

ОБЩАЯ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 552.323.5

DOI: [10.23671/VNC.2019.3.36479](https://doi.org/10.23671/VNC.2019.3.36479)

Оригинальная статья

Мезозойские субщелочные породы центральной части Северного Кавказа: геодинамическая типизация, геохимия и минерагения

В.М. Газеев ^{1,2}, к.г.-м.н., А.Г. Гурбанов ^{1,2}, к.г.-м.н., И.А. Кондрашов ¹¹Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., 35;²Федеральный научный центр «Владикавказский научный центр РАН», Россия, 362027, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркуса, 22, e-mail: gurbanov@igem.ru.

Статья поступила: 7 июня 2019, доработана: 24 июля 2019, одобрена в печать: 27 июля 2019.

Аннотация: Актуальность работы. В Центральной части Северного Кавказа, в пределах Кестанты-Хазнидонской неоаллохтонной зоны, выделенной в южной части Скифской платформы, встречаются лавовые потоки, силлы, мелкие штоки и дайки вулканитов «хуламского комплекса» с которыми ассоциирует золото-серебряное оруденение. В статье рассмотрена мезозойская геологическая история региона, существующие представления о геодинамической позиции и возрасте вулканитов. Объектом исследования являются эффузивные и субвулканические образования «хуламского» комплекса (ХК), распространенные преимущественно в пределах Кестанты-Хазнидонской неоаллохтонной зоны, в центральной части Северного Кавказа. **Целью исследования** являлось изучение наиболее распространенных пород, представленных щелочными и умеренно-щелочными базальтовыми порфиридами, диабазами, анальцимовыми долеритами, трахитами, трахириолитами. **Методы исследования:** петрографическое описание пород, частотно-резонансный анализ (RFA), масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS), петрохимические и геохимические методы. **Результаты.** Показано, что изученные породы являются высоко и умеренно-глино-земистыми, высоко и умеренно-титанистыми, умеренно и низко-магнезиальными образованиями, среди которых отмечаются высоко-калиевые и высоко-натриевые разновидности и в связи с этим наблюдается их изменчивая щелочность ($Na_2O/K_2O=0,03-77,0$). Установлено, что породы имеют повышенный уровень концентрации *Ag*, *Be*, *LILE*, *LREE* и высокозарядных элементов *Zr*, *Hf*, *Nb*, *Ta*. Спектры распределения *REE*, нормированных к хондриту, у базальтов, диабазов и анальцимовых долеритов имеют вид наклонных линии, расположенных между профилями *OIB* и *E-MORB*. Трахиты отличаются небольшим *Eu* минимумом. Для риолитов и окварцованных трахитов характерны существенно больший *Eu* минимум и широкий диапазон содержаний *REE*. Предполагается, что исходный расплав основного состава образован при плавлении шпинелевых перидотитов, подвергался влиянию флюидной фазы и был обогащен компонентами континентальной коры и субконтинентальной литосферы. Эволюционные изменения расплава, на стадии образования трахитов и риолитов, включали такие процессы как фракционирование плагиоклаза, апатита, ильменита и частичное смешение с выплавками, образовавшимися при плавлении метаосадков. На основании геологических оценок сделано предположение, что полиметаллическое и *Au-Ag* оруденение ассоциирующее с вулканитами, образовано в результате взаимодействия остывающих субвулканических тел с захороненными, возможно минерализованными, вадозными и седиментационными водами с последующим выщелачиванием рудных компонентов из среднеюрской углерод содержащей терригенной черносланцевой толщи (механизм конвективной ячейки).

Ключевые слова: петрография; геодинамическая типизация, геохимическая специализации, минерагения.

Благодарности: Работа поддержана Госзаданием ИГЕМ РАН «Петрология и минерагения магматизма внутриплитных и посторогенных обстановок: роль литосферных и астеносферных источников в формировании расплавов» и подготовлена при поддержке гос. темы: Регистрационный номер: АААА-А19-119031890027-3.

Для цитирования: Газеев В.М., Гурбанов А.Г., Кондрашов И.А. Мезозойские субщелочные породы центральной части Северного Кавказа: геодинамическая типизация, геохимия и минерагения. *Геология и Геофизика Юга России*. 2019. 9 (3): 47-62. DOI: [10.23671/VNC.2019.3.36479](https://doi.org/10.23671/VNC.2019.3.36479).

DOI: [10.23671/VNC.2019.3.36479](https://doi.org/10.23671/VNC.2019.3.36479)

Original paper

Mesozoic subalkaline rocks of Central part of the Northern Caucasus: geodynamical typification, geochemistry and minerageny

V. M. Gazeev ^{1, 2}, A. G. Gurbanov ^{1, 2}, I. A. Kondrashov ¹

¹ Institute of geology of ore deposits, petrography, mineralogy and geochemistry, Russian Academy of Sciences, Staromonetny Lane, Moscow 119017, Russian Federation;

² Vladikavkaz Scientific Center, Russian Academy of Sciences, 22 Markusa Str., Vladikavkaz 362027, Russian Federation, e-mail: gurbanov@igem.ru

Received 7 June 2019; revised 24 July 2019; accepted 27 July 2019.

Abstract: Relevance. Lava flows, sills, small stocks and dykes of volcanic rocks of the “Hulam” complex (which are associated with gold-silver mineralization) are presented in the Central part of the North Caucasus, within the Kestant-Khaznidon neallochthonous zone, allocated in the southern part of the Scythian platform. The Mesozoic geological history of the region, existing ideas about the geodynamic position and age of volcanic rocks are considered in the article. The object of research is the effusive and subvolcanic formations of the “Hulam” complex (HC), which are distributed mainly within the Kestant-Khaznidon neallochthonous zone in the Central part of the North Caucasus. **Aim.** To study the most common rocks represented by alkaline and moderately alkaline basalt porphyrites, diabases, analcite dolerites, trachytes, trachyriolites. **Methods.** Petrographic description of rocks, resonance frequency analysis (RFA), Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS), petrochemical and geochemical methods. **Results.** It was shown that the rocks under investigation are high and moderate clay-earthy, high and moderate titanitic, moderately and low-magnesian formations, among which high potassium and high sodium varieties are and, therefore, their variable alkalinity ($Na_2O / K_2O = 0.03-77.0$) is observed. It was found that rocks have an increased level of concentration of *Ag*, *Be*, *LILE*, *LREE* and highly charged elements *Zr*, *Hf*, *Nb*, *Ta*. The distribution spectra of *REE* normalized to chondrites in basalts, diabases, and analcimeic dolerites have the form of oblique lines located between the *OIB* and *E-MORB* profiles. Trachites have a small *Eu* minimum. Rhyolites and silicified trachites are characterized by a significantly larger *Eu* minimum and a wide range of *REE* contents. It is assumed that the initial melt of the basic composition, formed during the spinel peridotite melting, was influenced by the fluid phase, and was enriched by the components of the continental crust and subcontinental lithosphere. The evolutionary changes in the melt at the stage of trachyte and rhyolite formation included such processes as fractionation of plagioclase, apatite, ilmenite, and partial mixing with the melts formed during the melting of metasediments. Based on geological estimates, it was suggested that polymetallic and *Au-Ag* mineralization associated with volcanics is formed as a result of the interaction of cooling subvolcanic bodies with buried, possibly mineralized, vadose and sedimentation waters, followed by leaching of ore components from Middle Jurassic carbon containing terrigenous black shale strata (convection cell mechanism).

Keywords: petrography, geodynamical typification, geochemical specialization, minerageny.

Acknowledgments: The research was supported by the State Assignment of the IGM RAS “Petrology and Minerageny of Magmatism of intraplate and postorogenic environments: the role of lithospheric and asthenospheric sources in the formation of melts” and was prepared with the support of state topic: Registration number: AAAA-A19-119031890027-3.

For citation: Gazeev V.M., Gurbanov A.G., Kondrashov I.A. Mesozoic subalkaline rocks of Central part of the Northern Caucasus: geodynamical typification, geochemistry and minerageny. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. 2019. 9(3): 47-62. (In Russ.) DOI: [10.23671/VNC.2019.3.36479](https://doi.org/10.23671/VNC.2019.3.36479).

Введение. Геологическая история региона в юрское и меловое время и объект исследования

Объектом исследования были выбраны эффузивные и субвулканические образования «хуламского» комплекса (ХК), распространенные преимущественно в пределах Кестанты-Хазнидонской неоаллахтонной зоны, в центральной части Северного Кавказа (рис. 1). В геологическом плане территория их распространения расположена в южной части Скифской платформы (СП) и в раннеюрское время являлась северным плечевым поднятием рифтогенного морского бассейна Большого Кавказа (БК). Уже в плинсбахе и тоаре в пределах СП формируется система узких грабенообразных мелководных бассейнов, в разрезах которых сохраняются раннеюрские вулканиты типа БАДР. В позднем аалене и байосе вдоль южной границы рифтогенного трога БК происходит становление среднеюрского Крымско-Закавказского вулканического пояса, где накапливаются вулканические серии известково-щелочного состава. Считается, что этот вулканический пояс маркировал юрскую окраину континента на границе с океаном Нео-Тетис. К северу от БК в южной части СП накапливаются мелководные морские и континентальные осадки, а в зонах проявившегося здесь задугового растяжения формируются спилит-диабазовые дайковые пояса. В последующий период в фазу среднекimmerийского задугового сжатия, контролировавшуюся активностью Нео-Тетической субдукционной системы, происходит частичная инверсия трога БК, однако, после этой фазы, территория БК была вовлечена в новый цикл рифтинга, начавшегося в келловее и закончившегося в берриасе. Келловейско-позднеюрский трог БК был параллелен более южному известково-щелочному вулканическому поясу Понтиды-Закавказья с максимальной вулканической активностью в киммеридже. Вдоль южной границы трога БК, в пределах Рионского бассейна в Грузии, отмечается вулканизм, представленный щелочными и оливиновыми базальтами. В южной части СП в этот период формируются Терский, Западно- и Восточно-Кубанские рифтовые бассейны. Между ними и трогом БК присутствует небольшое поднятие. На границе юры и мела трог БК испытал слабые компрессионные деформации, обусловленные кратковременным задуговым сжатием. СП после этой фазы компрессионной тектоники, в неокон-барреме, является регионом с часто меняющимися палеогеографическими условиями [Никишин и др., 2005].

В разные годы изучением петрографии, петрохимии, пород ХК занимались сотрудники институтов АН СССР [Лебедев, 1950; Цветков, 1977], а изучением оруденения, ассоциирующего с этими породами – геологи КБ ГРЭ, ГГП «Кольцовгеология» ПГО и ФГУГП «Севкавгеология». В результате, здесь выделено Левобережное рудное поле включающее месторождение «Радужное» и ряд мелких рудопроявлений полиметаллов, золота и серебра. В настоящее время, несмотря на длительный период изучения, сохраняются различия в представлениях о количестве и последовательности внедрения магматических фаз, об их возрасте и формационной принадлежности. Например, по представлениям А. А. Цветкова в междуречье Черек Балкарский – Чегем присутствуют три разновозрастные магматические формации: 1 – Базальтовых порфиритов (средняя юра – байос); 2 – трахитов (верхняя юра); 3 – субщелочных габброидов – тешенитов (нижний-верхний мел) [Цветков, 1977]. По представлениям других исследователей возраст этих пород среднеюрский. Наиболее ранними являются лавы и субвулканические тела базальтовых порфиритов и трахириолитов, в последующий период происходит внедрение тел трахитового и трахиандезитового состава. На заключительном этапе внедряются тешениты [Письменный, 2001; Курбанов, 2004]. В настоящей публикации рассматриваются результаты петролого-геохимического изучения мезозойских субщелочных пород Центральной части Северного Кавказа и их геодинамическая типизация и минерагения.

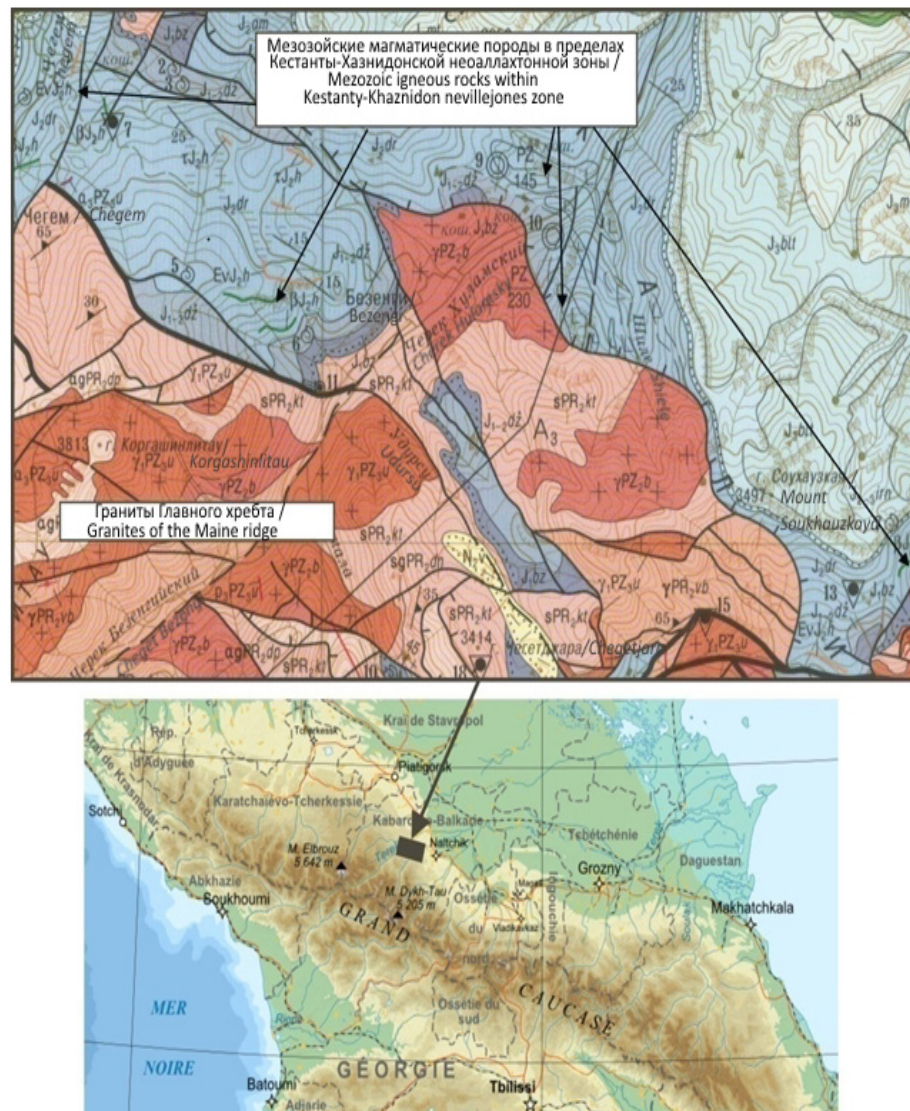


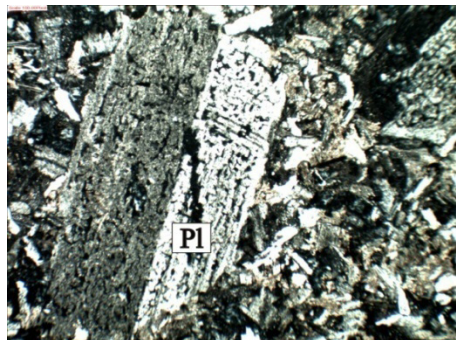
Рис. 1. Геологическая карта Кестанты-Хазнидонской неволаканной зоны с мезозойскими магматическими породами (данные ФГУПП «Кавказгеолсъемка» листы К-38- VIII, XIV. 2001 г.) / Fig. 1. Geological map of the Kestant-Khaznidon neovolcanic zone with Mesozoic igneous rocks (data from the «Kavkazgeolsolzemka» FSUE, Sheets K-38-VIII, XIV. 2001)

Фактический материал и методы его исследования

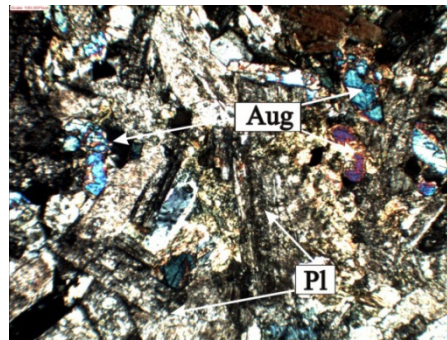
Материалом для исследования послужила коллекция образцов, собранная авторами при геологических исследованиях объектов в 1988-1991 гг., 2011-2013 гг. Аналитические исследования выполнены в 2017 г., в ЦКП «ИГЕМ – Аналитика»: в 45 пробах проведены определения концентраций петрогенных и микроэлементов рентгено-флуоресцентным анализом (XRF) на спектрометре «Респект-100»; в 27 пробах проведены определения рудных, редких и редкоземельных элементов методом спектроскопии с индукционно-связанной плазмой с масс-спектрометрическим окончанием (ICP-MS) на масс-спектрометре X-Series II. Использованы методики и условия анализов, принятые в ЦКП «ИГЕМ – Аналитика» и ФГБУН ИГЕМ РАН. Точность анализа контролировалась путем измерения российских и международных стандартных образцов. Дополнительно, при построении диаграмм использованы силикатные анализы из литературных источников [Лебедев, 1950; Цветков, 1977] и геологических отчетов [Корсаков, Киричко и др., 1989].

Краткая петрографическая характеристика пород

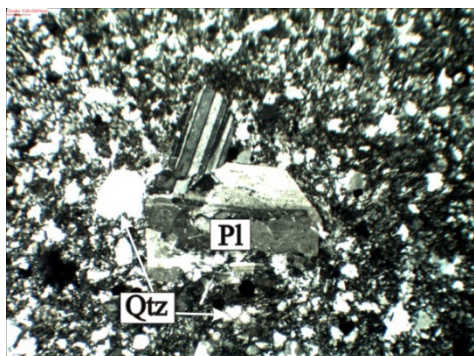
Среди исследованных пород преобладают базальтовые порфириты, мандельштейны, диабазы, риолиты, трахиты реже встречаются анальцимовые долериты и диабазы. **Базальтовые порфириты и мандельштейны** отмечены в виде маломощных лавовых потоков с характерной шаровой отдельностью. Структура порфировая и гломеропорфировая, основная масса апоинтерсертальная. Вкрапленники представлены деанортизированным иногда ситовидным плагиоклазом [рис. 2-1], содержащим включения карбоната (*in situ*) и выделения альбита. Основная масса образована удлиненными кристаллами, либо микролитами



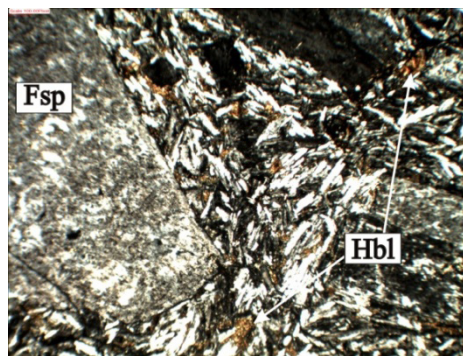
2-1. Базальтовый порфирит с ситовидным плагиоклазом (Д – 2,9) /
Basalt porphyrite with sieve plagioclase (D – 2,9)



2-2. Диабаз (Д – 2,9) /
Diabase (D – 2,9)



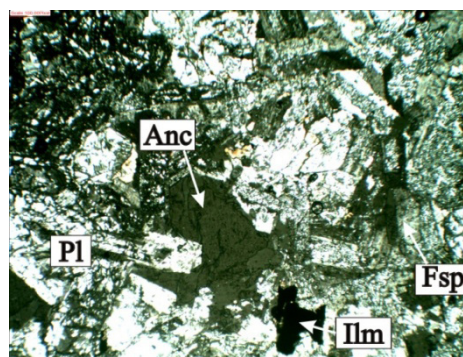
2-3. Гломеропорфировая структура риолитов (Д – 2,9) /
Glomerophyric rhyolite structure (D – 2,9)



2-4. Трахит калиево-натровый (Д – 2,9) /
Potassium-sodium trachyte (D – 2,9)



2-5. Трахит существенно-натровый (Д – 2,9) /
Trachyte substantially-sodium (D – 2,9)



2-6. Долерит анальцимовый (Д – 2,9) /
Dolerite analcime (D – 2,9)

Рис. 2. Микрофотографии пород (Д – диагональ снимка в мм) /
Fig. 2. Microphotographs of rocks (D – image diagonal in mm)

олигоклаз-андезина, в промежутках между которыми присутствует хлоритовый агрегат с примесью карбоната, цеолитов, окислов железа и лейкоксена. Часто в породе наблюдаются удлиненно-округлые миндалины, выполненные этими же минералами. **Диабазы** слагают дайки и силлы. Структура порфировая, гломеропорфировая, основная масса офитовая, участками пойкилоофитовая. Вкрапленники представлены плагиоклазом (андезин-лабрадор) реже авгитом [рис. 2-2]. Основная масса сложена преобладающим плагиоклазом (олигоклаз-андезин), авгитом цеолитами и редкими псевдоморфозами замещения. По оливину они выполнены серпентин-хлоритом с примесью талька и карбоната. **Трахирiolиты и риолиты** образуют протяженный горизонт и мелкие штоки. Встречаются их натровые и калиевые разновидности, которые пространственно разобщены. Структура порфировая и гломеропорфировая [рис. 2-3], основная масса фельзитовая и аллотриаморфнозернистая. Вкрапленники представлены пелитизированным альбит-олигоклазом либо анортоклазом в более калиевых разновидностях. Основная масса состоит из кварца и полевого шпата, сцементированных тонкозернистым агрегатом этих же минералов с примесью серицита, хлорита, карбоната и магнетита. **Трахиты** слагают силлы и мелкие лакколлиты. Отмечены калиево-натровые и существенно-натровые разновидности. Структура порфировая, гломеропорфировая основная масса трахитовая и бостонитовая реже микропойкилитовая. В калиево-натровых трахитах [рис. 2-4] вкрапленники представлены преимущественно пелитизированным калиево-натровым полевым шпатом (КПШ), реже кварцем. Основная масса сложена преобладающими микролитами КПШ с примесью кристаллов роговой обманки. В промежутках между микролитами присутствует кварц и хлорит. В существенно натровых трахитах [рис. 2-5] вкрапленники представлены альбит-олигоклазом, реже пелитизированным КПШ и иногда кварцем. Основная масса сложена преобладающими микролитами альбита, в промежутках между которыми присутствует кварц и хлорит. В обеих разновидностях отмечаются мелкие пустотки, с карбонатом, кварцем, хлоритом.

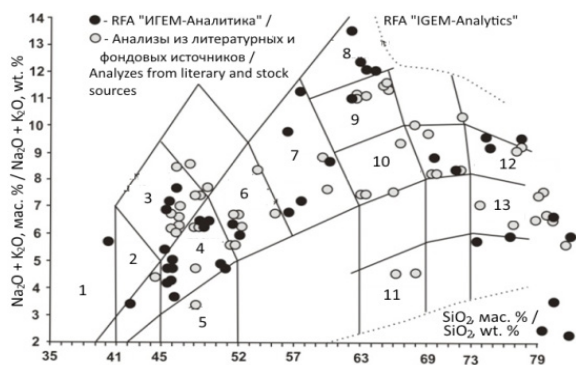
Долериты и диабазы анальцимовые слагают дайки и силлы. Структура гипидиоморфнозернистая, офитовая и пойкилоофитовая. Состоят они из удлиненно-таблитчатых кристаллов плагиоклаза (андезин-лабрадор), замещающихся альбитом, карбонатом, пренитом. В промежутках, между которыми отмечаются выделения КПШ, авгита, анальцима [рис. 2-6], биотита, хлорита и ильменита. Иногда в породе встречаются округлые обособления сложенные антигоритом и боулингом – псевдоморфозы по оливину и пустотки с цеолитом и пренитом.

Петрохимические и геохимические характеристики пород

На классификационной диаграмме $(Na_2O+K_2O) - SiO_2$ (рис. 3-1) фигуративные точки составов пород ХК расположены в поле щелочных и умеренно-щелочных пород, от щелочных базальтов и трахибазальтов до трахитов и умереннощелочных трахирiolитов. Присутствуют также нормально-щелочные риолиты, и ассоциирующие с ними ультракислые автометасоматиты. На диаграмме $Zr/TiO_2 * 0,0001 - Nb/Y$ (рис. 3-2) где критерием щелочности является Nb/Y отношение, точки составов группируются вдоль раздела пород известково-щелочной и щелочной серии, а в поля классических щелочных пород фактически не попадают.

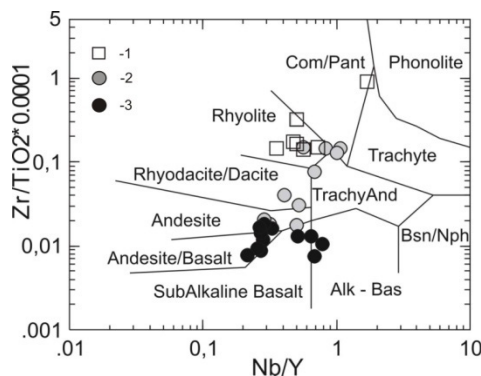
На диаграмме AFM (рис. 3-3) точки пород основного состава расположены в центральной части, а риолиты и трахиты преимущественно в щелочном углу. На диаграммах SiO_2 – петрогенные элементы (рис. 4) можно отметить, что при увеличении SiO_2 : концентрации Fe_2O_3 , CaO , P_2O_5 образуют непрерывные тренды с отрицательной корреляцией; Al_2O_3 , MgO , TiO_2 тренды с изломом. Содержания K_2O , Na_2O в породах среднего и кислого состава варьируют в широких пределах.

Основные породы (ОП) (табл. 1) высоко и умеренно титанистые, умеренно и низкомагнезиальные $Mg\# 0,55-0,61$; $Al^I 1,1-1,3$ (высокоглиноземистые); $Na_2O/K_2O = 2,6-77$. Трахиты

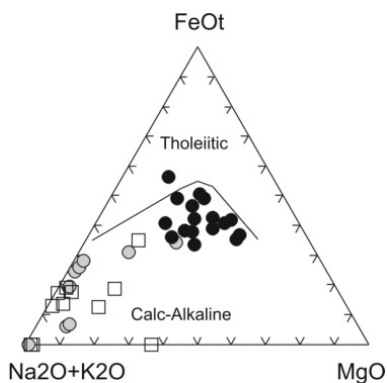


3-1. $Na_2O+K_2O) - SiO_2$:

1 – щел. пикриты; 2 – щел. пикробазальты; 3 – щелочные базальты; 4 – трахибазальты; 5 – базальты; 6 – трахиандезибазальты; 7 – трахиандезиты; 8 – щелочные трахиты; 9 – трахиты; 10 – трахидациты; 11 – низкощел. дациты; 12 – трахириолиты; 13 – риолиты /
 1 – Alkaline picrites; 2 – Alkaline picrobasalts; 3 – Alkaline basalts; 4 – Trachybasalts; 5 – Basalts; 6 – Trachandesibasalts; 7 – Trachandesites; 8 – Alkaline trachytes; 9 – Trachytes; 10 – Trachidacites; 11 – Low-Alkaline Dacites; 12 – Trachyrhyolites; 13 – Rhyolites



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



3-3. $(Na_2O+K_2O) - FeOt-MgO$

Рис. 3. Составы пород на классификационных диаграммах.

Условные обозначения: 1 – риолиты; 2 – трахиты; 3 – базальты, долериты, диабазы. На рисунке 3-1 разным цветом выделены XRF, выполненные в ЦКП «ИГЕМ – Аналитика» и ранее опубликованные в статьях и отчетах. /

Fig. 3. The composition of the rocks on the classification diagrams.

Legend: 1 – rhyolites; 2 – trachytes; 3 – basalts, dolerites, diabases. In Figure 3-1, XRFs are shown in different colors, made at the IGEM – Analytics Center and previously published in articles and reports.

$Mg\# 0,5-0,38$; $Al^I = 1,6-3,4$; $Na_2O/K_2O = 0,25-1,3$. Риолиты $Mg\# = 0,03-0,75$; $Al^I = 3,6-63$ (плюмазитовые $Al_2O_3 > CaO + K_2O + Na_2O$); $Na_2O/K_2O = 0,01-1,5$. По положению фигуративных точек ОП и трахитов на петрогенетических диаграммах $Zr/Y - Zr$ (рис. 5-1); $Zr/4 - Nb \times 2 - Y$ [Meschede, 1986] (рис. 5-2); $Y/15-La/10-Nb/8$ [Cabanis, Lecolle, 1989] (рис. 5-3) они диагностируются как внутриплитные, континентальные образования. На диаграмме $Sm/Yb-La/Sm$ [Школьник и др. 2009] (рис. 5-4) составы ОП группируются вблизи тренда плавления шпинелевых перидотитов. На диаграмме $Nb/Y - Zr/Y$ [Fitton et al., 1997; Condie, 2005] (рис. 5-5), точки ОП ХК сгруппированы вдоль линии ΔNb от PM к EN с концентрацией большинства

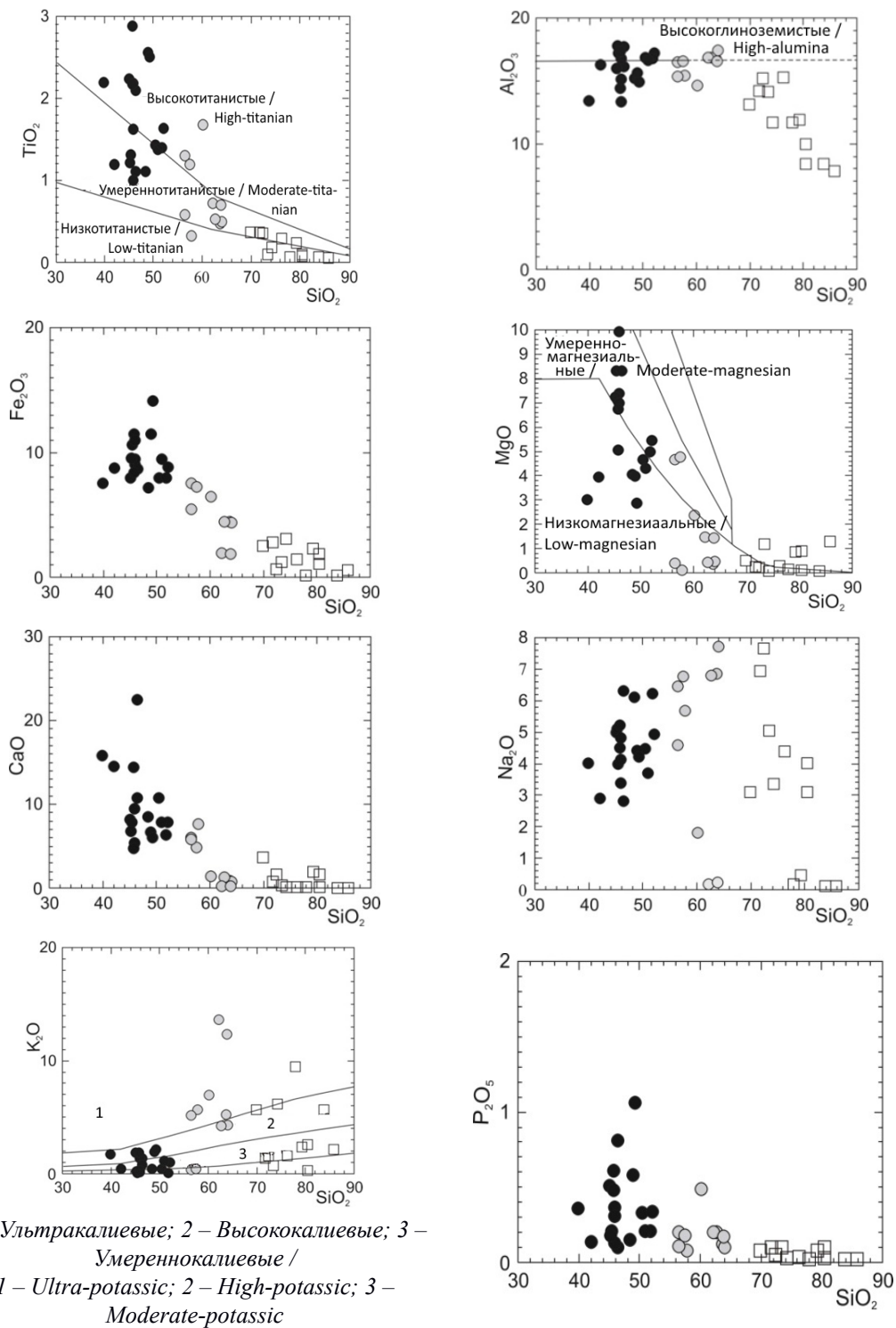


Рис. 4. Диаграммы концентраций петрогенных компонентов (в мас. %).

Условные обозначения см. на рисунке 3 /

Fig. 4. Diagrams of concentrations of petrogenic components (in wt. %). Conventions see figure 3.

точек в поле (*IAB*, *ACMB*) – пород островных дуг и активных континентальных окраин, вблизи с *EN*. Точки составов риолитов на диаграмме *Rb*- (*Y+Nb*) [Pearce et al., 1984] (рис. 5-6) сгруппированы в поле (*VAG*) – гранитов вулканических дуг и (*WPG*) – внутриплитных гранитов. На диаграммах *Ba/Th* – *Th/Yb* [Мартынов, 2010] (рис. 5-7) и *Th/Nd-Sr/Nd* [Гриб и др., 2012] (рис. 5-8) отмечается, влияние флюидной фазы на состав ОП и влияние на

магмогенез трахитов, но в большей степени – риолитов, т. е. расплавов образующихся при частичном плавлении метаосадков.

Спектры распределения редкоземельных элементов (рис. 6) нормированных к хондриту [San, McDonough, 1989] у ОП имеют вид наклонных линий, расположенных между профилями *OIB* и *E-MORB*. Трахиты имеют близкий с ОП профиль, с небольшим европиевым минимумом. Для риолитов и окварцеванных трахитов характерен существенно больший *Eu* минимум и широкий диапазон содержаний *REE*. В ОП $La^{II}/Sm^{II} = 1,3-2,5$, $Gd^{II}/Yb^{II} = 1,0-1,9$, La^{II}/Yb^{II} отношение (показатель степени фракционирования *REE*) в пределах 2,2-6,5. Величина количественного дефицита европия Eu/Eu^* ($Eu^* = (Sm_n + Gd_n)/2$) составляет 0,8-1,03. $\sum REE$ 86-135 г/т (табл. 2). В трахитах $La^{II}/Sm^{II} = 2,0-2,9$, $Gd^{II}/Yb^{II} = 0,8-1,3$, $La^{II}/Yb^{II} = 3,0-4,0$, $Eu/Eu^* = 0,52-1,2$, $\sum REE = 130-183$ г/т. В риолитах $La^{II}/Sm^{II} = 2,8-5,4$, $Gd^{II}/Yb^{II} = 0,7-1,1$, $La^{II}/Yb^{II} = 3,0-6,6$, $Eu/Eu^* = 0,04-0,5$, $\sum REE = 54-60$ г/т. Концентрации несовместимых элементов (рис. 6) в ОП нормированные к *N-MORB* [San, McDonough, 1989], образуют наклонные спектры, располагающиеся между профилями *E-MORB* и *OIB*. Отмечается обогащение пород *LILE*, *LREE* и высокочargedными элементами. Заметна положительная аномалии *Ba*. Для *Rb* и *K* характерен существенный разброс содержаний, у последнего отмечаются положительные и негативные аномалии. Трахиты при сравнении с ОП характеризуются более интенсивными положительными аномалиями – *K*, *Zr*, *Hf* и появившимися отрицательными, относительно *N-MORB*, аномалиями *Sr* и *Ti*. В риолитах и окварцеванных трахитах отмечаются положительные аномалии: *K*, *Zr*, *Hf*, *Th*; отрицательные аномалии *Sr*, *P*, *Eu*, *Ti*; и в ряде случаев негативные аномалии *Nb*, *Ta*.

Для уточнения геохимической специализации изучаемых пород составлены ранжированные ряды кларков концентрации ($K_k > 1,5$). Для долеритов и диабазов – $Ag_{8,0} Be_{3,0} Nb_{2,3} Hf_{1,6}$. Для базальтов и анальцимовых диабазов – $Ag_{10} Be_{4,3} Nb_{3,7} Cs_{3,6} Hf_{2,0} Ta_{1,7} Zr_{1,6}$. Для трахитов – $Ag_{12} Nb_{5,4} Hf_{3,3} Ta_{2,9} Be_{1,8} Y_{1,6} W_{1,5}$. Для риолитов – $Ag_{81} Nb_{4,6} Zr_{3,2} Hf_{2,1} Ta_{1,7}$. Геохимическая специализация в целом – $Ag_{27} Nb_{4,0} Hf_{3,0} Be_{2,3} Ta_{1,8} Zr_{1,8}$. Сравнение полученных формул с геохимией близких петрогеохимических типов разных геодинамических обстановок [Гусев, Кудрявцев и др., 1999] показывает, что изученные породы сопоставимы с породами внутриплитных обстановок: континентальных рифтов; океанических горячих точек; траптовых провинций и тыловых рифтов активных континентальных окраин. Геохимическая специализация литофильно-редкометаллическая и халькофильная.

Обсуждение результатов

Изученные породы представлены щелочными и умеренно-щелочными базальтовыми порфиритами, диабазами, анальцимовыми долеритами, трахитами, трахириолитами которые являются высоко и умеренно-глиноземистыми, высоко и умеренно-титанистыми, умеренно и низкомагнезиальными образованиями, среди которых отмечаются высоко-калиевые и высоко-натриевые разновидности и в связи с этим наблюдается изменчивая их щелочность ($Na_2O/K_2O = 0,03-77$). На модели равновесного плавления гранатового ($Ol55Opx25Cpx10Grt10$) и шпинелевого ($Ol55Opx25Cpx15Sp15$) перидотита (рис. 5-4), составы ОП группируются вблизи тренда плавления шпинелевых перидотитов, субконтинентальной литосферы (рис. 5-5). Ni/Co отношение варьирует от 1,8 до 5,4 (среднее 3,1), что соответствует характеристикам мантийных выплавов ($Ni/Co = 2,5-5,0$).

Умеренная и низкая магнезиальность ОП возможно, свидетельствует о том, что изучаемые породы являются производными уже предварительного эволюционировавшего расплава. Известно, что кристаллизационная дифференциация типичной минеральной ассоциации базитовых магм (*Ol*, *Cpx*, *Opx*) приводит к росту концентрации всего спектра *REE*, незначительно меняя их форму [Мартынов, 2010]. Субпараллельные тренды ОП и трахитов указывают на их происхождение из одной и той же родоначальной магмы. По-видимому, в

Таблица 1. / Table 1./

Результаты рентгено-флуоресцентного анализа (XRF) пород Хуламского комплекса (оксиды в весовых %; элементы в г/т) /
The results of X-ray fluorescence analysis (XRF) of rocks of the Hulam complex (oxides in weight%; elements in g / t)

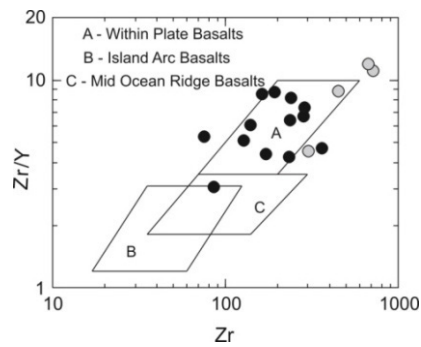
№ обр. / № sample	107	107-10	к-34/88	к-290/91	23/12	к-86/88	к-261/91	к-281/91	107-2	108-4	к-333/91	108-7	108-8	к-273/91
SiO ₂	48,46	50,50	51,82	45,93	45,09	45,81	60,22	56,43	63,68	57,88	80,49	83,83	77,93	74,28
TiO ₂	1,11	1,43	1,40	2,18	2,24	2,17	1,68	0,58	0,47	0,32	0,10	0,07	0,07	0,19
Al ₂ O ₃	15,17	16,82	16,75	15,15	15,98	17,31	14,63	15,34	16,73	15,43	9,94	8,42	11,66	11,66
Fe ₂ O ₃	7,15	7,97	7,98	11,01	7,99	8,42	6,47	5,45	4,45	0,34	1,12	0,19	0,16	3,11
MnO	0,22	0,45	0,14	0,25	0,14	0,11	0,06	0,22	0,11	0,41	0,01	0,01	0,01	0,06
MgO	4,06	4,65	4,97	6,98	4,69	6,74	2,37	0,40	0,35	0,12	0,11	0,09	0,15	0,08
CaO	8,46	10,77	6,35	5,40	8,16	4,80	1,42	5,84	0,86	7,64	0,11	0,02	0,15	0,16
Na ₂ O	6,10	4,48	6,22	4,81	4,98	5,22	1,80	4,59	6,84	5,68	4,01	0,12	0,18	3,36
K ₂ O	0,44	0,41	0,08	0,27	1,87	1,88	6,94	5,19	5,24	5,67	2,60	5,69	9,46	6,20
P ₂ O ₅	0,15	0,33	0,21	0,31	0,51	0,48	0,49	0,11	0,12	0,08	0,03	0,02	0,02	0,03
nnn	8,42	2,32	3,91	7,45	8,09	6,84	3,66	5,67	0,94	5,78	1,16	1,23	-	0,50
Сумма / Sum	99,74	100,13	99,83	99,74	99,74	99,78	99,74	99,82	99,79	99,35	99,68	99,69	99,79	99,63
Cr	173	129	182	213	121	103	24	13	-	-	<10	-	-	<10
V	123	146	175	221	173	208	174	17	17	-	<10	-	-	<10
Co	24	26	30	32	31	28	20	<10	5	-	<10	-	5	<10
Ni	77	60	63	105	139	92	18	<10	-	-	<10	-	-	<10
Cu	44	68	58	35	33	38	30	10	-	12	<10	-	-	<10
Zn	68	77	79	126	69	77	105	74	83	18	17	17	8	102
Pb	-	10	-	25	-	<10	<10	<10	-	61	15	166	107	<10
Rb	11	8	<10	<10	18	24	170	74	74	73	72	126	220	113
Sr	404	191	192	263	354	287	52	67	93	80	40	15	30	28
Ba	486	99	82	358	514	398	695	388	383	188	524	1304	801	201
Nb	11	11	12	20	29	27	33	35	56	49	10	10	12	179
Zr	204	172	233	288	238	282	301	449	691	480	175	103	115	1707
Y	38	39	45	39	37	42	66	51	53	87	21	28	24	106
Na ₂ O/K ₂ O	13,8	10,9	77,7	17,8	2,6	2,7	0,25	0,88	1,3	1,0	1,54	0,02	0,01	0,54
Al ^l	1,35	1,33	1,29	0,84	1,26	1,14	1,65	2,62	3,48	33,34	8,08	31,18	63,67	3,65
Mg#	0,55	0,55	0,54	0,55	0,52	0,61	0,38	0,14	0,15	0,3	0,12	0,5	0,75	0,03

Примечание: базальтовые порфириты и диабазы 107, 107-10, к-34/88, к-290/91; долериты и диабазы аналитические 23/12, к-86/88; трахиты к-261/91, к-281/91, 107-2, 108-4; трахириолиты и риолиты к-333/91, 108-8, к-273/91, 108-7.

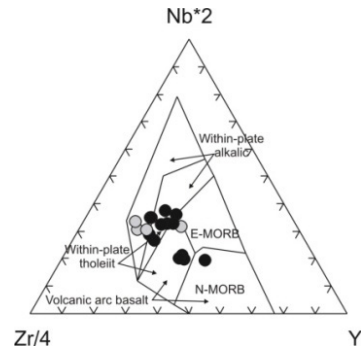
Таблица 2. / Table 2.

**Результаты ICP-MS анализа пород Хуламского комплекса /
Results of ICP-MS analysis of rocks of the Hulam complex.**

Элементы (г/т) / Elements (g/t)	Номера проб / Sample Numbers								
	к-34/88	к-290/91	107-10	23/12	к-86/88	к-261/91	к-281/91	к-333/91	108-8
<i>Li</i>	50	53	38	67	44	25	26	6,8	13
<i>Be</i>	1,2	1,6	1,2	1,3	2,2	2,9	3,7	1,1	1,0
<i>Sc</i>	24	12	20	20	12	9,8	2,6	<ПО	14,4
<i>Ti</i>	7302	11442	8856	10486	13633	9413	2881	468	455
<i>V</i>	148	180	175	200	197	152	4,2	1,6	2,0
<i>Cr</i>	155	131	131	116	89	11	<ПО	3,5	4,3
<i>Mn</i>	971	1627	974	1142	924	411	1380	50	8,7
<i>Co</i>	24	27	27	27	25	13	0,44	0,2	0,50
<i>Ni</i>	52	84	38	38	80	33	1,8	11	1,6
<i>Cu</i>	41	33	51	55	36	28	5,1	13	5,7
<i>Zn</i>	57	95	62	84	75	93	51	2,9	0,9
<i>Rb</i>	1,1	4,5	8,0	1,5	21	183	41	59	223
<i>Sr</i>	185	263	194	472	301	38	39	18	23
<i>Y</i>	30	23	29	31	27	49	36	11	12
<i>Zr</i>	137	256	180	199	276	281	439	125	109
<i>Nb</i>	9,5	29	15	17	35	39	48	5,9	5,6
<i>Mo</i>	<ПО	1,5	0,35	0,42	0,44	3,1	1,8	1,7	1,0
<i>Ag</i>	0,44	1,3	0,86	0,89	1,3	1,4	2,0	0,58	1,5
<i>Cd</i>	0,24	0,66	0,35	0,47	0,49	0,54	0,71	0,21	0,17
<i>Cs</i>	<ПО	0,09	13	0,06	7,2	0,60	0,24	0,14	0,38
<i>Ba</i>	64	351	244	375	399	708	323	418	622
<i>La</i>	11	20	11	13	23	29	22	11	10
<i>Ce</i>	28	43	27	32	51	67	44	23	23
<i>Pr</i>	3,8	5,1	3,7	4,2	6,2	8,3	6,1	2,4	2,8
<i>Nd</i>	17	22	18	20	27	36	26	8,9	11
<i>Sm</i>	5,0	4,6	4,5	4,9	6,0	8,1	6,0	1,7	2,3
<i>Eu</i>	1,5	1,4	1,6	1,7	2,1	1,4	1,6	0,1	0,24
<i>Gd</i>	4,9	4,7	4,9	5,3	5,9	8,1	6,1	1,4	2,1
<i>Tb</i>	0,88	0,85	0,91	1,0	1,0	1,5	1,2	0,29	0,45
<i>Dy</i>	5,6	5,0	5,8	6,4	5,9	9,9	7,3	2,0	3,0
<i>Ho</i>	1,2	1,0	1,2	1,3	1,2	2,0	1,4	0,46	0,65
<i>Er</i>	3,4	2,6	3,3	3,6	2,9	5,2	4,0	1,3	1,9
<i>Tm</i>	0,50	0,38	0,49	0,52	0,42	0,82	0,62	0,23	0,32
<i>Yb</i>	3,2	2,5	3,4	3,4	2,5	5,2	3,9	1,6	2,1
<i>Lu</i>	0,49	0,39	0,46	0,52	0,39	0,76	0,59	0,24	0,31
<i>Hf</i>	3,5	5,6	4,0	4,5	5,6	7,5	9,4	3,8	3,6
<i>Ta</i>	0,58	1,9	1,0	1,2	2,2	2,7	2,9	0,70	1,0
<i>W</i>	<ПО	0,05	0,94	0,06	<ПО	1,6	1,8	3,1	3,4
<i>Pb</i>	5,0	13,5	2,3	3,2	2,6	4,8	2,0	18,2	78
<i>Th</i>	1,9	3,6	1,4	1,7	2,8	10	6,0	6,4	9,0
<i>U</i>	0,52	0,92	0,36	0,35	0,85	2,6	1,8	2,5	1,6
ΣREE	86,47	113,52	86,26	97,84	135,51	183,28	130,81	54,62	60,17



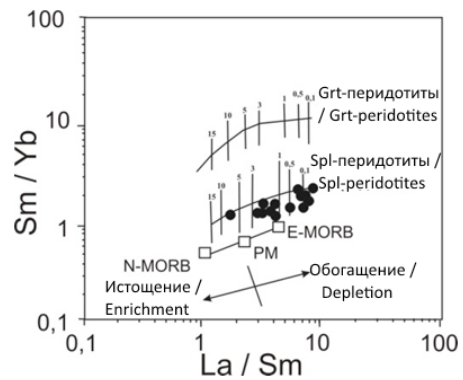
5-1. Zr/Y- Zr



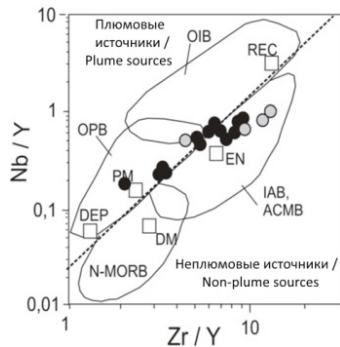
5-2. Zr/4-Nb*2-Y



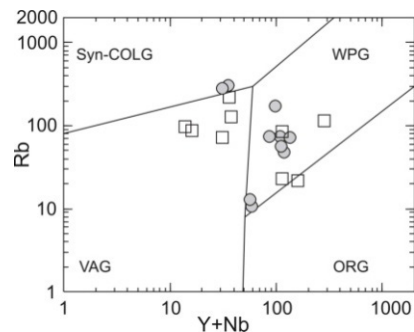
5-3. Y/15-La/10-Nb/8



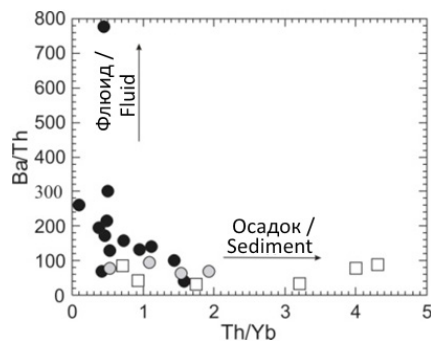
5-4. Sm/Yb-La/Sm



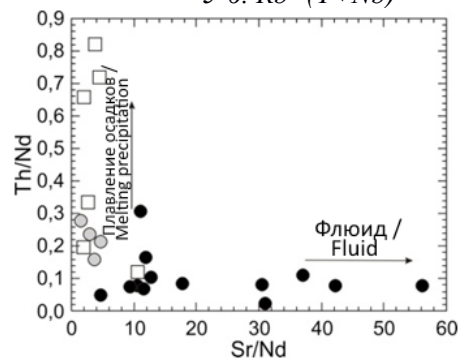
5-5. Nb/Y-Zr/Y



5-6. Rb- (Y+Nb)



5-7. Ba/Th – Th/Yb



5-8. Th/Nd-Sr/Nd

Рис. 5. Составы пород на петрогенетических диаграммах.

Условные обозначения см. на рисунке 3. /

Fig. 5. Compositions of rocks on petrogenetic diagrams. See legend in Figure 3.

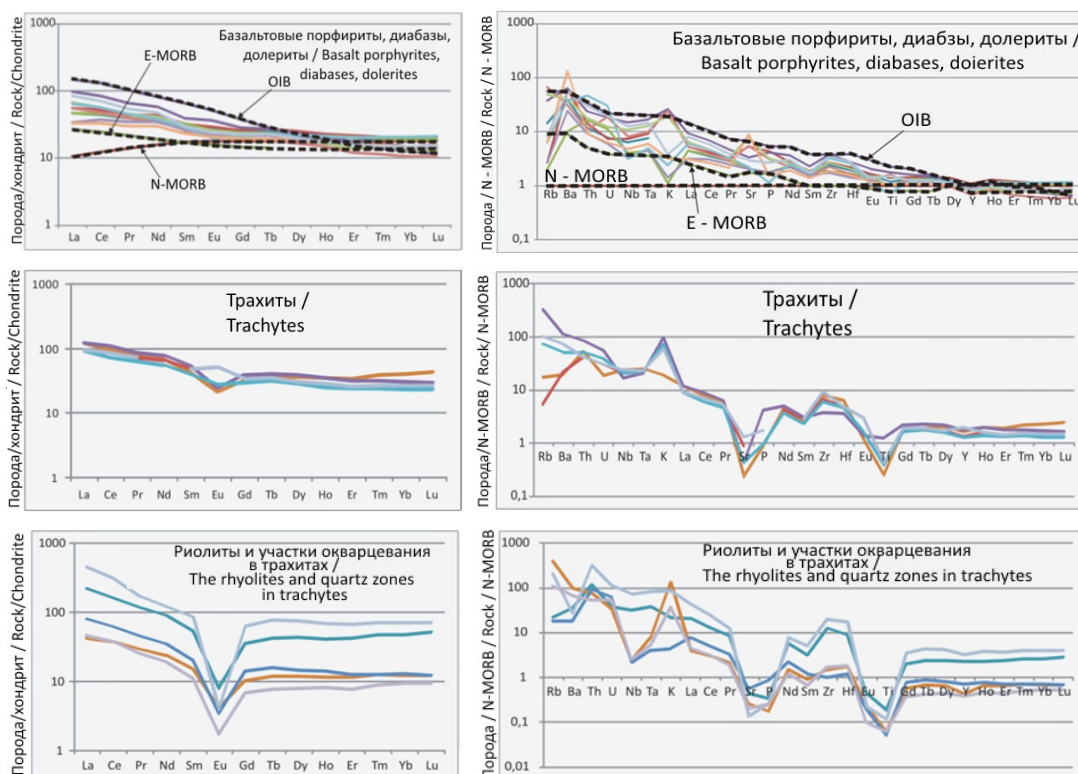


Рис. 6. Составы пород на спайдер диаграммах. Концентрации несовместимых элементов нормированные к N-MORB, концентрации REE нормированные к хондриту по [San, McDonough, 1989]. /

Fig. 6. Compositions of rocks on spider diagrams. Concentrations of incompatible elements normalized to N-MORB, REE concentrations normalized to chondritis [San, McDonough, 1989].

процессе магмообразования (рис. 5-6, 5-7) основанной расплав подвергался влиянию флюидной фазы. Индикатором флюидного компонента являются относительные концентрации Ba, U и Sr. Негативные аномалии Eu Sr, P, Ti в трахитах и риолитах преимущественно связаны с процессами фракционирования плагиоклаза, апатита, ильменита. При образовании риолитов имело место смешение трахитового расплава с выплавками, образовавшимися при частичном плавлении метаосадков. Надежным индикатором осадочного компонента в магмогенезисе является Th [Мартынов, 2010], содержание которого повышается в трахитах и риолитах (табл. 2).

Изучаемая ассоциация пород ХК в геодинамическом плане обычно рассматривается как островодужная, расположенная в тыловой зоне мезозойской палеоостровной дуги Северного Кавказа [Богатиков, Цветков 1988] или как образование Северокавказской нижне-среднеюрской трансформной континентальной окраины [Гусев 1990]. По положению на петрогенетических диаграммах (рис. 5-1, 5-2, 5-3) эти породы диагностируются как внутриплитные континентальные образования, либо как породы островных дуг и активных континентальных окраин (рис. 5-4, 5-6). Их геохимические формулы по ряду элементов также сопоставимы с породами внутриплитных обстановок и тыловых рифтов активных континентальных окраин. Важно отметить, что породы типичных внутриплитных обстановок – континентальных рифтов и горячих точек на нормированных спектрах несовместимых элементов и REE располагаются вдоль линии OIB и выше нее [Туркина, 2014], а в нашем случае они расположены между E-MORB и OIB. Сравнение ОП ХК с породами среднеюрской, задуговой структуры растяжения (СЗСП), расположенной южнее ХК на 10-15

километров [Газеев и др., 2018], позволяет констатировать однотипность спектров распределения *REE*, что, по-видимому, указывает на единство их родоначальных расплавов, но их дальнейшая эволюция, происходившая в разных структурных блоках, существенно различается. Считается, что позднеальпийские щелочные породы Кавказского региона формировались в районах относительно спокойной тектоники [Дзоценидзе, 1964], где возможна длительная дифференциация базальтовой магмы, что согласуется с геологической позицией магматических тел ХК, расположенных на южной окраине Скифской плиты. Отметим и то, что на диаграмме $Nb/Y - Zr/Y$ (рис. 5-5), учитывающей распределение высокозарядных элементов, вынесены области распространения конечных компонентов мантии: а) глубоко обедненный плюмовый компонент (*DEP*); б) обогащенный компонент (*EN*), включающий верхнюю часть континентальной коры и субконтинентальной литосферы; в) переработанный компонент (*REC*), включающий компоненты *EM1*, *EM2* и *HIMU*; г) компонент слабо деплетированной мантии (*DM*) и примитивной мантии (*PM*) [Туркина, 2014], точки ОП ХК сгруппированы вдоль линии ΔNb от *PM* к *EN* с концентрацией большинства точек вблизи с *EN*. Важно отметить, что породы СЗСР расположены ближе к *PM* [Газеев и др., 2018], но в целом, образуют единый тренд с породами ХК.

Известно, что с основными породами, трахитами и риолитами ХК ассоциирует полиметаллическое и *Au-Ag* оруденение [Курбанов и др., 2004], которое приурочено к вулканогенно-осадочной толще. Наиболее продуктивные тела локализованы в брекчиях вблизи контактов вулканогенных пород либо в риолитах. По полученным нами данным изученные породы имеют повышенные содержания *Ag* с *Kk* от 8 до 81 (*Au* не определялось). Содержания *Pb*, *Zn* находятся на кларковом уровне и ниже него. Появление подобного оруденения сложно объяснить особенностями кристаллизации магматических расплавов в период становления небольших штокообразных и силлоподобных тел. По-видимому, происходило взаимодействие остывающих субвулканических тел с захороненными, возможно минерализованными, вадозными и седиментационными водами с последующим выщелачиванием ими рудных компонентов из среднеюрской углеродосодержащей терригенной черносланцевой толщи (механизм конвективной ячейки).

Заключение

Изучены петрохимические и геохимические особенности щелочных и умеренно-щелочных разновидностей пород Хуламского комплекса. Установлено, что породы имеют повышенный уровень концентрации *Ag*, *Be*, *LILE*, *LREE* и высокозарядных элементов *Zr*, *Hf*, *Nb*, *Ta*. На основании сравнения спектров распределения *REE* предполагается, что ОП ХК и близкие с ними по составу породы СЗСР являются производными единой высокоглиноземистой магмы, возникшей при плавлении шпинелевых перидотитов. Однако, породы ХК, более обогащены компонентами континентальной коры и субконтинентальной литосферы. Эволюционные изменения расплава, на стадии образования трахитов и риолитов, включали фракционирование плагиоклаза, апатита, ильменита и частичное смешение с выплавками, образовавшимися при плавлении метаосадков. На основании геологических оценок высказано предположение, что полиметаллическое и *Au-Ag* оруденение ассоциирующее с вулканитами, образовано при взаимодействии остывающих субвулканических тел с захороненными вадозными и седиментационными водами из среднеюрской углеродосодержащей терригенной черносланцевой толщи.

Литература

1. Богатиков О. А., Цветков А. А. Магматическая эволюция островных дуг. – М.: Наука, 1988. – 241 с.

2. Газеев В. М., Гурбанов А. Г., Кондрашов И. А. Основные породы среднеюрского, задугового дайкового пояса Большого Кавказа (геохимия, вопросы петрогенезиса и геодинамическая типизация) // Геология и геофизика юга России. – 2018. – №2. – С. 16-29.
3. Гриб Е. Н., Леонов В. Л., Перепелов А. Б. Поперечная геохимическая зональность на примере Карымского вулканического центра // Вулк. и сейсмология. – 2012. – №5. – С. 25-40.
4. Гусев А. И. Петрофациальные типы нижнее-среднеюрских песчаников Северного Кавказа и геодинамические обстановки их формирования // Труды Дагестан. научн. центра АН СССР, ин-т Геол. – 1990. – С. 54-64.
5. Гусев Г. С., Кудрявцев Ю. К., Гушин А. В., Сурин Т. Н., Бескин С. М., Донец А. И., Ермолаев А. Н., Жабин А. Г., Куриленко Н. М., Онтоева Т. Д., Филатов Е. И., Ширай Е. П. Геохимическая и металлогеническая специализация структурно-вещественных комплексов. – Санкт – Петербург: ВСЕГЕИ, 1999. – 514 с.
6. Дзюценидзе Г. С. Тектоническое положение щелочных пород Кавказа // Происхождение щелочных пород. – М.: Наука, 1964. – С. 12-15.
7. Корсаков С. Г., Киричко Ю. А., Овсепянц Ю. А. и др. Геологическая карта Кавказа. Листы К-38-14-В, Г, К-38-27-А, К-38-15-В. – Ессентуки: ФГУГП «Севкавгеология», 1989.
8. Курбанов М. М. Поисковые работы в пределах Безингийского рудного поля в 2002-2004 гг. – Ессентуки. Фонды ФГУП Севкавгеология. Отчет о результатах работ. Т. 1. – 113 с.
9. Лебедев А. П. Юрская вулканогенная формация Центрального Кавказа // Труды института геологических наук. Изд. АН СССР Вып. 118. Петрографическая серия №33. – 1950. – 174 с.
10. Мартынов И. А. Основы магматической геохимии. – Владивосток: Дальнаука, 2010. – 215 с.
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. Письменный А. Н., Терещенко В. В., Перфильев В. А. и др. Государственная геологическая карта РФ. Листы К-38-VIII, XI. – Ессентуки: ФГУГП «Севкавгеология», 2001.
13. Туркина О. М. Лекции по геохимии магматического и метаморфического процессов. – Новосибирск: РИЦ НГУ, 2014. – 118 с.
14. Цветков А. А. Мезозойский магматизм центральной части Северного Кавказа. – М.: Наука, 1977. – 166 с.
15. Школьник С. И., Резницкий Л. З., Беличенко В. Г., Бараш И. Г. Геохимия, вопросы петрогенеза и геодинамическая типизация метавулкаников Тункинского террейна (Байкало-Хубсугульский регион). // Геология и геофизика. – 2009. – Т. 50. №9. – С. 1013-1024.
16. Cabanis V., Lecolole M. Le diagramme La/10-Y/15-Nb/8: un outil pour la discrimination des series volcaniques et la mise en evidence des processus de mélange et /ou de contamination crustale // C.R. Acad. Sci. Ser. II. – 1989. – Vol. 309. – Pp. 2023-2029.
17. 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.
18. Fitton J. G., Saunders A. D., Norry M. J. et al. Thermal and chemical structure of the Iceland plume // Earth Planet. Science Letter. – 1997. – Vol. 153. Pp. 197-208.
19. Meschede M. A. Method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nd-Zr-Y diagram. // Chemical. Geol. – 1986. – Vol. 56. – Pp. 207-218.
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.

References

1. Bogatikov O. A., Tsvetkov A. A. Magmatic evolution of island arcs. Moscow, Nauka, 1988. 241 p. (In Russ.)
2. Gazeev V. M., Gurbanov A. G., Kondrashov I. A. The basic rocks of the Middle Jurassic, back-arc dike belt of the Greater Caucasus (geochemistry, questions of petrogenesis and geodynamic typing). Geology and Geophysics of the South of Russia. 2018. No. 2. pp. 16–29. (In Russ.)

3. Grib E.N., Leonov V.L., Perepelov A.B. Transverse geochemical zoning on the example of the Karymsky volcanic center. *Volcanology and Seismology*. 2012. No. 5. pp. 25–40. (In Russ.)
4. Gusev A.I. Petrofacial types of Lower-Middle Jurassic sandstones of the North Caucasus and the geodynamic conditions of their formation. *Proceedings of Dagestan Scientific Center of the Academy of Sciences of the USSR, Institute of Geology*. 1990. pp. 54–64. (In Russ.)
5. Gusev G.S., Kudryavtsev Yu.K., Gushchin A.V., Surin T.N., Beskin S.M., Donets A.I., Ermolaev A.N., Zhabin A.G., Kurilenko N.M., Ontoeva T.D., Filatov E.I., Shirai E.P. Geochemical and metallogenic specialization of structural-material complexes. St. Petersburg: VSEGEI, 1999. 514 p. (In Russ.)
6. Dzotsenidze G.S. The tectonic position of the alkaline rocks of the Caucasus. The origin of alkaline rocks. M. Nauka, 1964. pp. 12–15. (In Russ.)
7. Korsakov S.G., Kirichko Yu.A., Ovsepyants Yu.A. et al. Geological map of the Caucasus. Sheets K-38-14-V,G, K-38-27-A, K-38-15-V. Essentuki: FGUGP “Sevkavgeologiya”, 1989. (In Russ.)
8. Kurbanov M.M. Exploration work within the Besingi ore field in 2002–2004. Essentuki. Funds of FSUE Sevkavgeologiya. Report on the results of work. Vol. 1, 113 p. (In Russ.)
9. Lebedev A.P. Jurassic volcanic formation of the Central Caucasus. *Proceedings of the Institute of Geological Sciences*. Ed. USSR Academy of Sciences. Issue 118. Petrographic series No. 33. 1950. 174 p. (In Russ.)
10. Martynov I. A. Fundamentals of magmatic geochemistry. Vladivostok: Dalnauka, 2010. 215 p. (In Russ.)
11. Nikishin A.M., Fokin P.L., Tikhomirov E.Yu. et al. 400 million years of geological history of southern Eastern Europe. M. GEOKART, GEOS, 2005. 351 p. (In Russ.)
12. Pis'mennyi A.N., Tereshchenko V.V., Perfil'ev V.A., et al. State geological map of the Russian Federation. Sheets K-38-VIII, XI. Essentuki: FGUGP “Sevkavgeologiya”, 2001. (In Russ.)
13. Turkina O.M. Lectures on the geochemistry of magmatic and metamorphic processes. Novosibirsk: RIC NSU, 2014. 118 p. (In Russ.)
14. Tsvetkov A.A. Mesozoic magmatism of the central part of the North Caucasus. M. Nauka, 1977. 166 p. (In Russ.)
15. Shkol'nik S.I., Reznitskii L.Z., Belichenko V.G., Barash I.G. Geochemistry, questions of petrogenesis, and geodynamic typification of metavolcanic rocks of the Tunkinsky terrane (Baikal-Khubsugul region). *Geology and geophysics*. 2009. Vol. 50. No. 9. pp. 1013–1024. (In Russ.)
16. Cabanis B., Lecolole M. Le diagramme La/10-Y/15-Nb/8: un outil pour la discrimination des series volcaniques et la mise en evidence des processus de mélange et/ou de contamination crustale. *C.R.Acad. Sci. Ser. II*. 1989. Vol. 309. pp. 2023–2029.
17. 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.
18. Fitton J.G., Saunders A.D., Norry M.J. et al. Thermal and chemical structure of the Iceland plume. *Earth Planet. Science Letter*. 1997. Vol. 153. pp. 197–208.
19. Meschede M.A. Method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nd-Zr-Y diagram. *Chemical. Geol.* 1986. Vol. 56. pp. 207–218.
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.* No. 42. 1989. pp. 313–345.