



Особенности распределения редкоземельных и редких элементов в корях выветривания Немской и Жежимпарминской возвышенностей Южного Тимана

О. В. Гракова, К. С. Попвасев

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия
ovgrakova@geo.komisc.ru

Приведены результаты изучения распределения редкоземельных и редких элементов в различающихся по возрасту и условиям залегания корях выветривания Южного Тимана в карьерах Джежимский и Асывовож на возвышенности Жежимпарма и в карьере Вадьявож Немской возвышенности. На Жежимпарминском поднятии установлено сходство геохимических характеристик песчаников и глинистых пород в основании девонского разреза, подтверждающее тектоническое происхождение глинистых образований, ранее считавшихся корой выветривания. В карьере Вадьявож проведена геохимическая характеристика образований мезозойско-кайнозойских площадной и линейной кор выветривания по породам фундамента, подтверждена связь слюдистых алевролитов верхнерифейской джежимской свиты с рифейским этапом корообразования.

Ключевые слова: Южный Тиман, джежимская свита, кора выветривания, редкоземельные и редкие элементы

Specifics of the distribution of rare-earth and rare elements in the weathering crusts of the Nem and Zhezhimparma uplands at the Southern Timan

O. V. Grakova, K. S. Popvasev

Institute of Geology, FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar, Russia

The article presents the results of the study of the distribution of rare earth and trace elements in the weathering crusts of the Southern Timan, differing in age and bedding conditions, in the Dzhezhim and Asyvvovzh quarries on the Zhezhimparma Upland and in the Vadyavozh quarry on the Nem Upland. On the Zhezhimparma Upland, a similarity of the geochemical characteristics of sandstones and clayey rocks at the base of the Devonian section was observed, confirming the tectonic origin of the clayey formations previously considered to be the weathering crust. In the Vadyavozh quarry, a geochemical analysis was conducted on Mesozoic-Cenozoic areal and linear weathering crusts developed over basement rocks. The study confirmed a genetic link between the micaeous aleurolites of the Upper Riphean Dzhezhim suite and the Riphean weathering crust formation.

Keywords: Southern Timan, Dzhezhim suite, weathering crust, rare earth and trace elements

Введение

На Южном Тимане коры выветривания (КВ) палеозойской и мезозойско-кайнозойской эпох корообразования, различающиеся по условиям залегания и субстрату продуктов выветривания, вскрыты картировочными скважинами^{1,2,3}. На дневной поверхности образования КВ известны в пределах выступов рифейского фундамента, представленного различными горизонтами метатерригенных отложений джежимской свиты верхнего рифея (рис. 1). В соответствии с данными (Кузнецов и др., 2010), возраст джежимской свиты авторами принимается как позднерифейский. Однако эта точка зрения оспаривается в связи с наход-

ками вендских микрофоссилий (Колесников и др., 2023), и вопрос о возрасте свиты требует доизучения. Коры выветривания, развитые по породам джежимской свиты, рассматривались в качестве перспективных объектов при поисках алмазов². Изучение литолого-геохимических характеристик КВ, являющихся маркерами континентальных этапов развития территории, имеет важное значение для реконструкции палеогеографических условий осадконакопления и выявления источников обломочного вещества, в том числе алмазов. Ранее нами проведен анализ содержаний петрогенных оксидов, позволивший впервые охарактеризовать различные по возрасту и механизмам образования типы КВ, вскрытые горными выработками на Южном Тимане: досреднедевонскую площадную (карьер Асывовож); мезокайнозойскую по субстрату джежимской свиты площадную (карьеры Вадьявож и Джежимский) и линейную, связанную с позднеюрской разломной тектоникой (карьер Вадьявож) коры выветривания (Гракова и др., 2025).

Целью настоящей работы является характеристика распределения редких и редкоземельных элемен-

¹ Терешко В. В., Кириллин С. В. Групповая геологическая съемка м-ба 1 : 50 000 на территории листов Р-40-73-В, Г, Р-40-74-В, Р-40-85-Б, 3-40-86-А, Сыктывкар, 1991.

² Кулбакова Ф. А. Поиски алмазных россыпей «вишерского типа» на Южном Тимане и Юго-Западном Приити-манье. Ухта, 2001.

³ Кириллин С. В., Жарков В. А. Отчет о групповой геологической съемке масштаба 1:200 000 на территории листов Р-40-XX, Р-40-XXIV (Немская площадь). Сыктывкар, 2002.

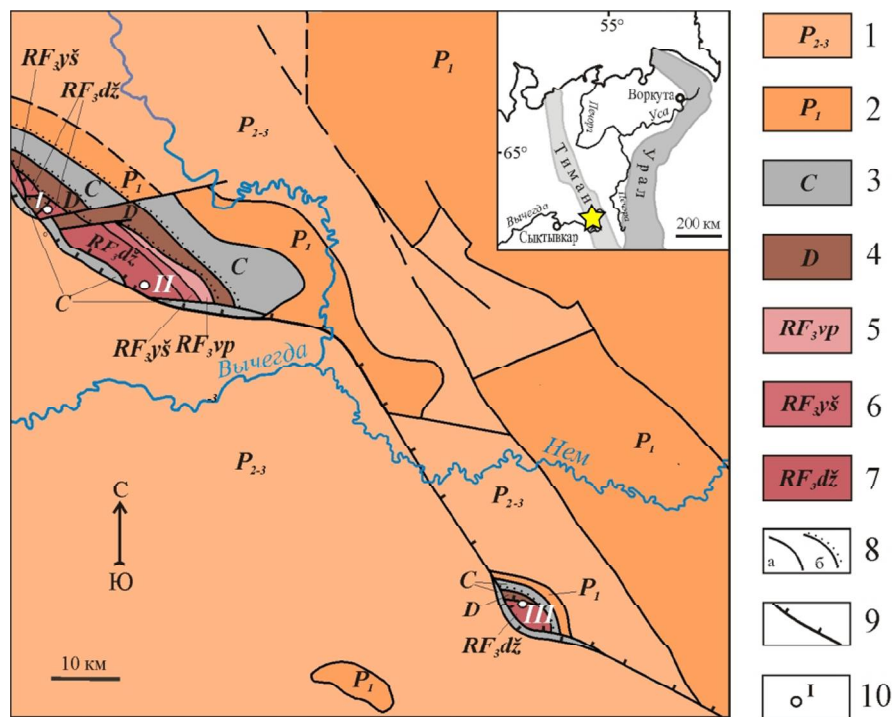


Рис. 1. Схематическая геологическая карта (по: Государственная..., 2005). Условные обозначения: 1–2 пермская система: 1 – нижний отдел, известняки, доломиты, алевролиты, песчаники, гипсы; 2 – средний и верхний отделы, глины, известняки, песчаники; 3 – каменноугольная система: известняки, доломиты, глинистые известняки, глины; 4 – девонская система, средний-верхний отделы: гравелиты, песчаники, конгломераты, алевролиты; 5–7 – рифейская подэонотема: 5 – вапольская свита: доломиты с прослоями песчаников, аргиллитов и кремней; 6 – ышкемесская свита: доломиты, алевролиты, аргиллиты; 7 – джежимская свита: песчаники, алевролиты, гравелиты; 8 – геологические границы: а – согласные, б – несогласные; 9 – надвиг; 10 – изученные разрезы в карьерах: I – Асыввож, II – Джежимский, III – Вадъявож. Звездочка на врезке – местоположение района работ

Fig. 1. Schematic geological map (after: State..., 2005). Legend: 1–2 Permian system: 1 – lower section, limestones, dolomites, siltstones, sandstones, gypsums; 2 – upper section, clays, limestones, sandstones; 3 – Carboniferous system: limestones, dolomites, argillaceous limestones, clays; 4 – Devonian system, middle-upper sections: gravelites, sandstones, conglomerates, siltstones; 5–7 – Riphean subaenothem: 5 – Wapol suite: dolomites with interlayers of sandstones, argillites and flints; 6 – Ishkemes suite: dolomites, siltstones, argillites; 7 – Dzhezhim suite: sandstones, siltstones, gravelstones; 8 – geological boundaries: a – conformable, b – unconformable; 9 – thrust; 10 – studied sections in quarries: I – Asyvvozh, II – Dzhezhimskii, III – Vadyavozh. The asterisk on the inset indicates the work area location

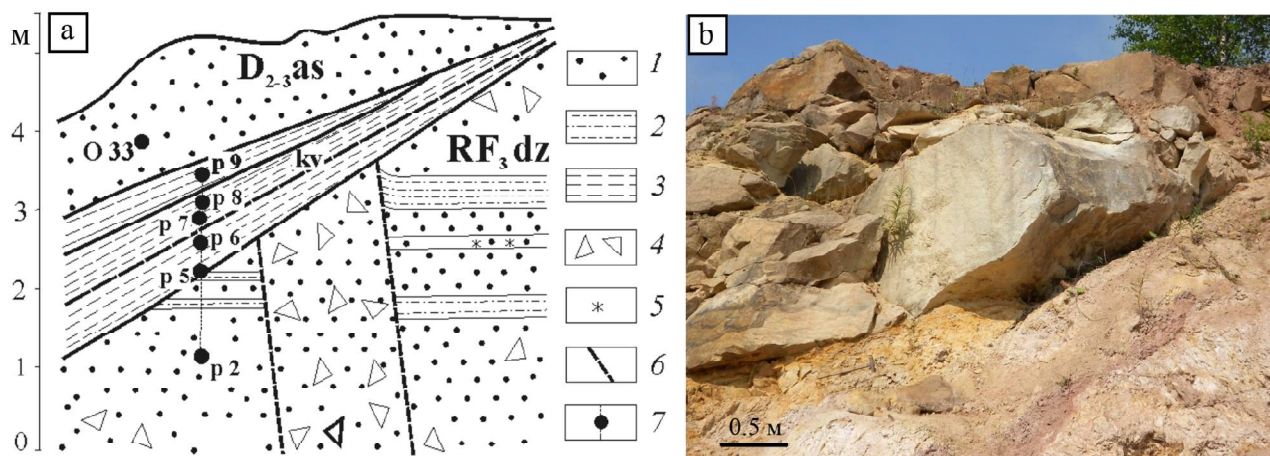


Рис. 2. Разрез зоны контакта рифейских и палеозойских отложений в карьере Асыввож: а – схема опробования: 1 – песчаник; 2 – алевропесчаник; 3 – глина; 4 – крупноглыбовые развалы; 5 – ожелезнение; 6 – линии разрезов; 7 – номер точки отбора пробы; б – выклинивающийся слой серовато-бежевой породы в основании девонской части разреза

Fig. 2. Section of the contact zone of Riphean and Paleozoic deposits in the Asyvvozh quarry: a – sampling scheme: 1 – sandstone; 2 – silty sandstone; 3 – clay; 4 – large-block rubble; 5 – ferrugination; 6 – section lines; 7 – sampling point number; б – wedging-out layer of greyish-beige rock at the base of the Devonian part of the section



тов в образованиях кор выветривания и выявление их зависимости от состава пород предполагаемого субстрата, что позволит использовать эти данные при корреляции палеонтологически немых толщ, расположенных в территориально разобщенных разрезах Южного Тимана, а также для реконструкции палеотектонических и палеогеографических условий формирования отложений.

Объект и методы исследования

Изученные образцы кор выветривания и пород субстрата отобраны в карьерах Асывовож, Жежимский (возвышенность Жежимпарма) и Вадъявож (Немская возвышенность) (рис. 1). Определение содержаний редких и редкоземельных элементов проводилось на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой Agilent 7700х. Для перевода пробы в раствор использовался метод многокислотного разложения (смесь кислот в соотношении $\text{HNO}_3 : \text{HF} : \text{HCl} = 1 : 5 : 2$) в условиях микроволнового нагрева. Разложение велось в микроволновой системе пробоподготовки Sineo MDS-10. Аналитические работы проводились в ЦКП «Геонаука» Института геологии Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар, аналитик Г. В. Игнатъев).

Геологическое положение изучаемых объектов

Карьеры Асывовож ($61^\circ 47' 12''$ с.ш., $54^\circ 06' 35''$ в.д., I на рис. 1) и Жежимский ($61^\circ 42' 56''$ с.ш., $54^\circ 21' 8''$ в.д., II на рис. 1) находятся на возвышенности Жежимпарма, которая совпадает с одноименной антиклинальной структурой, расположенной в зоне сочленения Тиманского складчато-глыбового сооружения и Восточно-Европейской платформы (Государственная..., 2005).

В карьере Асывовож не выдержанный по мощности слой глинистых образований КВ разделяет рифейскую и палеозойскую части разреза (рис. 1, 2). Занимающая верхнюю часть разреза среднепозднедевонская асывовожская свита сложена кварцевыми песчаниками с линзами гравелитов. Породы жежимской свиты (RF₃dž) верхнего рифея — полевошпат-кварцевые песчаники с подчиненными прослоями алевролитов — в зоне контакта с палеозойскими отложениями (10—12 см) дезинтегрированы до мелкой дресвы. Глинистый слой несогласно залегает на различных слоях жежимской свиты и состоит из трех частей (рис. 2, а, б). Залегающий в основании слой (до 40 см) лилово-розовой тонкогоризонтально-слоистой глины с незначительной псаммитовой примесью и редкими угловатыми обломками (до 3 см) песчаников, сланцев и кислых магматических пород (рис. 2, а, обр. Р 5, 6) сменяется аналогичной по структурно-текстурным характеристикам розовато-серой глинистой породой (0.6 м) с единичными мелкими (до 1.5 см) обломками перечисленных выше пород (рис. 2, а, обр. Р 7 и О 33). Верхний, несогласно залегающий на розовато-серой глине, выклинивающийся слой с максимальной мощностью около 0.5 м представлен серовато-бежевой песчанисто-глинистой породой, в основной массе которой редко встречаются обломки кварца, углистых сланцев и кварцевых песчаников размером 0.5—1.5 см (рис. 2, б, обр. Р 8). Порода обладает явным внешним

сходством с перекрывающими ее девонскими песчаниками и, по нашему мнению, образована в результате механического разрушения девонских пород (Гракова и др., 2025).

В карьере Жежимский (II на рис. 1), расположенном на юго-восточном фланге Жежимской антиклинали, породы жежимской свиты сложены вишнево-коричневыми полевошпат-кварцевыми песчаниками с линзами и прослоями мелкогалечных полимиктовых конгломератов и серовато-коричневых алевролитов. Кора выветривания остаточного площадного типа представлена розовато-серой песчанистой глиной с редкими мелкими (до 1.0 см) обломками алевролитов и песчаников.

Карьером Вадъявож (III на рис. 1), расположенном в пределах одноименной антиклинальной структуры, вскрыты породы позднерифейской жежимской свиты и мезозойско-кайнозойские КВ площадного и линейного типов. Жежимская свита представлена полевошпат-кварцевыми песчаниками с прослоями гравелитов, алевролитов и сланцев. Площадная остаточная КВ представляет собой розовато-желтоватую глину с примесью песка и редкими обломками размером до 1.0 см подстилающих пород.

Большая часть площадной остаточной КВ в обоих карьерах разрушена в результате геолого-поисковых работ на алмазы и добычи бутового камня. Образования КВ сохранились лишь фрагментарно и представлены отдельными небольшими выходами и глыбовыми развалами.

Образования линейной КВ представлены рыхлой оливково-коричневой дресвяно-песчано-глинистой смесью вдоль тектонического контакта в стенке карьера Вадъявож (рис. 3, а).

Признаки переотложенной рифейской внутриформационной КВ диагностированы у серых слюдистых алевролитов (рис. 3, б), входящих в состав алевритопесчаниковой толщи жежимской свиты (Никулова, 2017; Гракова и др., 2025).

Геохимическая характеристика пород

Содержания REE, малых и редких элементов, а также их соотношения, использованные для построения диаграмм и реконструкции условий осадконакопления, представлены в таблице 1. Содержания редкоземельных и редких элементов в породах субстрата и изученных разновидностях КВ близки к PAAS (таблица 1, рис. 4, а, с, е), кривые распределения незначительно отличаются по наклону легкой части спектра и интенсивности европиевого минимума. Максимальным содержанием REE (263 г/т) отличается слабосцементированная оливково-коричневая песчано-глинистая порода (обр. В 9.3) линейной КВ вдоль тектонического нарушения в юго-западной части карьера Вадъявож (рис. 3, б).

В карьере Асывовож глинистые породы из нижнего и среднего слоев (обр. Р 5—8) по количеству REE и форме кривых аналогичны песчаникам жежимской свиты. Образец серовато-бежевой песчанисто-глинистой породы (обр. Р 9) из слоя, залегающего непосредственно под девонскими песчаниками, характеризуется максимальными для этого разреза содержаниями REE и слабо проявленным европиевым минимумом



Таблица 1. Содержания редкоземельных и редких элементов, г/т

Table 1. Contents of rare earth and rare elements, g/t

Карьер Quarry	Асывовож / Asyvvozh						Вадьявовож / Vadyavozh					Джежимский Dzhezhim		
Возраст Age	RF	Досреднедевонский Pre-Middle Devonian			D		RF	MZ-KZ		RF (?)		RF	MZ-KZ	
Порода Rocks	Песчаник Sandstone	Площадная КВ Areal weathering crust			Песчаник Sandstone	Тектоническая глина Tectonic clay	Песчаник Sandstone	Площадная КВ Areal weathering crust	Линейная КВ Linear weathering crust	Площадная КВ Areal weathering crust		Песчаник Sandstone	Площадная КВ Areal weathering crust	
Элемент Element	P 2	P 5	P 7	P 8	O 33	P 9	B 9.4	B 14. 4	B 9.10	B14.3	B 9.3	Дж 1	Дж 2	Дж 3
Sc	5.5	3.3	4.8	2.0	3.9	5.4	1.0	7.1	5.6	14.0	15.0	1.0	16.0	4.6
V	21.0	21.0	29.0	9.0	16.0	43.0	6.0	45.0	39.0	170.0	119.0	10	110.0	61.0
Cr	26.0	25.0	29.0	11.0	14.0	35.0	204.0	133.0	45.0	137.0	108.0	345.0	114.0	77.0
Co	1.1	0.5	0.5	0.8	1.0	0.6	4.8	4.6	6.6	2.4	11.0	2.5	12.0	10.0
Ni	3.0	2.0	2.0	4.0	6.0	1.0	29.0	20.0	17.0	30.0	42.0	31.0	74.0	51.0
Cu	5.0	6.0	5.0	6.0	7.0	2.0	15.0	45.0	22.0	25.0	24.0	15.0	5.9	7.4
Zn	8.0	5.0	5.0	4.0	10.0	3.0	12.0	16.0	40.0	16.0	39.0	8.3	89.0	50.0
Ga	6.2	6.4	9.6	3.3	5.8	13.0	1.9	10.0	7.2	35.0	24.0	3.9	22.0	14.0
Rb	61.0	62.0	81.0	23.0	37.0	114.0	7.0	61.0	28.0	66.0	93.0	51.0	158.0	41.0
Sr	21.9	27.8	28.9	6.5	8.9	38.0	3.6	12.0	5.5	19.0	12.0	33.0	70.0	46.0
Y	7.9	7.9	10.1	12.0	15.0	14.0	4.1	7.8	6.2	8.8	15.0	7.3	34.0	15.0
Zr	95.0	107.0	147.0	152.0	173.0	189.0	52.0	153.0	62.0	189.0	119.0	38.0	176.0	142.0
Nb	3.2	3.0	4.6	4.7	7.7	6.0	1.2	5.3	2.7	20.0	11.0	1.8	13.0	8.7
Mo	0.9	0.8	0.2	0.2	0.5	0.2	21.0	2.3	0.9	0.8	0.4	4.8	0.5	0.8
Cs	0.9	1.2	2.0	0.8	3.7	2.8	0.1	0.9	0.4	5.3	1.8	0.5	2.3	0.9
La	17.2	19.8	14.7	11.0	17.0	24.0	4.6	22.0	4.5	12.0	51.0	13.0	45.0	12.0
Ce	33.2	40.6	30.7	23.0	35.0	49.0	9.0	43.0	8.1	22.0	111.0	27.0	78.0	19.0
Pr	4.1	5.0	3.8	2.9	4.2	6.4	1.1	4.9	1.2	3.7	12.0	3.5	12.0	3.6
Nd	14.9	19.0	15.0	11.0	15.0	25.0	4.3	18.0	5.0	14.0	46.0	14.0	49.0	14.0
Sm	2.7	3.6	3.0	2.1	2.9	4.8	0.8	3.1	1.3	3.1	8.0	2.5	9.8	3.0
Eu	0.8	1.0	1.0	0.5	0.7	1.5	0.2	0.8	0.3	0.8	1.4	0.9	2.7	12.0
Gd	3.0	3.9	3.9	2.6	3.5	5.1	1.0	3.6	1.4	3.2	8.4	2.6	10.0	3.3
Tb	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.1	0.4	0.2	0.5	0.9	0.3	1.3	0.5
Dy	1.7	1.9	2.1	2.0	2.5	3.0	0.8	1.7	1.2	3.1	3.7	1.4	6.5	2.7
Ho	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.2	0.3	0.2	0.6	0.6	0.3	1.3	0.6
Er	1.0	1.0	1.3	1.3	1.6	1.8	0.5	0.9	0.7	1.8	2.2	0.1	3.7	1.6
Tm	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.1	0.2	0.1	0.3	0.3	0.1	0.5	0.2
Yb	1.0	0.9	1.3	1.3	1.5	1.1	0.4	1.1	0.6	1.8	1.9	0.7	3.1	1.5
Lu	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.1	0.2	1.0	0.3	0.3	0.1	0.5	0.2
Hf	2.9	3.1	4.4	4.2	5.0	5.8	1.4	4.3	1.6	5.3	3.4	1.0	4.9	3.8
W	0.3	0.3	0.3	0.5	0.7	0.3	0.5	0.8	0.5	2.0	0.8	1.6	1.0	0.6
Pb	31.5	130.3	13.8	12.0	23.0	19.0	26.0	51.0	21.0	239.0	70.0	8.3	8.4	3.7
Th	4.9	6.4	5.5	3.7	5.0	8.1	1.7	8.3	3.6	5.8	9.9	2.5	11.0	3.2
U	0.8	1.0	1.1	1.0	1.4	1.5	0.6	2.5	0.7	3.4	3.7	0.7	3.8	0.8
Eu/Eu*	0.9	0.8	0.9	0.7	0.7	0.9	0.6	0.8	0.8	0.7	0.5	1.1	0.8	1.2
Ce/Ce*	0.9	1.0	1.0	0.9	1.0	0.9	0.9	0.9	1.0	0.8	1.1	0.9	0.8	0.7
Σ LREE	73.0	89.0	68.0	51.0	75.0	111.0	20.0	92.0	33.0	56.0	229.0	61.0	197.0	53.0
Σ REE	89.0	106.0	88.0	71.0	101.0	138.0	27.0	108.0	53.0	76.0	263.0	75.0	257.0	78.0

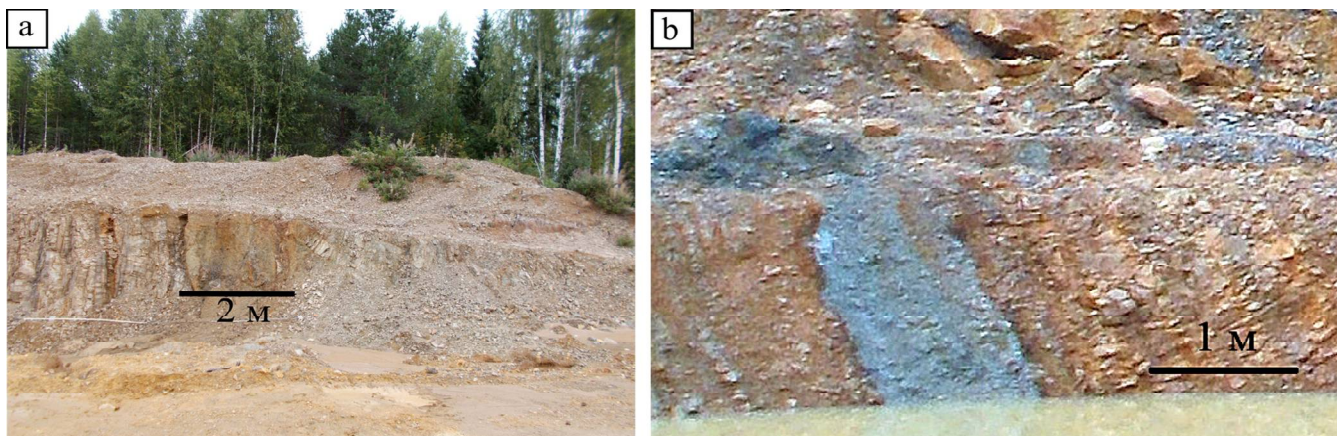


Рис. 3. Карьер Вадьявож: а — линейная кора выветривания по породам джежимской свиты; б — слой слюдистых алевролитов

Fig. 3. Vadyavozh quarry: a — linear weathering crust on rocks of the Dzhezhim suite; b — layer of micaceous siltstones

(табл. 1, рис. 4, а). На спайдер-диаграммах, нормированных на UCC (Taylor, McLennan, 1995), содержания малых и редкоземельных элементов в глинистых породах характеризуются пониженными значениями ряда элементов (Cu, Ni, Co и др.) и повышенным — циркония (рис. 4, б).

Графики распределения REE в отложениях мезозойско-кайнозойской площадной КВ, расположенной в карьере Джежимский, отличаются пологим наклоном в области LREE по сравнению с исходными рифейскими песчаниками и PAAS, а также слабовыраженным европиевым минимумом (рис. 4, с).

Графики распределения REE в глинистых образованиях КВ различного типа и возраста в карьере Вадьявож существенно различаются по характеру наклона кривых и значению европиевого минимума. По сравнению с неизмененными рифейскими песчаниками в них значительно выше содержание REE. Максимальным содержанием REE, крутым наклоном в области LREE и интенсивным европиевым минимумом отличаются слюдистые алевролиты в составе джежимской свиты (табл. 1, рис. 4, с).

Содержание элементов-примесей, за исключением циркония, в глинистых породах КВ мезозойско-кайнозойского возраста ниже UCC (рис. 4, d, f). Они близки по форме нормированных на UCC кривых распределения элементов-примесей (Taylor, McLennan, 1995), содержание которых в глинистых образованиях КВ выше, чем в неизмененных рифейских песчаниках (рис. 4, b, d, f). В КВ сохраняются унаследованные от пород субстрата низкие по сравнению с UCC содержания Co, Ni, Cu, Sr, Cs и повышенные Zr, Mo, Pb.

Сделать предположения о составе пород, участвовавших в образовании КВ, дают возможность диаграммы, представленные на рис. 5, а—f. Состав элементов-примесей в изученных породах сходен с составом кислых вулканитов малдинского комплекса Приполярного Урала (Соболева, 2004), поэтому на диаграмму La/Sc–Th/Co (Cullers, 2002) для сравнения нанесены средние составы этих вулканитов, а также гранитов Малдинского гранитного массива, архейских и протерозойских гранитов (рис. 5, а). Все фигуративные точки изученных отложений локализованы в поле (или вблизи него) продуктов разрушения кислых пород и по соотношениям La/Sc–Th/Co наиболее близки к риолитам и гранитам

малдинского комплекса. На диаграмме Zr/Sc–Th/Sc (по: McLennan, 1993) большинство фигуративных точек расположены в области пород, в которых присутствует петрогенный обломочный материал среднего и кислого состава (рис. 5, б).

Фигуративные точки образований КВ и девонских песчаников на диаграмме Yb_N-La_N/Yb_N (Маслов, 2004) находятся в области перекрытия полей архейской тоналит-трондьемит-гранитной ассоциации и постархейских гранитоидов, а все рифейские песчаники тяготеют к области архейской гранитной ассоциации (рис. 5, с).

Точки рифейских песчаников, отличающихся низкими содержаниями Hf, на диаграмме Hf–La/Th (Floyd, Leveridge, 1987) располагаются в основании трендов кислого и основного состава, большая часть точек КВ обнаруживает связь с породами, образованными в условиях кислой островной дуги (рис. 5, d).

На диаграмме Nb/Y–Zr/TiO₂ (Winchester, Floyd, 1977) точки попадают в область продуктов разрушения щелочных и кислых пород (рис. 5, e).

На диаграмме Sc–Th (по: Тейлор, МакЛеннан, 1988) большинство фигуративных точек рифейских и девонских песчаников располагаются вблизи линии Th/Sc = 1 (рис. 5, f). Относительно низкие значения этого отношения обнаруживаются в рифейских алевролитах, что может указывать на присутствие в обломочной части примеси материала основных магматических пород.

Положение их фигуративных точек на треугольной диаграмме Co–Th–Zr/10 (Bhatia, Crook, 1986) указывает на образование девонских и рифейских песчаников, вскрытых карьером Асывож, и связанных с ними глинистых образований в условиях пассивной континентальной окраины. А точки, соответствующие рифейским песчаникам и КВ из карьеров Вадьявож и Джежимский, попали в область осадков, вулканогенно-обломочный материал которых был сформирован в активной тектонической обстановке в условиях зрелой островной дуги (рис. 6, а). Такое положение точек обусловлено присутствием в породах первого цикла выветривания большого количества неизмененных плагииоклазов.

Отношения $\Sigma Ce/\Sigma Y$ характерны для пород, образованных в гумидном (5.7 и 6.8 обр. В 14.4 и В 9.3),

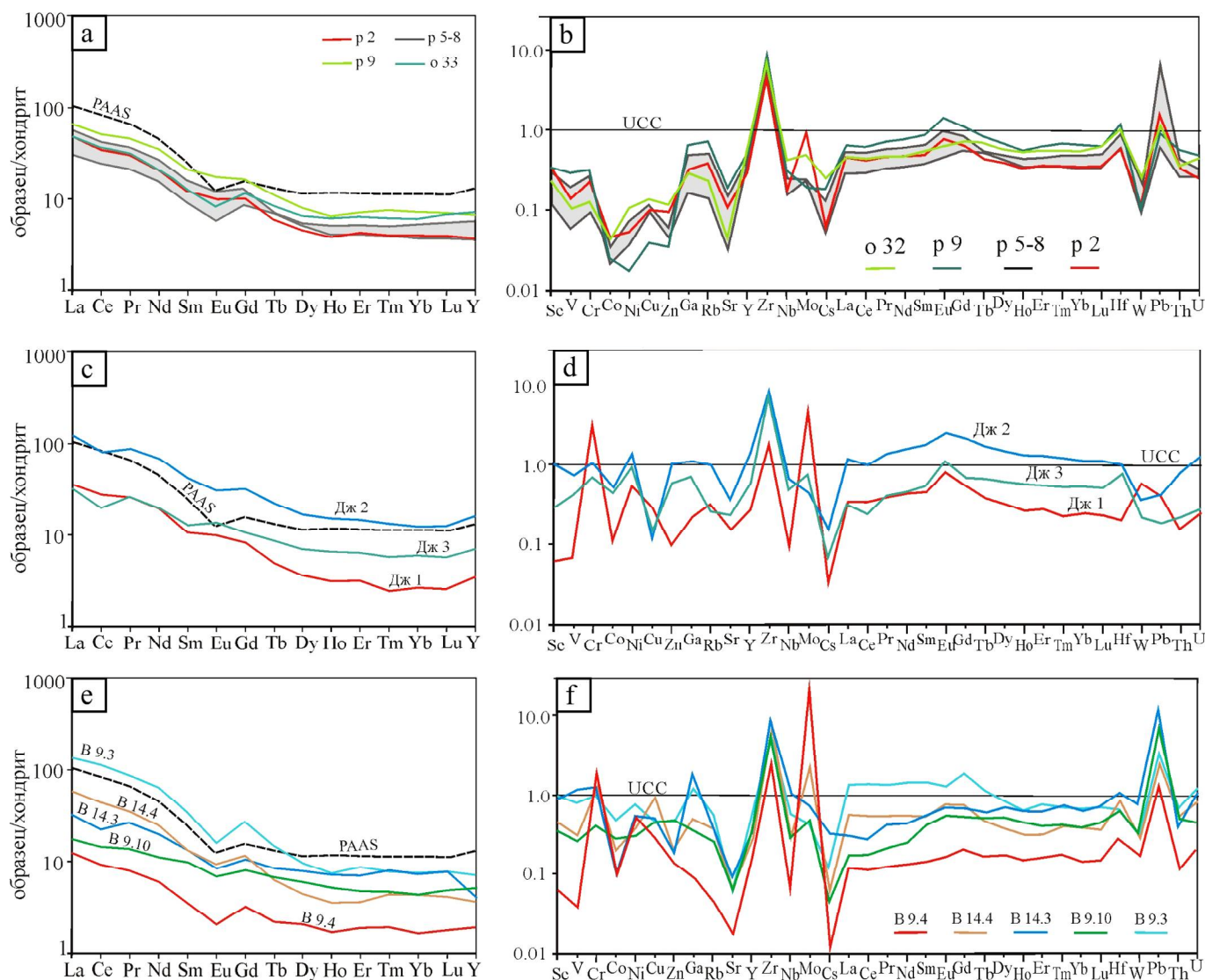


Рис. 4. Нормированные на хондрит (по: Тейлор, МакЛеннон, 1988) спектры распределения содержаний REE (a, c, e) и нормированное на UCC (Taylor, McLennan, 1995) содержание элементов-примесей (b, d, f) в исходных песчаниках и глинистых породах

Fig. 4. Chondrite-normalized (according to Taylor, McLennan, 1988) REE content distribution spectra (a, c, e) and UCC-normalized (Taylor, McLennan, 1995) trace element content (b, d, f) in the original sandstones and clayey rocks

семигумидно-семиаридном и аридном (1.7 и 2.1 в обр. В 9.10 и Дж 3) климатах (Балашов, 1976). На треугольной диаграмме La–(Nd + Sm)–(Y + Dy) фигуративные точки рифейских песчаников и связанных с ними KB расположены вблизи линии разграничения гумидного и аридного климатов и в поле аридного климата, а девонские песчаники и подстилающие их глинистые образования попали в поле пород, образованных в гумидном климате (рис. 6, b).

Обсуждение результатов и выводы

Содержание REE в рифейских песчаниках и глинистых образованиях KB карьера Асывовож отличаются незначительно и близки к PAAS. Спектры распределения REE в глинистых образованиях KB различного типа и возраста в карьере Вадьявож различаются по характеру наклона кривых. Максимальным содержанием REE, крутым наклоном в области LREE и наиболее интенсивным европиевым минимумом отличаются

ся слюдястые алевролиты в составе джежимской свиты (таблица 1, рис. 3, с).

В KB по рифейским породам сохраняются унаследованные от пород субстрата низкие по сравнению с UCC содержания Co, Ni, Cu, Sr, Cs и повышенные Zr, Mo, Pb. Такой состав элементов-примесей может быть обусловлен присутствием в породах вулканомиктовой составляющей пород кислого состава малдинского комплекса Приполярного Урала (Соболева, 2004; Юдович, Кетрис, 2000). На это также указывает схожесть соотношений La/Sc–Th/Co и Zr/Sc–Th/Sc в KB с составом риолитов, наличие крутого европиевого минимума и крутого наклона кривых легких редких земель.

Форма кривых распределения элементов-примесей на спайдер-диаграммах и положение фигуративных точек на диаграммах La/Sc–Th/Co, Zr/Sc–Th/Sc, Yb_N–La_N/Yb_N Hf–La/Th, Nb/Y–Zr/TiO₂, Sc–Th свидетельствуют о сходстве составов глинистых образований и подстилающих (вмещающих) пород, в формировании которых принимал участие обломочный матери-



ал первого цикла выветривания, образованный при разрушении магматических пород кислого и среднего состава.

Положение точек пород джежимской свиты и связанных с ними глинистых образований КВ из карьеров Джежимский и Вадьявож на треугольной диаграмме Co–Th–Zr/10, применяемой для реконструкции палеогеодинамических обстановок, в поле пород, сформированных в условиях зрелой островной дуги, объясняется их полевошпат-кварцевым составом. Отношение Ce/Ce* соответствует значениям, характерным для затопленных платформенных равнин (Murray et al., 1991).

Таким образом, наши исследования подтвердили принадлежность алевролитов в составе джежимской свиты в карьере Вадьявож к породам, образованным за счет переотложения измененного в КВ обломочного материала.

Особенности распределения РЗЭ в изученных нами разновидностях КВ обнаруживают их сходство с кислыми вулканитами, распространенными на Приполярном Урале, и не имеют признаков присутствия в них продуктов разрушения кимберлитов (Соболева, 2004; Гусев, Антонов, 2020; Опарин, Олейников, 2022).

Геохимические характеристики девонских песчаников и подстилающих их глинистых образований

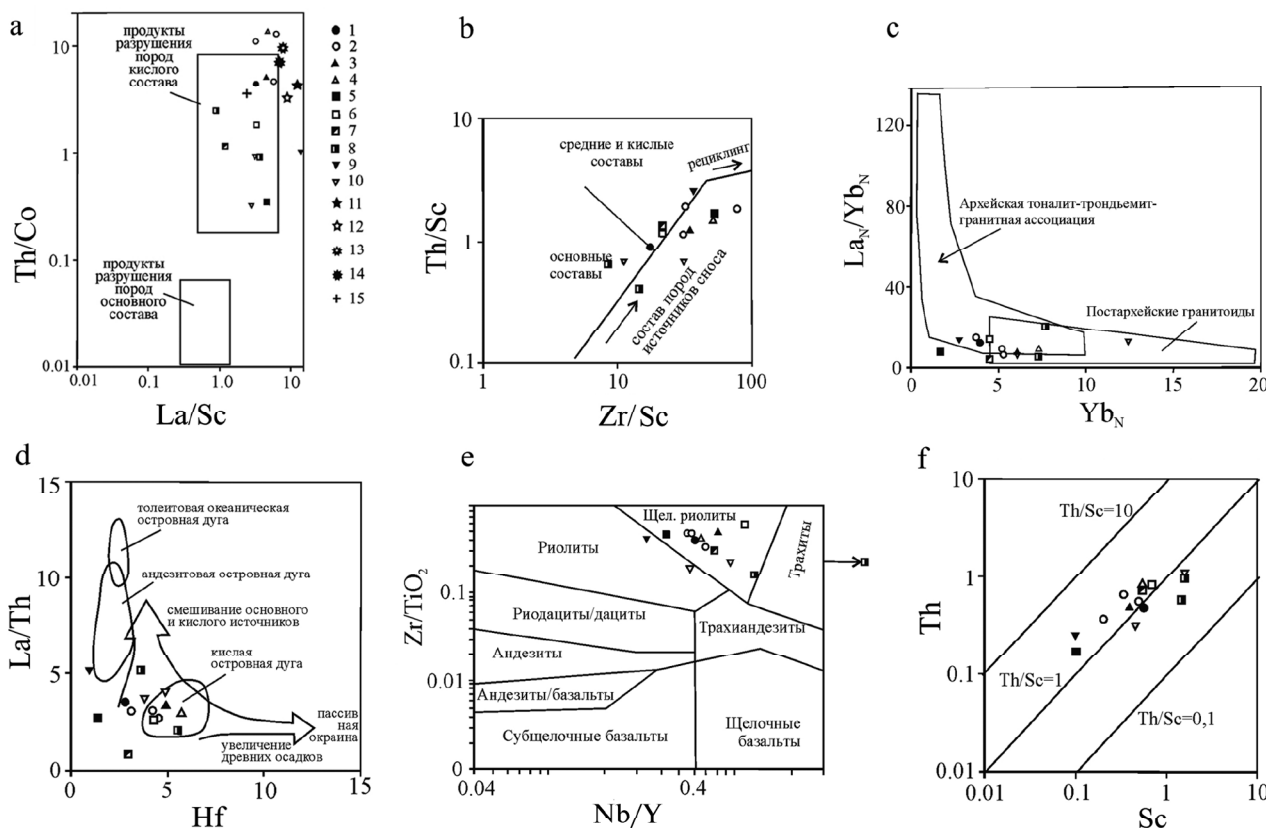


Рис. 5. Положение фигуративных точек песчаников и глинистых образований коры выветривания на диаграммах: а – La/Sc–Th/Co (по: Cullers, 2002); б – Zr/Sc–Th/Sc (по: McLennan et al., 1993); в – YbN–LaN/YbN (по: Маслов и др., 2004); д – Hf–La/Th (по: Floyd, Leveraidg, 1987); е – Nb/Y–Zr/TiO₂ (по: Winchester, Floyd, 1977); ф – Sc–Th (по: Тейлор, МакЛеннон, 1988). Условные обозначения: 1–4 – карьер Асывож: 1 – песчаник позднерифейской джежимской свиты; 2 – КВ по породам джежимской свиты; 3 – песчаник среднепозднедевонской асывожской свиты; 4 – тектоническая глина (?); 5–7 – карьер Вадьявож: 5 – песчаник позднерифейской джежимской свиты; 6 – площадная КВ по породам джежимской свиты; 7 – линейная КВ по породам джежимской свиты; 8 – древняя (рифейская) КВ; 9–10 – карьер Джежимский: 9 – песчаник позднерифейской джежимской свиты; 10 – площадная КВ по породам джежимской свиты; 11 – средний архейский гранит (по: Condie, 1993); 12 – средний протерозойский гранит (по: Condi, 1993); 13 – средний состав риолитов малдинского комплекса (по: Соболева, 2004); 14 – средний состав дацитов малдинского комплекса (по: Соболева, 2004); 15 – средний состав гранитов Малдинского гранитоидного массива (по: Соболева, 2004)

Fig. 5. Position of figurative points of sandstones and clayey formations of the weathering crust in the diagrams: а – La/Sc–Th/Co (after: Cullers, 2002); б – Zr/Sc–Th/Sc (after: McLennan et al., 1993); в – YbN–LaN/YbN (after: Maslov et al., 2004); д – Hf–La/Th (after: Floyd, Leveraidg, 1987); е – Nb/Y–Zr/TiO₂ (after: Winchester, Floyd, 1977); ф – Sc–Th (after: Taylor, McLennon, 1988). Legend: 1–4 – Asyvvozh quarry: 1 – sandstone of the Late Riphean Dzhezhim suite; 2 – weathering crust on the rocks of the Dzhezhim suite; 3 – sandstone of the Middle-Late Devonian Asyvvozh suite; 4 – tectonic clay (?); 5–7 – Vadyavozh quarry: 5 – sandstone of the Late Riphean Dzhezhim suite; 6 – areal weathering cruston on the rocks of the Dzhezhim suite; 7 – linear weathering cruston on the rocks of the Dzhezhim suite; 8 – ancient (Riphean) weathering crust; 9–10 – Dzhezhim quarry: 9 – sandstone of the Late Riphean Dzhezhim suite; 10 – areal weathering cruston on the rocks of the Dzhezhim suite; 11 – Middle Archean granite (after: Condie, 1993); 12 – Middle Proterozoic granite (after: Condi, 1993); 13 – average composition of rhyolites of the Maldinsky complex (after: Soboleva, 2004); 14 – average composition of dacites of the Maldinsky complex (after: Soboleva, 2004); 15 – average composition of granites of the Maldinsky granitoid massif (after: Soboleva, 2004)

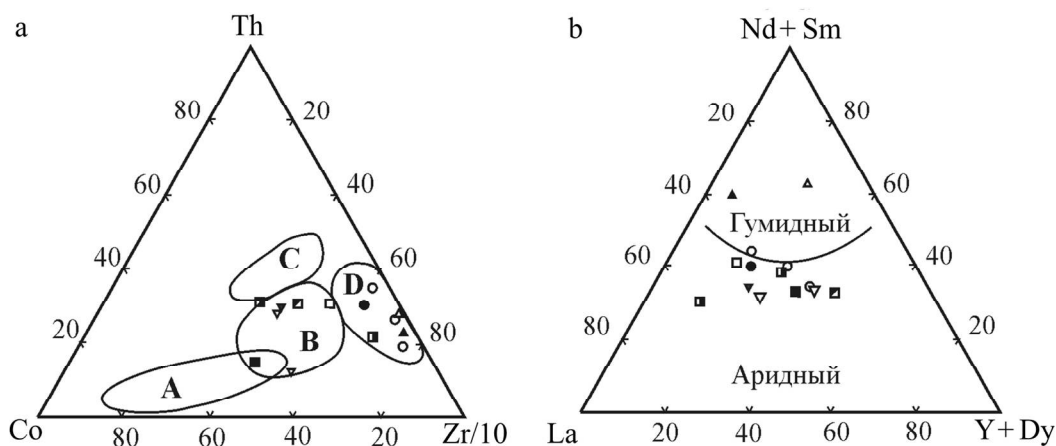


Рис. 6. Положение фигуративных точек на треугольных диаграммах: а — Co–Th–Zr/10 (по: Bhatia, Crook, 1986). Условные обозначения: А — островная дуга; В — зрелая (приконтинентальная) островная дуга; С — активная континентальная окраина; D — пассивная континентальная окраина; б — La–(Nd+Sm)–(Y+Dy) (по: Шатров, Войтеховский, 2009). Условные обозначения — на рис. 5

Fig. 6. Position of figurative points on triangular diagrams: а — Co–Th–Zr/10 (after Bhatia, Crook, 1986). Legend: А — island arc; В — mature (near-continent) island arc; С — active continental margin; D — passive continental margin; б — La–(Nd+Sm)–(Y+Dy) (after Shatrov, Voitekhovskiy, 2009). Legend in Fig. 5

сходны, что подтверждает сделанное нами ранее предположение о том, что они возникли в результате механического разрушения песчаников при надвиге, не являются КВ и не могут служить коллектором обломочных алмазов, обнаруженных в девонских породах.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по темам НИР: «Глубинное строение, геодинамическая эволюция, взаимодействие геосфер, магматизм, метаморфизм и изотопная геохронология Тимано-Североуральского сегмента литосферы» — 122040600012-2 и «Развитие минерально-сырьевого комплекса Тимано-Североуральско-Баренцевоморского региона на основе эффективного прогноза, геологического моделирования, геолого-экономической оценки ресурсного потенциала и новых технологий переработки полезных ископаемых» — 122040600011-5.

Литература / References

- Балашов Ю. А. Геохимия редкоземельных элементов. М.: Наука, 1976. 268 с.
Balashov Yu. A. Geochemistry of rare earth elements. Moscow: Nauka, 1976, 268 p. (in Russian)
- Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист Р-40-Североуральск. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика «ВСГЕИ», 2005. 332 с.
State Geological Map of the Russian Federation, scale 1:1000000 (third generation). Ural Series. Sheet P-40-Northern Ural. Explanatory note. St. Petersburg: Cartographic Factory "VSEGEI", 2005, 332 p. (in Russian)
- Гракова О. В., Никулова Н. Ю., Симакова Ю. С. Геохимическая характеристика кор выветривания на увале Джежимпарма и Немской возвышенности (Южный Тиман) // Записки Горного института. 2025. С. 1—13. EDN EBLEPI
Grakova O. V., Nikulova N. Yu., Simakova Yu. S. Geochemical characteristics of weathering crusts of the Southern Timan. Proc. of the Mining Institute, 2025, pp. 1—13. (in Russian)

Гусев Н. И., Антонов А. В. Кимберлиты участка Сербейан (Анабарский щит) — продукт расплава, обогащенного натрием, хлором, карбонатом // Региональная геология и металлогения. 2020. № 81. С. 105—118.

Gusev N. I., Antonov A. V. Kimberlites of the Serbeyan area (Anabar Shield) - a product of a melt enriched in sodium, chlorine, carbonate. Regional Geology and Metallogeny, 2020, No. 81, pp. 105—118. (in Russian)

Колесников А. В., Латышева И. В., Шацилло А. В., Кузнецов Н. Б., Колесников А. С., Десяткин В. Д., Романюк Т. В. Биота эдиакарского типа в верхнем докембрии Тиманского кряжа (возвышенность Джежимпарма, Республика Коми) // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2023. Т. 510. № 1. С. 61—65. DOI: 10.31857/S2686739722602964

Kolesnikov A. V., Latysheva I. V., Shatsillo A. V., Kuznetsov N. B., Kolesnikov A. S., Desiatkin V. D., Romanyuk T. V. Ediacara-Type Biota in the Upper Precambrian of the Timan Range (Dzhezhim-Parma Upland, Komi Republic). Doklady Earth Sciences, 2023, Vol. 510, No. 1, pp. 289—292. DOI: 10.1134/S1028334X23600032

Маслов А. В., Крупенин М. Т., Ронкин Ю. Л., Гареев Э. З., Лепихина О. П., Попова О. Ю. Тонкозернистые алюмосиликокластические образования стратотипического разреза среднего рифея на Южном Урале: особенности формирования, состав и эволюция источников сноса // Литология и полезные ископаемые 2004. № 4. С. 414—441.

Maslov A. V., Krupenin M. T., Ronkin Yu. L., Gareev E. Z., Lepikhina O. P., Popova O. Yu. Fine-grained aluminosiliciclastic rocks of the Middle Riphean stratotype section in the Southern Urals: Formation conditions, composition and provenance evolution. Lithology and Mineral Resources, 2004, Vol. 39, No. 4, pp. 357—381. DOI 10.1023/B:LIMI.0000033822.25951.88

Никулова Н. Ю. Вещественный состав и особенности формирования метасадочных пород фундамента Вадьявожского выступа (Немская возвышенность, Южный Тиман) // Региональная геология и металлогения. 2017. № 69. С. 23—32.



- Nikulova N. Yu. Material composition and formation features of metasedimentary rocks of the basement of the Vadyavozhsky ledge (Nem Upland, Southern Timan). *Regional Geology and Metallogeny*, 2017, No. 69, pp. 23–32. (in Russian)
- Опарин Н. А., Олейников О. Б. Геологическое строение и вещественный состав кимберлитовых трубок Хомпумайского поля (Центральная Якутия) // *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2022. Т. 27. № 4. С. 486–498. DOI: 10.31242/2618-9712-2022-27-4-486-498
- Oparin N. A., Oleynikov O. B. Geological structure and material composition of kimberlite pipes of the Khompumai field (Central Yakutia). *Natural resources of the Arctic and Subarctic*, 2022, Vol. 27, No. 4, pp. 486–498. (in Russian)
- Соболева А. А. Вулканиты и ассоциирующие с ними гранитоиды Приполярного Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 146 с.
- Soboleva A. A. Volcanites and associated granitoids of the Subpolar Urals. Yekaterinburg: UB RAS, 2004, 146 p. (in Russian)
- Тейлор С. З., МакЛеннон С. М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.
- Taylor S. Z., McLennan S. M. Continental crust: its composition and evolution. Moscow: Mir, 1988, 384 p. (in Russian)
- Шатров В. А., Войцеховский Г. В. Применение лантаноидов для реконструкций обстановок образования в фанерозое и протерозое (на примере разрезов чехла и фундамента Восточно-Европейской платформы) // *Геохимия*. 2009. № 8. С. 805–824.
- Shatrov V. A., Voitsekhovskii G. V. The use of lanthanides for the reconstruction of Phanerozoic and Proterozoic sedimentation environments exemplified by sections in the cover and basement of the East European platform. *Geochemistry International*, 2009, Vol. 47, No. 8, pp. 758–776. DOI: 10.1134/S0016702909080023
- Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.
- Yudovich Ya. E., Ketris M. P. Fundamentals of Lithochemistry. St. Petersburg: Nauka, 2000, 479 p. (in Russian)
- Bhatia M. R., Crook K. A. W. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contrib. Mineral. Petrol*, 1986, Vol. 92. No. 2. P. 181–193. DOI: 10.1007/bf00375292
- Condie K. C. Chemical composition and evolution of the upper continental crust contrasting results from surface and shales. *Chemical Geology*. 1993. Vol. 104. No. 1. P. 1–37. DOI: 10.1016/0009-2541(93)90140-e
- Cullers R. L. Implications of elements concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA. *Chem. Geol.* 2002, Vol. 191. No. 4. P. 305–327. DOI: 10.1016/S0009-2541(02)00133-X
- Floyd P. A., Leveridge B. E. Tectonic environment of the Devonian Gramscatho basin, south Cornwall: framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones. *J. Geol. Soc., London*. 1987. Vol. 191. No. 4. P. 531–542. DOI: 10.1144/gsjgs.144.4.0531
- McLennan S. M., Hemming S. R., McDaniel D. K., Hanson G. N. Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics In: M. J. Johnsson, A. Basu, Eds. *Processes controlling the composition of clastic sediments*. Geological Society of America, Colorado. 1993. Vol. 284. P. 21–40. DOI: 10.1130/SPE284-p21
- Murray R. W., Buchholtz ten Brink M. R., Gerlach D. C., Russ G. P., Jones D. L. Rare earth, major and trace elements in chert from the Franciscan Complex and Monterey Group, California: Assessing REE sources to fine-grained marine sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1991. Vol. 55. No. 7. P. 1875–1895. DOI: 10.1016/0016-7037(91)90030-9
- Taylor S. R., McLennan S. M. The geochemical evolution of the continental crust. *Rev. Geophys.* 1995. Vol. 33. No. 2. P. 241–265. DOI: 10.1029/95rg00262
- Winchester J. A., Floyd P. A. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chem. Geol.* 1977. No. 20. P. 325–343. DOI: 10/1016/0009-2541(77)9577-2

Поступила в редакцию / Received 9.12.2024