

СТАТЬИ

УДК 552.086

**МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ  
БИМОДАЛЬНОЙ ТРАХИПИКРОБАЗАЛЬТ-ТРАХИТОВОЙ СЕРИИ  
ВУЛКАНИТОВ САРАЛИНСКОГО ГРАБЕН-РИФТА  
(КУЗНЕЦКИЙ АЛАТАУ)**

**Гринёв О.М., Адылбаев Р.Р., Семиряков А.С., Морозова Е.Н., Гринёв Р.О.**  
*ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет»,  
Томск, e-mail: tomskgrom@yandex.ru*

В работе представлены результаты исследований авторов, обосновывающих выделение основных разновидностей девонских вулканитов трахипикробазальт-трахитовой серии и слагаемых ими морфоструктур Саралинского грабен-рифта. Среди вулканитов установлены: трахипикробазальты, габбродолериты, порфировые базальты, гломеропорфировые трахибазальты, а также порфировые фонотейфриты, трахиты и трахидациты. В составе базальтов установлены также метабазальты, как результат проявления поздне-постмагматической пропилитизации. По результатам исследования установлено, что нижняя часть разреза вулканитов, составляющая около  $\frac{3}{4}$  всего разреза, сложена грубо ритмичной толщей трахипикробазальтов, трахибазальтов, образующих плато в основании разреза. Выше располагаются индивидуализированные вулcano-тектонические морфоструктуры (ВТМ) дифференцированных базальтов средне- и мелкоритмичного строения с прослоями и линзами туфов и туфогенно-терригенных маломощных пород. ВТМ базальтов перекрываются фонотейфрит-трахит-трахидацитовой толщей, представленной рядом разрозненных и разновеликих полей экструзивного типа, которые на водоразделе хр. г. Лысой сливаются в единое экструзивно-лаваовое поле. Детальное изучение каменных материалов, а также полевое исследование разрезов грабена позволило наметить основные черты строения частных ВТМ грабена, их петрографический состав и положение в них пропилитов и связанных с ними кварцевых жил. В ходе петро-геохимического, а также электронно-микроскопического изучения вулканитов установлена их редкоземельно-редкометалльная и благороднометалльная специализация в виде многочисленных включений самородных металлов и их сплавов. Обилие микро-включений сульфидов, сплавов Cu, Ni, Sn, Zn, Fe, Sb, а также самородных Sn, Fe, Ag со следами присутствия в них ЭПГ указывают на повышенную благороднометалльную специализацию вулканитов грабена и подтверждают полученные ранее геохимические данные на этот счёт. Расположение микро-включений базитов в фенокристаллах, основной массе и миндалинах пород подтверждает их мантийное происхождение и перераспределение в ходе наложенных преобразований.

**Ключевые слова:** трахипикробазальт-трахитовая серия, Саралинский грабен, Кузнецкий Алатау, Алтай-Саянская складчатая область, растровая электронная микроскопия, пропилитизация

**MINERALOGICAL AND PETROGRAPHIC FEATURES  
OF THE BIMODAL TRACHIPYCBASALT-TRACHITE  
VOLCANITE SERIES OF THE SARALINSKY GRABEN-RIFT  
(KUZNETSKY ALATAU)**

**Grinev O.M., Adylbaev R.R., Semiryakov A.S., Morozova E.N., Grinev R.O.**  
*National Research Tomsk State University, Tomsk, e-mail: tomskgrom@yandex.ru*

The paper presents the results of the authors' studies, substantiating the identification of the main varieties of Devonian volcanics of the trachypicrobasalt-trachyte series and the morphostructures of the Saralin graben rift that they compose. Among the volcanic rocks, trachypicrobasalts, gabbrodolerites, porphyritic basalts, glomeroporphyritic trachybasalts, as well as porphyritic phonotephrites, trachytes, and trachydacites have been established. The basalts also contain metabasalts as a result of late postmagmatic propylitization. According to the results of the study, it was found that the lower part of the volcanic section, which makes up about  $\frac{3}{4}$  of the entire section, is composed of a roughly rhythmic sequence of trachypicrobasalts, trachybasalts, which form a plateau at the base of the section. Above are individualized volcano-tectonic morphostructures (VTM) of differentiated basalts of medium and fine rhythmic structure with interlayers and lenses of tuffs and tuffaceous-terriгенous thin rocks. The VTMs of basalts are overlain by a phonotephrite-trachyte-trachydacite sequence, represented by a number of scattered and different-sized fields of an extrusive type, which are located on the watershed of the ridge. Lysoy merge into a single extrusive lava field. A detailed study of stone materials, as well as a field study of graben sections, made it possible to outline the main features of the structure of partial VTMs of the graben, their petrographic composition and the position of propylites and associated quartz veins in them. In the course of petro-geochemical, as well as electron-microscopic study of volcanics, their rare-earth-rare-metal and noble-metal specialization in the form of numerous inclusions of native metals and their alloys was established. The abundance of microinclusions of sulfides, alloys of Cu, Ni, Sn, Zn, Fe, Sb, as well as native Sn, Fe, Ag with traces of the presence of PGE in them, indicate an increased noble metal specialization of graben volcanics and confirm the previously obtained geochemical data on this matter. The location of mafic microinclusions in phenocrystals, groundmass, and rock amygdulcs confirms their mantle origin and redistribution during superimposed transformations.

**Keywords:** trachypicrobasalt-trachyte series, Saralin graben, Kuznetsk Alatau, Altai-Sayan folded region, scanning electron microscopy, propylitization

Саралинский грабен-рифт является наиболее крупным в пределах Кузнецко-Алатауского горстообразного поднятия, обрамляющего Минусинский прогиб, представляющий самую крупную депрессию осевой депрессионной зоны Алтае-Саянского палеорифта (рис. 1). Он имеет непосредственную связь с Северо-Минусинской впадиной и сходство разреза со стратотипическим Матарак-Шунетским разрезом раннего девона Минусинской зоны [1]. А в пределах обрамляющего Минусу Кузнецко-Алатауского поднятия палеорифта он входит в закономерно расположенный структурный ряд однотипной серии грабенов северной части Кузнецкого Алатау. Грабены кулисно расположены относительно друг друга и трассируют серию субмеридиональных разломов-ответвлений от Кузнецко-Алатауского линейного с расположенными в них фрагментами офиолитов. К грабенам (Саралинскому, Растайскому, Талановскому) приурочен ряд щелочно-габброидных плутонов Кузнецкого Алатау, в совокупности с которыми они формируют раннедевонскую вулканоплутоническую ассоциацию [1, 2].

На первоначальных этапах изучения вулканитов грабена среди основных членов бимодальной серии были установлены промежуточные разновидности, занимающие на TAS-диаграммах поля трахиандезитов, андезибазальтов [1, 3]. Более детальное изучение характера смены базальтов трахитами в обнажениях позволило установить резкий переход между этими контрастными по составу членами единой серии. Вместе с тем в ряде мест среди базальтовых разновидностей были установлены под микроскопом метабазальты, как раз занимающие на TAS диаграмме промежуточное положение между контрастными членами серии. Наличие этих образований обусловлено проявлением поздней и постмагматических гидротермально-метасоматических процессов типа пропилитизации, особенно интенсивно проявленных в низах разрезов морфоструктур базальтоидов.

Более того, в дополнительно изученном широтном разрезе (в крест простирания грабена) по р. Левая Сарала, вскрывающем четыре вулканических ритма базальтовых излияний, в нижней его части наряду с пропилитами установлена серия кварцевых жил, имеющих послойно-сколовый характер. Эти материалы потребовали дополнительного изучения вулканитов для более точного выяснения состава как первичных

пород, так и их пропилитизированных разновидностей. Это тем более важно по причине того, что в ходе предыдущих исследований в вулканитах методом ИСР были установлены повышенные (до промышленных) концентрации благородных металлов.

Цель исследования заключается в уточнении минералого-петрографических и геохимических особенностей вулканитов грабена и их пропилитизированных разновидностей с целью выявления природы благороднометалльной специализации этих пород.

### Материалы и методы исследования

Каменный материал был получен в ходе геологических экспедиций 2017–2021 гг. Представительные образцы неизмененных и измененных пород были тщательно изучены под микроскопом, в шлифах, а также геохимически (РФА, ИСР-МС) и под растровым электронным микроскопом (РЭМом) в режиме картирования методом энергодисперсионного микроанализатора (ЕДС) в ЦКП «Геохимия природных систем» ТГУ ГГФ.

В ходе анализа фиксировался состав всех минеральных фаз составных компонентов вулканитов: основной массы, минералинов, наложенных минералов, а также их микровключений. Результаты исследований отражались в цифровых таблицах состава минералов и включений, геохимических спектрах и микрофотографиях.

### Результаты исследования и их обсуждение

*Основные черты стратиграфии терригенно-вулканогенной толщи грабена.* Относительно изученной является северная, наиболее широкая, часть грабена протяженностью около 40 км при ширине от 7 до 14 км. Вместе с южной суженной частью длина грабена составляет около 120 км. В общих чертах у грабена выделяется его базальная сероцветно-красноцветная толща, именуемая устькундустуюльской свитой (аналог красногорской свиты Кузнецкого Алатау). Датирована по находкам нижнедевонской флоры. Толща вскрыта эрозией в Юго-Западной прибортовой части северной половины грабена. Слагается главным образом массивно слоистыми конгломератами, песчаниками, подстилаемыми тонкослоистыми сероцветными известковистыми аргиллитами с включениями грубообломочного материала. Мощность толщи, вскрытой эрозией, изменяется от первых сотен метров до выклинивания. Толща трансгрессивно залегает на складчатых сооружениях R-V-С.

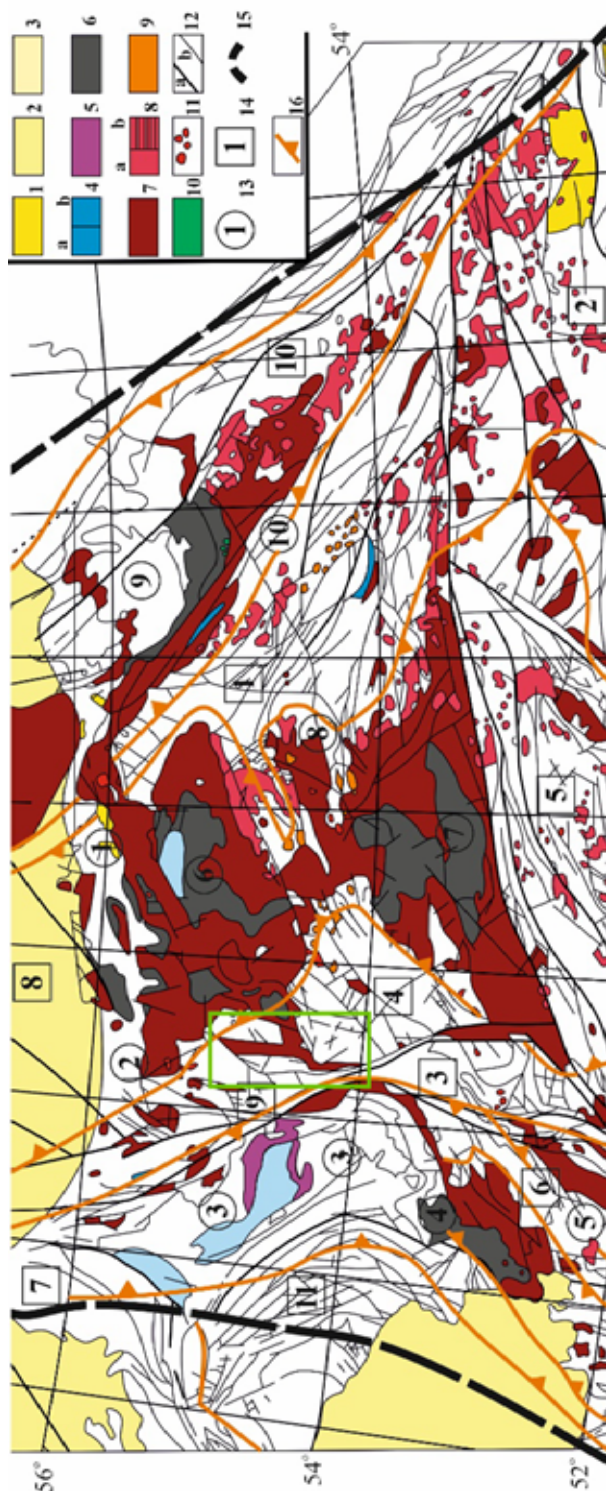


Рис. 1. Фрагмент структурно-тектонической карты девонско-каменноугольного этапа развития Алтае-Саянской складчатой области (АССО) и прилегающих территорий Западной Сибири и Монгольского Алтая. Составлена на основе [1] с дополнениями.

Стратифицированные отложения: 1 – рыхлые нерасчлененные неоген-четвертичные отложения межгорных и предгорных впадин; 2 – рыхлые миоцен-плиоценовые отложения Барнаульской впадины и осадочного чехла Западно-Сибирской плиты; 3 – меловые отложения чехла Западно-Сибирской плиты; 4 – юрские отложения осадочного чехла Западно-Сибирской плиты и млыдобразных впадин АССО (а) и юрские отложения грабенообразных впадин АССО (б); 5 – триасовые отложения Кузнецкого прогиба; 6 – каменноугольные отложения внутренних частей девонских впадин; 7 – девонские отложения синтетонических депрессионных структур АССО и прилегающих частей Западной Сибири и Монгольского Алтая. Интрузивно-субвулканические образования девона – карбона: 8 – ранне-иранне-среднедевонские тела гранит-лейкогранитового состава (а) и верхнедевонско-ранне-каменноугольные тела гранодиоритов-плагиогранитов (б); 9 – среднедевонские тела долеритов, габбро, сиенитов, целочных и нефелиновых сиенитов, граносиенитов; 10 – субвулканические тела ранне-среднедевонских базальт-риолитового базальто-гранитового комплекса, черносопкинского комплекса и верхнедевонско-раннекаменноугольного торгальского (габбро-диабазы, габбро, сиенит- и гранит-порфиры) комплекса; 11 – массивы целочных нефелиновых и лейцит-кальцитовых пород г. Сокол, Сангиленга и Прихубусуля; 12 – разрывные нарушения: разломы первого и второго порядков (а); разломы третьего и четвертого порядков (б); 13 – названия седиментационных структур: 1 – Южно-Минусинская впадина, 8 – Сыдо-Ербинская, 9 – Кузнецкий прогиб, 5 – Тельбесский прогиб, 14 – названия горстообразных структур обрамляющих поднятий: 1 – Восточный Саян (Кембросаян), 2 – Восточная Тува, 3 – Горно-Шорский грабен, 4 – Агульская впадина, 6 – Северный Саян, 6 – Кобдинский блок, 7 – Кольвань-Томская область герцинид, 8 – Приалтае-Саянский пояс салиридо-каледонид, 9 – Северная часть Кузнецкого Алатау, 10 – Восточный Саян (Протеросаян), 11 – Салаир; 15 – контуры плюм-рифтогенной системы; 16 – контуры депрессионных зон и обрамляющих поднятий. Зелёный прямоугольник – Саралинский грабен

Выше залегает непрерывная ритмично построенная толща базальтов с маломощными прослойками терригенно-туфогенных пород. Мощность толщи достоверно не установлена. Её нижняя часть, кроме юго-западной прибортовой зоны, эрозией не вскрыта. Строение разреза базальтов установлено для вскрытой эрозией части. Общее представление о нижней части разреза вулканитов даёт разрез, составленный В.П. Болтухиным (1972), опубликованный в [4]. Он хорошо демонстрирует ритмичное, куэстообразное наложение вулканитов вдоль р. Правая Сарала. Интерпретация диагонального разреза В.П. Болтухина с соавт. (1972) показывает, что в его составе выделяется 9 вулканических ритмов, два из которых (первый и седьмой) имели мощность в пределах 340–360 м, а остальные – от 80–140 до 200 м.

Общая их мощность по графическим построениям составляет в пределах 1660 м, без учета эрозионного среза и возможности дальнейшего наращивания разреза в северо-восточном направлении.

Эта часть разреза параллелизуется с базырской свитой Горячегогорского разреза В.Н. Маркова и др. (1984). А.Н. Уваров коррелирует её с нерасчленённой частью базырско-берешских субщелочных и нефелиновых вулканитов Горячегогорского плато [3].

Проведенный нами морфоструктурный анализ современного рельефа северной по-

ловины грабена показал, что в качестве стратиграфически единой толщи вулканитов, заливавших скорее всего озерный бассейн с расчлененным основанием дна, можно рассматривать лишь нижнюю часть базальтовой толщи, образовавшей своеобразное плато. В дальнейшем на этом плато формировались частные и полуслившиеся вулканотектонические морфоструктуры (ВТМ). Представление об их строении даёт разрез, составленный по р. Левая Сарала (рис. 2). В этом разрезе мы видим так же ритмичное наложение вулканитов с общей мощностью ритма около 80–90 м, состоящего из подритмов, мощностью около 20 м. Этот ритм перекрывается мощной пачкой туфобрекчий, афировых базальтов и туфопесчаников, мощностью до 25 м, которые, возможно, будут использоваться для расчленения более высоких по разрезу горизонтов вулканитов. В нижней части этого разреза были установлены зоны пропилитизации и кварцевые жилы послойно-секущей сложной морфологии.

Подритмы (или пачки) вулканитов ритмов содержат в своем составе серии потоков (от 3 до 7), каждый из которых имеет миндалекаменные оторочки и верхние шлаково-брекчиевые туфо-лавовые зоны. Наиболее мощные ритмы (200–360 м), по-видимому, формировали лавовые озёра или сопровождалась внедрениями силлов габбро-долеритов.

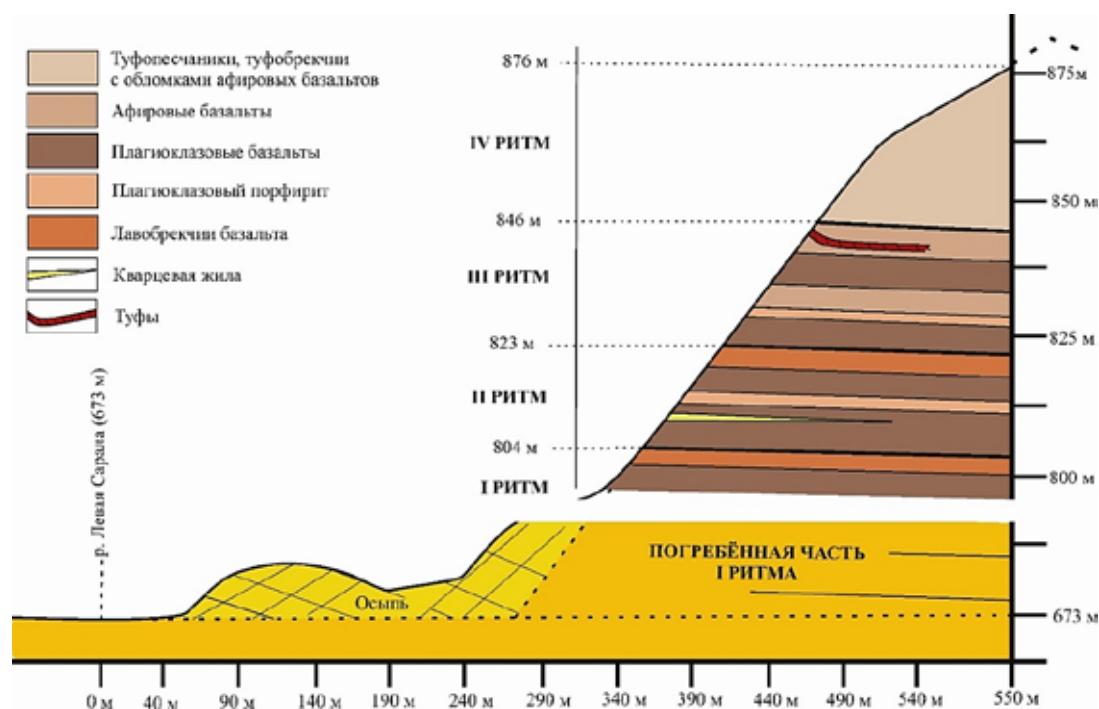


Рис. 2. Схематический разрез левого борта р. Левая Сарала Саралинского грабена



В некоторых ВТМ северной половины грабена эрозией вскрыты штокообразные тела тералитов с площадью от долей до 1–2 км<sup>2</sup> (в верховьях рек Андриюшкина речка и Лапинская).

Верхняя часть вулканогенного разреза грабена представлена трахитами и трахидацитами. Эти породы венчают базальтовые накопления ВТМ в виде эрозионных останцов округлой и неправильной формы в пределах водораздельной части хр. г. Лысой. Площадь их варьирует от 1–2 до 3–5 км<sup>2</sup>. Они образуют своеобразный ореол останцов в междуречье рек Левая Сарала – Юзек, окружающих основное поле трахитов-трахидацитов, расположенное в верхней части хр. г. Лысая размерами 20х2–4 км. Верхние части этого поля и некоторых останцов трахитов А.Н. Уваров отнес к аналогам ашпанской толщи Горячегогорского плато [3]. У некоторых останцов эрозии трахитов установлены эруптивные подводящие каналы. Тогда как основное тело их представляет собой слившиеся поля близко расположенных ВТМ базальтового состава. В нижних частях разрезов трахиты обладают ритмично-полосчатыми текстурами типа выдержанной флюидалности и расслоенности, по-видимому, указывающими на их субвулканическое происхождение. Верхняя часть разреза сложена продуктами эруптивных извержений и образует мелкообломочные звенящие каменные осыпи на склонах хр. г. Лысой. Иногда в субвулканических образованиях трахитов наблюдаются их эруптивные брекчии, сцементированные ярко-красными стекловидными яшмоидами. Мощность толщи трахитов-трахидацитов может составлять около 400–500 м, без учета их эрозионного среза.

*Особенности тектоники грабена и влияющих его вулканитов.* В первом приближении строение терригенно-вулканогенных толщ представляется довольно простым. Они характеризуются моноклинальным залеганием, подчеркиваемым куэстообразным типом рельефа, отражающим ритмичное строение вулканитов. Простираание толщ север-северо-западное, реже северо-западное и запад-северо-западное под углами падения 25–40°, редко 15°.

Примерно посредине грабена в районе н.п. Подвинск предшественниками откартирована пологая синклиналиная складка, выполненная в замковой части мелкоритмичными дифференцированными трахибазальтами, слагающими Жунделевскую (Подвинскую) ВТМ. Морфоструктура наложена

на деформированную платобазальтовую толщу грабена и перекрывается двумя останцами экструзивных трахитов. Общее строение вулканитов северной части грабена позволяет предположить, что подобные складки присутствуют и севернее Подвинска. То есть по простиранию платобазальтовая толща как бы сгофрирована в серию пологих складок. Южная, суживающаяся по простиранию половина грабена устроена значительно проще и представляет собой непрерывную серию куэстообразных гряд, сменяющих друг друга в южном направлении.

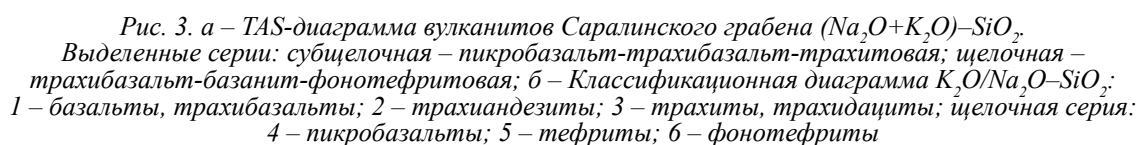
Бортовые зоны грабена имеют разломный характер. В основном контакты стратифицированных толщ грабена сорваны протяженными субмеридиональными разломами, но в отдельных блоках эрозией вскрыты первичные трансгрессивные контакты терригенных и вулканических толщ с подстилающими додевонскими дислоцированными породами.

Западный борт грабена приподнят в рельефе до отметок 800–1000 абс. м, а восточный опущен до высотных отметок 700–800. Разломная система восточного борта более сложная, осложненная дополнительными нарушениями. Внутренняя зона вулканогенных толщ в разной степени разбита равномерной системой субширотных ветвящихся разломов, расходящихся под углом от 80 до 60°. Наиболее ярко проявленной подобной структурой, с глубоким уровнем эрозионного среза, являются разломы р. Правая и Левая Сарала, сопряженная с прибортовым субмеридиональным разломом.

В первом приближении и в поперечном сечении толща вулканитов грабенов напоминает структуру кинг-бенд с приподнятым западным и опущенным восточным флангами. Ветвящиеся разломы имеют сколовый характер.

*Петрографический и петрохимический состав вулканитов грабена.* Среди основных разновидностей вулканитов грабена выделены: пойкилоофитовые габбродолериты, миндалекаменные порфиновые базальты и гломеропорфиновые трахибазальты, а также порфиновый фонотэфрит, трахиты и трахидациты. В составе базальтоидных разновидностей установлены порфиновые metabазальты как результат проявления поздне- и постмагматической пропилитизации.

По результатам петрографических исследований установлено, что магматиты грабена представлены доминирующими вулканитами, а также несколькими плутонами и дайками субщелочного и щелочного рядов.



Базальтовые разновидности вулканитов сложены: оливином, титан-авгитом (фассаитом), амфиболами, реже биотитом, плагиоклазами (основного среднего состава), альбитом и примесью КППШ. Трахиты, трахидациты слагаются средним – кислым плагиоклазом, калишпатом, кварцем, реже эгирином и реликтами оливина. Породы постоянно содержат акцессорную минерализацию в качестве ильменита, титаномagnetита, магнетита. В трахитах-трахидацитах периодически отмечается незначительное количество рутила. Стоит отметить, что содержание рудных аксессуаров в основных вулканитах составляет от 5 до 10, а иногда и 15 %. Акцессорные минералы в основном представлены апатитом, карбонатами РЗЭ, фосфатами РЗЭ, флюоритом, цирконом, бадделейтом. Во всех разновидностях установлены многочисленные микровключения самородных металлов и сплавов как в порфировых выделениях, основной массе, так и в миндаликах.

Минералогический состав разновидностей  
 трахипикробазальт-трахитовой серии Саралинского грабена

Классификация минералов		Порода	Базальты			Метабазальты		Трахиты-трахидациты		
			Массивный, пойкило-офитовый габбро-долерит (3 шлифа)	Миндалекаменный, порфировый базальт (6 шлифов)	Миндалекаменный, гломеропорфировый трахибазальт (3 шлифа)	Массивны порфировый метабазальт (4 шлифа)	Миндалекаменный, порфировый метабазальт-трахиандезит (6 шлифов)	Массивный, порфировый фонотэфрит (1 шлиф)	Массивный, пилотакситовый трахит (7 шлифов)	Массивный порфировый, трахидацит (9 шлифов)
Породообраз.	Меланократ.	Минерал								
		*Оливин	•	•	•		•			•
		Ti-авгит	•	•	•	•	•			
		Эгирин							•	
		Роговая обманка	•	•						•
		Гедрит					•	•		•
	Лейко-кратов	Куммингтонит	•							
		Биотит		•			•			
		Лабрадор	•	•		•				
		Альбит				•	•	•		•
		КПШ	•		•				•	
		Ортоклаз					•	•	•	•
Рудные окислы		Кварц						•	•	•
		Ильменит	•	•		•	•			•
		Ti-магнетит	•	•			•	•	•	•
		Магнетит		•	•	•	•	•	•	•
Акцессорные		Рутил						•	•	•
		Карбонат P3Э			•					
		Фосфат P3Э			•					
		Полуторная окись церия							•	
		Апатит	•	*•	*•	•	•	•		•
		Флюорит								•
		Циркон	•					•	•	
Самородные элементы и сплавы		Бадделеит						•		
		Олово			•		•			
		Серебро	•	•			•		•	
		Медь		•						
		Железо		•		•	•			
		Cu-Zn	•		•					
		Cu-Ni		•			•			
		Cu-Sn	•							
		Cu-Sn-Sb	•	•						
		Fe-Zn		•						
		Fe-Cr-Ni	•	•						
		Fe-Cu	•							
		Fe-Ni-Cu	•	•			•			
		Ni-Cu-Sn, Hg	•				•			
		Ag с Pd, Ru		•					•	
Сульфиды		Галенит	•	•						
		Халькопирит	•					•		
		Пирит	•							
		Сфалерит	•							
		Ковеллин		•						
		Халькоцит		•			•			

Окончание табл.

Классификация минералов	Порода Минерал	Базальты			Метабазальты		Трахиты-трахидациты		
		Массивный, пойкило-офитовый габбро-долерит (3 шлифа)	Миндалекаменный, порфировый базальт (6 шлифов)	Миндалекаменный, гломеропорфировый трахибазальт (3 шлифа)	Массивны порфировый метабазальт (4 шлифа)	Миндалекаменный, порфировый метабазальт-трахиандезит (6 шлифов)	Массивный, порфировый фенотектит (1 шлиф)	Массивный, пилотакситовый трахит (7 шлифов)	Массивный порфировый, трахидацит (9 шлифов)
Вторичные	Альбит	•	•						
	Кальцит		•	•	•				•
	Хлорит	* •	•	•	* •	* •	* •	* •	* •
	Эпидот	•				•			
	Иллит		•						
	Мусковит					•			
	Титанит		•	•		•			•
	Кварц	•	•	•	•	•			
	Анальцим	•							
	Барит						•	•	•
	Охотскит								•
	Пренит					•			
	Родохрозит								•

Примечание: \* – наличие минералов установлено при изучении пород в шлифах

Элементный набор представлен включениями: Sn, Ag, Cu, Fe, Cu–Zn, Cu–Ni, Cu–Sn, Cu–Sn–Sb, Fe–Zn, Fe–Cr–Ni, Fe–Cu, Fe–Ni–Cu, Ni–Cu–Sn (+Hg), Ag с примесью Pd, Ru, Rh, а также сульфидами – галени- том, пиритом, сфалеритом, ковеллином, халькоцитом, халькопиритом. Все суль- фиды преимущественно сосредоточены в вулканитах базальтовой разновидности за исключением последнего. Основны- ми вторичными минералами, развитыми по породам, являются: альбит (исключи- тельно базальтовые разновидности), хло- рит, мусковит, кварц, титанит, анальцим, барит (трахитовые разновидности), родох- розит и охотскит (третья находка в мире). Интенсивность вторичных изменений различна, участками интенсивная вплоть до формирования кварцевых жил, пропи- литов и метабазальтов, специализирован- ных на благородные металлы.

*Геохимический состав вулканических серий.* Содержания микроэлементов в уста- новленных сериях пород на геохимическом уровне отражают особенности процессов дифференциации исходных магм, отчётли- во проявленные на петрохимическом уров- не, а также их геохимическую специфику.

Распределение геохимических спектров базальтоидов Саралы как на рис. 4, а, б, го- ворит о проявлении тенденции контрастной дифференциации магматического расплава на две составляющие – субщелочную и ще- лочную, последняя из которых, по-видимому, до конца не была реализована, так как среди них нет нефелиновых разновидностей. При всем при этом для спектров всех пород от- мечаются идентичные положительные (Ba, Rb, Th, Nb, U, Lu–Nd, Zr и Sm) и отрицатель- ный (Ga, Ta, Sr, Hf и Ti) пики содержаний микроэлементов, за исключением тефритов, трахибазальтов, и фенотектитов у которых отрицательные пики содержаний Ta и Hf выбиваются из общего фона, отражая тем самым эту особенность их геохимического состава. Относительно известных геохими- ческих индикаторов (рис. 4) изученные вул- каниты грабена ближе всего соответствуют реперу OIB, занимая пространство между линиями N-MORB и OIB, имея при этом как общие, так и индивидуальные геохими- ческие черты. Салическая часть вулканитов грабена (трахиандезиты, трахиты и трахида- циты), обнаруживают те же геохимические черты, что и отмеченные для базальтоидов (рис. 4, в, г), но при этом у первых они вы-



ражены значительно резче. Отметим, что в спектрах базальтоидов и трахитов слабо проявлен Eu минимум. Более того, отрицательные пики микроэлементов у салитов выражены резче, чем у базальтоидов, причем не только у Ga, Ta и Hf, но и у Sr и Ti. То есть салиты по отношению к базальтоидам резко обеднены этими элементами вследствие фракционирования исходных магм и возможного влияния других факторов эволюции магматической системы, например контаминации коровым веществом.

Геохимические данные указывают на генетическое родство всех членов вулканической серии Саралинского грабена, а также на основании данных прошлых лет [1, 3], породы хорошо сопоставимы с базальтовыми и безнефелиновыми берешскими вулканидами Горячегогорского региона.

*Геодинамика, источники вещества и исходные магмы.* В ранее опубликованных работах [3] авторами, с опорой на индикатор  $Eu/Eu^*$  Балашова (1976), рассчитанный и для исследованных пород, установлено, что все члены серии вулканидов Саралинского грабена являются мантийными производными [6–8]. Вулканиды грабена обнаруживают близость составов породам примитивной (PM) и обогащенной мантии EM-1 с высоким значением  $Nd/Sm$ , близки

составам OIB, не достигая поля рециклингового компонента (рис. 5, а). Составы пород располагаются в поле плюмовых источников вещества. Стоит отметить, что вулканиды близки по составу к исходным расплавам OIB, простирая ряд точек в сторону источника N-MORB, при частичном влиянии состава E-MORB (рис. 5, б). На диаграмме (рис. 5, в) локализуются изученные вулканиды в основном в секторе WPVZ – внутриплитных вулканических зон, вытянутых между реперами E-MORB и OIB, тогда как миндалекаменные трахиандезиты попали в сектор базальтов океанических островных, что скорее связано с их аутометасоматическими изменениями. В качестве исходных (рис. 5, г) рассматриваются магмы, из которых кристаллизовались пикробазальты и базальты – трахибазальты, соответствующие по составу умеренно щелочным пикробазальтам и базальтам Восточно-Африканского рифта, гавайитам, сибирским траппам (толеитам) и высокоглинозёмистым субщелочным базальтам Стинс Маунтэн, генерировавшихся на предельных глубинах зон выплавления толеитов и начала выплавления щелочных магм. Диаграммы свидетельствуют о принадлежности выделенных серий к внутриплитным и рифтогенным образованиям.

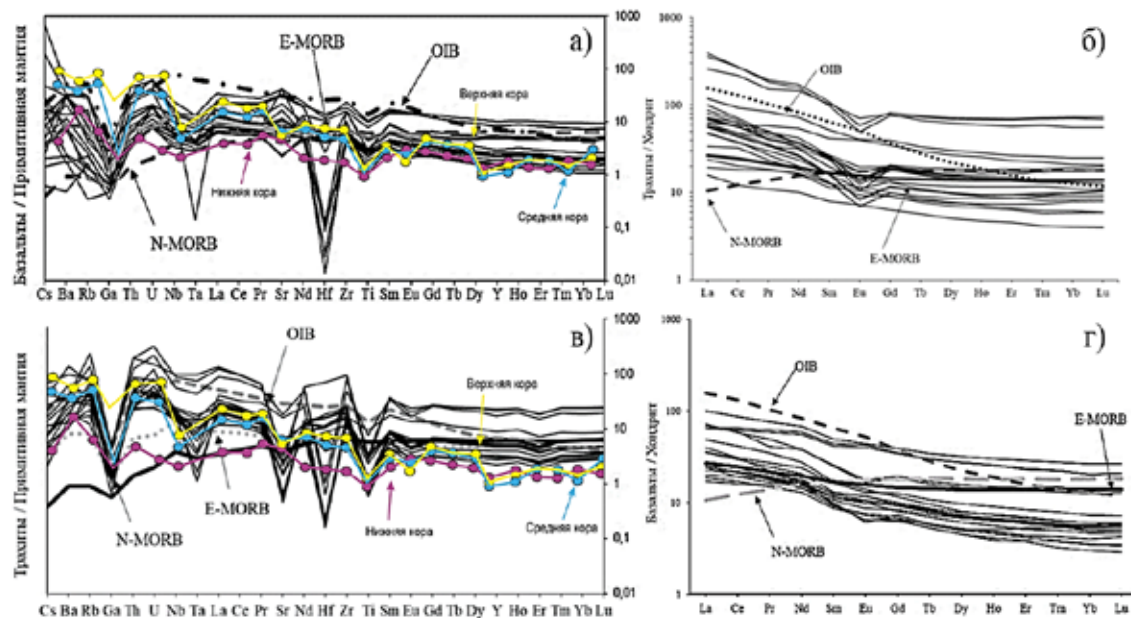


Рис. 4. Мультиэлементные спайдерграммы для базальтов (а), трахитов (в) и редкоземельные для базальтов (б) и трахитов (г) Саралинского грабена. Составы нижней, средней, верхней коры по [5]

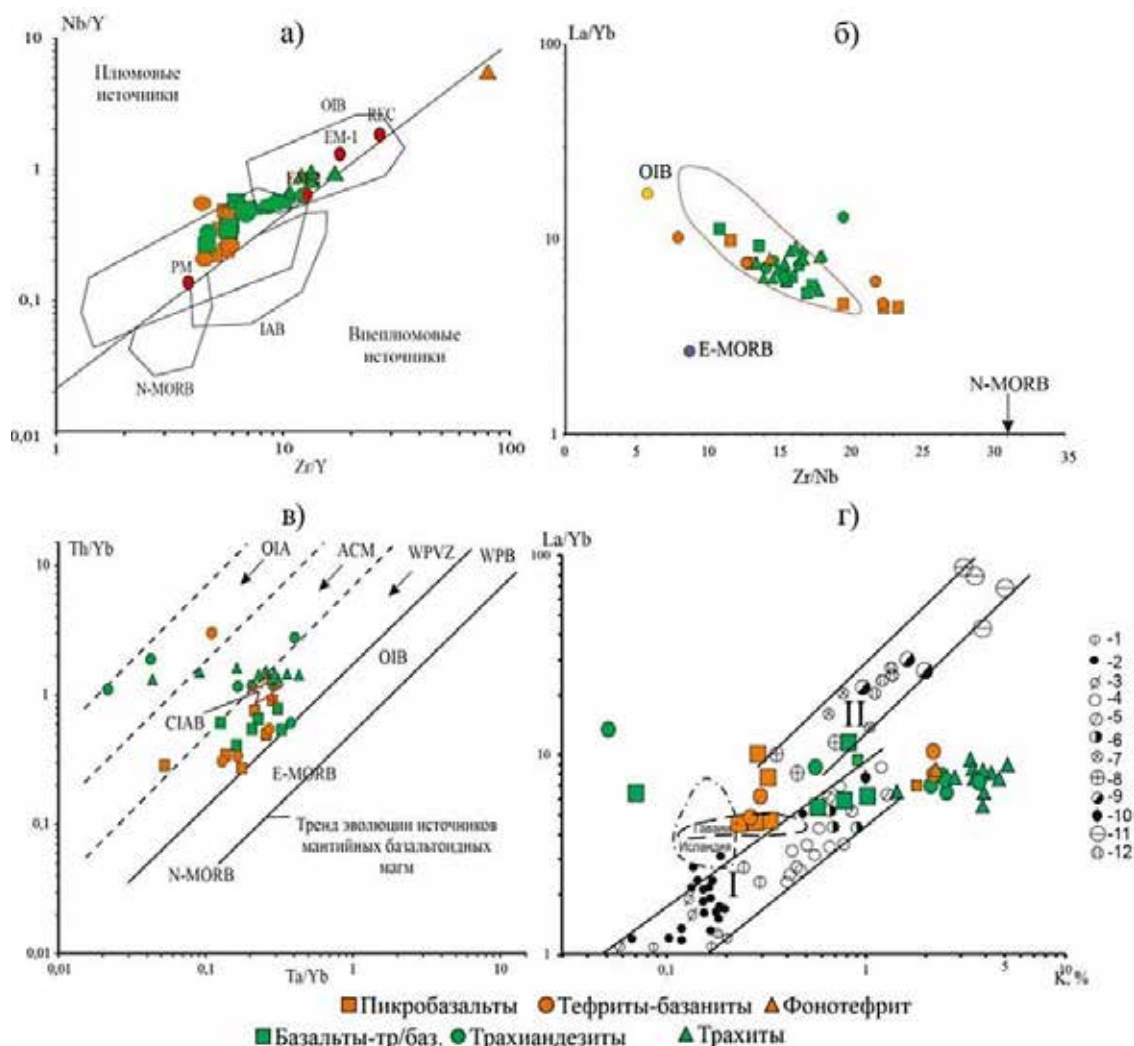


Рис. 5. Геохимические индикаторы источников вещества вулканитов Саралинского грабена: а – Nb/Y-Zr/Y; б – La/Yb-Zr/Nb. Точки и поля составов разных типов базальтов и магматических источников: N-MORB – срединно-океанических хребтов (деплетированных), E-MORB – срединно-океанических хребтов (обогащенных редкими литофильными элементами), базальты активных континентальных окраин и островных дуг (IAB), внутриплитные континентальные и океанические базальты (OIB); PM – примитивная мантия, REC – рециклингового компонента, EM-1 – обогащенной мантии с высоким Nd/Sm, EM-2 – обогащенной мантии с высоким Rb/Sr; в – Th/Yb-Ta/Yb: OIA – океанические островные дуги, ACM – активные континентальные окраины, WPVZ – внутриплитные вулканические зоны, WPB – внутриплитные базальты, N-MORB – нормальные базальты срединно-океанических хребтов, E-MORB – обогащенные базальты срединно-океанических хребтов, CIAB – средний состав базальтов континентальных островных дуг по [9]; г – Корреляция отношения La/Yb с концентрацией K в первичных магмах: толеитах, высокоглиноземистых и щелочных базальтах различных провинций и их сравнение с породами Саралинского и Растайского грабенов: I – толеиты океанического дна; 2 – толеиты хребта Рейкьянис; 3 – высокоглиноземистые разности толеитов океанических хребтов; 4 – континентальные толеиты – траппы Сибирской платформы; 5 – высокоглиноземистые и нормальные субщелочные базальты Стинс Маунтэн; 6 – высокоглиноземистые базальты Курильских островов и Камчатки; 7 – пикриты и базальты умеренной щелочности Восточно-Африканского и Западно-Африканского рифтов и Коморских островов; 8 – щелочные базальты Гавайских островов; 9 – пикритовые базальты острова Гоф; 10 – субщелочные базальты Коморского архипелага и острова Сен-Поль; 11 – меланократовые разности калиевой щелочной серии Западно-Африканского рифта; 12 – меллититовые базальты серии повышенной щелочности Восточно-Африканского рифта; I – поле толеитов и высокоглиноземистых базальтов; II – поле щелочных и субщелочных базальтов океанических островов и Восточно-Африканской системы рифтов

### Заключение

По результатам исследований установлено, что разрез Саралинского грабена в своей нижней части представлен ритмично построенной трахипикробазальт-трахибазальтовой пачкой, образующей плато в основании. Выше располагаются индивидуализированные ВТМ, представление о строении которых установлено в разрезе по левому борту р. Левая Сарала. Венчает разрез фонотефрит-трахит-трахидацитовая толща, представленная рядом разрозненных и разновеликих полей экструзивного типа. Особенность тектонического строения грабена свидетельствует о воздействии деформаций, приведших к вздыманию его западного борта, срыву и дроблению толщ восточного борта и расчленению диагональными разломами, что в поперечном сечении напоминает структуру кинг-бенд. Геолого-петрографическое изучение разрезов грабена позволило заметно уточнить состав выполняющих его вулканитов. Среди них выделены базальтовая и трахитовая ассоциации, в составе первых установлены metabasalts, как результат проявления поздней- и постмагматической пропилитизации. Согласно петрохимическим данным, наблюдается вполне закономерная картина, характерная для контрастных дифференцированных серий. Установлено два различных тренда дифференциации: 1) основной тренд – субщелочной пикробазальт, трахибазальт-трахит, трахидацитовый; и 2) дополнительный тренд – щелочной трахибазальт-тефрит-фонотефритовый. Изучение минералогического состава показало, что во всех установленных разновидностях отмечаются многочисленные микровключения самородных металлов и сплавов как в порфировых выделениях, основной массе, так и в минералах. Геохимически вулканиты обладают генетическим родством и очевидным сходством с репером ОИБ. Согласно дискриминантным геохимическим диаграммам и индексу  $Eu/Eu^*$  породы имеют мантийно-плюмовую природу, а для трахитов и трахидацитов установлено заметное участие корового вещества. Серия рассмотренных диаграмм устанавливает

глубинный мантийный источник исходных магм изученных серий Саралинского грабена в формировании которого участвовали резервуары вещества РМ, ЕМ-1 и мантийного плюма, подобного тому, что формирует ОИБ.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ в рамках научного проекта № 20–35–90032.*

*Работа выполнена с использованием оборудования Томского регионального центра коллективного пользования ТГУ.*

### Список литературы

1. Grinev O.M., Grinev R.O., Bogorodov A.A., Adylbaev R.R. Material composition of the basalt-trachyte series of the early Devonian of the Saralin graben-rift. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol. 110. P. 1–9. DOI: 10.1088/1755-1315/110/1/012007.
2. Ernst R.E., Rodygin S.A., Grinev O.M. Age correlation of Large Igneous Provinces with Devonian biotic crises. Global and Planetary Change. 2020. Vol. 185. P. 1–12. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2019.103097.
3. Grinev O.M., Grinev R.O., Adylbaev R.R., Bogorodov A.A. O. Saralinsky graben-devonian rift of the Kuznetsk-Minusinsk zone, Altai-Sayan folded area. Geological Tour of Devonian and Ordovician Magmatism of Kuznetsk Alatau and Minusinsk basin. Altay-Sayan Region, Siberia. 2020. P. 43–77. DOI: 10.1007/978-3-030-29559-2\_3.
4. Уваров А.Н., Уварова Н.М. Петротип базальско-аппанского трахит-тефрит-трахибазальтового комплекса. Новосибирск: СНИИГГиМС, 2010. 180 с.
5. Воронцов А.А., Ярмолюк В.В. Геохимические и изотопные (O, Sr, Nd) свидетельства взаимодействия мантийных и коровых магм при формировании базальт-андезит-трахит-риолитовой серии Батеневского поднятия Минусинского прогиба // Геосферные исследования. Томск. 2017. № 1. С. 16–27.
6. Воронцов А.А., Федосеев Г.С., Андрущенко С.В. Девонский вулканизм Минусинской котловины Алтае-Саянской рифтовой области: геологические, геохимические, изотопные Sr-Nd характеристики и магматические источники // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 9. С. 1283–1313.
7. Воронцов А.А., Перфилова О.Ю., Буслов М.М., Травин А.В., Махлаев М.Л., Дриль С.И., Катраевская Я.И. Плюмовый магматизм северо-восточной части Алтае-Саянской области: этапы, состав источников, геодинамика (на примере Минусинского прогиба) // Доклады академии наук. 2017. Т. 472. № 4. С. 449–455. DOI: 10.7868/S0869565217040223.
8. Vorontsov A.A., Perfilova O.Y., Kruk N.N. Geodynamic setting, structure, and composition of continuous trachybasalt-trachyandesite-rhyolite series in the north of Altai-Sayan area: the role of crust-mantle interaction in continental magma formation. Russian geology and geophysics. 2018. T. 59. No. 12. P. 1640–1659. DOI: 10.1016/j.rgg.2018.12.009.
9. Kelemen P.B., Hanghoj K., Greene A.R. One view of the geochemistry of subduction-related magmatic arcs, with an emphasis on primitive andesite and lower crust. Treatise on Geochemistry, Elsevier Ltd. 2003. Vol. 3. P. 593–659. DOI:10.1016/B00-043751-6/03035-8.