-2.9)

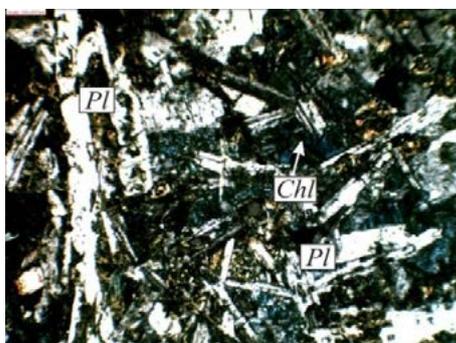


Рис. 2-3. Диабаз. Структура диабазовая. (Д-1,5) /  
Fig. 2-3. Diabase. Texture diabasic (D-1.5)

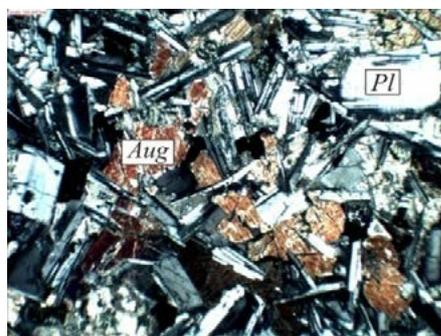


Рис. 2-4. Тешенит. Структура долеритовая (Д-2,9) /  
Fig. 2-4. Teshenite. Texture doleritic (D-2.9)

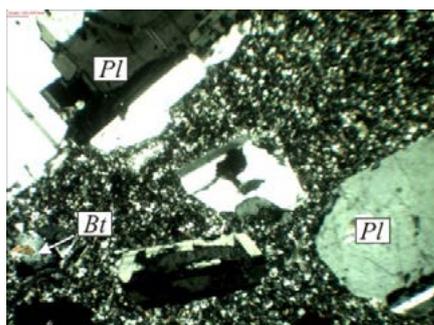


Рис. 2-5. Дацитовый порфир. Структура порфировая, основная масса аллотриоморфная (Д-2,9) /  
Fig. 2-5. Dacitic porphyry. Texture porphyritic, basic mass is allotriomorphic (D-2.9)

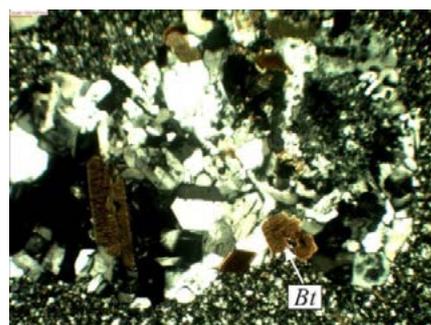


Рис. 2-6. Гомеогенные включения в дацитовых порфирах (Д-2,9) /  
Fig. 2-6. Homeogenic inclusions in dacitic porphyry (D-2.9)

Рис. 2. Микрофотографии пород. Условные обозначения. Pl – плагиоклаз, Bt – биотит, Chl – хлорит, Cal – кальцит, Aug – авгит, Mt – магнетит. Д – диагональ снимка в мм /

Fig. 2. Microphoto rocks. Legend: PL – plagioclase; Bt – biotite; Chl – chlorite; Cal – calcite; Aug – augite; Mt – magnetite; D – diagonal of photo in mm

сийскими и международными стандартами. При рассмотрении петрохимических характеристик дополнительно использованы опубликованные анализы [Ломизе, 1969; McCann et al., 2010].

Среди вулканических пород ГАСЗ встречаются субвулканические, эффузивные и эксплозивные разновидности. Они представлены долеритами, диабазами, базальтовыми порфиритами, тешенитами, дацитами, риодацитами, и туфами средне-кислого и основного составов (рис. 2).

**Базальтовые порфириты** образуют лавовые потоки. Структура пород сериально-порфировая и гломеропорфировая. Вкрапленники представлены кристаллами реликтового лабрадора размером до  $1 \times 2,5$  мм, замещенного альбитом и карбонатом, и более мелкими (до  $0,2 \times 0,5$  мм) лейстами андезина; в интерстициях хлорит, карбонат, рудный минерал; местами присутствуют зерна-реликты пироксена. **Долеритами и диабазами** сложены дайки и силлы. Структура пород диабазо-офитовая, долеритовая, афировая и порфировая. Породы состоят из удлиненно-таблитчатых и, редко, ситовидных кристаллов плагиоклаза (андезина – лабрадора), которые замещаются альбитом и карбонатом. В интерстициях карбонат, хлорит, сфен, рудный минерал, авгит и иддингсит. **Дациты и риодациты** слагают субвулканические тела мощностью до 100-140 м и дайки. Структура порфировая и гломеропорфировая. Вкрапленники размером до 2-3 мм представлены пелитизированными кристаллами плагиоклаза (олигоклаз, олигоклаз-андезин), кварца, биотита и иногда розового граната (альмандин). Основная масса аллотриоморфная и фельзитовая, состоит из плагиоклаза, калиевого полевого шпата, биотита, магнетита. Отмечаются микрополости с карбонатом и хлоритом. **Тешениты** встречаются в виде даек и штокообразных тел. Они представлены полнокристаллической породой с порфировидной и гранулоофитовой структурой и сложены кристаллами лабрадора (№ 60-70, вплоть до битовнита в центре кристаллов), титан-авгита (15-20%) и рудным минералом. Вторичные минералы – карбонат, хлорит и редко цеолиты.

Фигуративные точки (ФТ) средних и основных пород на классификационной диаграмме  $(Na_2O + K_2O) - SiO_2$  (рис. 3-1) преимущественно приурочены к полю составов умеренно – щелочных пород, а кислых пород – к полю составов нормально-щелочных и низко-щелочных пород. Преобладают базальты, андезибазальты, дациты, реже встречаются андезиты и риолиты. Для изученных пород преимущественно основного состава характерны большие потери при прокаливании (ППП), часто достигающие 9-14%. На диаграмме  $Zr/TiO_2 * 0,0001 - Nb/Y$  (рис. 3-2) критерием щелочности является  $Nb/Y$ ; ФТ здесь сгруппированы в поле субщелочных базальтов, андезитов, андезибазальтов и риодацитов. На диаграмме  $AFM$  (рис. 3-3) ФТ образуют непрерывный ряд в поле известково-щелочных пород и вдоль линии их раздела с породами толеитовой серии. На диаграммах  $SiO_2$  – петрогенные элементы отмечена отрицательная корреляция  $TiO_2, Fe_2O_3, MgO, CaO$  с содержанием  $SiO_2$  (рис. 4). Отчетливо выраженные тренды позволяют предполагать, что формирование петрохимической совокупности от базальтов до андезибазальтов и андезитов произошло в результате кристаллизационного фракционирования исходной магмы. Содержания  $K_2O, Na_2O$  (табл. 1, 2) варьируют в широких пределах, без видимых закономерностей. Породы основного состава представлены умеренно-титанистыми, а также низко- и умеренно-магнезиальными ( $Mg\# = 0,38-0,63$ ), умеренно- и высоко-глиноземистыми ( $Al^I = 0,85-1,8$ ) разностями, с колебаниями величин  $Na_2O/K_2O$  в пределах 2,8-25.

Кислые разновидности – это пересыщенные глиноземом ( $Al_2O_3 > CaO + K_2O + Na_2O$ ) породы с  $Al^I = 1,2-1,9$ ;  $Mg\# = 0,11-0,45$ ;  $Na_2O/K_2O = 0,85-3,5$ . На дискриминационных диаграммах (ДД) вулканыты ГАСЗ диагностируются неоднозначно: на диаграмме  $MgO - FeO - Al_2O_3$  [Pearce et al., 1977] (рис. 5-1) – это базальты, характерные для активных континентальных окраин и для вулканических дуг; на ДД

Табл. 1 / Table 1

Результаты RFA вулканитов ГАСЗ (оксиды в масс. %; элементы в г /т) /  
Results RFA of volcanites GACS (oxides in wt. %, elements – in ppm)

№ обр. / Sample number	403	406-1	43/90	17/90	30/90	33/90	29/91	67/91	38/90	153	154-6
SiO2	65,52	40,72	42,62	46,16	43,26	45,53	45,50	46,14	74,77	66,84	68,50
TiO2	0,53	0,72	1,65	1,59	0,70	1,13	1,70	1,69	0,17	0,59	0,68
Al2O3	14,12	13,77	15,61	19,13	15,89	16,89	17,97	17,82	13,94	14,02	14,14
Fe2O3	3,49	8,91	9,18	8,42	9,78	12,91	9,56	9,28	1,78	5,55	4,52
MnO	0,07	0,39	0,510	0,15	0,31	0,36	0,20	0,16	0,22	0,06	0,13
MgO	1,07	6,71	2,33	6,30	8,73	4,92	7,37	7,34	0,11	1,93	1,96
CaO	2,76	11,52	13,14	10,94	8,16	4,81	9,54	10,08	0,10	0,43	1,69
Na2O	4,74	2,67	3,25	2,93	2,71	3,08	2,79	2,69	7,47	3,12	3,22
K2O	3,83	0,19	1,10	0,66	0,28	0,40	0,76	0,79	0,10	4,03	2,24
P2O5	0,09	0,07	0,34	0,30	0,07	0,32	0,37	0,37	0,01	0,13	0,09
ппп	3,18	14,12	9,47	3,30	9,98	9,47	4,04	3,49	1,28	2,88	2,53
Сумма / Sum	99,4	99,79	99,2	99,88	99,87	99,82	99,8	99,85	99,95	99,58	99,7
Cr	38	339	39	161	386	60	146	171	14	58	58
V	68	165	222	148	173	245	152	146	8	87	95
Co	11	29	29	34	48	29	36	45	12	6	6
Ni	19	301	35	74	419	35	99	120	9	14	9
Cu	10	19	56	77	131	121	75	72	16	14	10
Zn	31	48	73	74	68	132	60	64	31	43	24
Pb	15	10	<10	-	-	-	-	-	-	29	17
Rb	103	10	18	13	13	19	14	14	10	133	63
Sr	124	244	389	393	237	167	364	349	29	155	141
Ba	549	128	221	99	220	202	121	111	125	1167	611
Nb	9	3	19	16	6	9	14	16	8	15	11
Zr	189	48	172	156	57	136	156	162	85	184	205
Y	35	20	31	33	20	42	34	32	14	31	34

Примечание: 153 и 154 – вулканиты района горы «Два брата». 38/90 – р. Куша. Суббота. 17/90 – р. Куша. 30/90 – М. Псеушхо. 33/90 – р. Кокай. 43/90 – г. Семашко. 29/91, 67/91 – р. Кушинко. 403 – Гойтхский комплекс. 406-1 – Чагалапнская свита. / Comments: 153, 154 – volcanites from area mountain "Two brothers"; 38/90 – creek "Saturday"; 17/90 – river Kusha; 30/90 – М. Pseushkho; 33/90 – river Kokaj; 43/90 – mountain Semashkho; 29/91, 67/91 – river Kushinko; 403 – Goitkhsky complex; 406-1 – Chatalapinskaya suite.

Табл. 2 / Table 2

**Результаты ISP-MS анализа вулканитов ГАСЗ /  
Results of ICP-MS analysis of volcanites GACS (elements in ppm)**

Элементы (в г/т) / Elements (in g/t)	Номера проб / Sample numbers										
	406-1	406	17/90	18/90	30/90	33/90	43/90	29/91	67/91	38/90	403
Li	80	92	60,47	41,49	77,34	88,71	23,55	65,94	65,93	14,42	26
Be	0,50	0,46	1,00	2,18	0,39	1,54	1,48	0,86	1,04	0,28	1,9
Sc	24	27	25,6	21,2	27,1	20,0	15,0	26,9	23,7	2,6	11
Ti	3884	4178	8823	9306	3420	6157	8754	9844	9378	800	2804
V	150	152	166	174	152	255	178	178	165	5	55
Cr	250	362	151	144	303	52	41	144	158	3	32
Mn	2905	6258	994	2148	2141	2599	3648	1470	1173	1568	518
Co	36	41	31	31	38	32	28	33	38	9	7,4
Ni	234	221	54	48	264	27	26	68	87	9	32
Cu	6,4	95	57,3	57,0	86,3	84,1	47,0	53,7	54,0	16,7	<ПО
Zn	63	56	71,7	57,0	58,8	104,5	55,8	76,7	79,8	24,2	36
Ga	16	14	17,2	20,84	16,2	24,3	20,61	17,2	16,3	11,64	31
Rb	4,2	1,8	5,2	8,3	5,1	14,2	13,6	6,3	6,9	1,2	94
Sr	253	228	372,4	406,4	216,4	130,2	342,6	363,8	340,4	24,5	107
Y	13	15	20,6	22,2	12,3	26,8	20,5	21,7	20,0	8,6	29
Zr	41	44	127,2	124,7	41,3	111,9	179,7	135,9	144,4	76,4	57
Nb	1,1	1,4	10,6	12,2	1,4	6,0	24,5	12,3	13,3	1,3	7,2
Mo	<ПО	<ПО	0,74	0,56	<ПО	<ПО	0,54	0,64	0,56	0,77	<ПО
Ag	0,18	0,19	–	0,30	–	0,27	0,41	–	–	–	0,21
Cd	0,16	0,14	0,19	0,19	0,08	0,23	0,26	0,23	0,18	0,08	0,18
Cs	0,52	0,35	0,32	0,28	0,44	0,29	<ПО	0,26	0,30	0,05	2,5
Ba	147	119	95	191	184	178	199	100	89	98	521
La	4,0	5,1	10,56	11,56	3,84	18,96	16,10	11,59	11,90	7,19	20
Ce	10	13	25,00	26,93	9,56	40,24	37,75	27,44	28,30	17,88	44
Pr	1,4	1,8	3,39	3,51	1,40	4,92	4,04	3,75	3,74	2,15	5,5
Nd	6,4	7,9	15,09	15,31	6,67	19,79	15,89	16,80	16,46	8,71	21
Sm	2,0	2,5	3,68	4,10	1,79	4,94	3,97	4,07	3,80	1,65	5,0
Eu	0,76	0,85	1,41	1,40	0,74	1,42	1,20	1,54	1,42	0,42	0,90
Gd	2,1	2,8	4,26	3,92	2,19	4,64	3,46	4,64	4,43	1,68	4,9
Tb	0,39	0,46	0,68	0,72	0,37	0,81	0,67	0,73	0,69	0,25	0,84
Dy	2,5	3,0	4,22	4,41	2,43	4,79	4,24	4,47	4,14	1,51	5,4
Ho	0,56	0,63	0,84	0,90	0,50	1,01	0,85	0,89	0,83	0,31	1,1
Er	1,6	1,9	2,37	2,58	1,50	2,92	2,39	2,53	2,34	0,93	3,3
Tm	0,25	0,28	0,32	0,36	0,21	0,44	0,35	0,33	0,31	0,13	0,50
Yb	1,4	1,7	2,06	2,22	1,42	2,81	2,18	2,16	2,04	0,89	3,1
Lu	0,22	0,25	0,30	0,33	0,21	0,43	0,33	0,32	0,30	0,14	0,43
Hf	1,2	1,3	2,69	2,70	1,20	3,07	4,03	2,91	3,06	1,98	2,0
Ta	0,10	0,13	0,67	0,73	0,11	0,31	1,54	0,77	0,83	0,11	0,65
W	0,58	0,36	0,08	3,04	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	0,12	2,1
Pb	4,1	3,3	1,09	3,03	1,56	13,14	3,72	1,66	1,21	3,11	14
Bi	0,011	0,014	<ПО	<ПО	<ПО	0,06	<ПО	<ПО	<ПО	0,04	0,25
Th	0,93	1,2	0,80	0,97	0,64	4,73	2,61	0,82	0,89	1,37	11
U	0,22	0,28	0,27	0,85	0,10	1,68	1,00	0,28	0,34	0,33	3,2

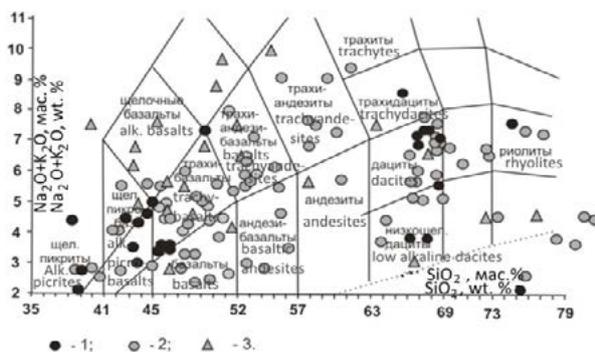


Рис. 3-1.  $Na_2O+K_2O - SiO_2$  /  
Fig. 3-1.  $Na_2O+K_2O - SiO_2$

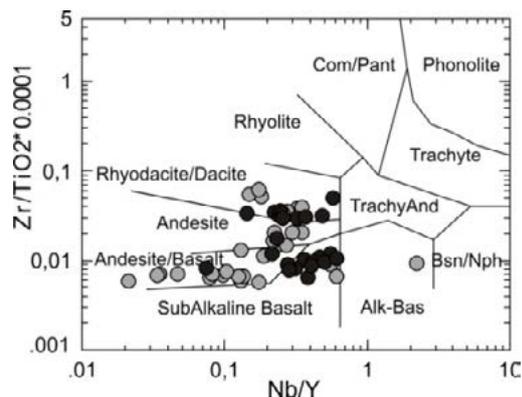


Рис. 3-2.  $Zr/TiO_2*0,0001-Nb/Y$  /  
Fig. 3-2.  $Zr/TiO_2*0,0001-Nb/Y$

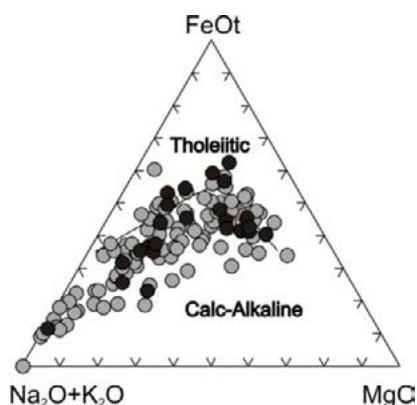


Рис. 3-3.  $(Na_2O+K_2O) - FeOt-MgO$  /  
Fig. 3-3.  $(Na_2O+K_2O) - FeOt-MgO$

Рис. 3. Составы пород, представленные на классификационных диаграммах. Условные обозначения: 1 – XRF выполнен в ЦКП «ИГЕМ – Аналитика»; 2 – силикатные анализы и XRF по [Ломизе, 1969; McCann et al., 2010]; 3 – Обломки вулканитов из туфогенных конгломератов [Ломизе, 1969] /

Fig. 3. Compositions rocks on classificational diagram. Legend: 1 – XRF was done in CCU “IGEM-Analytics”; 2 – silicate analysis and XRF according [Lomize, 1969; McCann et al., 2010]; 3 – debris of volcanites from tufogene conglomerate [Lomize, 1969]

$P_2O_5 - Zr$ , с линией раздела полей щелочных базальтов и толеитов [Floyd, Winchester, 1975] (рис. 5-2), ФТ группируются в поле толеитов; на ДД  $Zr/Y - Zr$  [Pearce, Norry, 1979] (рис. 5-3) – в поле внутриплитных базальтов; на ДД  $Zr/4 - Nb*2 - Y$  [Meschede, 1986] (рис. 5-4) в полях внутриплитных толеитов и базальтов океанических дуг; на ДД, где проведено разграничение мантийных источников  $Nb/Y - Zr/Y$  [Condie, 2005] (рис. 5-5), ФТ группируются вдоль линии  $\Delta Nb$  – от РМ к EN и в области распространения пород активных континентальных окраин и островных дуг, образованных без участия плюмовых источников; на ДД  $Sm/Yb - La/Sm$  [Школьник и др., 2009] (рис. 5-6) ФТ «маркируют» тренд плавления шпинелевых перидотитов. Степень плавления составляет 1-5%.  $Ni/Co$  отношение 1,0-10,3 ( $\Sigma/n$  4,0) сопоставимо с  $Ni/Co$  мантийных выплавов (2,5-5,0).  $U/Th$  отношение (0,2-0,9) < 1. На ДД  $Rb - (Y+Nb)$  [Pearce et al., 1984] (рис. 5-7) ФТ дацитов и риодацитов находятся в поле (VAG) – гранитоидов вулканических дуг.

Спектры REE пород основного состава (рис. 6), нормированных к хондриту [San, McDonough, 1989], представлены наклонными линиями, расположенными над и под линией E-MORB:  $Gd^{II}/Yb^{II} = 1,3-1,8$ ,  $La^{II}/Sm^{II} = 1,3-2,6$ . Отношение  $La^{II}/Yb^{II}$ , как показатель степени фракционирования REE, находится в пределах от 1,2 до 10,3.  $\Sigma REE = 33-108$  г/т. Концентрации несовместимых элементов (рис. 6) в ОП, нормированные к N – MORB [San, McDonough, 1989], формируют две группы спектров в которых отмечается обогащение пород LREE и LILE. Для нижней группы, в сравнении с E – MORB, заметны положительные аномалии Sr, Ba и отрицательные аномалии Ta, Nb, Hf, Zr и Ti. Во второй группе положительные аномалии Ba, K, Sr, P. Да-

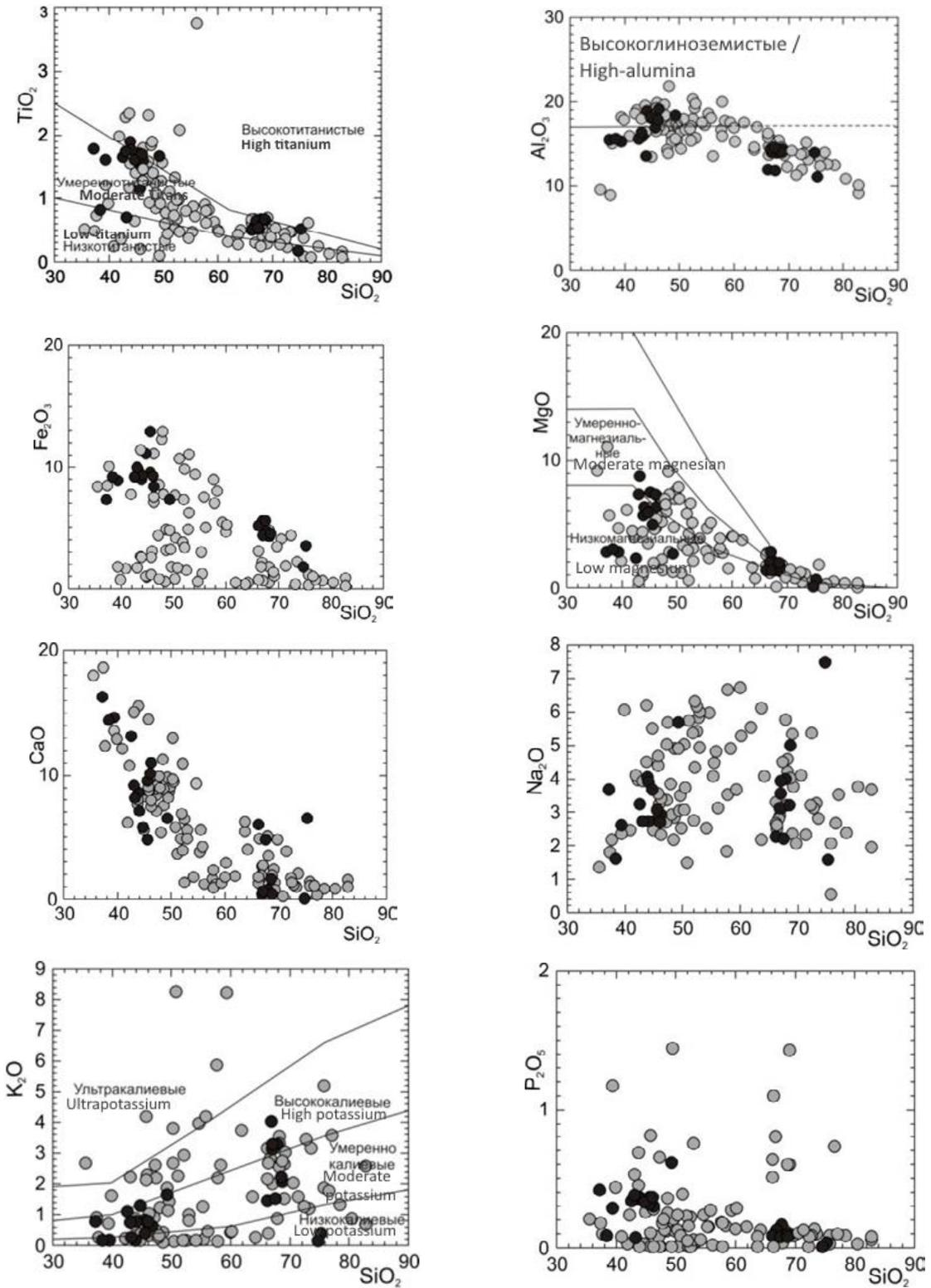


Рис. 4. Концентрации петрогенных оксидов (в масс. %). Усл. обозначения приведены на рисунке 3 /  
 Fig. 4. Diagrams concentration of petrogenic oxides (in wt. %). Legend on Fig. 3

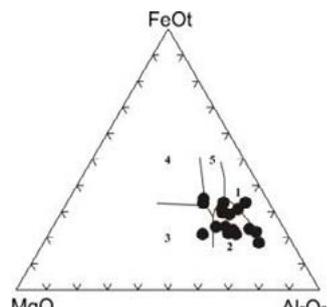


Рис. 5-1. MgO – FeOt- $Al_2O_3$  /  
Fig. 5-1. MgO – FeOt- $Al_2O_3$ .

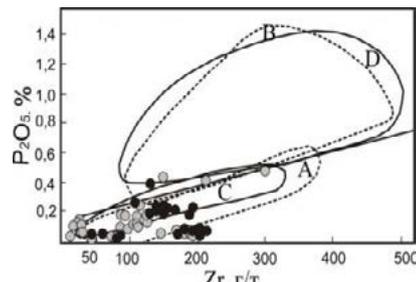


Рис. 5-2.  $P_2O_5$  – Zr /  
Fig. 5-2.  $P_2O_5$  - Zr

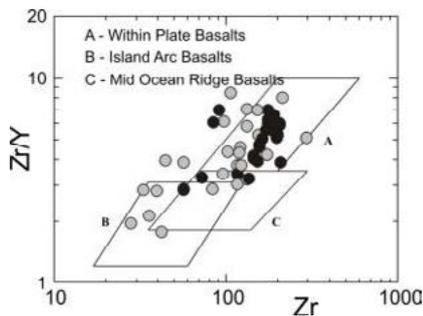


Рис. 5-3. Zr/Y-Zr /  
Fig. 5-3. Zr/Y-Zr

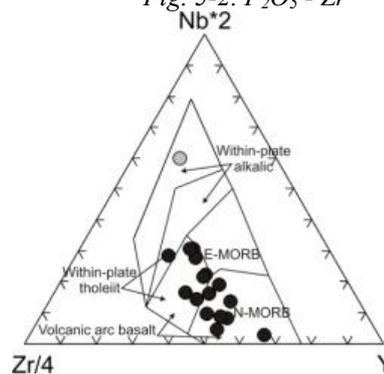


Рис. 5-4. Zr/4-Nb\*2-Y /  
Fig. 5-4. Zr/4-Nb\*2-Y

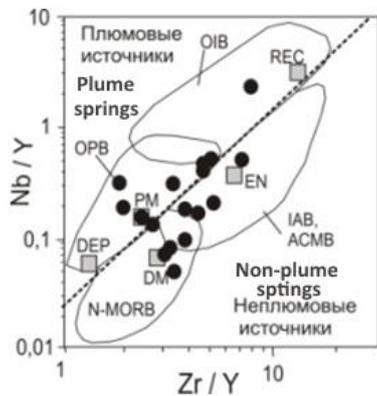


Рис. 5-5. Nb/Y-Zr/Y /  
Fig. 5-5. Nb/Y-Zr/Y

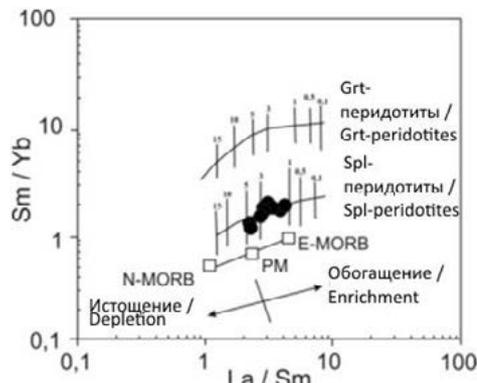


Рис. 5-6. Sm/Yb-La/Sm /  
Fig. 5-6. Sm/Yb-La/Sm

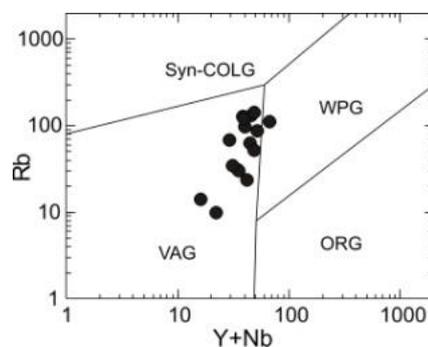


Рис. 5-7. Rb-(Y+Nb) /  
Fig. 5-7 Rb-(Y+Nb)

Рис. 5. Петрогенетические диаграммы составов пород /  
Fig. 5. Petrogenetic diagrams of rock compositions

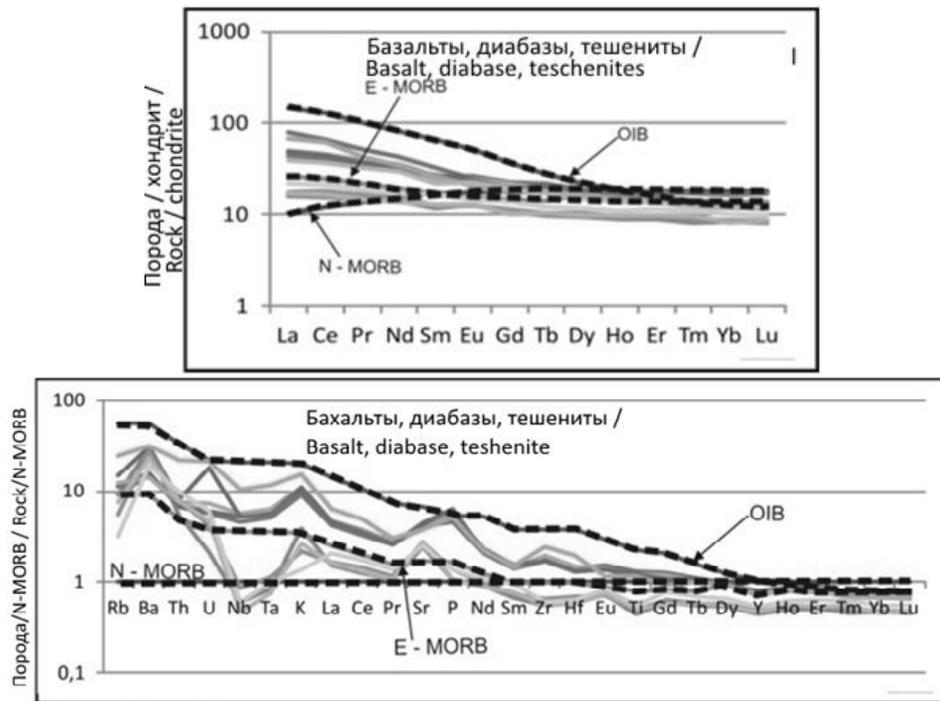


Рис. 6. Спайдер-диаграммы составов пород.

Примечание: Концентрации несовместимых элементов нормированы к N-MORB; концентрации REE нормированы к хондриту, по [San, McDonough, 1989] /

Fig. 6. Spider-diagrams of rock compositions

Comments: Concentration of incompatible elements are normalized to N-MORB; concentration of REE are normalized to chondrite according [San, McDonough, 1989]

циты и риодациты имеют схожий профиль REE с небольшим европиевым минимумом:  $La^u/Yb^u = 5,2-5,6$ ,  $La^u/Sm^u = 2,6-40,5$ ,  $Gd^u/Yb^u = 1,3-2,1$ . Дефицит европия  $Eu/Eu^*$  ( $Eu^* = (Sm_n + Gd_n)/2$ ) составляет от 0,51 до 0,76.  $\sum REE_{44} = 116$  г/т. В основных, по составу, вулканитах ГАСЗ отмечены вариации величин изотопных отношений:  $^{87}Sr/^{86}Sr$  составляет 0,704598-0,705857;  $^{143}Nd/^{144}Nd = 0,512591-0,513021$  [McCann et al., 2010], которые идентичны андезитам и андезибазальтам Карачаевского ВР –  $^{87}Sr/^{86}Sr = 0,7045-0,7059$ ;  $^{143}Nd/^{144}Nd = 0,51248-0,51252$ .

Для установления геохимической специализации изученных пород составлены ранжированные ряды кларков концентрации ( $K_k > 1,1$ ): базальтовые порфириды –  $Bi_{6,0} Li_{3,7} Be_{2,8} Ag_{2,6} Mn_{1,9} U_{1,5} Nb_{1,4} Th_{1,2} Co_{1,2} Cd_{1,2} Hf_{1,1} Ni_{1,1} (Ba_{0,6} Pb_{0,9} Zn_{0,8})$ ; долериты и диабазы –  $Li_{3,6} Be_{2,4} Ag_{2,6} Mn_{1,8} Ni_{1,7} Nb_{1,1} Co_{1,1} (Ba_{0,5} Pb_{0,3} Zn_{0,8})$ ; тешениты –  $Li_{3,2} Be_{2,6} Nb_{1,9} Co_{1,2} Ni_{1,1} (Ba_{0,3} Zn_{0,9})$ ; дациты –  $Bi_{6,8} U_{6,5} W_{4,5} Ag_{4,0} Ti_{2,8} Cr_{2,5} Mn_{1,9} Sc_{1,6} Co_{1,3} Ni_{1,2} (Ba_{1,2} Pb_{0,5} Zn_{0,6})$ . При сравнении полученных нами данных с результатами имеющихся исследований по близким петро-геохимическим типам в различных геодинамических обстановках [Гусев и др., 1999] установлено следующее. Изученные петрографические и петрохимические типы сопоставимы с породами островных дуг и краевых вулcano-плутонических поясов, приуроченных к активным континентальным окраинам, с характерной для них «литофильной» и «халькофильной» геохимической специализацией.

## Результаты работы

В ааленское и байосское время вдоль южной периферии рифтогенного трога БК формировался среднеюрский Закавказский вулканический пояс. На границе с оке-

аном Нео-Тетис этот вулканический пояс маркировал юрскую окраину континента. На южной окраине СП и севернее рифтогенного трога БК, с позднесинемюрского времени накапливались континентальные и мелководные морские отложения. В зоне задугового растяжения образовались спилит-диабазовые дайковые пояса, прослеживающиеся более чем на 700 км [Никишин и др., 2005; Ломизе, Суханов 2006]. К северу от структуры растяжения возникли и локально развивались рассредоточенные в пространстве ВР, активность в которых проявилась в синемюре и раннем плинсбахе и, после небольшого затишья, продолжилась в позднем плинсбахе-раннем тоаре; в ааленское время она проявилась незначительно. Существуют представления, что в геодинамическом отношении эти ВР являются островодужными объектами, расположенными в тыловой части палеоостровной дуги Северного Кавказа мезозойского возраста [Богатиков, Цветков, 1988], либо объектами Северокавказской трансформной континентальной окраины нижне-среднеюрского возраста [Гусев, 1990]. По другим данным, все проявления вулканизма на БК в ранней юре и аалене связаны с процессом заложения и развития его рифтогенного бассейна [Большой Кавказ, 2007].

Вулканиды, распространенные в ГАСЗ, представлены долеритами, базальтовыми порфиритами, диабазами, тешенитами, дацитами. Породы основного состава (ОС) характеризуются умеренными содержаниями  $TiO_2$  (0,7-1,9%) (рис. 4), умеренными и высокими содержаниями  $Al_2O_3$  (1,3-19,1%). Из  $Sm/Yb-La/Sm$  диаграммы [Школьник и др., 2009] (рис. 5-6) следует, что исходный расплав образовался при плавлении шпинелевых перидотитов. Степень плавления протолита от 1 до 5%. Умеренная магнезиальность ( $Mg^{\#}=0,38-0,63$ ) может указывать на то, что изученные породы – производные уже эволюционировавшего расплава. На дискриминационных диаграммах они диагностируются как базальты активных континентальных окраин и вулканических дуг, образовавшиеся без участия плюмовых источников, как и внутриплитные базальты. Известно, что для известково-щелочных и толеитовых базальтов активных континентальных окраин и островных дуг характерны значительный диапазон  $SiO_2$  (от 45 до 53%), повышенные значения  $Al_2O_3$  (от 16 до 20%) и низкие – для  $TiO_2$  ( $\leq 1\%$ ). Повышенное же значение  $TiO_2$  (2–2,5%) характерно для базальтов зон задугового растяжения [Туркина, 2014]. Так как в основных породах (ОП) установлено повышенное содержание  $TiO_2$ , то логично предположить, что на формирование расплавов оказывали влияние эффекты (фазы) задугового растяжения. Низкие концентрации в ОП ГАСЗ  $Nb$ ,  $Ce$ ,  $Th$ ,  $Hf$ ,  $Zr$  не позволяют считать их образованиями континентальных рифтов или ВПП тыловых рифтов зон активных континентальных окраин. Сравнение пород Чегем-Черекского и Карачаевского ВР [Газеев и др., 2019] с их аналогами из ГАСЗ по их положению на дискриминационных, спайдер- и мультиэлементных диаграммах, изотопии  $^{87}Sr/^{86}Sr$ ,  $^{143}Nd/^{144}Nd$  указывает на идентичность их источников. На основании близости геохимических параметров кислых и ОПГАСЗ предполагается, что они образовались в результате взаимодействия базальтового расплава с породами континентальной коры СП. По содержаниям  $K = 1,81\%$ ,  $Rb = 75$  г/т,  $Ba = 458$  г/т, а также отношениям  $K/Rb=241$  и  $Ba/Rb=6,1$ , они близки к гранитоидам андезитового (известково-щелочного) ряда ( $K=2,0\%$ ;  $Rb=100$  г/т;  $Ba=650$  г/т;  $K/Rb=200$ ;  $Ba/Rb=6,6$ ), с которыми обычно ассоциирует  $Au - W$ ,  $Au - Ag$ ,  $Cu - Mo$  оруденение.

С субинтрузивными образованиями Чаталтапинского комплекса пространственно ассоциируют проявления кварц-диксит-киноварной формации, жилы и зоны дробления с полиметаллическим оруденением. Известны находки обломков медно-колчеданных руд. С породами Гойтхского комплекса ассоциируют шлиховые потоки сфалерита и киновари [Корсаков и др., 2002]. В шлиховых пробах, отобранных в полосе развития субвулканической фации Гойтхского комплекса при минералогических исследованиях в легкой фракции выявлено тонкодисперсное

проволочковидное золото размерностью менее 1 мм по длинной оси (устное сообщение С.Г. Корсакова). По аналогии с Чегем-Черекским ВР, к которому приурочено Радужное месторождение и мелкие рудопроявления полиметаллов, *Au* и *Ag*, и Карачаевским ВР, где известно золото-серебро-полиметаллическое Ковалевское рудопоявление, а также обнаружение золото-серебряных месторождений в зрелых островных дугах и в ВПП активных континентальных окраин [Ширай и др., 1999], можно полагать, что в пределах ГАСЗ возможно обнаружение подобных объектов, в том числе черносланцевого золото-серебро-полиметаллического и золото-платиноидного с полиметаллами типов оруденения [Гурбанов и др., 2021]. Наиболее перспективными на проведение поисковых работ на эти типы оруденения являются отмечаемые здесь флюидно-эксплозивные брекчии [Борсук, 1963], зоны вторичных изменений вулканитов и вмещающих их углеродистых флишоидных (черносланцевых) толщ.

### Выводы

В Гойтхско-Ачишхинской складчатой зоне изучены петрохимические и геохимические особенности среднеюрских эффузивных и субвулканических пород (от основного до кислого составов). Для них характерны повышенные содержания *Ag*, *Bi*, *Li*, *Be*, *LILE* и *LREE*. Предполагается, что породы основного состава ГАСЗ являются продуктами предварительно эволюционировавшего высокоглиноземистого расплава, который образовался при 1-5% плавлении шпинелевого перидотита. Формирование очагов этих расплавов происходило в литосферной мантии на фоне процессов задугового растяжения в тыловой части Закавказского вулканического пояса. Кислые породы ГАСЗ – это высокоглиноземистые образования, сформировавшиеся в результате взаимодействия базальтового расплава с породами коры СП. По содержанию *K*, *Rb*, *Ba* и величинам отношений *K/Rb*, *Ba/Rb* они сопоставимы с гранитоидами андезитового (известково-щелочного) ряда. Анализ дискриминационных диаграмм и геохимической специализации основных и кислых пород ГАСЗ показывает, что они близки к породам островных дуг и краевых вулкано-плутонических поясов зон активных континентальных окраин. Сравнение петрохимии, геохимии и изотопии  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  пород Чегем-Черекской, Карачаевской ВО и ГАСЗ указывает на идентичность их мантийных источников. В связи с развитием в Чегем-Черекском и Карачаевском ВР золото-серебро-полиметаллического оруденения, типичного для развитых островодужных систем и краевых вулкано-плутонических поясов зон активных континентальных окраин, сделано предположение о перспективности ГАСЗ на данный тип оруденения.

### Литература

1. Богатиков О. А., Цветков А. А. Магматическая эволюция островных дуг. – М.: Изд. «Наука», 1988. – 241 с.
2. Большой Кавказ в альпийскую эпоху. / Гл. ред. акад. Ю. Г. Леонов. – М.: ГЕОС, 2007. – 368 с.
3. Борсук А. М. Петрология мезозойских магматических комплексов западного окончания Главного Кавказского хребта. – М.: Наука, 1963. – 160 с.
4. Газеев В. М., Гурбанов А. Г., Кондрашов И. А. Мезозойские субщелочные породы Центральной части Северного Кавказа: геодинамическая типизация, геохимия и минералогия. // Геология и геофизика Юга России. – 2019. – Т. 9. №3. – С. 47-62. DOI: 10.23671/VNC.2019.3.36479.
5. Гурбанов А. Г., Докучаев А. Я., Газеев В. М., Гурбанова О. А. Аномально высокие содержания благородных металлов в отходах Фиагдонской обогатительной фабрики: возможный новый для Северного Кавказа золото-платиноидный с полиметаллами тип оруденения.

нения, локализованный в ранне-среднеюрских черных сланцах. // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – Т. 11. №2. – С. 6-21. DOI: 10.46698/VNC.2021.41.26.001

6. Гусев А.И. Петрофациальные типы ниже-среднеюрских песчаников Северного Кавказа и геодинамические обстановки их формирования. // Тр. Даг., науч., центра АН СССР, ин-т Геол. – 1990. – С. 54-64.

7. Гусев Г.С., Кудрявцев Ю.К., Гушин А.В., и др. Геохимическая и металлогеническая специализация структурно-вещественных комплексов. – СПб.: ВСЕГЕИ, 1999. – 514 с.

8. Корсаков С.Г., Семенуха И.Н., Горбова С.М. и др. Государственная геологическая карта РФ Лист L-37-XXXIV (Туапсе). – СПб.: ВСЕГЕИ, 2002. – 164 с.

9. Ломизе М.Г. Вулканизм Северо-Западного Кавказа и его связь с тектоникой. – М.: Изд-во МГУ, 1969. – 220 с.

10. Ломизе М.Г., Суханов М.К. Дайковый пояс Большого Кавказа: среднеюрская задуговая структура. // Бюл. Моск. О-ва Испытателей природы. Отд. Геол. – 2006. – Т. 81. Вып. 6. – С. 9-15.

11. Никишин А.М., Фокин П.Л., Тихомиров Е.Ю. и др. 400 миллионов лет геологической истории южной части Восточной Европы. – М.: ГЕОКАРТ. ГЕОС, 2005. – 351 с.

12. Туркина О.М. Лекции по геохимии магматического и метаморфического процессов. Новосибирск: РИЦ НГУ, 2014. – 118 с.

13. Ширай Е.П., Филатов Е.П., Гусев С.Г., и др. Металлогения рядов геодинамических обстановок островных дуг. – М.: МПР РФ, 1999. – 411 с.

14. Школьник С.И., Резницкий Л.З. и др. Геохимия, вопросы петрогенезиса и геодинамическая типизация метавулканитов Тункинского террейна (Байкало-Хубсугульский регион). // Геология и геофизика. – 2009. – Т. 50. №9. – С. 1013-1024.

15. Condie K. C. High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes. // Lithos. – 2005. – Vol. 79. – pp. 491-504.

16. Floyd P.A., Winchester J.A. Magma-type and tectonic setting discrimination using immobile elements. // Earth Planet. Sci. Lett. – 1975. – Vol. 27. – pp. 211-218.

17. McCann T., Chalont-Prat F., Saintot A. The Early Mesozoic evolution of the Western Greater Caucasus (Russia): Triassic-Jurassic sedimentary and magmatic history. // Geological Society, London, Special publications. – 2010. – Vol. 350. – pp. 181-238.

18. Meschede M.A. Method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tonalites with the Nb-Zr-Y diagram. // Chemical Geol. – 1986. – Vol. 56. – pp. 109-185.

19. Pearce J.A., Norry M.J. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rock. // Contrib. Mineral. Petrol. – 1979. – Vol. 69. – pp. 33-47.

20. Pearce J.A., Harris N.B. W., Tindle A. G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. // J. Petrol. – 1984. – Vol. 25. – pp. 956-983.

21. Sun S. S., McDonough W. F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts. // Geol. Spec. Publ. – 1989. – No. 42. – pp. 313-345.

## References

1. Bogatkov O.A., Tsvetkov A.A. Magmatic evolution of island arcs. Moscow. Nauka, 1988. 241 p. (In Russ.)
2. The Greater Caucasus in the Alpine Epoch (Ed. By Yu. G. Leonov). Moscow. GEOS, 2007. 368 p. (In Russ.)
3. Borsuk A.M. Petrology of Mesozoic igneous complexes of the western end of the Main Caucasian Ridge. Moscow. Nauka, 1963. 160 p. (In Russ.)
4. Gazeev V.M., Gurbanov A.G., Kondrashov I.A. Mesozoic subalkaline rocks of the Central North Caucasus: geodynamic typification, geochemistry and mineralogy. Geology and Geophysics of Russian South, 2019. Vol. 9. No. 3. pp. 47-62. DOI: 10.23671/VNC.2019.3.36479. (In Russ.)

5. Gurbanov A. G., Dokuchaev A. Ya., Gazeev V. M., Gurbanova O. A. Abnormally high content of noble metals in wastes of the Fiagdon concentration plant: a possible new type of mineralization for the North Caucasus is gold-platinoid with base metals, localized in the Early-Middle Jurassic black shales. *Geology and Geophysics of Russian South*, 2021. Vol. 11. No. 2. pp. 6-21. DOI: 10.46698/VNC.2021.41.26.001 (In Russ.)
6. Gusev A. I. Petrofacies types of the Lower – Middle Jurassic sandstones of the North Caucasus and geodynamic settings of their formation. In: *Proceedings of DSC of the AS of the USSR, Institute of Geol.*, 1990. pp. 54-64. (In Russ.)
7. Gusev G. S., Kudryavtsev Yu. K., Gushchin A. V., et al. Geochemical and metallogenic specialization of structural-material complexes. Saint Petersburg. VSEGEI, 1999. 514 p. (In Russ.)
8. Korsakov S. G., Semenukha I. N., Gorbova S. M., et al. State geological map of the RF Sheet L-37-XXXIV (Tuapse). Saint Petersburg. VSEGEI, 2002. 164 p. (In Russ.)
9. Lomize M. G. Volcanism of the Northwest Caucasus and its relationship with tectonics. Moscow. MSU, 1969. 220 p. (In Russ.)
10. Lomize M. G., Sukhanov M. K. Dyke belt of the Greater Caucasus: Middle Jurassic back-arc structure. *Byul. Mosk. O-va Isp. prirody. Otd. Geol.*, 2006. Vol. 81. Issue 6. pp. 9-15. (In Russ.)
11. Nikishin A. M., Fokin P. L., Tikhomirov E. Yu., et al. 400 million years of geological history of the southern part of Eastern Europe. Moscow. GEOKART. GEOS, 2005. 351 p. (In Russ.)
12. Turkina O. M. Lectures on the geochemistry of magmatic and metamorphic processes. Novosibirsk. RITs NSU, 2014. 118 p. (In Russ.)
13. Shirai E. P., Filatov E. P., Gusev S. G., et al. Metallogeny of the series of geodynamic environments of island arcs. Moscow. RF Ministry of Natural Resources, 1999. 411 p. (In Russ.)
14. Shkolnik S. I., Reznitsky L. Z., et al. Geochemistry, issues of petrogenesis and geodynamic typification of metavolcanics of the Tunkinsky terrane (Baikal-Khubsugul region). *Geology and Geophysics*, 2009. Vol. 50. No. 9. pp. 1013-1024. (In Russ.)
15. Condie K. C. High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes. *Lithos*, 2005. Vol. 79. pp. 491-504.
16. Floyd P. A., Winchester J. A. Magma-type and tectonic setting discrimination using immobile elements. *Earth Planet. Sci. Lett.* 1975. Vol. 27. pp. 211-218.
17. McCann T., Chalont-Prat F., Saintot A. The Early Mesozoic evolution of the Western Greater Caucasus (Russia): Triassic-Jurassic sedimentary and magmatic history. *Geological Society, London, Special publications*, 2010. Vol. 350. pp. 181-238.
18. Meschede M. A. Method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tonalites with the Nb-Zr-Y diagram. *Chemical Geol.* 1986. Vol. 56. pp. 109-185.
19. Pearce J. A., Norry M. J. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rock. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1979. Vol. 69. pp. 33-47.
20. Pearce J. A., Harris N. B. W., Tindle A. G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrol.* 1984. Vol. 25. pp. 956-983.
21. Sun S. S., McDonough W. F. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts. *Geol. Spec. Publ.*, 1989. No. 42. pp. 313-345.