



Геохимическая характеристика кор выветривания на увале Джежимпарма и Немской возвышенности (Южный Тиман)

О.В.Гракова✉, Н.Ю.Никулова, Ю.С.Симакова

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия

Как цитировать эту статью: 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. Т. 272. № 16405. С. 3-15. [EDN EBLEPI](#)

Аннотация

На Южном Тимане известны многочисленные локальные разновидности кор выветривания (КВ), различающиеся по положению в разрезе, типу продуктов выветривания, субстратам и формам залегания. Целью исследований является выявление закономерностей распределения породообразующих, редких и редкоземельных элементов и состава глинистых минералов в глинистых образованиях КВ. Основная задача – охарактеризовать условия залегания и геохимические особенности, позволяющие установить генетический тип и условия формирования КВ. Приведены результаты изучения распределения петрогенных, редкоземельных, редких элементов и глинистых минералов в различных по возрасту, генетическому типу и условиям залегания КВ на увале Джежимпарма и Немской возвышенности на Южном Тимане. Установлено, что в зоне контакта фундамент – чехол на возвышенности Джежимпарма по породам позднерифейской джежимской свиты развита КВ гидрослюдисто-каолинитового типа, а ранее считавшийся КВ слой тонкозернистой породы в основании девонского разреза образован в результате механического разрушения девонских песчаников при перемещении в зоне надвига. В расположенном на Немской возвышенности карьере Вадьявож изучены и охарактеризованы образования мезозойско-кайнозойских площадной и линейной КВ по породам позднерифейской джежимской свиты. Установлено, что слюдястые алевролиты в составе алевролитопесчанниковой толщи джежимской свиты связаны с рифейским этапом корообразования и сложены материалом КВ, переотложенным в эпиконтинентальном бассейне.

Ключевые слова

кора выветривания; джежимская свита; песчаники; химический состав; обломочный материал; условия осадконакопления; Южный Тиман

Финансирование

Работа выполнена в рамках тем Государственного задания НИР ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН: «Глубинное строение, геодинамическая эволюция, взаимодействие геосфер, магматизм, метаморфизм и изотопная геохронология Тимано-Североуральского сегмента литосферы», 122040600012-2; «Осадочные формации: вещество, седиментация, литогенез, геохимия, индикаторы литогенеза, реконструкция осадконакопления», 122040600013-9; «Фундаментальные проблемы минералогии и минералообразования, минералы как индикаторы петро- и рудогенеза, минералогия рудных районов и месторождений Тимано-Североуральского региона и арктических территорий», 122040600009-2.

Поступила: 11.03.2024

Принята: 07.11.2024

Онлайн: 06.03.2025

Опубликована: 25.04.2025

Введение

С корами выветривания (КВ) на Тимане связаны промышленные месторождения бокситов, титановых руд, рудопроявления золота, алмазов и др. [1-3]. На Северном Урале показано, что перераспределение и накопление рудных компонентов, в частности никеля, происходило в КВ гипербазитов Серовско-Маукского офиолитового пояса [4]. С эндогенными процессами и гидротермальными преобразованиями связано обогащение циркона редкометалльными и редкоземельными элементами (РЗЭ) из гранитоидов Чукотского плутонического пояса [5] и образование РЗЭ-минералов в нижнепротерозойских метаморфических сланцах архипелага Шпицберген [6]. Древние раннерифейские КВ (вторичные кварциты) южной части Балтийского (Фенноскандинавского) щита предшествовали заложению гранитов рапакиви – 1,65 млрд лет [7].



На равнинном с развитым чехлом четвертичных отложений Южном Тимане КВ палеозойской и мезозойско-кайнозойской эпох корообразования вскрыты картировочными скважинами^{1,2,3} и фиксируются на дневной поверхности лишь в пределах немногочисленных выступов рифейского фундамента (рис.1, а), где площадь их распространения совпадает с выходами аркозовых песчаников джежимской свиты верхнего рифея [8, 9]. Отметим, что в последнее время появились данные об обнаружении в породах джежимской свиты комплекса макрофоссилий, на основании которого возраст джежимской свиты может соответствовать позднему венду [10-12]. Однако, поскольку Межведомственным стратиграфическим комитетом не внесены изменения в действующую стратиграфическую схему, в настоящей работе применяется стратиграфическое расчленение, принятое на существующих геологических картах [13, 14].

На территории Южного Тимана по данным бурения в ходе геологической съемки установлены многочисленные локальные разновидности КВ, различающиеся по положению в разрезе, типу продуктов выветривания, субстратам и формам залегания. Выделяют, например, остаточные КВ, развитые по субстрату терригенных позднерифейских и вендских отложений, для которых характерно площадное или линейное распространение, и переотложенные – по карбонатным породам ышкемесской и вапольской свит, присутствующие в составе глинисто-песчаных пород в карстовых понижениях допалеозойского рельефа и базальных горизонтах асывовожской и изъельской свит. Мезо-кайнозойские КВ по субстрату джежимской свиты представлены как площадными (карьеры Вадьявож и Джежимский), так и линейными, связанными с позднеюрской разломной тектоникой (карьер Вадьявож). Находка в 1998 г. кристаллов алмаза в гравелито-песчаниковой толще основания девонского разреза в непосредственной близости от выходящих на дневную поверхность образований КВ в карьере Асывовож¹ в зоне контакта фундамент – чехол предопределила дальнейшее направление проводившихся на Южном Тимане исследований [15-18]. Образования КВ и базальная часть девонского разреза рассматривались как перспективные объекты при поисках алмазных россыпей так называемого вишерского типа [19].

За более чем двадцатилетний период, прошедший со времени проведения последних исследований, изменились технические возможности и приборная база, позволяющая провести изучение объектов, перспективных на поиски россыпных месторождений и глиняного сырья на качественно новом уровне, а в действующих карьерах созданы новые искусственные обнажения, вскрывающие образования КВ. Геохимическое изучение КВ необходимо для проведения палеогеографических реконструкций, установления истории развития и закономерностей осадконакопления слабоизученного потенциально алмазоносного района, а также выяснения перспектив глинистого сырья.

Основная задача исследования – характеристика геохимических особенностей, распределения породообразующих, редких и РЗЭ и минерального состава глинистых пород, считающихся образованиями КВ.

Методы и материал исследований

Образцы КВ (11 шт.) и пород субстрата (4 шт.) отобраны в искусственных обнажениях карьеров Асывовож и Джежимский на увалах Джежимпарма и Вадьявож Немской возвышенности (рис.1, а). Все аналитические работы выполнялись в ЦКП «Геонаука» Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. Содержания породообразующих оксидов определены традиционным весовым химическим методом в лаборатории химии минерального сырья, работающей в рамках метрологических норм (Заключение № 774). Определены содержания редких и РЗЭ 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.

¹ Терешко В.В., Кириллин С.В., Казанцева Г.Я. и др. Групповая геологическая съемка масштаба 1:50000 на территории листов Р-40-73-В,Г; Р-40-74-В; Р-40-85-Б; Р-40-86-А. Сыктывкар, 1991.

² Кулбакова Ф.А., Шаметко В.Г., Торлопова С.М. и др. Поиски алмазных россыпей «Вишерского типа» на Южном Тимане и юго-западном Притиманье. Ухта, 2001.

³ Кириллин С.В., Жарков В.А., Шумилов А.В. и др. Отчет о групповой геологической съемке масштаба 1:200000 на территории листов Р-40-XX, Р-40-XXVI (Немская площадь). Сыктывкар, 2002.



Фазовый состав пород определен при помощи рентгендифрактометрического анализа неориентированных и ориентированных препаратов, подвергнутых стандартным диагностическим обработкам, на рентгеновском дифрактометре Наоуан DX-2700ВН, излучение $\text{CuK}\alpha$, 40 кВ на 30 мА, интервал сканирования при $2\theta - 2-70^\circ$, шаг сканирования при $2\theta - 0,05^\circ$, скорость съемки – $1^\circ/\text{мин}$. Полуколичественный рентгендифракционный анализ образцов выполнен с помощью программы Profex.

Краткое описание геологического положения

Изучаемый район расположен на юго-востоке Тиманского складчато-глыбового сооружения и является северо-восточной частью Джежимско-Ксенофоновского мегавала, формирование которого связывают с развитием в ранней юре взбросово-надвиговых дислокаций и выдвиганием крупных блоков-чешуй [10]. Такими блоками, представляющими выступы фундамента, в которых породы выведены на поверхность по серии надвигов, являются Джежимпарминская и Вадьявовская антиклинальные структуры.

Карьеры Асывовож (I на рис.1, а) и Джежимский (II на рис.1, а) расположены на увале Джежимпарма, совпадающим с Джежимпарминской антиклинальной структурой [13]. В карьере Асывовож ($61^\circ 47' 12''$ с.ш., $54^\circ 06' 35''$ в.д.) образования КВ установлены в зоне контакта рифейских

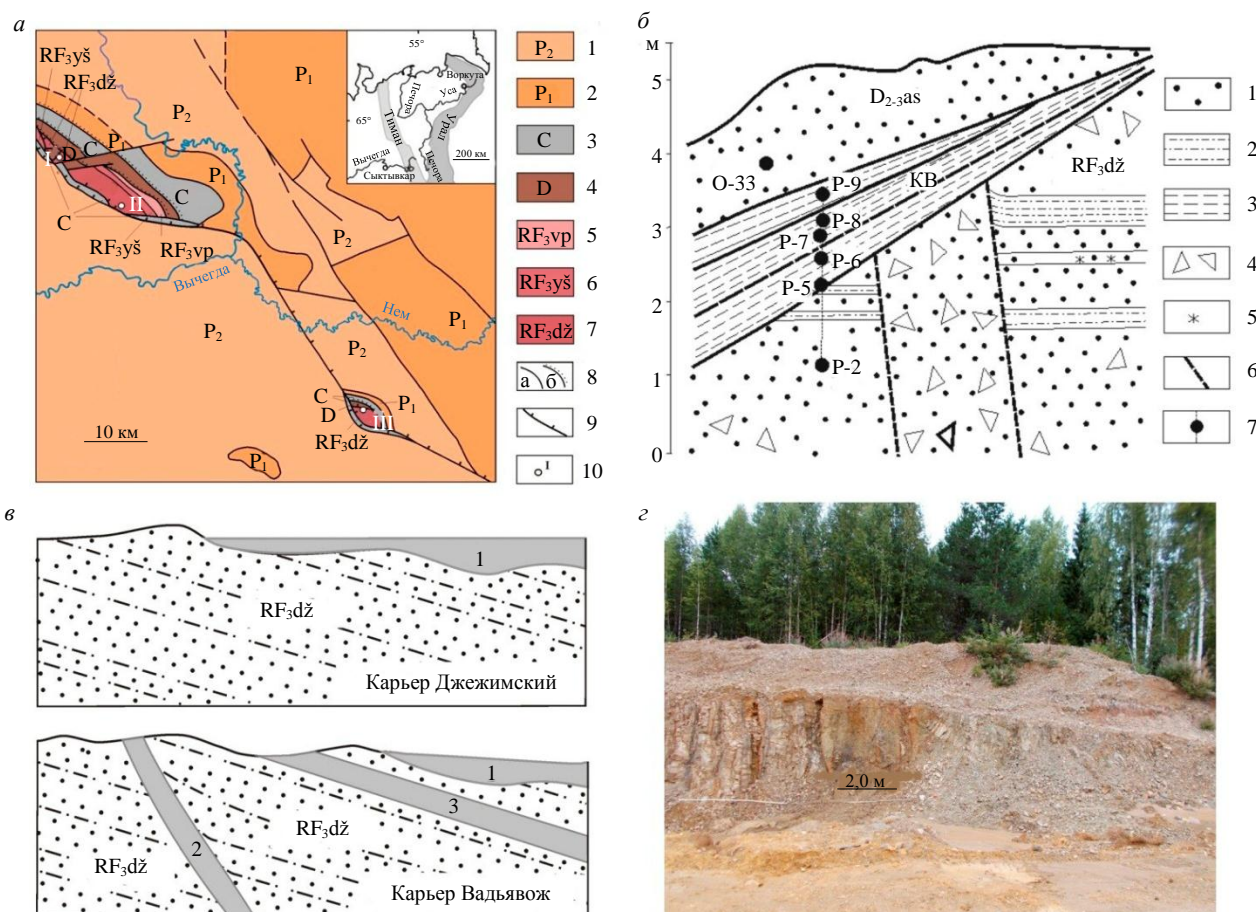


Рис.1. Схематическая геологическая карта по [6]: а – 1, 2 – пермская система (1 – нижний отдел – известняки, доломиты, алевролиты, песчаники, гипсы, 2 – верхний отдел – глины, известняки, песчаники); 3 – каменноугольная система – известняки, доломиты, глинистые известняки, глины; 4 – девонская система, средний-верхний отделы – гравелиты, песчаники, конгломераты, алевролиты; 5-7 – рифейская подзона (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 – согласные (а), несогласные (б); 9 – надвиг; 10 – изученные разрезы в карьерах (I – Асывовож, II – Джежимский, III – Вадьявовж); б – схема строения разреза зоны контакта рифейских и девонских отложений в карьере Асывовож: 1 – песчаник; 2 – алевропесчаник; 3 – глина; 4 – крупноглыбовые развалы; 5 – ожелезнение; 6 – разрывные нарушения; 7 – линия разреза и точки отбора пробы; в – схема взаимоотношения отложений джежимской свиты и КВ в карьерах Джежимский и Вадьявовж: 1 – мезозойско-кайнозойская площадная; 2 – линейная; 3 – КВ в составе рифейского разреза; г – линейная КВ по породам джежимской свиты в карьере Вадьявовж



и палеозойских отложений (рис. 1, а, б). Отложения позднерифейской джежимской свиты (RF₃dž), представленные полевошпат-кварцевыми песчаниками с подчиненными прослоями алевролитов и гравелитов, залегают с азимутом падения 190° ЮЮЗ и углом падения 20-25°. В зоне контакта породы джежимской свиты на мощность примерно 10-12 см дезинтегрированы и состоят из мелких оскольчатых обломков. Средне-позднедевонская асывовожская свита представлена кварцевыми песчаниками с линзами конгломератов, гравелитов, алевролитов и глин (азимут падения 310° СЗ и угол 15°). Докембрийскую и палеозойскую части разреза разделяет выклинивающийся глинистый слой, залегающий на различных слоях рифейской алеврито-песчаниковой толщи и имеющий трехчленное строение (рис. 1, б). В нижней части залегает слой с максимальной мощностью около 40 см лилово-розовой глинистой тонкогоризонтальнослоистой породы (рис. 1, б, обр. Р-5, б). В основной глинистой массе встречаются зерна песчаной размерности и редкие угловатые обломки песчаников, сланцев и кислых магматических пород размером до 3 см. Выше залегает слой (0,5-0,6 м) аналогичной по структуре и текстуре розовато-серой глинистой породы (рис. 1, б, обр. Р-7 и О-33), в которой присутствуют единичные обломки перечисленных выше пород размером до 1,5 см. Непосредственно под подошвой девонских песчаников располагается выклинивающийся слой серовато-бежевой песчанисто-глинистой породы мощностью до 0,5 м (рис. 1, б, в, обр. Р-8). В основной массе этой породы неравномерно распределены крупнопесчаные зерна кварца, единичные обломки углистых сланцев и кварцевых песчаников размером до 1,5 см. Порода имеет очевидное внешнее сходство с перекрывающими песчаниками, несогласно залегает на подстилающих глинах и, по нашему мнению, могла образоваться в результате механического разрушения девонских пород. В отчете о геологической съемке⁴ глинистые породы в этом разрезе отнесены к связанным с тектоническим нарушением линейным КВ, развитым как по рифейским, так и девонским породам. Сомнения в такой трактовке происхождения глинистых пород возникают при детальном изучении строения глинистой толщи и ее взаимоотношения с подстилающими породами (рис. 1, б), поскольку гипергенные преобразования вдоль разрывных нарушений не приводят к механическому перераспределению обломочного материала и возникновению тонкогоризонтальнослоистых отложений, залегающих на подстилающих породах несогласно.

Образования мезозойско-кайнозойской КВ остаточного площадного типа, поле развития которой, по данным геологической съемки [14], практически совпадает с выходами джежимской свиты верхнего рифея, вскрыты карьерами Джежимский и Вадьявож (рис. 1, а). В карьере Джежимский (61°42'55" с.ш., 54°21'80" в.д.) отложения джежимской свиты представлены вишнево-коричневыми полевошпат-кварцевыми песчаниками с линзами и прослоями мелкогалечных полимиктовых конгломератов и серовато-коричневых алевролитов. Кора выветривания, развитая по различным слоям джежимской свиты, выражена розовато-серой песчанистой глиной с редкими мелкими (до 1,0 см) обломками подстилающих пород (рис. 1, з). Вскрытая карьером Вадьявож (61°27'47" с.ш., 55°49'33" в.д.) позднерифейская джежимская свита сложена полевошпат-кварцевыми песчаниками с прослоями гравелитов, алевролитов и сланцев. Отложения мезозойско-кайнозойской площадной остаточной КВ, мощностью первые метры, в нижней части представляющие собой сцементированный глинистым материалом дресву исходных песчаников, алевролитов и сланцев, постепенно сменяются розовато-желтоватой глинистой массой с примесью песка и обломками (до 1,0 см) песчаников, алевролитов и сланцев (рис. 1, з). О том, что эти коры переотложению не подвергались, свидетельствуют распознающиеся иногда реликты структур субстрата⁵. Образования КВ перекрываются почвенно-растительным слоем.

Большая часть слоя площадной КВ в карьерах Джежимский и Вадьявож разрушена в результате проводившихся ранее геолого-поисковых работ и современной добычи бутового камня, поэтому в ненарушенном залегании образования КВ сохранились лишь в виде отдельных небольших выходов и глыб. Образования линейной КВ, обнаруженные нами в южной стенке карьера, вне зоны распространения площадной КВ, где рифейские породы перекрываются непосредственно почвенно-растительным слоем, приурочены к тектоническому нарушению в рифейских породах и представлены рыхлой оливково-коричневой дресвяно-песчано-глинистой смесью (рис. 1, в). В терригенной толще

⁴ Терешко В.В., Кириллин С.В., Казанцева Г.Я. и др. Групповая геологическая съемка масштаба 1:50000 на территории листов Р-40-73-В, Г; Р-40-74-В; Р-40-85-Б; Р-40-86-А. Сыктывкар, 1991.

⁵ Кириллин С.В., Жарков В.А., Шумилов А.В. и др. Отчет о групповой геологической съемке масштаба 1:200000 на территории листов Р-40-XX, Р-40-XXVI (Немская площадь). Сыктывкар, 2002.



джежимской свиты присутствуют прослои значительно отличающихся от окружающих пород серых слюдистых алевролитов (рис.1, з). Анализ полученных нами ранее данных о составе и условиях образования терригенной толщи в карьере Вадьявож [20] позволяет предположить присутствие в тонкозернистых породах значительного количества материала рифейской внутриформационной КВ.

Геохимическая характеристика пород

Содержания главных породообразующих оксидов, литохимические модули и индикаторные соотношения, использованные для характеристики отложений и реконструкции условий их образования, приведены в табл.1. Исследованные породы характеризуются низким содержанием щелочей с заметным преобладанием калия над натрием и являются аркозами (табл.1, рис.2, а) [21]. На диаграмме $\log(\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}/\text{K}_2\text{O}) - \log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ [22] фигуративные точки пород из карьеров Асывож и Вадьявож распределены в полях аркозов и субаркозов, а точки мезозойско-кайнозойской КВ из карьеров Асывож и Джежимский попали в поле вакков (рис.2, б).

Таблица 1

Химический состав пород (мас. %), индикаторные соотношения, коэффициенты и модули

Карьер	Асывож							Вадьявож					Джежимский		
Возраст	RF	Досреднедевонский					D	RF	MZ-KZ		RF (?)		RF	MZ-KZ	
Порода	Песчаник	Переотложенная КВ					Песчаник Тектоническая глина	Песчаник	Площадная КВ	Линейная КВ	Площадная КВ		Песчаник	Площадная КВ	
Элементы, модули	P-2	P-5	P-6	P-7	P-8	O-33	P-9	B 9.4	B 14.4	B 9.10	B 14.3	B 9.3	Дж 1	Дж 2	Дж 3
SiO ₂	86,2	84,36	75,60	80,64	81,12	86,79	83,52	93,74	86,48	80,48	62,56	62,22	89,80	62,14	69,40
TiO ₂	0,23	0,22	0,50	0,43	0,31	0,34	0,44	0,11	0,26	0,38	0,83	0,71	0,09	0,91	0,62
Al ₂ O ₃	6,57	7,55	11,43	9,50	10,03	7,94	9,04	2,15	6,03	8,90	19,75	17,28	3,59	16,43	13,56
Fe ₂ O ₃	0,42	0,43	2,47	1,14	0,42	0,39	0,47	0,53	1,49	1,78	1,15	3,07	2,22	5,14	3,57
FeO	0,56	0,24	0,24	0,24	0,24	0,14	0,24	1,52	1,34	0,85	0,62	1,68	1,24	0,91	0,88
MnO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,06	0,01	0,02	0,01	0,03	0,02
MgO	0,26	0,30	0,62	0,46	0,62	0,22	0,46	0,70	0,14	1,02	2,15	3,23	0,15	2,28	1,23
CaO	0,12	0,40	0,40	0,02	0,20	0,26	0,40	0,12	0,23	0,47	0,35	0,47	0,23	0,64	0,70
Na ₂ O	0,24	0,25	0,34	0,28	0,28	0,07	0,09	0,03	0,16	1,35	0,40	0,32	0,56	1,48	2,67
K ₂ O	4,19	4,17	5,14	4,87	4,09	1,39	1,06	0,26	1,52	1,52	6,15	5,21	2,12	4,75	3,67
P ₂ O ₅	0,03	0,05	0,05	0,03	0,04	0,02	0,03	0,05	0,04	0,16	0,05	0,17	0,04	0,13	0,12
ППП	2,03	1,91	2,97	2,11	2,59	2,41	2,41	0,87	2,04	3,01	4,94	5,43	0,67	5,22	3,61
Сумма	100,90	99,89	99,76	99,73	99,90	99,98	98,20	100,00	99,70	100,00	99,00	99,81	100,70	100,06	100,05
log (Na ₂ O/K ₂ O)	-1,24	-1,22	-1,18	-1,24	-1,16	-1,30	-1,07	-0,94	-0,98	-0,05	-1,19	-1,21	-0,58	-0,51	-0,14
log (SiO ₂ /Al ₂ O ₃)	1,12	1,05	0,82	0,93	0,91	1,04	0,97	1,64	1,16	0,96	0,50	0,56	1,40	0,58	0,71
log (Fe ₂ O _{3общ} /K ₂ O)	-1,00	-0,99	-0,32	-0,63	-0,99	-0,55	-0,35	0,31	-0,01	0,07	-0,73	-0,23	0,02	0,03	-0,01
F1	-3,44	-3,19	-3,53	-3,60	-3,16	-3,71	-3,47	-3,59	-3,51	-1,72	-2,51	-1,68	-3,41	-2,16	-1,12
F2	-4,26	-3,55	-4,01	-3,93	-2,78	0,65	2,22	2,49	-1,11	2,17	-2,59	-0,63	-2,93	-0,29	-0,78
F3	16,13	13,64	8,66	12,04	8,96	0,60	-1,23	-4,10	-1,53	-0,07	5,85	3,70	5,39	3,03	3,52
F4	4,58	3,98	2,51	4,12	3,43	0,56	0,83	5,01	-3,19	-0,08	4,22	4,46	-5,95	2,24	-0,13
K ₂ O/Na ₂ O	17,46	16,68	15,12	17,39	14,61	19,86	11,78	8,67	9,50	1,13	15,38	16,28	3,79	3,21	1,37
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	13,12	11,17	6,61	8,49	8,09	10,93	9,24	43,60	14,34	9,04	3,17	3,60	25,01	3,78	5,12
Al ₂ O ₃ /SiO ₂	0,08	0,09	0,15	0,12	0,12	0,09	0,11	0,02	0,07	0,11	0,32	0,28	0,04	0,26	0,20
CIA	56,01	57,13	62,47	62,17	65,59	79,11	81,69	79,63	72,12	65,31	71,25	71,06	49,65	65,24	58,42
CIW	91,46	86,88	89,87	95,03	92,40	93,10	91,16	88,92	89,84	74,31	93,84	92,59	72,82	82,02	70,52



Окончание табл. 1

Карьер	Асыввож							Вадьявож					Джежимский		
Возраст	RF	Досреднедевонский				D		RF	MZ-KZ		RF (?)		RF	MZ-KZ	
Порода	Песчаник	Переотложенная KB				Песчаник	Тектоническая глина	Песчаник	Площадная KB	Линейная KB	Площадная KB		Песчаник	Площадная KB	
Элементы, модули	P-2	P-5	P-6	P-7	P-8	O-33	P-9	В 9.4	В 14.4	В 9.10	В 14.3	В 9.3	Дж 1	Дж 2	Дж 3
ICV	0,97	0,93	0,93	0,87	0,75	0,42	0,45	1,31	0,66	1,01	0,77	1,05	1,55	1,16	1,17
K ₂ O/Al ₂ O ₃	0,64	0,55	0,45	0,51	0,41	0,18	0,12	0,12	0,25	0,17	0,31	0,30	0,59	0,29	0,27
Na ₂ O+K ₂ O	4,43	4,42	5,48	5,15	4,37	1,46	1,15	0,29	1,68	2,87	6,55	5,53	2,68	6,23	6,34
ГМ	0,09	0,10	0,19	0,14	0,14	0,10	0,12	0,05	0,11	0,15	0,36	0,37	0,08	0,38	0,27
HKM	0,67	0,59	0,48	0,54	0,44	0,18	0,13	0,13	0,28	0,32	0,33	0,32	0,75	0,38	0,47

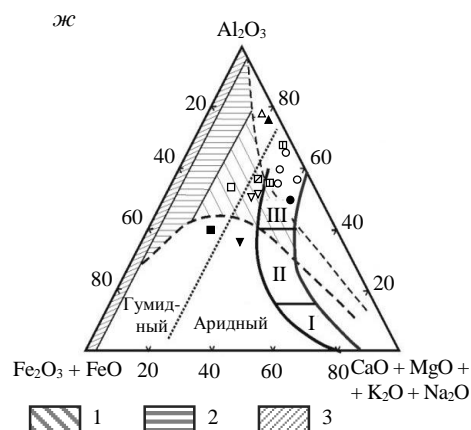
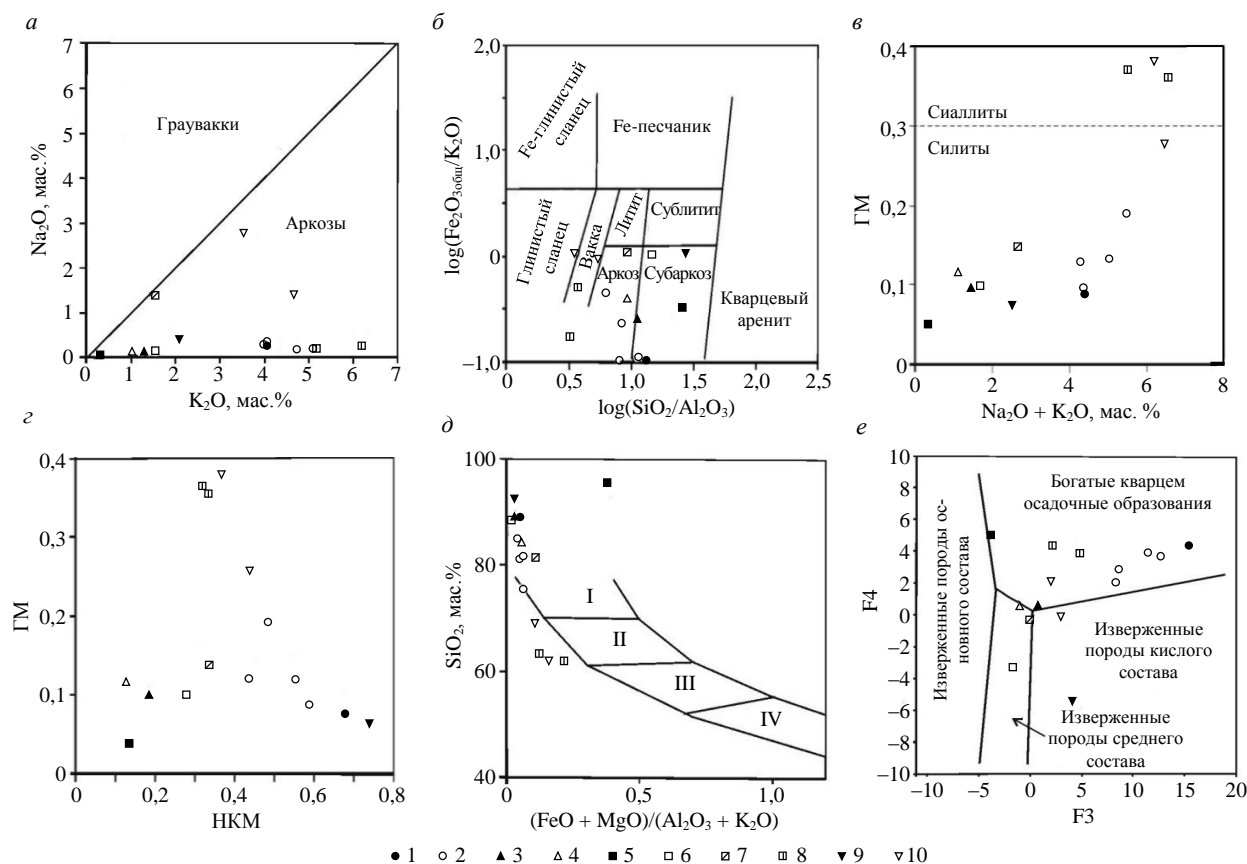


Рис. 2. Положение фигуративных точек составов пород на классификационных диаграммах: а – K₂O – Na₂O [21]; 1–4 – карьер Асывовож (1 – песчаник позднерифейской джежимской свиты, 2 – КВ по породам джежимской свиты, 3 – песчаник средне-позднедевонской асывовожской свиты, 4 – тектоническая глина (?); 5–7 – карьер Вадьявож (5 – песчаник позднерифейской джежимской свиты, 6 – площадная КВ по породам джежимской свиты, 7 – линейная КВ по породам джежимской свиты); 8 – древняя (рифейская) кора выветривания; 9, 10 – карьер Джежимский (9 – песчаник позднерифейской джежимской свиты, 10 – площадная КВ по породам джежимской свиты); б – log(SiO₂/Al₂O₃) – log(Fe₂O₃обш/K₂O) [22]; в – Na₂O+K₂O – ГМ; г – НКМ – ГМ [23]; д – (FeO + MgO)/(Al₂O₃ + K₂O) – SiO₂: I – риолиты, граниты, II – дациты, гранодиориты, III – андезиты, диориты, IV – базальты, габбро [24]; е – F₃ – F₄ [25]; ж – Fe₂O₃ + FeO – Al₂O₃ – CaO + MgO + K₂O + Na₂O [26]: 1–3 – поля корреляции продуктов выветривания (1 – начальных, зона осветления и механической дезинтеграции, 2 – глинистых, глинистые продукты гипергенного преобразования горных пород, 3 – конечных, каолиновые и бокситовые глины, бокситы, железняки); I–III – поля корреляции магматических пород (I – ультраосновные, II – основные, III – средние и кислые)



По значениям гидролизатного модуля (ГМ) в соответствии с классификацией Я.Э.Юдовича и М.П.Кетрис [24] породы субстрата и большинство глинистых образований КВ являются силитами, а три точки, соответствующие образцам, отличающимся максимальными содержаниями элементов-гидролизатов, сиаллитами – породами, глиноземистость которых обусловлена присутствием каолинита (рис.2, в). Для большинства изученных образцов значение модуля нормированной щелочности (НКМ) превышает значение 0,3 (рис.2, з), что является критерием [23] наличия в породах неизмененного калиевого полевого шпата. Располагающиеся на классификационной диаграмме (рис.2, а, б) в поле субаркозов рифейские песчанки из карьера Вадьявож и образования линейной КВ, девонские песчаники и подстилающие их глины отличаются низкими значениями НКМ (рис.2, з).

На диаграмме $(\text{FeO}+\text{MgO})/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{K}_2\text{O}) - \text{SiO}_2$ [24], показывающей присутствие в составе отложений обломков различных типов магматических пород, большинство фигуративных точек оказались вблизи области кислых пород, а вблизи поля пород среднего состава выделяются точки мезозойско-кайнозойских площадных КВ из карьеров Вадьявож и Джежимский (рис.2, д). На факторной диаграмме F3 – F4 [25], учитывающей соотношение породообразующих оксидов, фигуративные точки, соответствующие этим образцам, также тяготеют к полю изверженных пород среднего состава (рис.2, е). Девонские песчаники и подстилающие их глины попали в поле пород, в формировании которых принимали участие изверженные породы кислого состава (рис.2, е). Расположение большинства фигуративных точек на диаграмме химизма продуктов выветривания [26] позволяет считать, что в составе большей части исследованных пород присутствует обломочный материал, унаследованный от слабо выветрелых в условиях аридного климата кислых и средних магматических пород (рис.2, ж).

Значения индекса химического выветривания (CIA) [27] для девонских песчаников и подстилающих их глин, мезозойско-кайнозойской и рифейской площадных КВ в карьере Вадьявож незначительно превышают 70 и соответствуют условиям теплого климата в области размыва (табл.1). Широкий разброс значений индекса изменения состава (ICV) [28] предполагает присутствие в породе обломочного материала различной степени зрелости [22]. Для большей части изученных образцов химический индекс выветривания (CIW) [21] в интервале 82-95 соответствует породам, содержащим материал КВ (рис.3, а). На диаграмме $\text{K}/\text{Al} - \text{Mg}/\text{Al}$ [29] точки рифейских песчаников и КВ расположены в области пород, в которых преобладают иллит и калиевый полевой шпат; точки девонских песчаников и подстилающих их глин располагаются вблизи тренда каолинита (рис.3, б).

По данным рентгендифрактометрического анализа для изученных образцов примерное количественное содержание минералов составило, %: мусковит (иллит) ~ 6-25, хлорит ~ 1-3, смектит ~ 0-15, полевые шпаты ~ 0-10, кварц ~ 20-70. Различается состав и процентное соотношение минералов тонкодисперсной составляющей в образцах разных пород. Во всех изученных образцах постоянно присутствующим слоистым силикатом является мусковит упорядоченной политипной модификации 2M_1 . В образцах линейной КВ в карьере Вадьявож обнаружен также смектитоподобный минерал (смешанослойная разбухающая фаза) (рис.4, а, б). В КВ из карьера Джежимский отмечаются

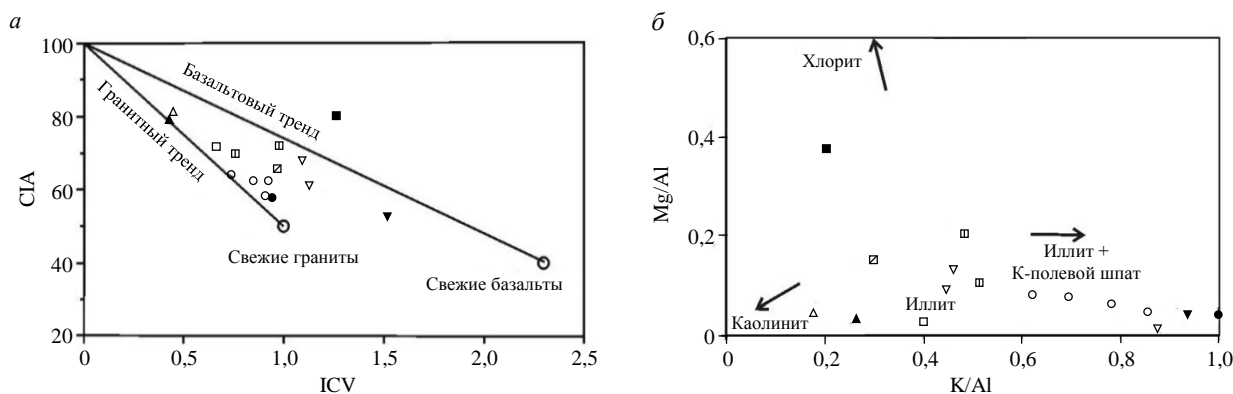


Рис.3. Положение фигуративных точек составов пород на диаграммах:
а – ICV – CIA [30]; б – K/Al – Mg/Al [29]. Условные обозначения см. на рис.2

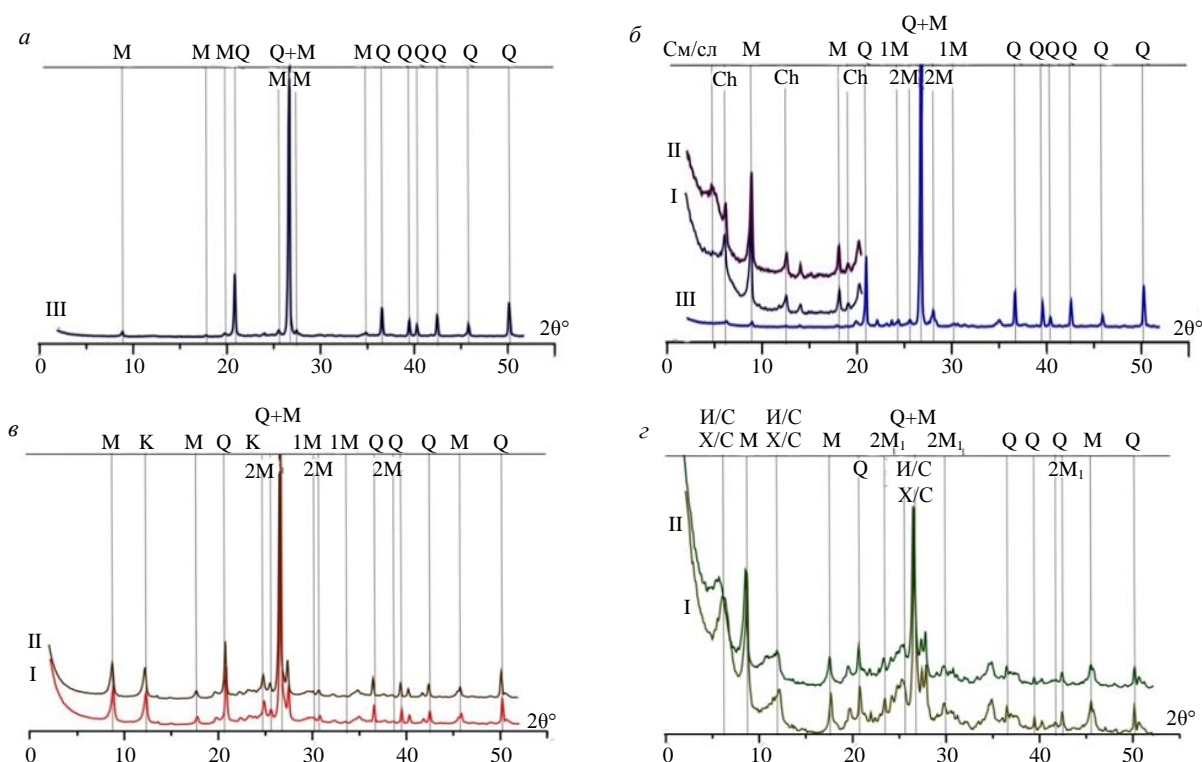


Рис.4. Дифрактограммы пород образцов В 14.4 (а), В 9.10 (б), Р-8 (в), Дж 2 (г)

I – ориентированных, воздушно-сухих; II – ориентированных, насыщенных этиленгликолем; III – неориентированных;
M – мусковит (2M₁ и 1M – политипные модификации); Ch – хлорит; См/сл – разбухающая смектитоподобная смешанослойная фаза; И/С и X/С – неупорядоченные смешанослойные образования иллит/смектит и хлорит/смектит; K – каолинит; Q – кварц
Номера образцов см. в табл.1

неупорядоченные разбухающие смешанослойные фазы типа иллит/смектит и хлорит/смектит (рис.4, г). Слоистые силикаты из глин, подстилающих девонские песчаники в карьере Асывовож, представлены мусковитом и каолинитом (рис.4, в).

Содержания РЗЭ и редких элементов и их соотношения, использованные для построения диаграмм и сопоставления с породами рифея и девона, приведены в табл.2. Суммарные содержания РЗЭ в изученных породах отличаются незначительно и близки к постархейскому австралийскому сланцу (РААС). Наибольшие количества РЗЭ (263 г/т), в том числе Σ LREE (229 г/т), отмечаются в обр. В 9.3 из линейной коры выветривания в карьере Вадьявож. Графики распределения РЗЭ в песчаниках и глинистых образованиях карьера Асывовож по наклону кривых и интенсивности европиевого минимума сходны с РААС (рис.5) [31]. Образцы глинистых пород из основания девонского разреза (Р-9) и девонских песчаников (О-33) отличаются от рифейских песчаников и связанных с ними глин большим содержанием легких РЗЭ (табл.2, рис.5, а) и отсутствием европиевого минимума (Eu/Eu^* 0,90 и 0,92 соответственно). Графики распределения РЗЭ в глинистых образованиях мезозойско-кайнозойской площадной КВ из карьера Джежимский отличаются пологим, по сравнению с исходными рифейскими песчаниками и РААС, наклоном в области LREE [32] и слабовыраженным европиевым минимумом (рис.5, в). Отношение Ce/Ce^* 0,8-1,0 (в обр. Дж 3 – 0,7) во всех исследованных образцах соответствует значениям, характерным для эпиконтинентальных обстановок [33, 34]. По значениям отношений La/Sc , Zr/Sc и Th/Sc изученные породы близки к палеозойским песчаникам, образованным в результате разрушения магматических пород среднего и кислого составов [35-37]. Незначительное превышение по сравнению с РААС содержания LREE в обр. Дж 2 и отсутствие европиевого минимума отражает, вероятно, увеличение в составе исходных пород обломков плагиоклазов.

Графики распределения РЗЭ в глинистых образованиях КВ в карьере Вадьявож различаются по характеру наклона кривых и значению соотношения Eu/Eu^* . Содержание РЗЭ в них выше, по сравнению с исходными рифейскими песчаниками. Максимальным содержанием РЗЭ, крутым наклоном в области LREE и интенсивным европиевым минимумом отличаются слоистые алевролиты (обр. В 9.3), отнесенные к рифейской КВ в составе джежимской свиты (табл.2, рис.5, в).



Изученные породы близки по форме нормированным на верхнюю континентальную кору (UCC) [38] спектрам распределения элементов-примесей, содержание которых в глинистых образованиях КВ незначительно выше, чем в исходных породах (рис.6). Для глинистых образований КВ характерны пониженные по сравнению с UCC содержания Co, Ni, Cu, Sr и Cs и повышенные Zr, Mo и Pb.

Таблица 2

Содержания РЗЭ и редких элементов, г/т

Карьер	Асывовож						Вадьявож					Джежимский		
Возраст	RF	Досреднедевонский				D	RF	MZ-KZ		RF (?)		RF	MZ-KZ	
Порода	Песчаник	Площадная КВ				Песчаник Тектоническая глина	Песчаник	Площадная КВ	Линейная КВ	Площадная КВ		Песчаник	Площадная КВ	
Элемент	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

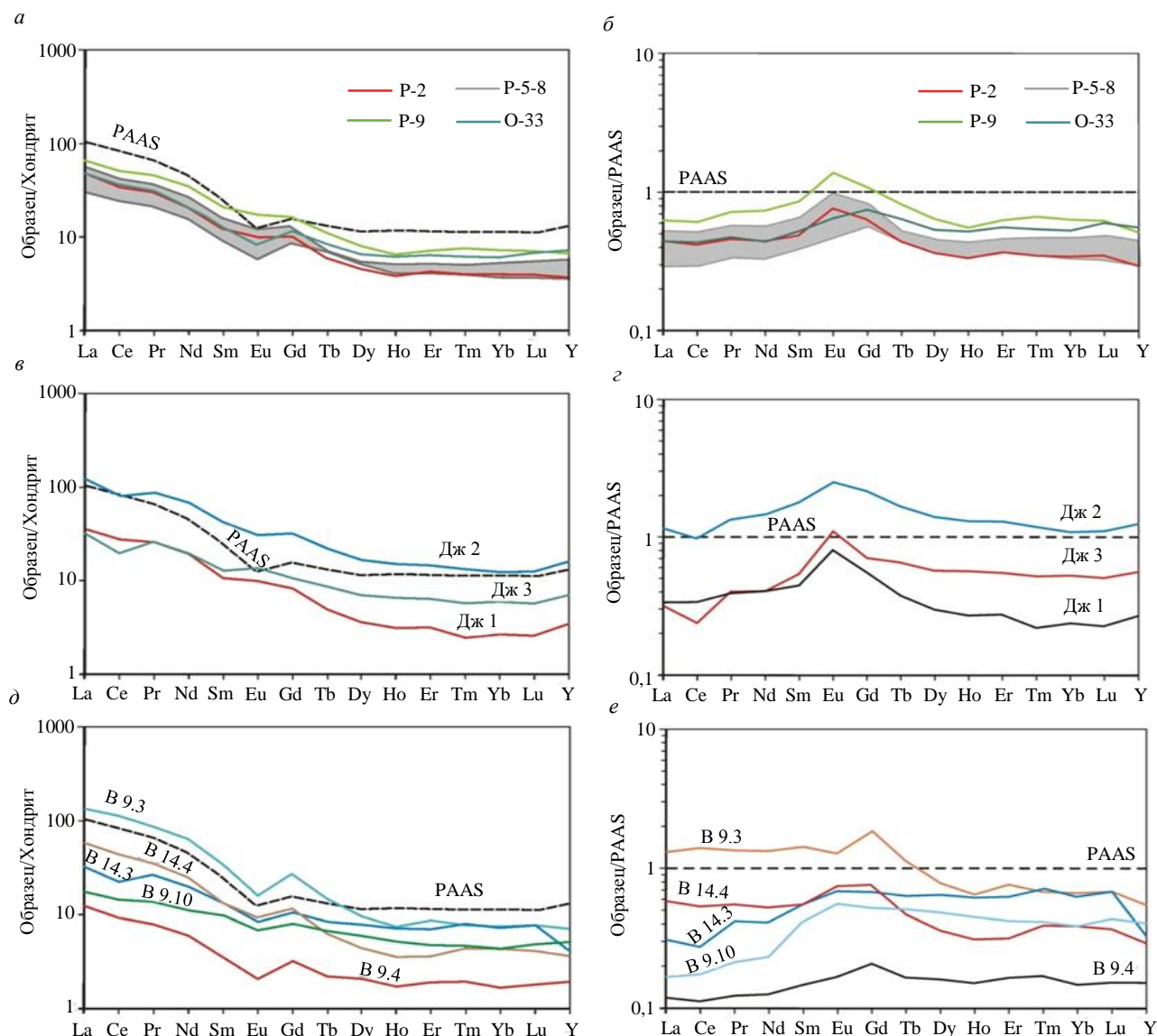


Рис.5. Нормированные спектры распределения содержаний РЗЭ: а, в, д – на хондрит [32]; б, г, е – на ПААС [31]

Обсуждение результатов и выводы

Изученные разновидности КВ по породам рифейского возраста незначительно различаются по соотношению породообразующих элементов, содержанию и составу слюдястых минералов и диагностируются как породы зоны осветления и механической дезинтеграции. Фигуративные точки песчаников и глинистых образований по соотношению $K_2O - Na_2O$ [22], являющиеся арками на диаграмме $\log(Fe_2O_{3\text{общ}}/K_2O) - \log(SiO_2/Al_2O_3)$ (см. рис.2, б), расположены в поле субаркозов и вакков, в которое попали образцы КВ, отличающиеся наибольшим содержанием слюд. Диаграммы $(Na_2O+K_2O) - ГМ$ и НКМ – ГМ [23] демонстрируют увеличение щелочности (общей и нормированной) в образцах КВ по рифейским породам и уменьшение этих параметров для глинистых образований в основании девонской толщи. Девонские песчаники и глины отличаются и максимальными значениями индексов выветривания CIA и CIW [21, 27]. Значения индекса CIW в девонских песчаниках и подстилающих их глинистых породах (93 и 91 соответственно) характеризуют их как образования КВ. Присутствие корового материала в породах средне-верхнедевонской асывовожской свиты отмечалось всеми предшественниками при проведении геологосъемочных и исследовательских работ [13, 14] и явилось аргументом для поисков россыпных алмазов⁶. Высокие значения CIW (94 и 93) отмечаются также в алевролитах джежимской свиты, что является

⁶ Терешко В.В., Кириллин С.В., Казанцева Г.Я. и др. Групповая геологическая съемка масштаба 1:50000 на территории листов Р-40-73-В,Г; Р-40-74-В; Р-40-85-В; Р-40-86-А. Сыктывкар, 1991.

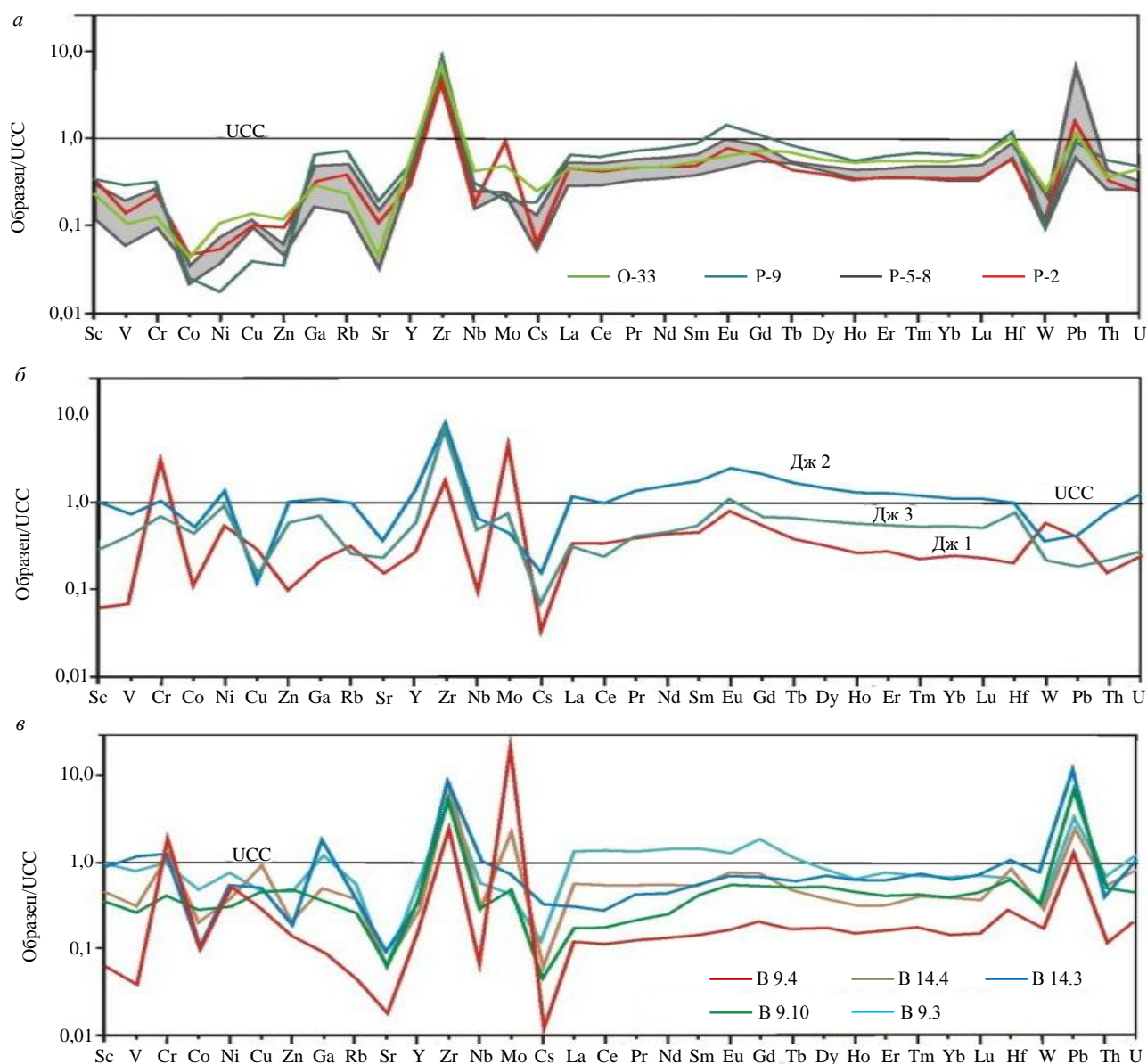


Рис.6. Нормированные на UCC [37] содержания элементов-примесей в исходных песчаниках и глинистых породах

подтверждением нашего предположения об их связи с КВ. Рифейские песчаники и связанные с ними глинистые образования КВ из карьера Асывовож содержат заметную долю полевых шпатов и калиевых слюд, что, по данным статьи Я.Э.Юдовича и соавторов (1991 г.), характерно для аридных КВ, широко развитых в отложениях рифея.

Состав и соотношение глинистых минералов разновозрастных КВ различается. Появление неупорядоченных разбухающих смешанослойных образований (иллит/сметит, хлорит/сметит) в образцах из карьера Вадьявовж свидетельствует о преобразовании исходных пород в КВ. В образцах мезозойско-кайнозойских КВ обнаружена смешанослойная разбухающая фаза, содержание которой может достигать 15 %. В них, помимо модификации 2M₁, присутствует слабоупорядоченный мусковитовый политип 1M, появление которого является диагностическим признаком процессов корообразования. Фазовый состав слоистых силикатов коры выветривания карьера Асывовож представлен только мусковитом и каолинитом.

В карьере Асывовож содержание РЗЭ в рифейских песчаниках и глинистых образованиях КВ отличаются незначительно и близки к PAAS, а особенностью девонских песчаников и подстилающих их глин является отсутствие европиевого минимума. В карьере Вадьявовж максимальным содержанием РЗЭ, крутым наклоном в области LREE и интенсивным европиевым минимумом отличаются слюдистые алевролиты древней КВ в составе джежимской свиты (см. табл.2, рис.5, в).



В глинах мезозойско-кайнозойской КВ по рифейским песчаникам сохраняются унаследованные от них низкие по сравнению с УСС содержания Co, Ni, Cu, Sr и Cs и повышенные Zr, Mo и Pb.

Отметим, что геологами производственных организаций при проведении геологосъемочных и поисковых работ отложения джежимской свиты и развитые по ним коры выветривания рассматривались в качестве потенциального промежуточного коллектора россыпных алмазов. Особенно-сти распределения порообразующих оксидов и РЗЭ в изученных нами разновидностях кор выветривания по рифейским породам и в самих рифейских псаммитах не обнаруживают признаков присутствия продуктов разрушения кимберлитов [39, 40]. Наши исследования подтвердили правильность идентификации алевролитов в составе джежимской свиты в карьере Вадьявож как пород, образованных в результате переотложения измененного в коре выветривания материала рифейских терригенных пород.

Петрохимические характеристики тонкозернистой породы из основания девонского разреза и залегающих выше песчаников практически совпадают. Поскольку присутствие материала коры выветривания характерно для всех пород асывожской свиты, в том числе залегающих там, где при наличии тектонического контакта глинистый прослой в основании толщи отсутствует, мы считаем, что образование глинистого слоя обусловлено механическим истиранием исходных песчаников.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пыстин А.М., Глухов Ю.В., Бушенев А.А. Новая находка алмаза и перспективы коренной алмазоносности Четлаского поднятия (Средний Тиман) // Записки Горного института. 2023. Т. 264. С. 842-855.
2. Красоткина А.О., Скублов С.Г., Кузнецов А.Б. и др. Первые данные о возрасте (U–Pb, SHRIMP-II) и составе циркона из уникального нефтетитанового месторождения Яррегское, Южный Тиман // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2020. Т. 495. № 2. С. 9-17. DOI: [10.31857/S2686739720120063](https://doi.org/10.31857/S2686739720120063)
3. Скублов С.Г., Макеев А.Б., Красоткина А.О. и др. Изотопно-геохимические особенности циркона из пижемского титанового месторождения (Средний Тиман) как отражение гидротермальных процессов // Геохимия. 2022. Т. 67. № 9. С. 807-829. DOI: [10.31857/S0016752522090060](https://doi.org/10.31857/S0016752522090060)
4. Илалова Р.К., Дурягина А.М., Агеев А.С. Последовательность минералообразования и процессы, происходящие в коре выветривания гипербазитов Серовско-Маукского офиолитового пояса (Северный Урал) // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2020. № 7. С. 13-26. DOI: [10.25018/0236-1493-2020-7-0-13-26](https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-7-0-13-26)
5. Alekseev V.I., Alekseev I.V. Zircon as a Mineral Indicating the Stage of Granitoid Magmatism at Northern Chukotka, Russia // Geosciences. 2020. Vol. 10. Iss. 5. № 194. DOI: [10.3390/geosciences10050194](https://doi.org/10.3390/geosciences10050194)
6. Акбарпуран Хайяти С.А., Гульбин Ю.Л., Сироткин А.Н., Гембицкая И.М. Эволюция состава акцессорных минералов REE и Ti в метаморфических сланцах серии Атомфелла, Западный Нью Фрисланд, Шпицберген и ее петрогенетическое значение // Записки Российского минералогического общества. 2020. Т. 149. № 5. С. 1-28. DOI: [10.31857/S0869605520050020](https://doi.org/10.31857/S0869605520050020)
7. Терехов Е.Н., Макеев А.Б., Скублов С.Г. и др. Кварцевые порфиры внешних островов Финского залива – вулканические комагматы гранитов рапакиви // Вулканология и сейсмология. 2023. № 6. С. 101-121. DOI: [10.31857/S020303062370030X](https://doi.org/10.31857/S020303062370030X)
8. Кузнецов Н.Б., Натанов Л.М., Белоусова Е.А. и др. Первые результаты U/Pb-датирования и изотопно-геохимического изучения детритных цирконов из позднедокембрийских песчаников Южного Тимана (увал Джежим-Парма) // Доклады Академии наук. 2010. Т. 435. № 6. С. 798-805.
9. Латышева И.В., Кузнецов Н.Б., Шаццло А.В. и др. U-Pb возраст зерен детритового циркона из обломочных пород джежимской свиты (верхний докембрий Южного Тимана) // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы научной конференции. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2022. Вып. 20. С. 166-169.
10. Колесников А.В., Латышева И.В., Шаццло А.В. и др. Биота эдиакарского типа в верхнем докембрии Тиманского кряжа (возвышенность Джежим-Парма, Республика Коми) // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2023. Т. 510. № 1. С. 61-65. DOI: [10.31857/S2686739722602964](https://doi.org/10.31857/S2686739722602964)
11. Колесников А.В., Латышева И.В., Шаццло А.В. и др. Открытие биоты эдиакарского типа на Южном Тимане // Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий: Сборник статей X Всероссийской молодежной конференции. М.: Перо, 2022. С. 87-88.
12. Kolesnikov A. V. Stratigraphic correlation potential of the Ediacaran palaeopascichnids // Estudios Geológicos. 2019. Vol. 75. № 2. № e102. DOI: [10.3989/egool.43588.557](https://doi.org/10.3989/egool.43588.557)
13. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист Р-40 – Североуральск. Объяснительная записка. СПб: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2005. 332 с.
14. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Издание второе. Серия Тиманская. Лист Р-40-XXVI (Канава). Объяснительная записка. М.: Московский филиал ФГБУ ВСЕГЕИ, 2018. 105 с.
15. Гракова О.В. Сравнительная характеристика и условия образования девонских алмазосодержащих отложений Южного и Среднего Тимана: Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Сыктывкар: Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, 2014. 19 с.
16. Гракова О.В., Уляшева Н.С. Петрографический состав и литохимические особенности алмазосодержащих отложений асывожской свиты (D₂₋₃AS) Южного Тимана // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2015. № 12 (252). С. 16-23. DOI: [10.19110/2221-1381-2015-12-16-23](https://doi.org/10.19110/2221-1381-2015-12-16-23)



17. *Макеев А.Б., Рыбальченко А.Я., Дудар В.А., Шаметко В.Г.* Новые перспективы алмазоносности Тимана // Геология и минеральные ресурсы европейского северо-востока России. Новые результаты и новые перспективы: Материалы XIII Геологического съезда Республики Коми. Сыктывкар, 1999. Т. IV. С. 63-66.
18. *Цхадая Н.Д., Кобрунов А.И., Шилов Л.П. и др.* Тиманский край. В 2 томах. Том 2. Ухта: Ухтинский государственный технический университет, 2010. 437 с.
19. *Рыбальченко А.Я., Рыбальченко Т.М., Силаев В.И.* Теоретические основы прогнозирования и поисков коренных месторождений алмазов туфизитового типа // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2011. Вып. 1 (5). С. 54-66.
20. *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.
21. *Pettid Ф., Potter П., Siver Р.* Пески и песчаники. М.: Мир, 1976. 535 с.
22. *Herron M.M.* Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data // Journal of Sedimentary Research. 1988. Vol. 58. № 5. P. 820-829. DOI: [10.1306/212F8E77-2B24-11D7-8648000102C1865D](https://doi.org/10.1306/212F8E77-2B24-11D7-8648000102C1865D)
23. *Юдович Я.Э., Кемпис М.П.* Основы литохимии. СПб: Наука, 2000. 479 с.
24. *Kusunoki T., Musashino M.* Comparison of the Middle Jurassic to Earliest Cretaceous sandstones from the Japanese Islands and South Sikhote-Alin // Earth Science. 2001. Vol. 55. Iss. 5. P. 293-306. DOI: [10.15080/agechikyukagaku.55.5_293](https://doi.org/10.15080/agechikyukagaku.55.5_293)
25. *Roser B.P., Korsch R.J.* Determination of Tectonic Setting of Sandstone-Mudstone Suites Using SiO₂ Content and K₂O/Na₂O Ratio // The Journal of Geology. 1986. Vol. 94. № 5. P. 635-650.
26. *Ерофеев В.С., Цеховский Ю.Г.* Парагенетические ассоциации континентальных отложений (семейство аридных парагенезов. Эволюционная периодичность). М.: Наука, 1983. 192 с.
27. *Nesbitt H.W., Young G.M.* Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // Nature. 1982. Vol. 299. № 5885. P. 715-717. DOI: [10.1038/299715a0](https://doi.org/10.1038/299715a0)
28. *Cox R., Lowe D.R.* A conceptual review of regional-scale controls on the composition of clastic sediment and the co-evolution of continental blocks and their sedimentary cover // Journal of Sedimentary Research. 1995. Vol. 65. № 1a. P. 1-12. DOI: [10.1306/D4268009-2B26-11D7-8648000102C1865D](https://doi.org/10.1306/D4268009-2B26-11D7-8648000102C1865D)
29. *Turgeon S., Brumsack H.-J.* Anoxic vs dysoxic events reflected in sediment geochemistry during the Cenomanian–Turonian Boundary Event (Cretaceous) in the Umbria–Marche Basin of central Italy // Chemical Geology. 2006. Vol. 234. Iss. 3-4. P. 321-339. DOI: [10.1016/j.chemgeo.2006.05.008](https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2006.05.008)
30. *Yong Il Lee.* Provenance derived from the geochemistry of late Paleozoic–early Mesozoic mudrocks of the Pyeongan Supergroup, Korea // Sedimentary Geology. 2002. Vol. 149. Iss. 4. P. 219-235. DOI: [10.1016/S0037-0738\(01\)00174-9](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(01)00174-9)
31. *Мигдисов А.А., Балаиов Ю.А., Шаров И.В. и др.* Распространенность редкоземельных элементов в главных литологических типах пород осадочного чехла Русской платформы // Геохимия. 1994. № 6. С. 789-803.
32. *Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М.* Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.
33. *Murray R.W., Buchholtz Ten Brink M.R., Gerlach D.C. 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 sediments // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1991. Vol. 55. Iss. 7. P. 1875-1895. DOI: [10.1016/0016-7037\(91\)90030-9](https://doi.org/10.1016/0016-7037(91)90030-9)
34. *Шатров В.А., Войцеховский Г.В.* Применение лантаноидов для реконструкций обстановок осадкообразования в фанерозое и протерозое (на примере разрезов чехла и фундамента Восточно-Европейской платформы) // Геохимия. 2009. № 8. С. 805-824.
35. *Cullers R.L.* Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA // Chemical Geology. 2002. Vol. 191. Iss. 4. P. 305-327. DOI: [10.1016/S0009-2541\(02\)00133-X](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(02)00133-X)
36. *McLennan S.M., Hemming S., McDaniel D.K., Hanson G.N.* Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics // Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments. Geological Society of America, 1993. Special Paper 284. P. 21-40. DOI: [10.1130/SPE284-p21](https://doi.org/10.1130/SPE284-p21)
37. *Маслов А.В., Мельничук О.Ю., Мизенс Г.А. и др.* Реконструкция состава пород питающих провинций. Статья 2. Лито- и изотопно-геохимические подходы и методы // Литосфера. 2020. Т. 20. № 1. С. 40-62. DOI: [10.24930/1681-9004-2020-20-1-40-62](https://doi.org/10.24930/1681-9004-2020-20-1-40-62)
38. *Taylor S.R., McLennan S.M.* The geochemical evolution of the continental crust // Reviews of Geophysics. 1995. Vol. 33. Iss. 2. P. 241-265. DOI: [10.1029/95RG00262](https://doi.org/10.1029/95RG00262)
39. *Гусев Н.И., Антонов А.В.* Кимберлиты участка Сербейн (Анабарский щит) – продукт расплава, обогащенного натрием, хлором, карбонатом // Региональная геология и металлогения. 2020. № 81. С. 105-118.
40. *Опарин Н.А., Олейников О.Б.* Геологическое строение и вещественный состав кимберлитовых трубок Хомпу-Майского поля (Центральная Якутия) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2022. Т. 27. № 4. С. 486-498.

Авторы: Оксана Васильевна Гракова, канд. геол.-минерал. наук, научный сотрудник, ovgrakova@geo.komisc.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5917-9218> (Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия), Наталья Юрьевна Никулова, д-р геол.-минерал. наук, ведущий научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-1511-6124> (Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия), Юлия Станиславовна Симакова, канд. геол.-минерал. наук, старший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0003-0409-4019> (Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.