

УДК 552.3; 552.32

DOI: 10.24930/2500-302X-2025-25-5-1041-1052

## Урукульско-покровский риолит-трахириолитовый комплекс (Средний Урал): новые геохимические данные

Е. Н. Волчек, С. В. Прибавкин, В. С. Червяковский

Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого УрО РАН, 620110, г. Екатеринбург,  
ул. Академика Вонсовского, 15, e-mail: volchek@igg.uran.ru

Поступила в редакцию 16.05.2025 г., принята к печати 29.05.2025 г.

**Объект исследования.** Породы урукульско-покровского риолит-трахириолитового комплекса в составе Алапаевско-Адамовской структурно-формационной зоны Восточно-Уральской мегазоны слагают некообразные и дайкообразные тела среди ранне-среднедевонских вулканогенных и вулканогенно-осадочных отложений. **Цель.** Определение геодинамической обстановки формирования пород комплекса на основе изучения их изотопно-геохимических характеристик. **Методы.** Содержания петрогенных оксидов определялись рентгено-спектральным флуоресцентным методом на приборах CPM-18 и EDX-900HS (Na<sub>2</sub>O), содержания редких элементов – методом ICP-MS на анализаторе ELAN 9000. Измерение изотопных отношений Rb и Sr проведено на мультиколлекторном масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Neptun Plus и термоионизационном масс-спектрометре Triton. **Результаты.** В составе комплекса выявлены редкопорфировые трахириодациты, трахириолиты и риолиты. Они являются высококалиевыми с калиево-натриевым типом щелочности, принадлежат железистой щелочно-известковой серии. Для них характерны высокие значения индекса насыщенности глиноземом (A/CNK). Породы обогащены Rb, U, Th, Pb, Zr, Y, имеют низкие концентрации Sr и лантаноидов. Обнаружено отличие химического состава пород комплекса (более высокая щелочность, повышенные концентрации Al и K, увеличенные содержания Cs, Rb, Ba, Hf, Ta, Zr) от состава ассоциирующих с ними обильнопорфировых риолитов рудянской толщи. На геодинамических диаграммах точки составов пород комплекса располагаются в поле постколлизийных образований, а значение Y/Nb может указывать на их плюмзависимую природу. Таким образом, предполагается формирование урукульско-покровского комплекса в условиях локального растяжения на этапе жесткой коллизии в ранней перми.

**Ключевые слова:** риолит, трахириолит, урукульско-покровский комплекс, Урал, геохимия, изотопы стронция, геодинамическая обстановка

### Источник финансирования

Работа выполнена в рамках государственного задания ИГГ УрО РАН, № госрегистрации 124020400013-1 и № 123011800009-9

## Urukul-Pokrovsky rhyolite-trachyrhyolite complex (Middle Urals): New geochemical data

Elena N. Volchek, Sergey V. Pribavkin, Vasily S. Chervyakovsky

A.N. Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, UB RAS, 15 Academician Vonsovsky st., Ekaterinburg 620110, Russia,  
e-mail: volchek@igg.uran.ru

Received 16.05.2025, accepted 29.05.2025

**Research subject.** Rocks of the Urukul-Pokrovsky rhyolite-trachyrhyolite complex in the Alapaevsk-Adamovsky structural-formational zone of the East Ural megazone form necco- and dike-like bodies among early-middle Devonian volcanic and volcanic-sedimentary deposits. **Aim.** To determine the geodynamic regime of formation of these deposits based on their isotope-geochemical characteristics. **Methods.** The contents of petrogenic oxides were determined by X-ray fluorescence analysis using SRM-18 and EDX-900HS (Na<sub>2</sub>O) devices; the contents of rare elements were determined by the ICP-MS method using an ELAN 9000 analyzer. The isotope ratios of Rb and Sr were measured by a Neptun Plus multi-

**Для цитирования:** Волчек Е.Н., Прибавкин С.В., Червяковский В.С. (2025) Урукульско-покровский риолит-трахириолитовый комплекс (Средний Урал): новые геохимические данные. *Литосфера*, **25**(5), 1041-1052. <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2025-25-5-1041-1052>. EDN: GBAMGK

**For citation:** Volchek E.N., Pribavkin S.V., Chervyakovsky V.S. (2025) Urukul-Pokrovsky rhyolite-trachyrhyolite complex (Middle Urals): New geochemical data. *Lithosphere (Russia)*, **25**(5), 1041-1052. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2025-25-5-1041-1052>. EDN: GBAMGK

collector inductively coupled plasma mass spectrometer and a Triton thermal ionization mass spectrometer. *Results.* The rock complex was found to comprise rare-porphyry trachyrhyodacites and rhyolites. These are high-potassium deposits with a potassium-sodium type of alkalinity, belonging to the ferruginous alkali-calcic series. They are characterized by high values of the alumina saturation index (A/CNK). The rocks are enriched in Rb, U, Th, Pb, Zr, and Y, exhibiting low concentrations of Sr and lanthanides. In terms of chemical composition (higher alkalinity, increased concentrations of Al and K, increased contents of Cs, Rb, Ba, Hf, Ta, Zr), the rocks differ from the associated abundant porphyry rhyolites of the Rudyanka Formation. In geodynamic diagrams, the points of rock compositions are located in the field of post-collisional formations, and the Y/Nb value may indicate their plume-dependent nature. *Conclusions.* The Urukul-Pokrovsky complex might have formed under the conditions of local extension at the stage of rigid collision in the Early Permian.

**Keywords:** rhyolite, trachyrhyolite, Urukul-Pokrovsky complex, Urals, geochemistry, strontium isotopes, geodynamic setting

#### Funding information

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Institute of Geology and Geophysics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, state registration number 124020400013-1 and 123011800009-9

#### Acknowledgements

The authors express their gratitude to V.V. Kholodnov, Doctor of Geological and Mineral Sciences, for his interest in the materials and their discussion.

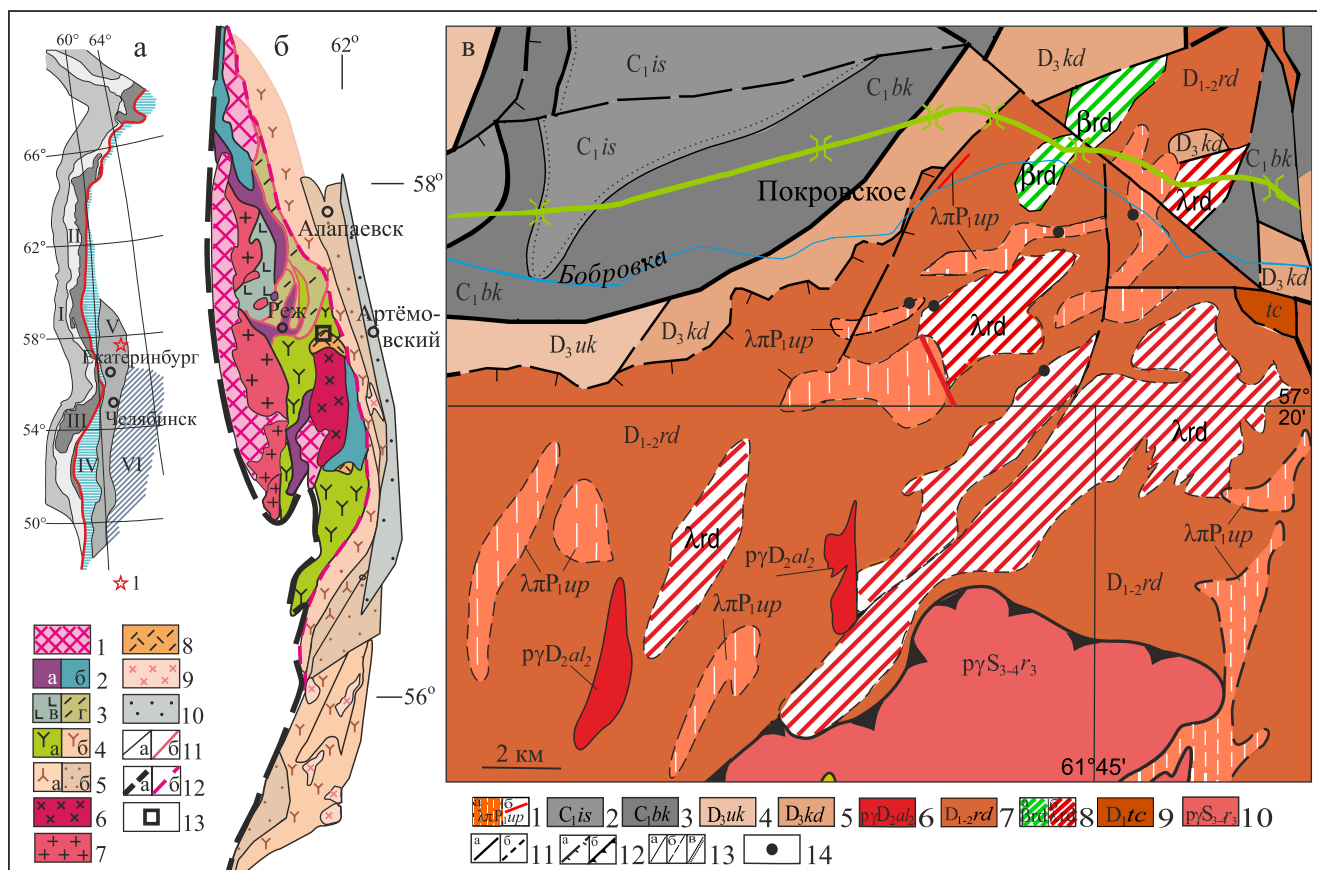
## ВВЕДЕНИЕ

Сложная в геологическом отношении Восточно-Уральская мегазона имеет аккреционно-коллизийную природу. Она сформирована в результате скучивания океанических, островодужных и континентальных блоков различного происхождения, характеризуется широким развитием среднего и кислого магматизма (рис. 1а, б). При проведении геолого-съёмочных работ в составе Алапаевско-Адамовской структурно-формационной зоны (СФЗ) Восточно-Уральской мегазоны выделен урукульско-покровский (УП) риолит-трахириолитовый комплекс (Шалагинов и др., 2001). Его формирование относят к заключительному этапу магматической активности в Алапаевско-Адамовской СФЗ. Породы комплекса слагают секущие и согласные тела среди ранне-среднедевонских и раннекаменноугольных отложений в окрестностях с. Покровское (Средний Урал) и в районе оз. Урукуль (Южный Урал). Их геодинамическая позиция до конца не ясна. Это обусловлено практически полным отсутствием геохимических характеристик для пород комплекса, полученных современными методами, и разняющимися результатами их датирования.

По геологическим данным возраст образований комплекса считался турнейско-визейским (Коротеев и др., 1979; Бочкарев, Сурин, 1993), послевизейским (Смирнов, Червяковский, 1987), позднее-

каменноугольно-раннепермским (Иванов, 1979; Иванов и др., 1980), раннепермским (Шалагинов и др., 2001). Геохронологическое датирование пород в разное время выполнялось К-Аг методом по риолитам и U-Pb методом по цирконам. Полученные К-Аг возрасты риолитов окрестностей с. Покровское составили 250–335 и 315–326 млн лет (Иванов и др., 1980), 277–284 млн лет (Коровко и др., 1986), для риолитов урукульского участка – 277–284 и 283–338 млн лет (Кальсин и др., 2010 и ссылки в этой работе). По результатам U-Pb датирования циркона риолитов окрестностей с. Покровское при широком диапазоне полученных значений (301–453 млн лет) обоснован их позднекаменноугольный возраст (Чувашов, Краснобаев, 2010). В серийных легендах государственных геологических карт возраст комплекса принят среднекаменноугольным ( $\lambda\text{C}_2\text{ur}$ ) (Казаков и др., 2016) и раннепермским ( $\lambda\text{P}_1\text{ur}$ ) (Петров и др., 2011; Казаков и др., 2017).

Предполагается, что образования комплекса фиксируют синколлизийный шов, обеспечивший поступление глубинных мантийных флюидов и расплавов, обогащенных щелочными и щелочноземельными элементами (Петров и др., 2011; Волчек, Нечеухин, 2014). Рядом исследователей признается рифтовая природа трахириолитов комплекса (Иванов, 1979; Коротеев и др., 1979; Пучков, 2000), другими их формирование связывается с завершающей стадией развития девонской па-



**Рис. 1.** Позиция объекта исследования в структуре Уральского складчатого пояса (а) и в структуре части Восточной зоны Среднего Урала (б), схема геологического строения участка работ в окрестностях с. Покровское (в).

Обозначения к рис. 1а: звездочкой показана позиция исследуемых пород. Римскими цифрами обозначены структурные мегазоны (Пучков, 2000): I – Предуральский передовой прогиб; II – Западно-Уральская мегазона; III – Центрально-Уральская мегазона; IV – Тагило-Магнитогорская мегазона; V – Восточно-Уральская мегазона; VI – Зауральская мегазона.

Обозначения к рис. 1б (Геодинамическая..., 2009): 1 – допалеозойские породы Мурзинско-Адуйского метаморфического блока; 2 – ультрабазиты (а) и габбро (б) офиолитовых ассоциаций венда, раннего силура; 3 – океанические базальты (а) и кремнистые сланцы (б) позднего ордовика – раннего силура; 4 – островодужные вулканогенные и осадочные комплексы раннего-среднего девона (а) и среднего девона (б); 5 – окраинно-континентальные раннекаменноугольные вулканогенные (а) и осадочные отложения (б); 6 – диориты, плагиограниты; 7 – гранитоиды; 8 – риолиты, трахириолиты; 9 – интрузии диоритов и гранодиоритов; 10 – каменноугольные осадочные отложения, в том числе угленосные; 11 – границы комплексов (а), покровов (б); 12 – коллизийные швы: фронтальный (а), межзональный (б); 13 – район исследования.

Обозначения к рис. 1в (Казаков и др., 2016, 2017, с упрощениями): 1 – урукульско-покровский комплекс: а – риолиты, трахириолиты, трахириодациты; б – дайки риолитов; 2, 3 – раннекаменноугольные терригенно-карбонатные отложения исетской и бекленищевской свит; 4, 5 – позднедевонские карбонатно-кремнисто-терригенные отложения устькодинской и кодинской свит; 6 – среднедевонские граниты алтынайского комплекса; 7 – ранне-среднедевонские вулканогенно-осадочные образования рудянской толщ; 8 – субвулканические образования основного (а) и кислого (б) состава рудянской толщ; 9 – раннедевонская терригенно-карбонатная толща; 10 – позднесилурийские плагиограниты рефтинского габбро-диорит-плагиогранитового комплекса; 11 – разрывные нарушения – достоверные (а) и предполагаемые (б); 12 – надвиги (а) и шарьяжи (б); 13 – геологические границы – достоверные (а), предполагаемые (б), стратиграфические несогласные (в); 14 – место отбора проб.

**Fig. 1.** The position of the research object in the structure of the Ural folded belt (a) and in the structure of the part of the Eastern zone of the Middle Urals (б), a scheme of the geological structure of the work site in the vicinity of the village of Pokrovskoye (в).

Designations for Fig. 1a: the position of the studied rocks is shown by an asterisk. Structural megazones are designated by Roman numerals (Puchkov, 2000): I – Cis-Ural foredeep; II – West Ural megazone; III – Central Ural megazone; IV – Tagil-Magnitogorsk megazone; V – East Ural megazone; VI – Trans-Ural megazone.

Designations for Fig. 1б (Geodinamicheskaya..., 2009): 1 – metamorphites of the Murzinsko-Aduysky block; 2 – ultrabasites (a)

and gabbros (б) of ophiolite associations; 3 – oceanic basalts (а) and chert shales (б); 4 – island-arc volcanogenic and sedimentary complexes of the Early-Middle Devonian (а) and Middle Devonian (б); 5 – continental margin Early Carboniferous volcanogenic (а) and sedimentary deposits (б); 6 – diorites, plagiogranites; 7 – granitoids; 8 – rhyolites, trachyrhyolites; 9 – diorite and granodiorite intrusions; 10 – Carboniferous sedimentary deposits, including coal-bearing; 11 – boundaries of complexes (а), covers (б); 12 – collisional sutures: frontal (а), interzonal (б); 13 – study area.

Designations for Fig. 1b (Kazakov et al., 2016, 2017, with simplificationss): 1 – Urukul-Pokrov complex: а – rhyolites, trachyrhyolites, trachyrhyodacites; б – rhyolite dikes; 2, 3 – Early Carboniferous terrigenous-carbonate deposits of the Isetskaya and Beklenishchevskaya formations; 4, 5 – Late Devonian carbonate-siliceous-terrigenous deposits of the Ust-Koda and Kodinskaya formations; 6 – Middle Devonian granites of the Altynai complex; 7 – Early-Middle Devonian volcanogenic-sedimentary formations of the Rudyanskaya formation; 8 – subvolcanic formations of basic (а) and acidic compositions (б) of the Rudyanskaya formation; 9 – Early Devonian terrigenous-carbonate sequence; 10 – Late Silurian plagiogranites of the Reftinsky gabbro-diorite-plagiogranite complex; 11 – faults, reliable (а) and inferred (б); 12 – thrusts (а) and nappes (б); 13 – geological boundaries, reliable (а), inferred (б), stratigraphic unconformities (в); 14 – sampling location.

леоостроводужной структуры (Смирнов, Коровко, 2007), а также с режимом активной континентальной окраины (Кзаков и др., 2016).

В данной статье представлены новые изотопно-геохимические данные пород комплекса из окрестностей с. Покровское, позволившие уточнить геодинамическую обстановку их формирования.

## ОБРАЗЦЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Образцы пород УП комплекса были отобраны из даек мощностью 1.5–2.0 м вблизи моста через р. Бобровка к востоку от первых домов с. Покровское (Покр-1/07), в 3.5 км к юго-востоку от села (Покр/кар), из стенки карьера у юго-восточной окраины с. Покровское (Покр/М-23). Кислые вулканиды вмещающей рудянской толщи, возраст которых определен как средний девон (Коротеев и др., 2019), взяты в разрезе по р. Пышма, где они представлены фрагментом лавы риолитов (РУД-1КАР/16), дайками в Рудянском (РУД-1/16) и Северном карьерах (РУД-8(2)/16), субвулканическим телом дацитов (РУД-6(2)/16), а также на юго-восточном склоне пологой возвышенности в 3.5 и 6.0 км к юго-востоку от центра с. Покровское (П-99а/23, П-99б/23).

Петрографическое описание пород выполнено с использованием оптического поляризационного микроскопа. Концентрации петрогенных оксидов определялись рентгеноспектральным флуоресцентным методом на СРМ-18 и на EDX-900HS (Na<sub>2</sub>O), содержания редких и редкоземельных элементов – методом ICP-MS на анализаторе ELAN 9000. Изотопные исследования выполнены на мультиколлекторном масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Neptun Plus и термоионизационном масс-спектрометре Triton в центре коллективного пользования “Геоаналитик” Института геологии и геохимии УрО РАН (Екатеринбург).

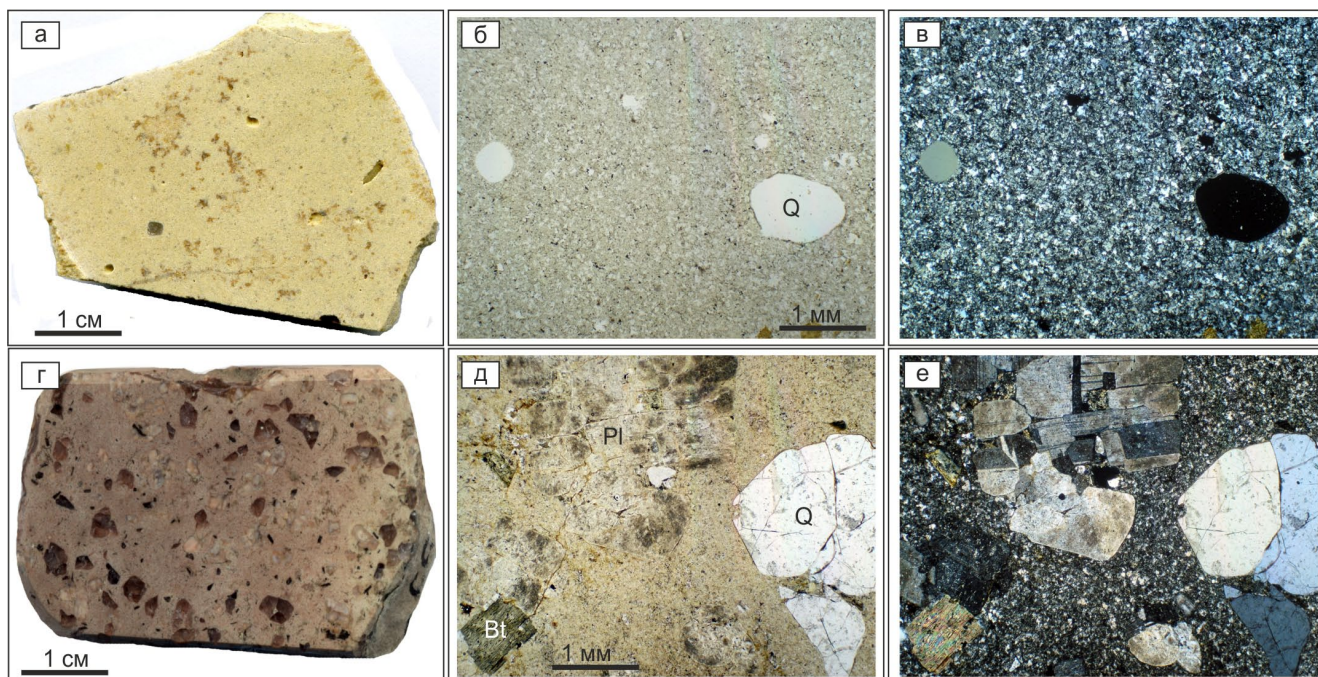
## ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Алапаевско-Адамовская СФЗ имеет сложное аллохтонно-блоковое строение (Коровко и др., 1986; Пучков, 2000; Петров и др., 2011; Казаков и

др., 2017; и др.). В западной части зоны выделяют крупные покровы, пластины и другие аллохтонные структуры, сложенные ультрабазитами и габбро офиолитовых ассоциаций, а также кремнисто-базальтовыми комплексами. Для офиолитовых ассоциаций приводятся изотопные возрасты венда и силура (Петров и др., 2010), а базальты и кремнистые сланцы по находкам конодонтов и остатков фауны имеют ордовикский возраст. Участвуют в строении пластин вулканогенные и осадочные серии островодужных обстановок, которые имеют возраст раннего-среднего девона. Позднепалеозойские гранитные интрузии “сшивают” пластины разного возраста и состава. Восточнее развиты крупные блоки среднедевонско-раннекаменноугольных вулканогенных и осадочных островодужных и окраинно-континентальных образований, которые по периферии сменяются каменноугольными терригенно-карбонатными и терригенно-угленосными отложениями. Считается, что ассоциации разных геодинамических обстановок сочленены в единую структуру при аккреционно-коллизийных процессах по системе тектонических швов в ранне-среднекаменноугольное время (Пучков, 2000).

Породы УП комплекса располагаются в восточной части Алапаевско-Адамовской СФЗ в Покровском тектоническом блоке, близ села Покровское (см. рис. 1б, в). Они образуют силлоподобные, неко- и дайкообразные тела северо-восточного простирания, сложенные редкопорфировыми риолитами, риодацитами, трахириолитами, трахириодацитами (см. рис. 1в). Мощность тел составляет от 20 до 120 м, протяженность – первые километры, до 7 км (Иванов и др., 1980). Здесь и севернее они локализованы исключительно среди вулканогенных и вулканогенно-осадочных образований рудянской толщи раннего-среднего девона (D<sub>1-2</sub>), представленных лавами и лавобрекчиями базальтов, дацитов, риодацитов, риолитов и их туфов. В ее составе также широко развиты обильнопорфировые риолиты, образующие некоподобные тела северо-восточного простирания протяженностью до 10 км при ширине до 2 км. Пространственная ассоциация и схожий петрохимический состав редко- и обильнопорфи-





**Рис. 2.** Редко- (а–в) и обильнопорфировые (г–д) разновидности кислых пород.

Индексы минералов: *Q* – кварц, *Pl* – плагиоклаз, *Bt* – биотит.

**Fig. 2.** Rarely porphyritic (a–v) and abundantly porphyritic (г–д) varieties of acidic rocks.

Mineral indices: *Q* – quartz, *Pl* – plagioclase, *Bt* – biotite.

ровых разновидностей пород позволили объединить их в покровский липаритовый комплекс (Иванов и др., 1980). Позднее, по геологическим данным, обильнопорфировые разновидности были отнесены к субвулканическим образованиям кислого состава рудянской толщи (Казаков и др., 2016).

#### ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Породы УП комплекса обладают желтоватой, желто-серой и буровато-желтой окраской, характеризуются редкопорфировой (вкрапленников до 2%) структурой. Вкрапленники представлены идиоморфными зернами кварца, широкими таблицами калиевого полевого шпата, реже плагиоклаза (рис. 2а–в). Структура основной массы реликтовая апосферолитовая, фельзитовая или микрогранитовая, состав слюдисто-кварц-полевошпатовый. Текстура пород массивная. Вторичные изменения различной интенсивности: окварцевание, серицитизация, аргиллизация.

Породы рудянской толщи имеют розовую, красновато-коричневую окраску. Структура обильнопорфировая, вкрапленники составляют 20–30% объема, а их размер – 1–4 мм. Они представлены кварцем (преобладает), плагиоклазом, реже калиевым полевым шпатом, еще реже биотитом

(см. рис. 2г–е). Основная масса слюдисто-кварц-полевошпатовая фельзитовой структуры. Текстура пород массивная. Вторичные изменения пород можно охарактеризовать как аргиллизацию и гематитизацию.

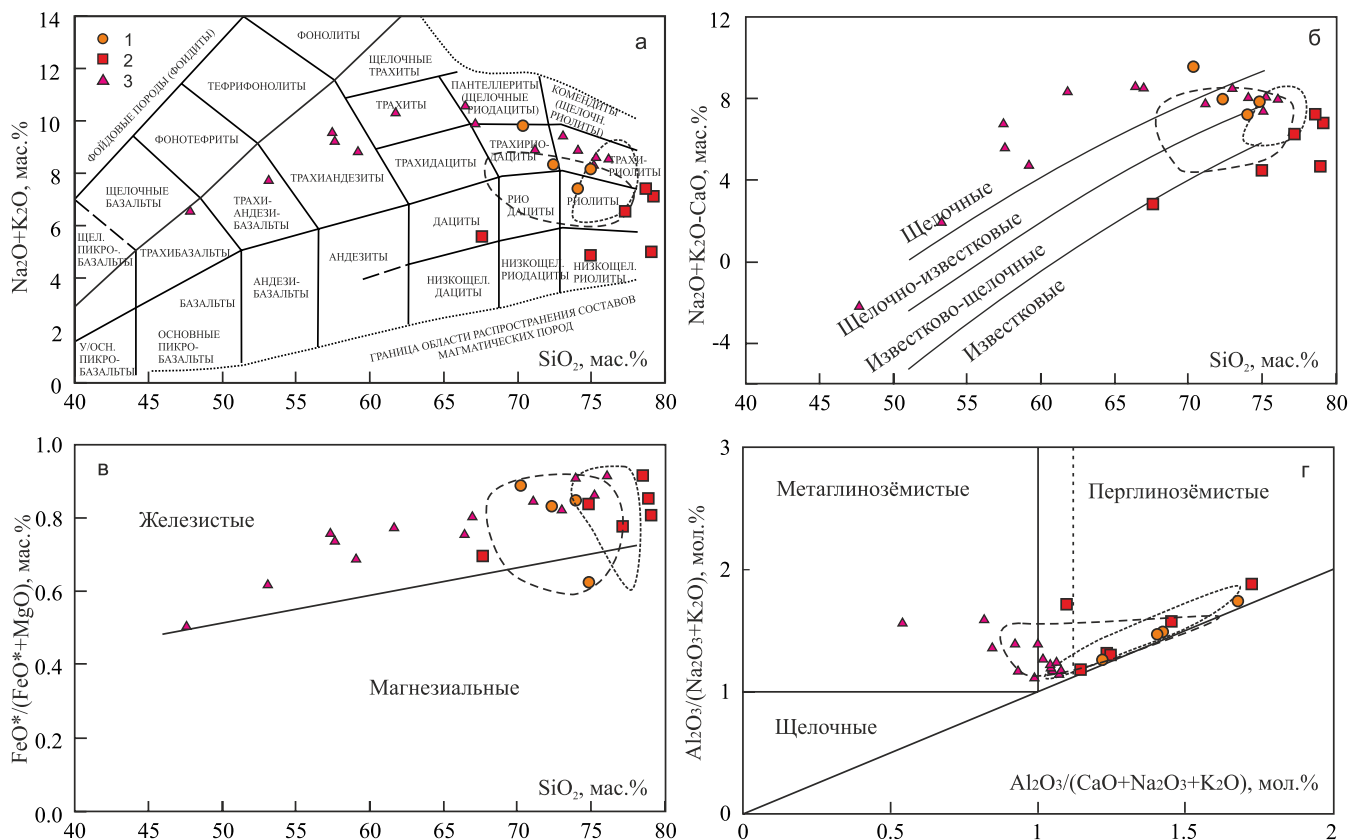
#### ПЕТРОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Составы пород приведены в табл. 1. На диаграмме  $\text{SiO}_2-(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  породы УП комплекса отвечают трахириодацитам, трахириолитам, риолитам (см. рис. 3а). Они являются высококалиевыми с калиево-натриевым типом щелочности ( $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 0.6\text{--}1.1$ ), принадлежат железистой щелочно-известковой серии (см. рис. 3б, в). Для них характерны высокие значения индекса насыщенности глиноземом ( $\text{A}/\text{CNK} = 1.14\text{--}1.67$ ,  $\text{A}/\text{NK} = 1.26\text{--}1.75$ , см. рис. 3г). Содержание нормативного корунда 2–7 мас. %.

Породы вмещающей рудянской толщи соответствуют дацитам и риолитам; являются умеренно- и низкокалиевыми с натровым и калиево-натриевым типом щелочности ( $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 0.4\text{--}7.2$ ), принадлежат железистой известковой серии. Значение индекса насыщенности глиноземом высокое ( $\text{A}/\text{CNK} = 1.10\text{--}1.72$ ,  $\text{A}/\text{NK} = 1.18\text{--}1.90$ ).

**Таблица 1.** Содержание петрогенных оксидов (мас. %) и редких элементов (г/т) в породах УП комплекса (1–3) в сопоставлении с кислыми магматитами рудянской толщи (4–9)**Table 1.** Content of petrogenic oxides (wt %) and rare elements (g/t) in rocks of the UP complex (1–3) in comparison with acidic magmatites of the Rudyanka Formation (4–9)

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Обр.	Покр/кар	Покр-1/07	Покр/М-23	П-99а/23	П-99в/23	РУД-6(2)/16	РУД-1/16	РУД-8(2)/16	РУД-1КАР/16
SiO <sub>2</sub>	69.97	71.33	73.00	78.01	78.65	65.18	72.74	76.26	77.45
TiO <sub>2</sub>	0.07	0.06	0.08	0.13	0.16	0.40	0.44	0.17	0.40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.94	16.41	16.44	12.30	11.35	14.63	13.45	13.07	12.16
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ	2.20	1.95	1.38	1.12	1.48	5.78	4.50	1.94	2.39
MnO	0.11	0.03	0.01	0.03	0.02	0.08	0.03	0.05	0.03
MgO	0.26	0.36	0.23	0.10	0.32	2.30	0.80	0.51	0.38
CaO	0.25	0.29	0.23	0.20	0.31	2.69	0.40	0.29	0.38
Na <sub>2</sub> O	5.20	3.90	2.74	4.39	1.92	4.71	3.59	5.44	4.23
K <sub>2</sub> O	4.56	4.27	4.53	2.94	5.12	0.65	1.10	0.98	0.69
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01	0.01	0.04	0.05	0.06	0.07	0.07	0.05	0.05
П. п. п.	0.70	1.40	1.45	0.99	0.85	3.40	2.80	1.20	1.80
Сумма	100.26	100.00	100.14	100.26	100.23	99.89	99.92	99.96	99.95
Li	7.15	8.73	11.00	6.00	4.00	8.84	5.45	4.49	5.93
Be	3.00	3.87	3.20	1.10	0.60	0.64	0.61	0.85	0.56
Sc	0.63	0.64	0.50	4.10	1.80	20.27	7.11	4.73	6.34
V	8.70	7.19	<0.04	8.00	<0.04	99.09	22.97	7.08	10.36
Co	0.97	0.66	2.40	1.60	2.60	51.94	30.56	75.27	44.48
Ni	4.88	1.83	9.00	9.00	19.00	4.72	2.91	3.90	3.59
Cu	6.28	4.95	7.00	5.00	10.20	20.96	12.50	4.42	33.75
Zn	27.87	30.47	40.00	12.00	40.00	72.90	27.52	39.51	16.66
Ga	18.48	17.06	24.00	9.00	11.00	14.41	10.47	13.41	6.87
Rb	133.97	120.77	100.00	12.00	32.00	5.79	6.97	12.19	3.96
Sr	80.38	94.96	60.00	16.00	2.80	169.39	42.35	47.73	46.79
Y	3.73	6.58	3.00	3.00	10.00	15.26	6.15	16.49	5.37
Zr	99.79	76.32	110.00	54.00	140.00	80.28	108.36	75.76	92.23
Nb	12.15	10.55	12.00	3.60	2.40	1.25	2.25	1.83	1.97
Cs	1.55	1.74	2.40	0.08	0.14	0.30	0.80	0.26	0.47
Ba	237.47	150.48	50.00	180.00	80.00	99.93	133.16	102.79	90.37
La	6.18	8.07	2.70	3.00	4.00	5.31	4.78	7.86	2.73
Ce	10.28	18.24	6.00	6.00	10.00	12.95	9.16	18.42	6.15
Pr	1.31	2.03	0.70	0.70	1.40	1.67	1.52	2.41	0.89
Nd	4.85	7.33	2.60	2.50	6.00	7.03	6.42	9.87	3.83
Sm	0.76	1.40	0.48	0.45	1.40	1.73	1.52	2.09	0.94
Eu	0.20	0.34	0.14	0.12	0.30	0.47	0.36	0.46	0.21
Gd	0.53	0.93	0.50	0.48	1.70	1.87	1.51	2.14	1.01
Tb	0.08	0.14	0.06	0.06	0.24	0.32	0.20	0.35	0.16
Dy	0.51	0.97	0.38	0.35	1.60	2.15	1.30	2.40	1.17
Ho	0.11	0.19	0.08	0.07	0.33	0.51	0.28	0.53	0.27
Er	0.35	0.61	0.26	0.21	1.00	1.70	0.86	1.77	0.89
Tm	0.06	0.11	0.04	0.03	0.14	0.27	0.13	0.28	0.14
Yb	0.53	0.74	0.30	0.19	0.90	1.88	0.96	2.05	1.08
Lu	0.08	0.12	0.04	0.03	0.14	0.31	0.15	0.33	0.17
Hf	4.19	3.52	4.00	2.00	3.00	2.12	3.14	2.05	2.64
Ta	0.67	0.60	0.60	0.23	0.17	0.18	0.13	0.09	0.12
Pb	134.69	80.81	60.00	8.00	4.00	2.15	4.27	0.71	4.98
Th	10.93	14.94	7.00	0.65	1.90	2.44	0.77	2.64	1.09
U	2.09	1.38	1.80	1.10	2.50	0.94	1.51	1.00	1.10



**Рис. 3.** Классификационные  $\text{SiO}_2\text{--Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  (а),  $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O}$  (б),  $\text{SiO}_2\text{--FeO}^*/(\text{FeO}^* + \text{MgO})$  (в),  $\text{A/CNK--A/NK}$  (г).

Здесь и на рис. 5 породы: 1 – урукульско-покровского комплекса; 2 – рудянской толщи, на листе О-41-XX (Алапаевск); 3 – петуховского монцодиорит-граносиенит-лейкогранитового комплекса. Пунктирными линиями показаны составы покровского липаритового комплекса (Иванов, 1978), штриховыми – урукульско-покровского комплекса на листе О-41-XXVI (Асбест).

**Fig. 3.** Classification  $\text{SiO}_2\text{--Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  (a),  $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O}$  (б),  $\text{SiO}_2\text{--FeO}^*/(\text{FeO}^* + \text{MgO})$  (в),  $\text{A/CNK--A/NK}$  (г).

Here and in Fig. 5 rocks: 1 – Urukul-Pokrovsky complex; 2 – Rudyanskaya sequence, on sheet O-41-XX (Alapaevsk); 3 – Petuchovsky monzodiorite-granosyenite-leucogranite complex. Fields with short dotted lines show the compositions of the Pokrovsky liparite complex (Ivanov, 1978), long dotted lines – Urukul-Pokrovsky complex on sheet O-41-XXVI (Asbestos).

Содержание редких земель в породах УП комплекса невысокое (сумма РЗЭ = 14–41 г/т), имеется преобладание легких лантаноидов над тяжелыми (рис. 4а). Отношение  $\text{La}_n/\text{Yb}_n$  составляет 6.1–7.8, аномалия европия слабая ( $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.86\text{--}0.96$ ). Схожими спектрами распределения РЗЭ и концентрациями обладают породы вмещающей рудянской толщи. Отличие выражено лишь в несколько менее фракционированном характере спектров ( $\text{La}_n/\text{Yb}_n = 1.7\text{--}10.7$ ) и более значимой аномалии европия ( $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.59\text{--}0.80$ ).

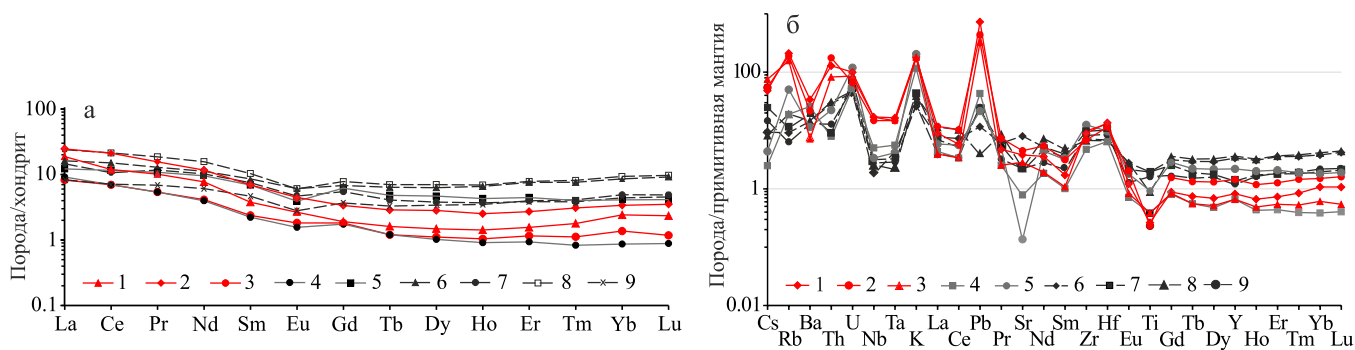
Распределение нормированных содержаний литофильных элементов в породах УП комплекса подчеркнуто отрицательной аномалией Nb-Ta, выраженным минимумом Ti, а также аномалиями Rb, U, K, Zr-Hf, Th, Yb. Породы рудянской толщи содержат в 2–3 раза меньше Be, Ga, Rb, Cs, Sr, Nb,

Ta, Pb, Th, а по некоторым элементам – на порядок меньше (рис. 4б).

Измеренные значения изотопных отношений  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  и  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в породах комплекса приведены в табл. 2. Значения первичного отношения стронция рассчитаны на возраст 280 млн лет в соответствии с легендой Государственной геологической карты (Петров и др., 2011) и составляют 0.705–0.706.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Кислые магматиты в районе с. Покровское формируют пологие силлоподобные экструзии мощностью 20–50 м и протяженностью до нескольких километров. Их петрографической чертой является наличие редких (<2%) и обильных (>20%) вкра-



**Рис. 4.** Диаграммы относительных концентраций РЗЭ (а) и РЭ–РЗЭ (б) в породах, нормированных по отношению к хондриту и примитивной мантии (Sun, McDonough, 1989).

Породы: 1–3 – редкопорфировые; 4, 5 – обильнопорфировые разновидности; 6–9 – кислые магматиты рудянской толщи.

**Fig. 4.** Diagrams of relative REE (a) and RE–REE (b) concentrations in rocks, normalized with respect to chondrite and primitive mantle (Sun, McDonough, 1989).

Rocks: 1–3 – sparsely porphyritic; 4, 5 – abundantly porphyritic varieties; 6–9 – acid magmatites of the Rudyanskaya sequence.

пленников, представленных кварцем, пелитизированными полевыми шпатами, биотитом. Несмотря на широкие вариации химических составов, по сумме щелочей и калинатовому отношению они были объединены в покровский липаритовый комплекс (Иванов, 1979; Иванов и др., 1980). В дальнейшем при геолого-съемочных работах (Шалагин и др., 2001) был выделен УП комплекс, в который вошли высококалиевые редкопорфировые разновидности. Обильнопорфировые умеренно- и низкокалиевые породы отнесены ко вмещающей рудянской толще ( $D_{1-2}$ ).

Анализ редкопорфировых разновидностей пород, отобранных нами у с. Покровское, показывает их умеренную щелочность ( $Na_2O + K_2O = 7.0–9.8\%$ ,  $Na_2O/K_2O = 0.4–1.5$ ), что согласуется с данными В.Н. Смирнова (2012), отмечающего в качестве характерных петрохимических особенностей УП комплекса содержание щелочей более 8% при величине  $K_2O/Na_2O$ , близкой к единице. В то же время указанные в работах предшественников (Иванов, 1978, 1979; Иванов и др., 1980; Смирнов, 2012) разновидности с содержанием  $K_2O$  до 8.4% при содержании  $Na_2O < 1\%$  ( $Na_2O/K_2O = 0.1$ ) в нашей выборке отсутствуют. Отобранные там же у с. Покровское обильнопорфировые разновидности обладают нор-

мальной щелочностью ( $Na_2O + K_2O = 4.7–7.3\%$ ,  $Na_2O/K_2O = 3.3–7.2$ ), соответствуют дацитам и риолитам рудянской толщи. Отметим широкие вариации содержания  $K_2O$  в породах этой толщи от 0.6 до 5.0%, что может быть связано как с накоплением калишпата в процессе фракционной кристаллизации, так и с метасоматической калишпатизацией, чему не противоречит возрастание содержаний Rb, Pb и снижение Na, Sr в богатых калием разновидностях. В связи с этим высокие концентрации калия в породах, приписываемые УП комплексу (Шалагин и др., 2001), не вполне отражают их специфику. Для решения этого вопроса необходима статистически значимая выборка составов пород.

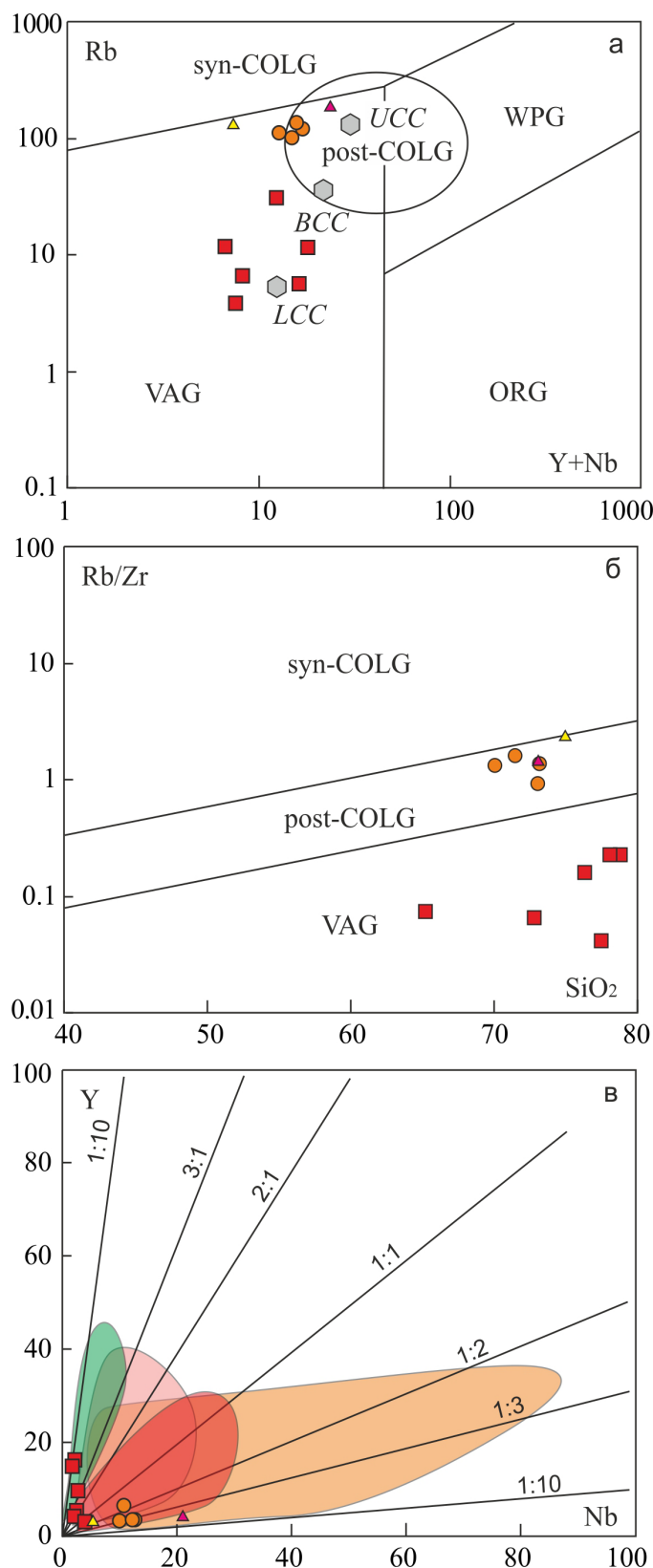
Отметим высокие значения индекса глиноземистости ( $A/CNK$ ), равного 1.2–1.7 (см. рис. 3г). Этот параметр, с одной стороны, может отражать образование кислых магматитов плавлением высокоглиноземистых осадков, например пелитов, с другой – может быть связан с метасоматической аргиллизацией и выветриванием, приводящим к удалению части кальция и щелочей. Поскольку во вкрапленниках не наблюдается присутствие высокоглиноземистых фаз (мусковита, граната, кордиерита, андалузита), следовательно, высокая глиноземистость пород скорее обусловлена постмагма-

**Таблица 2.** Изотопный состав Rb и Sr в породах УП комплекса

**Table 2.** Isotopic composition of Rb and Sr in rocks of the UP complex

Обр.	Rb, г/т	Sr, г/т	$^{87}Rb/^{86}Sr$	2σ, abs	$^{87}Sr/^{86}Sr$	2σ, abs	$I_{Sr}$ (280)
Покр-1/07	120.7	126.4	2.7645	0.0013	0.71736	0.00004	0.70637
Покр/карьер	105.6	97.5	3.1348	0.0014	0.71738	0.00004	0.70492





**Рис. 5.** Геотектонические диаграммы (Y+Nb)-Rb (a), SiO<sub>2</sub>-Rb/Zr (б), Nb-Y (в) для кислых пород (Harris et al., 1986; Pearce et al., 1984; Холоднов и др., 2021).

Поля на диаграммах а, б: ORG – граниты океанических хребтов; WPG – внутриплитные граниты; VAG – граниты вулканических дуг; COLG – син- и постколлизийные граниты. Поля Уральских гранитоидов на диаграмме в: зеленое – островных дуг (O<sub>3</sub>-D<sub>2</sub>); розовое – активной континентальной окраины (D<sub>3</sub>-C<sub>3</sub>); оранжевое – плюм-зависимые син- и постколлизийного растяжения (P<sub>1</sub>); красное – коллизийные (P<sub>1</sub>-T<sub>1</sub>). Также показаны средние составы верхней, общей и нижней континентальной коры (LCC, BCC и UCC) (из Pears et al., 1984).

**Fig. 5.** Geotectonic diagrams (Y + Nb)-Rb (a), SiO<sub>2</sub>-Rb/Zr (б), Nb-Y (в) for acid rocks (Harris et al., 1986; Pearce et al., 1984; Kholodnov et al., 2021).

Fields in the diagrams a, б: ORG – ocean ridge granites; WPG – within-plate granites; VAG – volcanic arc granites; COLG – syn- and post-collisional granites. Fields of Uralian granitoids in the diagram в: green – island arcs (O<sub>3</sub>-D<sub>2</sub>); pink – active continental margin (D<sub>3</sub>-C<sub>3</sub>); orange – plume-dependent syn- and post-collisional extension (P<sub>1</sub>); red – collisional (P<sub>1</sub>-T<sub>1</sub>). It also shows the composition of upper, bulk and lower continental crust (UCC, BCC and LCC) (from Pears et al., 1984).

тическими преобразованиями. Аргументами могут служить положительная корреляция между индексом A/CNK и потерями при прокаливании, повышенный индекс химических изменений пород ( $CIA = Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O) \times 100$ , мол. % = 52–63), следование составов в координатах Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Na<sub>2</sub>O + CaO-K<sub>2</sub>O вдоль тренда калиевого метасоматоза с замещением стекла и плагиоклаза серицитом (Algeo et al., 2025). Тем не менее проблема высокой глиноземистости вулканитов остается актуальной, поскольку влечет петрогенетические последствия.

Концентрация и характер распределения РЗЭ в породах УП комплекса и вмещающих риолитах рудянской толщи не являются информативными для их разделения (рис. 4а). Значимые отличия имеются по редким элементам. Породы комплекса содержат более высокие концентрации Be, Ga, Rb, Cs, Sr, Nb, Ta, Pb, Th относительно рудянских (см. табл. 1), демонстрируют отрицательную аномалию Ba и положительную – Th, в них отсутствует отрицательная аномалия Sr (рис. 4б). Анализ “инертных” компонентов – Ba, Nb, Th, La, Tb – еще более убедительно показывает различие между породами. По этим компонентам и их отношениям они составляют обособленные группы.

Важным представляется вопрос геодинамического режима формирования УП комплекса. На геодинамической диаграмме Rb-(Y + Nb) породы комплекса располагаются внутри области магматитов постколлизийной обстановки либо тяготеют к ней (рис. 5а). На данную обстановку также указывает диаграмма SiO<sub>2</sub>-(Rb/Zr) (рис. 5б). Заслуживает внимания диаграмма Y-Nb, адаптированная для уральских гранитоидов (Холоднов

и др., 2021). Отношение Y/Nb в породах УП комплекса составляет 0.3–0.6 и может характеризовать их как окраинно-континентальные, коллизионные и плюмзависимые син- и постколлизионные образования (рис. 5в). Неопределенность связана с низкими концентрациями Y и Nb. Поскольку эти элементы имеют свойство накапливаться в ходе фракционной кристаллизации базитов в кремнекислых разностях, нам представляется формирование пород комплекса в результате низкобарического плавления верхней коры под влиянием тепла и флюидов, отделяющихся от мантийных плюмзависимых магм. Такие магматиты могли быть получены в том числе плавлением пелитового материала в составе верхней коры и, как следствие, характеризоваться высокоглиноземистым составом, на что указывает соответствующий индекс.

Рудянские дациты и риолиты на диаграммах (см. рис. 5) занимают позицию внутри поля островодужных магматитов. Таким образом, кислые вулканыты УП комплекса и рудянской толщи формировались в разных геодинамических обстановках и являются разновозрастными образованиями.

Породы УП комплекса ранее были отнесены к гипабисальному аналогу петуховского монцодиорит-граносиенит-лейкогранитового комплекса с возрастом около 280 млн лет (Смирнов и др., 2003; Смирнов, 2012). Последний имеет многофазное строение и образован в результате фракционной кристаллизации базальтовой магмы повышенной щелочности. Такая магма была получена плавлением астеносферной мантии над зоной растяжения, возникшей при косо́й континентальной коллизии. Граниты комплекса относятся к известково-щелочному типу серий, высококалийным, металюминиевым разностям субщелочного ряда с незначительным преобладанием Na над K (Шардакова, Савельев, 2012). Имеющиеся редкие (отдельные) и обрывистые данные по РЭ и РЗЭ кислых магматитов данного комплекса позволяют предполагать их формирование в результате различных петрогенетических процессов: фракционной кристаллизации основной магмы, частичного плавления коры. Сходство составов кислых пород УП и петуховского комплексов подтверждает вероятность родства между ними (см. рис. 2, 5). Парагенетическая связь между этими магматическими комплексами подтверждает предположение о молодом возрасте трахириолитов-риолитов и ставит под сомнение U-Pb датировки циркона с возрастом 309 млн лет (Казаков и др., 2016). Вероятно, такие цирконы были захвачены из области магмагенерации или по пути следования магмы.

Первичные отношения изотопов стронция УП комплекса, рассчитанные на время образования вулканизов рудянской толщи (390 млн лет), имеют крайне низкие значения (0.700–0.702), свойственные ранним этапам образования земной коры. Это слу-

жит дополнительным аргументом в пользу их молодого возраста. Значения в 0.705–0.706, рассчитанные на 280 млн лет, отражают молодой возраст протолита этих вулканизов, на который могут указывать датировки циркона, о чем уже было сказано. В целях более корректной оценки состава и возраста протолита необходимы дополнительные исследования.

## ВЫВОДЫ

Новые данные по геохимии пород урукульско-покровского риолит-трахириолитового комплекса Восточной зоны Среднего Урала показали, что они сформировались в условиях локального растяжения на этапе жесткой коллизии в ранней перми (Пучков, 2000; Смирнов, 2012). Источником тепла для плавления верхней коры с образованием кислых магматитов УП трахириолит-риолитового комплекса, по-видимому, служили базальтовые магмы повышенной щелочности, формирующие многофазные интрузии петуховского комплекса. Показано отличие магматитов УП комплекса от вмещающих пород рудянской толщи среднего девона. В составе последней присутствуют риолиты, также являющиеся продуктом плавления молодой коры.

## Благодарности

Авторы выражают благодарность доктору геол.-мин. наук В.В. Холоднову за проявленный интерес к материалам и их обсуждение.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бочкарев В.В., Сури́н Т.Н. (1993) Вулканогенные формации и геодинамическое развитие Учалино-Александринской и Режевской зон Урала. Екатеринбург: Наука, 80 с.
- Волчек Е.Н., Нечеухин В.М. (2014) Особенности формирования восточного сегмента Уральского палеозойского орогена в условиях аккреции и коллизии. *Литосфера*, (6), 45–53.
- Геодинамическая карта Урало-Тимано-Палеоазиатского сегмента Евразии. (2009) Масштаб 1 : 2 500 000 (Сост. В.М. Нечеухин, В.А. Душин, В.Г. Оловянишников). Екатеринбург: УГГУ.
- Иванов К.С. (1978) О петрологии покровского липаритового комплекса и рефтинского габбро-плагиогранитного массива (Средний Урал). *Тр. ИГГ УНЦ АН СССР*, вып. 127, 61–65.
- Иванов К.С. (1979) Ультракалийевые липаритовые порфиры на Урале. *Докл. АН СССР*, 247(4), 908–912.
- Иванов К.С., Олерский В.П., Копанев В.Ф. (1980) Ультракалийевые липаритовые порфиры покровского комплекса (Средний Урал). *Геосинклинальный вулканизм Урала и коллизионность вулканогенных формаций*. Сб. ст. (Отв. ред. Г.Ф. Червяковский, К.П. Иванов). Свердловск: УНЦ АН СССР, 131–140.
- Казаков И.И., Стороженко Е.В., Харитонов И.Н., Стефановский В.В. (2016) Отчет о результатах работ

- по объекту “ГДП-200 Листа О-41-XX (Алапаевская площадь)” за 2014–2016 гг. Кн. 1. Екатеринбург: ОАО УГСЭ, 306 с.
- Казаков И.И., Стороженко Е.В., Харитонов И.Н., Стефановский В.В. (2017) Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Изд. 2-е. Сер. Средне-Уральская. Л. О-41-XXVI (Асбест). Объясн. зап. СПб.: ВСЕГЕИ, 284 с.
- Кальсин Г.В., Пужаков Б.А., Кузнецов Н.С. (2010) Отчет по объекту ГМК-200 листа N-41-II (Кунашакская площадь). Кн. 1. Челябинск: Челябинскгеолсъемка, 220 с.
- Коровко А.В., Двоглазов Д.А., Пуртов В.А. (1986) Отчет о групповом геологическом доизучении масштаба 1 : 50 000 Мурзинско-Алапаевской площади. Свердловск: ТФГИ по УрФО.
- Коротеев В.А., Дианова Т.В., Кабанова Л.Я. (1979) Среднепалеозойский вулканизм Восточной зоны Урала. Л.: Наука, 129 с.
- Коротеев В.А., Червяковский В.С., Зайцева М.В., Волчек Е.Н., Нечехин В.М. (2019) Первое определение изотопного возраста андезит-дацитового комплекса Восточной зоны Среднего Урала. *Докл. АН*, **487**(2), 174-178.
- Петров Г.А., Жиганов А.А., Стефановский В.В., Шалагинов В.В., Петрова Т.А., Овчинников Р.А., Герман Т.А. (2011) Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Сер. Уральская. Л. О-41 – Екатеринбург. Объясн. зап. СПб.: ВСЕГЕИ, 492 с.
- Петров Г.А., Ронкин Ю.Л., Маслов А.В., Лепихина О.П. (2010) Вендский и силурийский этапы офиолитообразования на Восточном склоне Среднего Урала. *Докл. АН*, **432**(5), 220-226.
- Пучков В.Н. (2000) Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа: Даурия, 146 с.
- Смирнов В.Н. (2012) Основные этапы магматизма Восточного склона Среднего Урала. *Литосфера*, (5), 4-15.
- Смирнов В.Н., Коровко А.В. (2007) Палеозойский вулканизм восточной зоны Среднего Урала. *Геодинамика, магматизм, метаморфизм и рудообразование*. Сб. науч. тр. (Отв. ред. Н.П. Юшкин, В.Н. Сазонов). Екатеринбург: УрО РАН, 395-420.
- Смирнов В.Н., Ферштатер Г.Б., Иванов К.С. (2003) Схема тектономагматического районирования территории восточного склона Среднего Урала. *Литосфера*, (2), 40-56.
- Смирнов В.Н., Червяковский С.Г. (1987) Первые данные о составе редкоземельных элементов в вулканитах восточной зоны Урала. *Тр. ИГГ УрО РАН*, вып. 134, 95-96.
- Холоднов В.В., Шардакова Г.Ю., Пучков В.Н., Петров Г.А., Шагалов Е.С., Салихов Д.Н., Коровко А.В., Прибавкин С.В., Рахимов И.Р., Бородин Н.С. (2021) Палеозойский гранитоидный магматизм Северного, Среднего и Южного Урала как отражение этапов геодинамической и геохимической эволюции коллизионного орогена. *Геодинамика и тектонофизика*, **12**(2), 225-245. <https://doi.org/10.5800/GT-2021-12-2-0522>
- Чувазов Б.И., Краснобаев А.А. (2010) Изотопный возраст липаритов восточного склона Среднего Урала. *Докл. АН*, **431**(4), 534-536.
- Шалагинов В.В., Автонеев И.А. (2001) Объяснительная записка к комплексу геологических карт масштаба 1 : 500 000 для территорий Северного, Среднего и северной части Южного Урала. Екатеринбург: АО УГСЭ, 205.
- Шардакова Г.Ю., Савельев В.П. (2012) Новые данные о химическом составе и возрасте пород Тюбукского массива (Средний Урал). *Тр. ИГГ УрО РАН*, вып. 159, 218-221.
- Algeo T.J., Hong H., Wang C. (2025) The chemical index of alteration (CIA) and interpretation of ACNK diagrams. *Chem. Geol.*, **671**(5), 122474. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2024.122474>
- Harris N.B.W., Pearce J.A., Tindle A.G. (1986) Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. *Collisions tectonics: Geol. Soc. London Spec. Publ.*, 19, 67-81. <http://doi.org/10.1144/GSL.SP.1986.019.01.04>
- Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G. (1984) Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of the granitic rocks. *J. Petrol.*, 25(4), 956-983.
- Sun S.S., McDonough W.E. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Magmatism in the oceanic basins. Geol. Soc. London Spec. Publ.*, 42(1), 313-345. <http://doi.org/10.1144/gsl.sp.1989.042.01.19>

## REFERENCES

- Algeo T.J., Hong H., Wang C. (2025) The chemical index of alteration (CIA) and interpretation of ACNK diagrams. *Chem. Geol.*, **671**(5), 122474. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2024.122474>
- Bochkarev V.V., Surin T.N. (1993) Volcanogenic formations and geodynamic development of the Uchalino-Alexandrinskaya and Rezhevskaya zones of the Urals. *Ekaterinburg, Nauka Publ.*, 80 p. (In Russ.)
- Chuvashov B.I., Krasnobaev A.A. (2010) Isotopic Age of Rhyolite from the Eastern Slope of the Middle Urals. *Dokl. Earth Sci.*, **431**(2), 466-468 (translated from *Dokl. AN*, **431**(4), 534-536).
- Geodynamic map of the Ural-Timan-Paleoasian segment of Eurasia. (2009) Scale 1 : 2 500 000 (Comp. V.M. Necheukhin, V.A. Dushin, V.G. Olovyanishnikov). *Ekaterinburg, UGGU*. (In Russ.)
- Harris N.B.W., Pearce J.A., Tindle A.G. (1986) Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. *Collisions tectonics: Geol. Soc. London Spec. Publ.*, 19, 67-81. <http://doi.org/10.1144/GSL.SP.1986.019.01.04>
- Ivanov K.S. (1978) On the petrology of the Pokrovsky liparite complex and the Reftinsky gabbro-plagiogranite massif (Middle Urals). *Tr. IGG UNTS AN SSSR*, vyp. 127, 61-65. (In Russ.)
- Ivanov K.S. (1979) Ultrapotassium liparite porphyries in the Urals. *Dokl. AN SSSR*, **247**(4), 908-912. (In Russ.)
- Ivanov K.S., Olersky V.P., Kopanev V.F. (1980) Ultrapotassium liparite porphyries of the Pokrovsky complex (Middle Urals). *Geosynclinal volcanism of the Urals and pyrite content of volcanic formations*. Collection of articles. (Ed. by G.F. Chervyakovsky, K.P. Ivanov). *Sverdlovsk, UNTs AN SSSR*, 131-140. (In Russ.)
- Kal'sin G.V., Puzhakov B.A., Kuznetsov N.S. (2010) Report on the GMK-200 object, sheet N-41-II (Kunashakskaya area). Book 1. *Chelyabinsk, Chelyabinskgeolsyomka Publ.*, 220 p. (In Russ.)
- Kazakov I.I., Storozhenko E.V., Kharitonov I.N., Stefanovsky V.V. (2016) Report on the results of work on the object “GDP-200 Sheet O-41-XX (Alapaevskaya area)”

- for 2014–2016. Book 1. Ekaterinburg, OAO UGSE, 306 p. (In Russ.)
- Kazakov I.I., Storozhenko E.V., Kharitonov I.N., Stefanovsky V.V. (2017) State geological map of the Russian Federation at a scale of 1 : 200 000. 2nd ed. Middle Urals Series. Sheet O-41-XXVI (Asbestos). Explanatory note. St.Petersburg, VSEGEI, 284 p. (In Russ.)
- Kholodnov V.V., Shardakova G.Yu., Puchkov V.N., Petrov G.A., Shagalov E.S., Salikhov D.N., Korovko A.V., Pribavkin S.V., Rakhimov I.R., Borodina N.S. (2021) Paleozoic granitoid magmatism of the Northern, Middle and Southern Urals as a reflection of the stages of geodynamic and geochemical evolution of a collisional orogen. *Geodynamics & Tectonophysics*, **12**(2), 225-245. (In Russ.) <https://doi.org/10.5800/GT-2021-12-2-0522>
- Koroteev V.A., Chervyakovskiy V.S., Zaitseva M.V., Volchek E.N., Necheukhin V.M. (2019) The first determination of the isotopic age of the andesite-dacitic complex of the Eastern zone of the Middle Urals. *Dokl. AN*, **487**(2), 174-178. (In Russ.)
- Koroteev V.A., Dianova T.V., Kabanova L.Ya. (1979) Middle Paleozoic volcanism of the Eastern zone of the Urals. Leningrad, Nauka Publ., 129 p. (In Russ.)
- Korovko A.V., Dvoeglazov D.A., Purtov V.A. (1986) Report on group geological additional study of the Murzinsk-Alapaevskaya area at a scale of 1 : 50 000. Sverdlovsk, TFGI po UrFO. (In Russ.)
- Petrov G.A., Ronkin Yu.L., Maslov A.V., Lepikhina O.P. (2010) Vendian and Silurian stages of ophiolite formation on the eastern slope of the Middle Urals. *Dokl. AN*, **432**(5), 220-226. (In Russ.)
- Petrov G.A., Zhiganov A.A., Stefanovsky V.V., Shalaginov V.V., Petrova T.A., Ovchinnikov R.A., Gertman T.A. (2011) State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1 000 000 (third generation). Urals Series. Sheet O'41 – Ekaterinburg. Explanatory note. St.Petersburg, VSEGEI, 492 p. (In Russ.)
- Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G. (1984) Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of the granitic rocks. *J. Petrol.*, **25**(4), 956-983.
- Puchkov V.N. (2000) Paleogeodynamics of the Southern and Middle Urals. Ufa, Dauria Publ., 146 p. (In Russ.)
- Shalaginov V.V., Avtonoev I.A. (2001) Explanatory note to the set of geological maps at a scale of 1 : 500 000 for the territories of the Northern, Middle and northern parts of the Southern Urals. Ekaterinburg, AO UGSE, 205 p. (In Russ.)
- Shardakova G.Yu., Savelyev V.P. (2012) New data on the chemical composition and age of rocks of the Tyubuk massif (Middle Urals). *Tr. IGG UrO RAN*, vyp. 159, 218-221. (In Russ.)
- Smirnov V.N., Korovko A.V. (2007) Paleozoic volcanism of the eastern zone of the Middle Urals. *Geodynamics, magmatism, metamorphism and ore formation*. Collection of scientific papers. (Ed. by N.P. Yushkin, V.N. Sazonov). Ekaterinburg, UrO RAN, 395-420. (In Russ.)
- Smirnov V.N. (2012) Main stages of magmatism of the eastern slope of the Middle Urals. *Lithosphere (Russia)*, (5), 4-15. (In Russ.)
- Smirnov V.N., Chervyakovskiy S.G. (1987) First data on the composition of rare earth elements in volcanics of the eastern zone of the Urals. *Tr. IGG URO RAN*, vyp. 134, 95-96. (In Russ.)
- Smirnov V.N., Fershtater G.B., Ivanov K.S. (2003) Scheme of tectono-magmatic zoning of the territory of the eastern slope of the Middle Urals. *Lithosphere (Russia)*, (2), 40-56. (In Russ.)
- Sun S.S., McDonough W.E. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Magmatism in the oceanic basins. Geol. Soc. London Spec. Publ.*, (42), 313-345. <http://doi.org/10.1144/gsl.sp.1989.042.01.19>
- Volchek E.N., Necheukhin V.M. (2014) Features of the formation of the eastern segment of the Ural Paleozoic orogen under accretion and collision conditions. *Lithosphere (Russia)*, (6), 45-53. (In Russ.)