



УДК 550.42(234.83)

<https://doi.org/10.26516/2073-3402.2024.49.104>

## Литогеохимия верхнепротерозойских и палеозойских терригенных отложений в зоне контакта фундамент/чехол (Южный Тиман)

Н. Ю. Никулова, О. В. Гракова\*

*Институт геологии Коми научного центра УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия*

**Аннотация.** Изучены особенности распределения редкоземельных, редких элементов и породообразующих оксидов в песчаниках верхнерифейской джежимской и средневерхнедевонской асывовожской свит зоны контакта фундамент/чехол на возвышенности Джежимпарма (Южный Тиман). Показано, что рифейские и девонские песчаники сходны по характеру распределения редкоземельных и редких элементов, содержание которых во всех изученных разновидностях горных пород существенно ниже PAAS. Общей особенностью рифейских и девонских песчаников является преобладание легких редкоземельных элементов. Установлено, что накопление как рифейских, так и девонских песчаников проходило в эпиконтинентальной обстановке в условиях жаркого климата за счет размыва и переотложения метаморфических образований фундамента и в меньшей степени слабо выветрелых кислых магматических пород. Незначительный разброс содержаний элементов-примесей указывает на постоянство источников обломочного материала, основную роль среди которых играли древние метаосадочные породы. Проведенные исследования и полученные нами ранее результаты U–Pb изотопного датирования зерен детритового циркона из песчаников асывовожской свиты позволяют предположить, что основными источниками обломочных цирконов как для рифейских, так и для девонских песчаников были кристаллические комплексы древнего фундамента Восточно-Европейской платформы и комплексы аккреционных орогенов на окраине Балтики. Не исключается, что девонские песчаники могли частично унаследовать состав рифейских отложений. Полученные результаты могут быть использованы в качестве критериев для корреляции пространственно разобщенных разрезов, определения фациальной принадлежности и палеотектонических условий осадконакопления.

**Ключевые слова:** песчаники, химический состав, условия осадконакопления, рифей, девон, Южный Тиман.

**Благодарности:** Работа выполнена в рамках государственных тем НИР ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН: «Осадочные формации: вещество, седиментация, литогенез, геохимия, индикаторы литогенеза, реконструкция осадконакопления», 122040600013-9 и «Глубинное строение, геодинамическая эволюция, взаимодействие геосфер, магматизм, метаморфизм и изотопная геохронология Тимано-Северуральского сегмента литосферы», 122040600012-2.

**Для цитирования:** Никулова Н. Ю., Гракова О. В. Литогеохимия верхнепротерозойских и палеозойских терригенных отложений в зоне контакта фундамент/чехол (Южный Тиман) // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2024. Т. 49. С. 104–117. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2024.49.104>

## Geochemical Characteristics of Upper Proterozoic and Paleozoic Terrigenous Deposits in Their Contact Zone (Southern Timan)

N. Yu. Nikulova, O. V. Grakova\*

*Institute of Geology Komi Scientific Center UB RAS, Syktyvkar, Russian Federation*

**Abstract.** The distribution patterns of rare earth, trace elements and rock-forming oxides in sandstones of the Upper Riphean Dzhezhimskii Formation and Middle-Upper Devonian Asyvvozhskii Formation of the basement/cover contact zone on the Dzhezhimparma Upland (Southern Timan) are studied. It is shown that the Riphean and Devonian sandstones are similar in the distribution patterns of rare earth and trace elements, the content of which in all studied rock varieties is significantly lower than PAAS. A common feature of the Riphean and Devonian sandstones is the predominance of light REE. It is established that the accumulation of both Riphean and Devonian sandstones took place in an epicontinental setting under hot climate conditions due to erosion and redeposition of metamorphic basement formations and, to a lesser extent, weakly weathered acidic igneous rocks. The minor variation in trace element contents indicates the constancy of the sources of detrital material, the main role among which was played by ancient metasedimentary rocks. The conducted studies and the previously obtained results of U–Pb isotope dating of detrital zircon grains from the Asyvvozhskii Formation sandstones allow us to assume that the main sources of detrital zircons for both Riphean and Devonian sandstones were crystalline complexes of the ancient basement of the East European Platform and complexes of accretionary orogens on the margin of Baltica. It is possible that Devonian sandstones could have partially inherited the composition of Riphean deposits. The obtained results can be used as criteria for correlating spatially isolated sections, determining the facies affiliation and paleotectonic conditions of sedimentation.

**Keywords:** sandstones, chemical composition, sedimentation conditions, Riphean, Devonian, South Timan.

---

**For citation:** Nikulova N.Yu., Grakova O.V. Geochemical Characteristics of Upper Proterozoic and Paleozoic Terrigenous Deposits in Their Contact Zone (Southern Timan). *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2024, vol. 49, pp. 104-117. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2024.49.104> (in Russian)

---

### Введение

На Южном Тимане коренные выходы докембрийских образований, перекрытые толщей палеозойских и кайнозойских осадочных пород, выведены на поверхность лишь в нескольких удаленных друг от друга на десятки километров разрезах в ядрах антиклинальных структур. Разрез, вскрывающий контакт метатерригенной толщи джежимской (RF<sub>3dz</sub>) и песчаников асывожской (D<sub>2-3as</sub>) свиты, изучен в карьере Асывож на увале Джежимпарма.

Среднепалеозойские отложения привлекали внимание исследователей из производственных и научных организаций в связи с находкой в гравелито-песчаниковой толще нескольких кристаллов алмазов. Проводившиеся здесь работы были связаны преимущественно с поисками алмазных россыпей вишерского типа, приуроченных к структурным корам выветривания по породам фундамента. Джежимская свита является возрастным и фациальным аналогом золотоносной аньюгской свиты Среднего Тимана [Тиманский кряж, 2010]. Датирование и изотопно-геохимическое изучение детритных цирконов из песчаников джежимской свиты было проведено Н. Б. Кузнецовым и соавторами [Первые результаты ... , 2010]. Песчаники не содержат

зерен циркона моложе среднего рифея ( $1144 \pm 36$  млн лет), а разница между определенным по палинологическим данным эйфельским возрастом накопления песчаников и временем образования самых молодых цирконов составляет около 750 млн лет [Никулова, Филиппов, Хубанов, 2020]. Изучение минералогических особенностей и закономерностей распределения породообразующих оксидов, дополненное петрографическими исследованиями, позволило установить основные литохимические характеристики верхнерифейских песчаников [Никулова, 2017].

Целью изучения закономерностей распределения редких и редкоземельных элементов (РЗЭ) в породах зоны межформационного контакта является максимально полная характеристика геохимических особенностей, которые могут использоваться в качестве критериев для корреляции пространственно разобщенных разрезов, определения фациальной принадлежности и палеотектонических условий осадконакопления.

### Геологическое положение и строение разреза

Вскрытый карьером Асывож разрез зоны контакта разделенных стратиграфическим и угловым несогласиями пород фундамента и осадочного чехла расположен в области сочленения Тиманского складчато-глыбового сооружения и Восточно-Европейской платформы в пределах ядра ограниченной разрывными нарушениями Асывожской антиклинальной структуры (рис. 1).

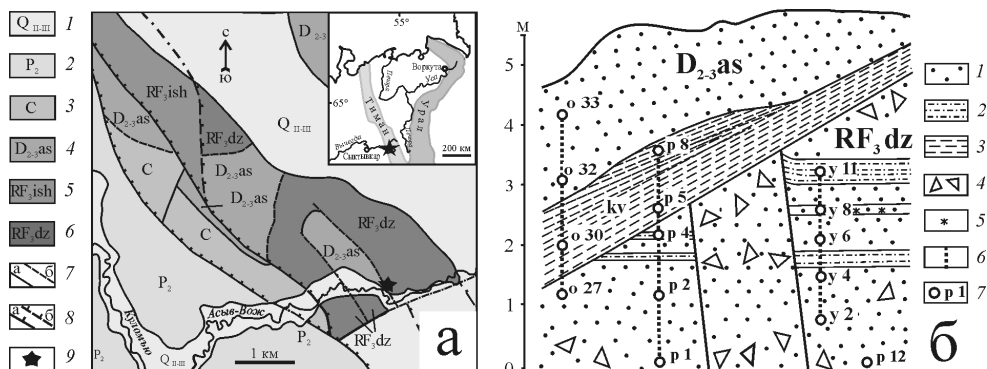


Рис. 1. Схематическая геологическая карта (а) Джемпарминской структуры и схема строения разреза (б). Условные обозначения (а):

- 1 – четвертичная система, средний-верхний отделы – пески, глины, алевролиты, галечники, суглинки, супеси; 2 – пермская система: известняки, доломиты, гипсы, ангидриты, глины; 3 – каменноугольная система: известняки, доломиты, глинистые известняки, глины; 4 – девонская система, средний-верхний отделы, асывожская свита: гравелиты, песчаники, конгломераты, алевролиты; 5 – рифейская эратема, верхняя часть, ышкемесская свита: доломиты, песчаники, алевролиты, аргиллиты, сланцы, песчаники, гравелиты, брекчии; 6 – средняя часть, джежимская свита: песчаники, алевролиты, гравелиты; 7 – геологические границы: а – достоверные, б – предполагаемые; 8 – разрывные нарушения: а – достоверные, б – предполагаемые; 9 – изученный разрез. Условные обозначения (б): 1 – песчаник; 2 – алевропесчаник; 3 – глина; 4 – крупноглыбовые развалы; 5 – ожелезнение; 6 – линии разрезов; 7 – номер точки отбора пробы

Отложения фундамента представлены джежимской свитой верхнего рифея, сложенной красноцветными песчаниками с прослоями алевролитов и аргиллитов. В основании залегающей выше ышкимесской свиты залегают гравелиты и кварцитовидные песчаники, в средней части – красноцветные строматолитовые и хемогенные доломиты, в верхней – сероцветные доломиты с прослоями алевролитов, аргиллитов и песчаников. Средневерхнедевонская асывовожская свита, с угловым несогласием залегающая на породах фундамента или на фрагментарно сохранившихся образованиях коры выветривания, представлена песчаниками с линзами конгломератов, гравелитов, алевролитов и глин. Кора выветривания (КВ) на контакте рифейской и палеозойской частей разреза представлена несогласно залегающим на рифейских породах слоем глины с примесью в нижней части мелких неокатанных обломков рифейских пород. Отложения каменноугольного возраста представлены глинами и аргиллитами, постепенно сменяющимися известняками и доломитами; перекрыты пермскими известняками и доломитами, переходящими в загипсованные известняки с прослоями гипсов, ангидритов и глин.

Отложения верхнерифейской джежимской свиты представлены мелкозернистыми и разномзернистыми песчаниками с бластопсаммитовой структурой и массивной текстурой, с пленочным, поровым, базальным и регенерационным цементом. В составе обломочной части преобладает кварц (до 90 %), на пелитизированный полевой шпат приходится от 10 до 30 %. Встречаются обломочные таблитчатые зерна глинизированного биотита, изогнутые вдоль контуров кварца и полевого шпата, чешуйки мусковита и относительно крупные кварцевые зерна с включениями циркона или полевого шпата. Обломки пород представлены мелкокристаллическими полевошпат-кварцевыми породами, микрокварцитами, кварцитами, в том числе сложенными регенерированными зернами, глинистыми сланцами. В аксессуарных количествах в шлифах встречаются эпидот, турмалин, циркон, титанит и апатит. Алевролиты и алевропесчаники имеют сходные структурно-текстурные характеристики и состав, отличаются от песчаников гранулометрическими характеристиками и повышенным содержанием слюды. В тяжелых фракциях протолочных проб постоянно присутствуют: циркон, рутил, турмалин, лейкоксен, анатаз, гематит. Реже встречаются: титанит, монацит, апатит, магнетит, амфибол.

Песчаники асывовожской свиты характеризуются бластопсаммитовой структурой, массивной текстурой. Псаммитовые зерна различной окатанности сцементированы пленочным или поровым, глинистым и слюдисто-глинистым цементом. Обломки сложены кварцем (около 95 %), редкими зернами калиевого полевого шпата, кислого плагиоклаза, микрозернистой кварцевой породы, полевошпат-кварцевой породы с микропойкилитовой структурой, глинистого сланца. Аксессуарные минералы в шлифах представлены цирконом и лейкоксеном. В тяжелых фракциях протолочных проб преобладают рутил, ильменит, лейкоксен, ильменорутит, циркон и турмалин. В знаковых количествах присутствуют: гранат, монацит, ксенотим, флоренсит, корунд, шпинель, ставролит, эпидот, амфибол, пироксен, хромит, касситерит, ставролит, анатаз, брукит, барит, кианит, лазулит, магнетит, золото, алмаз.

### Объект и методы исследования

Объектом исследования явились горные породы в зоне контакта верхнерифейской джежимской и средне-верхнедевонской асывовожской свит в карьере Асывож ( $61^{\circ}47'11.5''$  с. ш.,  $54^{\circ}06'35.2''$  в. д.). Породы фундамента (джежимская свита) – вишнево-коричневые мелкозернистые песчаники с подчиненными прослоями тонко-, крупнозернистых песчаников и алевропесчаников, залегают с азимутом падения  $190^{\circ}$  и углом  $20\text{--}25^{\circ}$ . Верхнепротерозойскую и палеозойскую части разреза разделяет выклинивающийся глинистый слой досреднедевонской КВ (рис. 1, б). Асывовожская свита представлена желтовато-коричневыми кварцевыми песчаниками, содержащими редкие прослои и линзы гравелитов, с азимутом падения  $310^{\circ}$  и углом  $15^{\circ}$ .

Изучены образцы песчаников и алевролитов джежимской свиты, глины коры выветривания по рифейским породам и песчаников асывовожской свиты (рис. 1, б). Петрографический состав пород изучался в прозрачных шлифах. Содержания породообразующих оксидов определялись традиционным весовым химическим методом. Определение содержаний редких и редкоземельных элементов проводилось на масс-спектрометре с индуктивной связанной плазмой Agilent 7700x (аналитик Г. В. Игнатьев). 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. Все аналитические работы проводились в ЦКП «Геонаука» Института геологии Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар).

### Литолого-геохимическая характеристика пород

Содержания редкоземельных элементов, малых и редких элементов, рассчитанные индикаторные соотношения, используемые при реконструкции состава материнских пород и условий формирования отложений, приведены в таблице.

Суммарные содержания РЗЭ в изученных породах различаются несущественно и составляют: в песчаниках джежимской свиты –  $60\text{--}90$  г/т, в алевролитах –  $100\text{--}110$  г/т, в трех образцах глины КВ –  $75\text{--}106$  г/т, в песчаниках асывовожской свиты –  $100\text{--}125$  г/т (табл.). Графики распределения РЗЭ для большинства образцов метапесчаников джежимской свиты и коры выветривания сходны по характеру наклона кривых и наличию слабо выраженного европиевого минимума (рис. 2). Два образца песчаников джежимской свиты из нижней части вскрытого разреза (P1 и P12) с минимальным содержанием РЗЭ выделяются присутствием европиевого максимума ( $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 1,12$  и  $1,19$ ). Отношение  $\text{Ce}/\text{Ce}^*$  во всех изученных образцах в интервале  $0,89\text{--}0,95$  соответствует значениям, характерным для эпиконтинентальных обстановок [Rare earth ... , 1991].

Таблица

## Содержания РЗЭ и редких элементов, г/т

Элемент	Джежимская свита										Кора выветривания					Асывовжская свита		
	P1	P2	P4	P12	У2	У4	У6	У8	У11	P5	P8	О30	О27	О32	О33			
Sc	4,30	3,33	7,09	7,27	3,68	4,10	6,35	4,41	8,32	3,96	4,49	10,00	11,00	7,10	17,00			
V	4,13	5,53	2,89	2,60	4,40	4,77	5,66	4,22	5,28	3,25	4,82	2,00	2,10	7,80	3,90			
Cr	16,49	20,81	19,71	14,17	19,44	25,52	22,52	16,24	31,99	20,82	28,63	9,00	13,00	52,00	16,00			
Co	35,81	25,53	20,16	25,25	31,47	20,31	25,55	30,07	38,48	24,97	27,78	11,00	14,00	65,00	14,00			
Ni	2,12	1,12	1,71	2,02	1,41	1,51	1,59	1,02	2,06	0,48	0,49	0,75	2,30	2,20	1,00			
Cu	4,67	2,81	4,44	6,14	3,50	3,97	4,45	3,79	8,35	2,08	1,71	4,10	10,00	10,00	6,20			
Zn	8,92	5,16	3,83	2,09	5,14	4,73	6,23	4,24	8,66	5,64	4,52	6,40	16,00	22,00	7,20			
Ga	10,59	7,98	10,34	10,00	8,53	10,91	11,37	8,23	16,63	5,03	4,77	4,10	16,00	14,00	10,00			
Rb	5,97	6,20	6,97	6,49	7,27	8,03	7,59	6,20	12,90	6,36	9,64	3,30	3,80	16,00	5,80			
Sr	66,55	61,02	66,78	76,17	69,77	71,23	65,81	60,84	94,08	61,78	80,73	23,00	24,00	108,00	37,00			
Y	23,48	21,86	32,14	41,25	23,77	24,03	27,42	32,25	38,04	27,81	28,94	6,50	8,50	35,00	8,90			
Zr	6,86	7,89	7,99	7,41	8,94	7,66	6,34	10,85	8,50	7,87	10,05	12,00	13,00	12,00	15,00			
Nb	82,21	95,42	105,63	75,33	105,75	75,77	70,60	151,71	108,64	107,45	147,03	152,00	163,00	188,00	173,00			
Mo	3,37	3,24	2,72	2,16	3,00	2,10	2,21	3,70	4,70	3,03	4,63	4,70	4,90	8,10	7,70			
Cs	1,58	0,90	0,52	0,92	1,54	0,60	1,14	0,96	0,67	0,83	0,20	0,24	1,80	0,26	0,50			
Ba	1,07	0,93	1,21	0,96	1,25	1,46	1,31	0,94	2,60	1,15	2,02	0,80	1,00	1,50	3,70			
La	10,76	17,15	20,52	12,63	19,27	18,31	14,85	17,23	21,61	19,81	14,73	11,00	12,00	24,00	17,00			
Ce	21,37	33,23	42,16	24,82	36,99	34,75	28,59	36,18	42,96	40,63	30,68	23,00	24,00	48,00	35,00			
Pr	2,58	4,05	5,24	3,05	4,53	4,31	3,44	4,60	5,11	4,97	3,83	2,90	2,90	5,50	4,20			
Nd	9,52	14,93	19,73	11,84	16,72	15,88	12,80	18,49	19,21	19,00	15,01	11,00	11,00	20,00	15,00			
Sm	1,70	2,72	3,80	2,35	3,03	2,84	2,42	3,76	3,59	3,61	3,04	2,10	2,30	3,20	2,90			
Eu	0,68	0,84	1,13	0,95	0,95	0,88	0,80	1,10	1,11	1,04	1,02	0,50	0,84	1,10	0,69			
Gd	2,01	2,98	3,88	2,54	3,39	3,09	2,54	3,98	3,78	3,88	3,87	2,60	2,80	4,00	3,50			
Tb	0,25	0,34	0,42	0,30	0,38	0,34	0,28	0,49	0,42	0,41	0,41	0,40	0,41	0,52	0,51			
Dy	1,35	1,66	1,92	1,53	1,78	1,55	1,32	2,41	1,91	1,87	2,08	2,00	2,20	2,50	2,50			
Ho	0,27	0,33	0,35	0,30	0,35	0,30	0,26	0,46	0,36	0,34	0,43	0,42	0,45	0,48	0,52			
Er	0,88	1,03	1,02	0,91	1,07	0,90	0,78	1,33	1,08	1,02	1,26	1,30	1,30	1,60	1,60			
Tm	0,13	0,14	0,14	0,13	0,15	0,13	0,11	0,19	0,15	0,14	0,19	0,18	0,20	0,25	0,22			

Окончание табл.

Элемент	Джежимская свита											Кора выветривания				Асывожская свита		
	P1	P2	P4	P12	Y2	Y4	Y6	Y8	Y11	P5	P8	O30	O27	O32	O33			
Yb	0,85	0,98	0,94	0,81	1,00	0,86	0,72	1,26	1,00	0,92	1,28	1,30	1,40	1,70	1,50			
Lu	0,14	0,15	0,15	0,14	0,16	0,13	0,12	0,20	0,16	0,14	0,20	0,21	0,22	0,27	0,26			
Hf	2,53	2,86	3,07	2,23	3,10	2,21	2,15	4,32	3,24	3,10	4,39	4,20	4,60	5,30	5,00			
W	0,40	0,32	0,27	0,29	0,44	0,24	0,31	0,36	0,36	0,26	0,32	0,51	0,74	0,67	0,67			
Pb	21,38	31,49	158,49	3,93	60,12	60,83	23,20	231,47	284,60	130,33	13,80	12,00	13,00	36,00	23,00			
Th	3,94	4,94	4,86	3,31	5,07	5,26	4,17	5,88	5,34	6,44	5,50	3,70	4,30	7,40	5,00			
U	0,78	0,77	0,79	0,59	0,85	0,75	0,76	1,21	1,17	0,99	1,10	1,00	1,20	2,00	1,40			
Th/Co	1,86	4,39	2,83	1,64	3,60	3,48	2,63	5,76	2,59	13,40	11,30	4,93	1,87	3,36	5,00			
La/Sc	2,60	3,10	7,10	4,85	4,38	3,84	2,62	4,08	4,09	6,09	3,05	5,50	5,71	3,08	4,36			
La <sub>N</sub> /Yb <sub>N</sub> *	8,58	11,86	14,73	10,48	13,06	14,46	13,99	9,25	14,55	14,50	7,80	5,72	5,79	9,54	7,66			
Eu/Eu*	1,12	0,90	0,89	1,19	0,90	0,90	0,99	0,87	0,92	0,84	0,90	0,65	1,01	0,94	0,66			
Gd <sub>N</sub> /Yb <sub>N</sub>	1,92	2,47	3,34	2,53	2,76	2,93	2,87	2,56	3,05	3,41	2,46	1,62	1,62	1,91	1,89			
Ce/Ce*	0,93	0,91	0,94	0,91	0,90	0,89	0,91	0,94	0,93	0,94	0,94	0,94	0,93	0,95	0,95			
La/Th	2,73	3,48	4,22	3,81	3,80	3,48	3,56	2,93	4,05	3,08	2,68	2,97	2,79	3,24	3,40			
Th/Sc	0,95	0,89	1,68	1,27	1,15	1,10	0,74	1,39	1,01	1,98	1,14	1,85	2,05	0,95	1,28			
Zr/Sc	0,95	0,89	1,68	1,27	1,15	1,10	0,74	1,39	1,01	1,98	1,14	1,85	2,05	0,95	1,28			
Ce/La	2,0	1,9	2,1	2,0	1,9	1,9	1,9	2,1	2,0	2,1	2,1	2,1	2,0	2,0	2,1			
Th/U	5,1	6,5	6,1	5,7	5,9	7,0	5,5	4,9	4,6	6,5	5,0	3,7	3,6	3,7	3,6			
La/Sm	6,3	6,3	5,4	5,4	6,4	6,4	6,1	4,6	6,0	5,5	4,8	5,2	5,2	7,5	5,9			
Ce/Sm	12,5	12,2	11,1	10,6	12,2	12,2	11,8	9,6	12,0	11,3	10,1	11,0	10,4	15,0	12,1			
Yb/Sm	0,5	0,4	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,6	0,6	0,5	0,5			
LREE	46,6	72,9	92,6	55,7	81,5	77,0	62,9	81,4	93,6	89,1	68,3	50,5	53,0	101,8	74,8			
HREE+Y	12,7	15,5	16,8	14,1	17,2	15,0	12,5	21,2	17,4	16,6	19,8	20,4	22,0	23,3	25,6			
ΣREE	59,4	88,4	109,37	69,7	98,7	91,9	75,4	102,5	111,0	105,7	88,1	70,9	75,0	125,1	100,4			
ΣCe/ΣY	3,7	4,7	5,5	4,0	4,7	5,1	5,0	3,8	5,4	5,4	3,5	2,5	2,4	4,4	2,9			

Примечание: Ce/Ce\*=(Ce<sub>N</sub>/La<sub>N</sub>+Pr<sub>N</sub>)/2, нормировано к глинам платформ [Балашов, 1976]; Eu/Eu\*=Eu<sub>N</sub>/(Sm<sub>N</sub>+Gd<sub>N</sub>)/2, нормировано на хондрит [Тейлор, МакЛеннон, 1988]; La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub>, нормировано на хондрит [Тейлор, МакЛеннон, 1998].

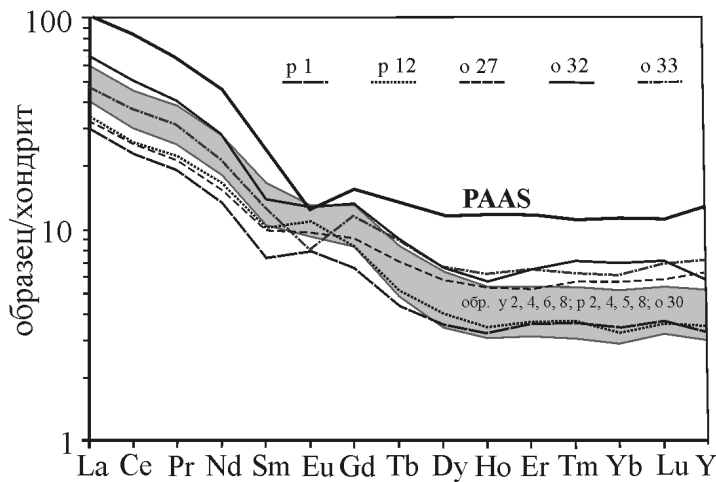


Рис. 2. Нормированные на хондрит [по: Тейлор, МакЛеннан, 1998] спектры распределения содержаний РЗЭ

Сделать предположение о составе пород областей питания позволяют диаграммы  $\text{La/Sc-Th/Co}$ ,  $\text{Yb}_N\text{-La}_N/\text{Yb}_N$ ,  $\text{Gd}_N/\text{Yb}_N\text{-Eu/Eu}^*$ ,  $\text{Hf-La/Th}$ ,  $\text{Zr/Sc-Th/Sc}$  и  $\text{Sc-Th/Sc}$  (рис. 3, *a-e*). На диаграмме  $\text{La/Sc-Th/Co}$  [Cullers, 2002] фигуративные точки рифейских и девонских песчаников локализованы в области продуктов разрушения кислых пород, а две точки КВ оказались за пределами выделенных полей (рис. 3, *a*). На диаграмме  $\text{Yb}_N\text{-La}_N/\text{Yb}_N$  [Тонкозернистые алюмосилико-кластические ... , 2004] большинство точек рифейских песчаников расположены в области, выделенной для отложений, образованных за счет разрушения пород архейской тоналит-гродьемит-гранитной ассоциации, а точки девонских песчаников расположены на ее пересечении с областью постархейских гранитоидов (рис. 3, *b*). Сходное расположение фигуративных точек песчаников и на диаграмме  $\text{Gd}_N/\text{Yb}_N\text{-Eu/Eu}^*$  [Taylor, McLennan, 1995] (рис. 3, *e*). Максимальными значениями отношения  $\text{Gd}_N/\text{Yb}_N$  характеризуются алевропесчаники (обр. P4, У11) и образования КВ (обр. P5). В область пересечения выделенных полей попали фигуративные точки песчаников асывожской свиты с минимальными значениями  $\text{Eu/Eu}^*$ .

На диаграмме  $\text{Hf-La/Th}$  [Floyd, Leveridge, 1987] в основании трендов кислого и основного составов выделяются две группы точек. В группу, расположенную в области, выделенной для пород, образованных в условиях кислой островной дуги, вошли девонские песчаники, два образца из КВ и одна точка песчаников джежимской свиты с содержанием  $\text{Hf}$  4,2–5,0 г/т (рис. 3, *c*). Во вторую группу, расположенную на пересечении кислого и основного трендов, вошли песчаники джежимской свиты и обр. P5 из основания КВ. Отношения  $\text{La/Th}$  для всех типов пород близко к 2,8 – среднему для осадочных пород фанерозоя. На диаграмме  $\text{Zr/Sc-Th/Sc}$  [по: Geochimical approaches ... , 1993] фигуративные точки изученных образцов (за исключением обр. У6) соответствуют породам, унаследовавшим обломочный материал среднего и кислого состава (рис. 3, *d*).



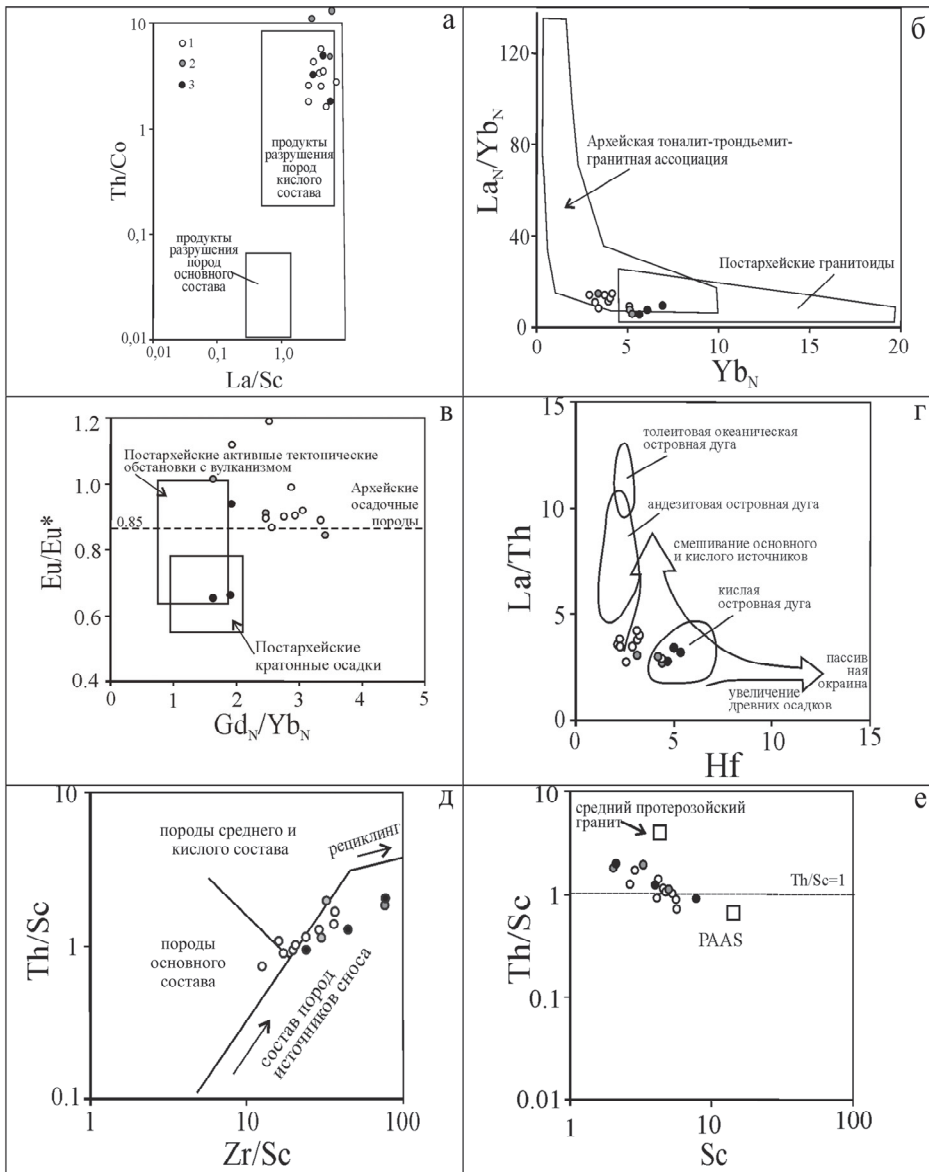


Рис. 3. Положение фигуративных точек пород зоны межформационного контакта на диаграммах: а –  $La/Sc$ – $Th/Co$  [по: Cullers, 2002]; б –  $Yb_N$ – $La_N/Yb_N$  [по: Тонкозернистые алюмосилико-кластические..., 2004]; в –  $Gd_N/Yb_N$ – $Eu/Eu^*$  [по: Taylor, McLennan, 1995]; г –  $Hf$ – $La/Th$  [по: Floyd, Leveridge, 1987]; д –  $Zr/Sc$ – $Th/Sc$  [по: Geochemical approaches ..., 1993]; е –  $Th$ – $La$  [по: Тейлор, МакЛеннон, 1998]. Условные обозначения: 1 – песчаники джежимской свиты; 2 – глины досреднедевонской коры выветривания; 3 – песчаники асывовожской свиты

Значения  $Th/Sc$  изменяются в интервале 0,95–1,98 и соответствуют рециклированным осадочным породам. На диаграмме  $Th/Sc-Sc$  фигуративные точки пород КВ, рифейских и девонских песчаников занимают промежуточное положение между точками среднего протерозойского гранита и РААС (см. рис. 3, *e*).

Значения индикатора климата  $\Sigma Ce/\Sigma Y$  изменяются от 2,4 до 5,5 (табл.) и соответствуют породам, образованным в условиях гумидного и семигумидно-семиаридного климата [Балашов, 1976]. На треугольной диаграмме  $La-(Nd+Sm)-(Y+Dy)$  точки рифейских песчаников и КВ расположены вблизи линии разграничения обстановок с аридным и гумидным климатом, а точки образцов девонских песчаников располагаются на незначительном расстоянии от нее, в области, выделенной для пород, образованных в условиях аридного климата (рис. 4, *a*). На диаграмме  $Co-Th-Zr/10$  [Bhatia, Crook, 1986] точки рифейских, девонских песчаников и КВ расположены в поле пород, образованных в условиях пассивных континентальных окраин (рис. 4, *b*).

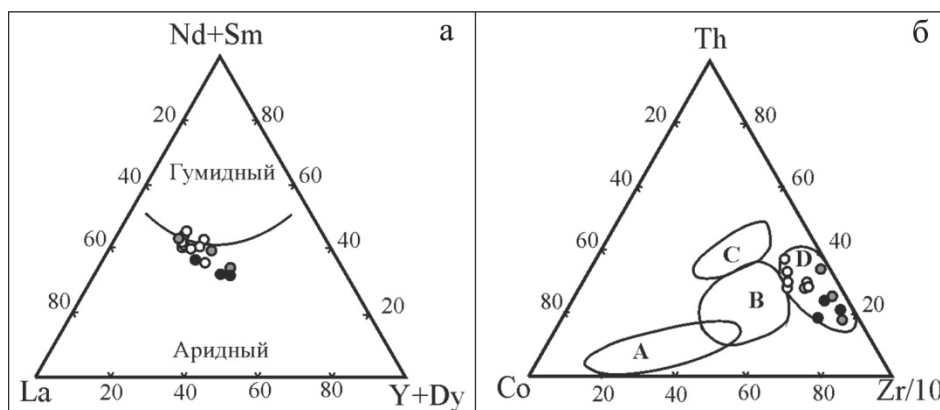


Рис. 4. Диаграмма  $La-(Nd+Sm)-(Y+Dy)$  [по: Балашов, 1976] (*a*).

Условные обозначения на рис. 3, *a*. Диаграмма  $Co-Th-Zr/10$  [по: Bhatia, Crook, 1986] (*b*).  
Области обстановок: *A* – океанических островных дуг; *B* – континентальных островных дуг;  
*C* – активных континентальных окраин; *D* – пассивных континентальных окраин

Значения отношений  $Ce/La$  (1,9–2,1) и  $Th/U$  3,6–7,0 для всех изученных образцов соответствуют осадочным породам, образованным в прибрежно-морских условиях [Балашов, 1976], а значения  $La/Sm$  (4,8–6,4),  $Ce/Sm$  (9,6–15,0),  $Yb/Sm$  (0,2–0,6) характерны для мелководных образований [Балашов, 1976; Шатров, Войцеховский, 2009].

На спайдер-диаграмме, иллюстрирующей нормированные на РААС [Тейлор, МакЛеннан, 1998] содержание элементов-примесей, спектры распределения песчаниках джежимской, асывовожской свит и КВ однотипны (рис. 5). В них отмечается пониженное, по сравнению с РААС, содержание почти всех элементов, за исключением  $Zr$  и  $Pb$ , повышенные содержания которых характерны для кислых магматических пород.

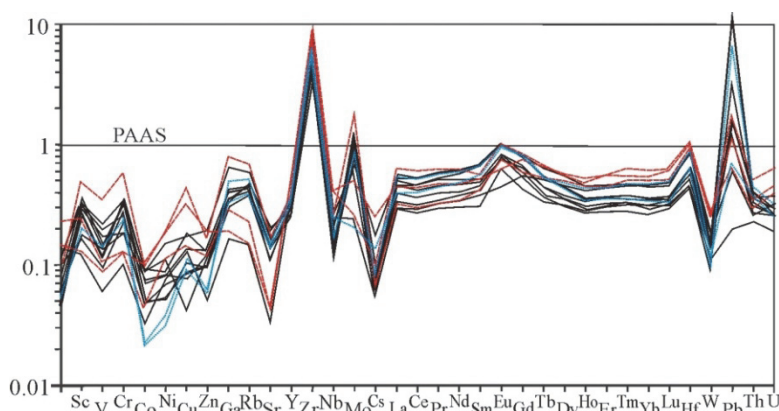


Рис. 5. Нормированное на ПААС [Тейлор, МакЛеннан, 1998] содержание элементов-примесей в песчаниках джежимской и асывовожской свит и глинах КВ

### Обсуждение результатов

Рифейские и девонские песчаники сходны по характеру распределения редкоземельных и редких элементов, содержание которых во всех изученных разновидностях горных пород существенно ниже ПААС. Общей особенностью всех проанализированных пород является преобладание легких РЗЭ над тяжелыми. Минимальными содержаниями РЗЭ и положительными значениями  $Eu/Eu^*$  отличаются песчаники джежимской свиты из нижней части разреза (обр. P1 и P12). Положительная европиевая аномалия характерна для пород, содержащих обломочный материал основного состава, где европий может находиться в составе плагиоклаза, замещая кальций [Weill, Drake, 1973]. В нашем случае он может входить в состав карбонатов, унаследованных из среднерифейских доломитов, которые во время образования толщи могли быть выведены на эрозионный уровень. Глинистые отложения КВ характеризуются отрицательной европиевой аномалией  $Eu/Eu^* = 0,65-0,90$  и значениями  $\Sigma REE$  50–89. В девонских песчаниках отмечаются максимальные содержания  $\Sigma HREE$ . Значения  $Ce/Ce^*$  0,89–0,95 указывают на удаление от срединно-океанических хребтов на более чем 3000 км и соответствуют обстановке континентальной окраины. Значения показателей  $Gd_N/Yb_N$  в интервале 1,62–3,41 и  $Eu/Eu^*$  0,65–1,12 указывают на присутствие в составе обломочного материала обломков многократно рециклированных архейских образований. Отношения  $Zr/Sc$  и  $Th/Sc$  (см. рис. 3, *д*) позволяют предположить также присутствие в породах продуктов дезинтеграции магматических пород среднего и кислого составов. Расположение точек на диаграмме  $Co-Th-Zr/10$  (см. рис. 4, *б*) и значения отношений  $La/Sm$ ,  $Ce/Sm$ ,  $Yb/Sc$  соответствуют породам, образованным в мелководных условиях пассивной континентальной окраины.

Спектры распределения элементов-примесей для изученных пород однотипны, а незначительный разброс содержаний указывает на постоянство источников обломочного материала, основную роль среди которых играли

архейские осадочные породы. Такой вывод согласуется с полученными нами ранее результатами U–Pb изотопного датирования зерен детритового циркона из песчаников асывожской свиты [Никулова, Филиппов, Хубанов, 2020], на основании которых сделано предположение, что основными источниками обломочных цирконов как для рифейских, так и для девонских песчаников были кристаллические комплексы древнего фундамента Восточно-Европейской платформы и комплексы аккреционных орогенов на окраине Балтики. При этом нельзя исключать, что хорошо сортированные кварцевые девонские песчаники могли частично унаследовать состав рифейских отложений. Высокие концентрации Zr и Pb обусловлены участием в формировании состава песчаников кислых магматических пород – в рифейских песчаниках встречаются гальки слабо выветрелых гранитоидов, а в девонских песчаниках – обломки гальки кислых вулканитов

### Заключение

Геохимические характеристики песчаников верхнерифейской джежимской и средне-верхнедевонской асывожской свит и образований KB в зоне контакта фундамент/чехол на возвышенности Джежимпарма соответствуют породам, образованным в мелководной эпиконтинентальной обстановке в условиях субтропического климата. Основными поставщиками обломочного материала, оставшимися неизменными с рифея до среднего палеозоя, были метаморфические образования древнего фундамента. Важным источником обломков для рифейских песчаников являлись гранитоиды, а для девонских – кислые вулканиты. Эти выводы дополняют полученные ранее результаты интерпретации содержаний породообразующих элементов, U–Th датирования детритовых цирконов, в результате которого установлено, что в песчаниках асывожской свиты содержатся зерна циркона не моложе  $1144 \pm 36$  млн лет, резко доминируют ранне- и среднерифейские зерна циркона асывожской свиты [Никулова, Филиппов, Хубанов, 2020] и согласуются с общими геологическими данными.

### Список литературы

- Балашов Ю. А.* Геохимия редкоземельных элементов. М. : Наука, 1976. 268 с.
- Никулова Н. Ю.* Состав и условия образования терригенных пород верхнего рифея (возвышенность Джежимпарма, Южный Тиман) // Известия вузов. Геология и разведка. 2017. № 4. С. 27–35.
- Никулова Н. Ю., Филиппов В. Н., Хубанов В. Б.* Источники сноса и U–Pb возраст детритовых цирконов из песчаников асывожской свиты среднего девона, возвышенность Джежимпарма, Южный Тиман // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2020. Т. 28, № 6. С. 92–104. <https://doi.org/10.31857/S0869592X20060071>
- Первые результаты U/Pb-датирования и изотопно-геохимического изучения детритных цирконов из позднедевонских песчаников Южного Тимана (увал Джежим-Парма) / Н. Б. Кузнецов [и др.] // Доклады Академии наук. 2010. Т. 435, № 6. С. 798–805.
- Тейлор С. З., МакЛеннон С. М.* Континентальная кора: ее состав и эволюция. М. : Мир, 1998. 384 с.
- Тиманский кряж. Т. 2. Литология и стратиграфия, геофизическая характеристика земной коры, тектоника, минерально-сырьевые ресурсы : монография. Ухта : УГТУ, 2010. 437 с.

Тонкозернистые алюмосилико-кластические образования стратотипического разреза среднего Рифея на Южном Урале: особенности формирования, состав и эволюция источников сноса / А. В. Маслов [и др.] // Литология и полезные ископаемые. 2004. № 4. С. 414–441.

*Шатров В. А., Войцеховский Г. В.* Применение лантаноидов для реконструкции обстановок образования в фанерозое и протерозое (на примере разрезов чехла и фундамента Восточно-Европейской платформы) // Геохимия. 2009. № 8. С. 805–824.

*Bhatia M. R., Crook K. A. W.* Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. contrib. // Mineral. Petrol. 1986. N 108 (1/2). P. 181–193.

*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, N 4. P. 305–327.

*Floyd P. A., Leveridge B. E.* Tectonic environment of the Devonian Granscatho basin, south Cornwall: framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones // J. Geol. Soc. London. 1987. Vol. 144, N 4. P. 531–542. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.144.4.0531>

Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics/Processes controlling the composition of clastic sediments / S. M. McLennan [et al.] // Geol. Soc. Am. Spec. Pap. 1993. N 284. P. 21–40. <https://doi.org/10.1130/SPE284-p21>

Rare earth, major and trace elements in chert from the Franciscan Complex and Monterey Group, California Assessing REE sources to fine-grained marine sediment / R. W. Murray [et al.] // Geochim. Cosmochim. Acta. 1991. N 55. P. 1875–1895.

*Taylor S. R., McLennan S. R.* The geochemical evolution of the continental crust // Rev. Geophys. 1995. N 33. P. 241–265.

*Weill D. F., Drake M. J.* Europium Anomaly in Plagioclase Feldspar: Experimental Results and Semiquantitative Model. Science. 1973. N 180 (4090). P. 1059–1060. <https://doi.org/10.1126/science.180.4090.1059>

## References

Balashov Yu.A. *Geokhimiya redkozemelnykh elementov* [Geochemistry of rare earth elements]. Moscow, Nauka Publ., 1976, 268 p. (in Russian)

Nikulova N.Yu. Sostav i usloviya obrazovaniya terrigennykh porod verkhnego ri-feya (vozvyshennost Dzhzhimparma, Yuzhnyi Timan) [Composition and formation conditions of terrigenous rocks of the Upper Riphean (Dzhzhimparma Upland, South Timan)]. *Izvestiya vuzov, Geologiya i razvedka* [News of Higher Education Institutions, Geology and Exploration], 2017, no. 4. pp. 27-35.

Nikulova N.Yu., Filippov V.N., Khubanov V.B. Istochniki snosa i U–Pb vozrast detritovykh tsirkonov iz peschanikov asyvvozhskoi svity srednego devona, vozvyshen-nost' Dzhzhimparma, Yuzhnyi Timan [Sources of provenance and U–Pb age of detrital zircons from sandstones of the Middle Devonian Asyvvozh Formation, Dzhzhimparma Upland, Southern Timan]. *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya* [Stratigraphy. Geological correlation], 2020, vol. 28, no. 6, pp. 92-104. <https://doi.org/10.31857/S0869592X20060071> (in Russian)

Kuznecov N.B. et al. Pervye rezultaty U/PB-datirovaniya i izotopno-geohimicheskogo izucheniya detritnykh cirkonov iz pozdnedokembrijskikh peschanikov Juzhnogo Timana (uval Dzhzhimparma) [First results U/PB-dating and isotope-geochemical study of detrital zircons from Late Precambrian sandstones of the South Timan (Dzhzhimparma ridge)]. *Doklady Akademii nauk* [Doklady Earth Sciences], 2010, vol. 435, no. 6, pp. 798-805. (in Russian)

Teilor S.Z., MakLennon S.M. *Kontinentalnaya kora: ee sostav i evolyutsiya* [Continental crust: its composition and evolution]. Moscow, Mir Publ., 1998, 384 p. (in Russian)

*Timanskii kryazh. T. 2. Litologiya i stratigrafiya, geofizicheskaya kharakteristika zemnoi kory, tektonika, mineralno-syr'evye resursy: monografiya* [Timan Ridge. Vol. 2. Lithology and stratigraphy, geophysical characteristics of the earth's crust, tectonics, mineral resources: monograph]. Ukhta, UGTU Publ., 2010, 437 p. (in Russian)

Maslov A.V. et al. Tonkozernistye alyumosiliko-klasticheskie obrazovaniya stratotipicheskogo razreza srednego Rifeya na Yuzhnom Urale: osobennosti formirovaniya, sostav i evolyutsiya istochnikov snosa [Fine-grained aluminosilicon-clastic formations of the stratotype section of the Middle Riphean in the Southern Urals: features of formation, composition and evolution of provenance

sources]. *Litologiya i poleznye iskopaemye* [Lithology and minerals], 2004, no. 4, pp. 414-441. (in Russian)

Shatrov V.A., Voitsekhovskii G.V. Primenenie lantanoidov dlya rekonstruktsii obstanovok obrazovaniya v fanerozoe i proterozoe (na primere razrezov chekhla i fundamenta Vostochno-Evropеiskoi platformy) [The use of lanthanides for reconstruction of formation conditions in the Phanerozoic and Proterozoic (using the example of sections of the cover and basement of the East European Platform)]. *Geokhimiya* [Geochemistry], 2009, no. 8, pp. 805-824. (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, no. 108(1/2), pp. 181-193.

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), pp. 305-327.

Floyd P.A., Leveridge B.E. Tectonic environment of the Devonian Granscatho basin, south Cornwall: framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones. *J. Geol. Soc. London*, 1987, vol. 144, no. 4, pp. 531-542. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.144.4.0531>

McLennan S.M. et al. Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics/Processes controlling the composition of clastic sediments. *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.*, 1993, no. 284, pp. 21-40. <https://doi.org/10.1130/SPE284-p21>

Murray R.W. et al. Rare earth, major and trace elements in chert from the Franciscan Complex and Monterey Group, California Assessing REE sources to fine-grained marine sediment. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1991, no. 55, pp. 1875-1895.

Taylor S.R., McLennan S.R. The geochemical evolution of the continental crust. *Rev. Geophys.*, 1995, no. 33, pp. 241-265.

Weill D.F., Drake M.J. Europium Anomaly in Plagioclase Feldspar: Experimental Results and Semiquantitative Model. *Science*, 1973, no. 180 (4090), pp. 1059-1060. <https://doi.org/10.1126/science.180.4090.1059>

#### Сведения об авторах

##### **Николова Наталья Юрьевна**

кандидат геолого-минералогических наук,  
ведущий научный сотрудник  
Институт геологии Коми научного центра  
УрО РАН  
Россия, 167982, г. Сыктывкар, ул.  
Первомайская, 54  
e-mail: [nikulova@geo.komisc.ru](mailto:nikulova@geo.komisc.ru)

##### **Гракова Оксана Васильевна**

кандидат геолого-минералогических наук,  
научный сотрудник  
Институт геологии Коми научного центра  
УрО РАН  
Россия, 167982, г. Сыктывкар,  
ул. Первомайская, 54  
e-mail: [ovgrakova@geo.komisc.ru](mailto:ovgrakova@geo.komisc.ru)

#### Information about the authors

##### **Nikulova Natalia Yuryevna**

Doctor of Science (Geology and Mineralogy),  
Leading Research Scientist  
Institute of Geology Komi Scientific Center  
UB RAS  
54, Pervomayskaya st., Syktyvkar, 167982,  
Russian Federation  
e-mail: [nikulova@geo.komisc.ru](mailto:nikulova@geo.komisc.ru)

##### **Grakova Oksana Vasilyevna**

Candidate of Science (Geology and  
Mineralogy), Research Scientist  
Institute of Geology Komi Scientific Center  
UB RAS  
54, Pervomayskaya st., Syktyvkar, 167982,  
Russian Federation  
e-mail: [ovgrakova@geo.komisc.ru](mailto:ovgrakova@geo.komisc.ru)

Код научной специальности: 1.6.1

Статья поступила в редакцию 26.02.2024; одобрена после рецензирования 06.08.2024; принята к публикации 11.09.2024

The article was submitted February, 26, 2024; approved after reviewing August, 06, 2024; accepted for publication September, 11, 2024