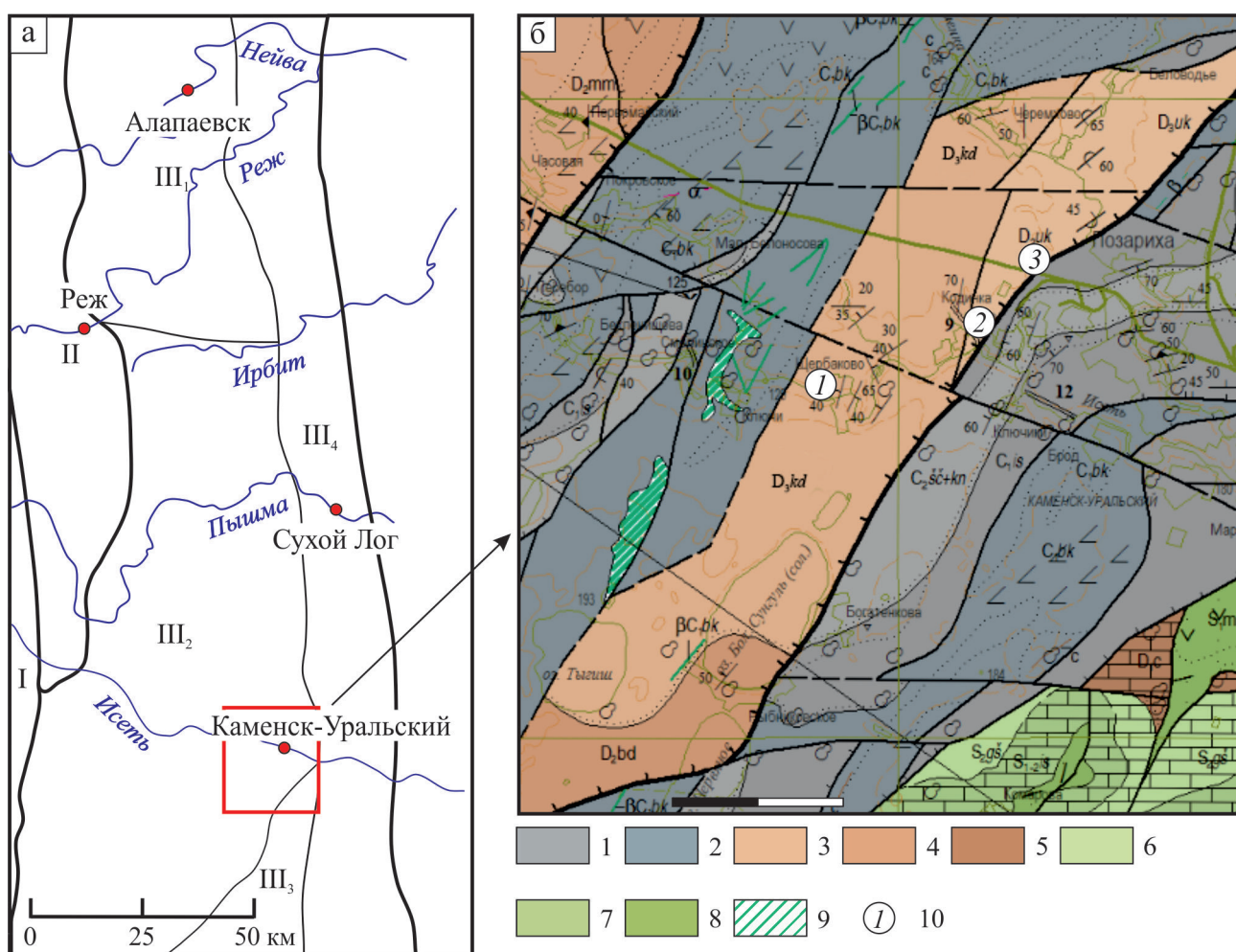


## ПЕСЧАНИКИ И АРГИЛЛИТЫ УСТЬКОДИНСКОЙ СВИТЫ (ВЕРХНИЙ ДЕВОН, ВОСТОЧНЫЙ СКЛОН СРЕДНЕГО УРАЛА): ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА И ПЕТРОФОНД

© 2017 г. О. Ю. Мельничук

Наиболее представительные разрезы устькодинской свиты обнажаются западнее г. Каменск-Уральский на левобережье р. Исеть (карьер на

краю Кодинского лога в д. Кодинка и на берегу р. Исеть выше с. Щербаково) (рис. 1), а также севернее – в долине р. Каменка (в пределах с. Че-



**Рис. 1.** Расположение Кодинского блока и разрезов устькодинской свиты в современной структуре Урала.

а – зоны [Смирнов и др., 2003]: I – Медведовско-Арамилевская; II – Мурзинско-Адуйский кристаллический блок; III – Восточно-Уральская; III<sub>1</sub>–III<sub>4</sub> – подзоны [Государственная..., 2000]: III<sub>1</sub> – Режевская, III<sub>2</sub> – Рефтинско-Каменская, III<sub>3</sub> – Бурино-Калдинская, III<sub>4</sub> – Алапаевско-Айбыкульская.

б – выкопировка из “Государственной геологической карты...” [2000] с нанесенным на нее местоположением разрезов устькодинской свиты: 1–8 – стратиграфическая приуроченность пород (1–2 – каменноугольная система: 1 – средний отдел, 2 – нижний; 3–5 – девонская система: 3 – верхний отдел, 4 – средний, 5 – нижний; 6–8 – силурийская система: 6 – верхний отдел, 7 – нижний–верхний, 8 – нижний); 9 – выходы на поверхность нижнекаменноугольных пород бекленищевской субвулканической ассоциации; 10 – разрезы (1 – ниже с. Щербаково, 2 – карьер на левом берегу Кодинского Лога, 3 – обнажение в долине р. Каменка). Длина масштабной линейки 5 км.

ремхово). Большой частью свита сложена песчаниками и аргиллитами с редкими пластами конгломератов и гравелитов. Впервые она описана Г.А. Смирновым [Смирнов, Смирнова, 1961] как аналог зилаирской свиты. По находкам брахиопод свита относится к фаменскому ярусу верхнего девона (шамейский, чепчуговский и хвощевский горизонты) [Наседкина, Зенкова, 1999]. Мощность ее варьирует от 600 до 1000 м [Наседкина, Зенкова, 1999; Государственная..., 2000].

В современной структуре Урала отложения устькодинской свиты совместно с мелководно-морскими образованиями верхнефранской кодинской слагают большую часть Кодинского блока (см. рис. 16), выделяемого в пределах Рефтинско-Каменной подзоны Алапаевско-Теченской зоны. В некоторых работах, например в “Государственной геологической карте...” [2000], указывается, что отложения обеих свит возникли в результате размыва единого источника сноса. Однако это предположение, несмотря на территориальную и возрастную близость отложений, не подтверждено результатами изучения состава терригенных пород. Состав обеих свит частично освещен только в работе Л.В. Анфимова и Е.В. Силантьева [1975] и более полно – кодинской свиты – в одной из наших работ [Мельничук, Рянская, 2017].

Предположения об источниках сноса, выдвинутые в предлагаемой статье, базируются на изучении шлифов песчаников и химического состава глинистых пород (всего 12 проб) устькодинской свиты. Минеральный состав аргиллитов определен рентгенофазовым методом на дифрактометре SHIMADZU XRD-700, и термическим – на дериватографе Dimond TG/DTA, PerkinElmer (аналитики Т.Я. Гуляева, А.Д. Рянская и В.Г. Петрищева). Содержание петрогенных оксидов установлено рентгенофлуоресцентным методом на спектрометрах XRF-1800 и СРМ-35 (аналитики Н.П. Горбунова, Л.А. Татарина, Г.С. Неупокоева и Г.А. Авакумова). Содержания редких и рассеянных элементов определены методом ICP-MS на квадрупольном масс-спектрометре ELAN-9000 с предварительным автоклавным и микроволновым разложением проб (аналитики Д.В. Киселева, О.А. Березикова, Л.К. Дерюгина, Н.Н. Адамович и Н.В. Чередниченко). Для сравнения использованы результаты изучения петрографии песчаников и химического состава аргиллитов (38 проб) кодинской свиты.

Результаты исследования глинистых минералов показали, что в составе аргиллитов устькодинской свиты преобладают слюдястые минералы (в основном гидрослюда), либо слюды в совокупности со смешанослойными образованиями (ССО) ряда гидрослюда–монтмориллонит. Во всех пробах в малом количестве присутствуют минералы группы хлорита, главным образом железисто-магнезиальные разновидности. В единичных образцах

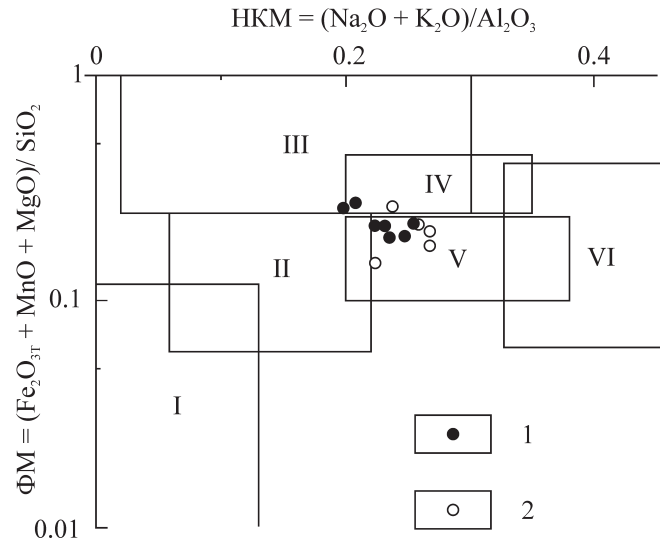


Рис. 2. Положение фигуративных точек составов аргиллитов устькодинской свиты на классификационной диаграмме [Юдович, Кетрис, 2000] с некоторыми изменениями.

Пограничные значения полей приведены с использованием характерных значений. Состав аргиллитов: 1 – со ССО, 2 – без ССО. Главные особенности состава: I – преобладает каолинит; II – преобладает монтмориллонит с подчиненным количеством каолинита и гидрослюда; III – доминирует хлорит, в виде примеси может присутствовать Fe-гидрослюда; IV – преимущественно гидрослюдистый состав, значительная примесь тонких обломков полевых шпатов; V – стандартная трехкомпонентная система “хлорит + монтмориллонит + гидрослюда”; VI – гидрослюдистый с той или иной примесью тонкодисперсного полевого шпата.

содержится каолинит, но его крайне мало (в пределах погрешности определения). Карбонатных минералов в глинистых породах практически нет в отличие от повсеместно присутствующего гётита. Небольшое содержание (2–6%) последнего, вероятно, свидетельствует о том, что породы подверглись слабому выветриванию. Среди обломков пород и минералов диагностировано значительное количество кварца и полевых шпатов (предположительно альбита), в сумме достигающее 25–45%. Перечисленные особенности пелитолитов устькодинской свиты хорошо согласуются с положением их фигуративных точек на диаграммах, предложенных Я.Э. Юдовичем и М.П. Кетрис и предназначенных для классификации глинистых пород [2000]. В частности, на модульной диаграмме НКМ–ФМ (рис. 2) большая часть фигуративных точек сосредоточена в поле гидрослюдистых пород с примесью тонкодисперсных полевых шпатов (поле IV) или хлорит-монтмориллонит-гидрослюдистых пород, в составе которых могут присутствовать ССО ряда гидрослюда–монтмориллонит (поле V), либо точки расположены в непосредственной близости от этих полей.

**Таблица 1.** Содержания малых элементов (г/т) и некоторые индикаторные отношения для глинистых пород устькодинской и кодинской свит

Компонент	Устькодинская свита			Кодинская свита			РААС	Хондрит
	Мин.	Ср.	Макс.	Мин.	Ср.	Макс.		
Rb	21.99	62.75	101.69	4.19	66.57	162.80	160.00	–
Cs	2.63	5.20	8.28	1.60	4.84	8.55	6.00	–
Ba	138.04	288.42	489.04	90.27	278.12	632.68	650.00	–
Sr	50.20	103.43	262.12	20.12	111.02	286.26	200.00	–
Th	1.37	5.44	10.36	2.66	6.36	11.65	14.60	–
U	2.28	2.82	3.85	1.48	2.65	4.87	3.10	–
Zr	93.79	117.70	156.18	66.68	125.52	196.84	210.00	–
Hf	2.66	3.36	4.00	1.74	3.61	5.45	5.00	–
Y	1.47	9.57	14.49	3.37	16.32	29.49	27.00	–
Nb	5.60	7.99	10.49	4.66	9.04	14.62	19.00	–
Cr	67.32	150.74	219.97	78.42	208.02	519.73	110.00	–
Co	13.51	21.17	29.17	7.19	31.40	57.13	23.00	–
Ni	64.42	133.09	174.69	48.85	196.89	345.73	55.00	–
V	107.93	153.27	176.19	90.11	175.07	279.94	150.00	–
Sc	15.62	21.14	27.29	7.45	22.87	41.48	16.00	–
La	1.80	13.45	21.57	3.85	16.28	31.45	38.20	0.367
Ce	4.27	28.97	46.08	9.17	35.57	68.24	79.60	0.957
Pr	0.55	3.38	5.35	1.22	4.45	8.11	8.83	0.137
Nd	2.10	12.23	20.07	5.22	17.70	32.65	33.90	0.711
Sm	0.49	2.41	3.75	1.14	3.77	7.27	5.55	0.231
Eu	0.15	0.60	0.92	0.29	1.03	2.05	1.08	0.087
Gd	0.44	2.06	3.12	1.12	3.75	7.25	4.66	0.306
Tb	0.07	0.33	0.47	0.16	0.53	0.98	0.77	0.058
Dy	0.41	1.91	2.72	1.06	3.26	5.38	4.68	0.381
Ho	0.09	0.44	0.65	0.24	0.67	1.08	0.99	0.0851
Er	0.26	1.26	1.85	0.77	2.00	3.26	2.85	0.249
Tm	0.05	0.21	0.31	0.12	0.29	0.47	0.41	0.0356
Yb	0.30	1.30	1.95	0.85	1.98	3.12	2.82	0.248
Lu	0.05	0.22	0.34	0.13	0.30	0.48	0.43	0.0381
∑REE	11.03	68.76	106.74	25.89	91.58	165.14	184.80	3.900
Eu/Eu*	0.66	0.83	0.98	0.75	0.83	0.95	0.66	–
(La/Yb) <sub>N</sub>	4.03	6.73	10.66	2.78	5.33	9.06	8.20	–

Примечание. Значения для РААС и для хондрита приведены по [Тэйлор, МакЛеннан, 1988].

**Таблица 2.** Петрохимический состав глинистых пород устькодинской и кодинской свит

Компонент, модуль	D <sub>3uk</sub> , n = 12	D <sub>3kd</sub> , n = 37
SiO <sub>2</sub>	51.9–56.6 (54.9)	47.9–60.1 (55.9)
TiO <sub>2</sub>	0.73–1.11(0.90)	0.82–1.03 (0.94)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.4–22.2 (19.4)	15.0–22.0 (17.5)
Fe <sub>2</sub> O <sub>3Т</sub>	5.1–9.7 (7.6)	6.0–10.5 (8.9)
MnO	0.03–0.24 (0.10)	0.04–0.26 (0.13)
MgO	2.59–5.23 (4.00)	3.09–7.02 (5.00)
CaO	0.6–1.8 (0.9)	0.5–4.0 (1.3)
Na <sub>2</sub> O	0.8–2.5 (1.5)	0.3–2.2 (1.1)
K <sub>2</sub> O	2.1–4.1 (3.1)	1.4–4.3 (2.5)
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.11–0.18 (0.14)	0.10–0.30 (0.15)
ГМ	0.46–0.55 (0.51)	0.43–0.60 (0.49)
ЖМ	0.22–0.53 (0.38)	0.26–0.65 (0.50)
ФМ	0.15–0.27 (0.21)	0.17–0.30 (0.25)
АМ	0.31–0.40 (0.35)	0.27–0.40 (0.31)
ТМ	0.04–0.05 (0.05)	0.04–0.06 (0.05)
НКМ	0.20–0.27 (0.24)	0.09–0.21 (0.14)
ЦМ	0.21–1.17 (0.52)	0.10–1.09 (0.48)

Примечание. Модули рассчитаны в соответствии с сиаллическим стандартом [Юдович, Кетрис, 2000]. D<sub>3uk</sub> – устькодинская свита, D<sub>3kd</sub> – кодинская свита. Fe<sub>2</sub>O<sub>3Т</sub> – общее содержание оксидов железа, n – количество проб. Цифры в скобках – средние значения, цифры перед скобками – минимальные и максимальные значения.

По петрохимическим и геохимическим характеристикам аргиллиты устькодинской свиты схожи с глинистыми образованиями кодинской (табл. 1, 2). Во-первых, за исключением единичных образцов, большинство глинистых пород обеих свит относится к хемотипу псевдосиаллитов (содержание MgO ≥ 3 %, значения ГМ в пределах 0.3–0.55). Во-вторых, они близки по содержаниям породообразующих оксидов, что находит отражение в положении на универсальной [Юдович, Кетрис, 2000] четырехлучевой модульной диаграмме (рис. 3а) – не менее 75% точек составов устькодинских пелитолитов попадают в поля, образуемые соответствующими фигуративными точками верхнефранских глинистых пород. В-третьих, на диаграмме F<sub>1</sub>–F<sub>2</sub> [Roser, Korsch, 1988]<sup>1</sup>, предназначенной для идентификации образований, размывавшихся на палеоводосборах, формируется аналогичная ситуация – поля пересекаются на 70% (рис. 3б), что позволяет

<sup>1</sup>  $F_1 = 30.638 \times \text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - 12.541 \times \text{Fe}_2\text{O}_{3Т}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 7.329 \times \text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 12.031 \times \text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 35.402 \times \text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 6.382$ ;  $F_2 = 56.5 \times \text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - 10.879 \times \text{Fe}_2\text{O}_{3Т}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 30.875 \times \text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 5.404 \times \text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 11.112 \times \text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 3.89$ .

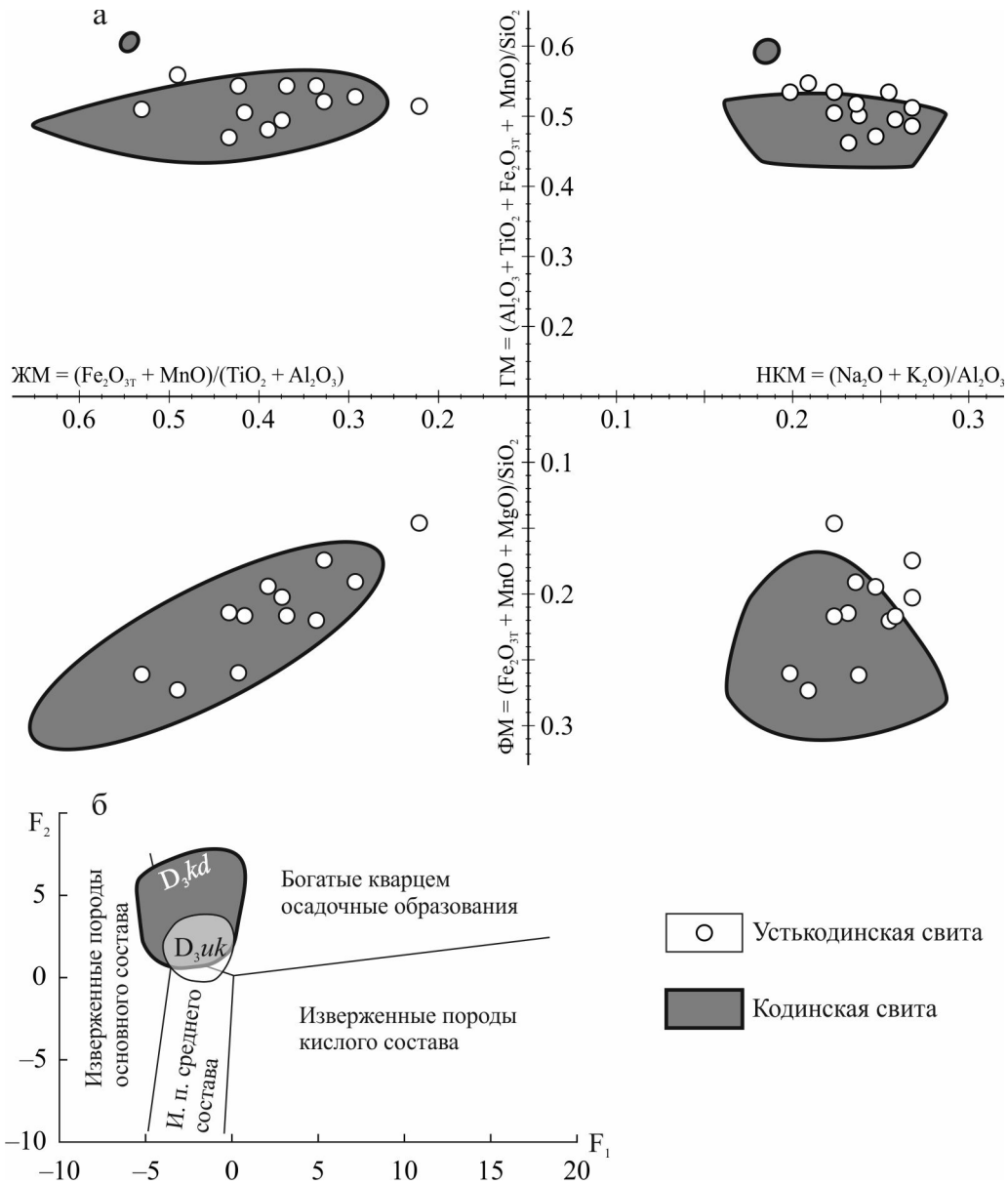


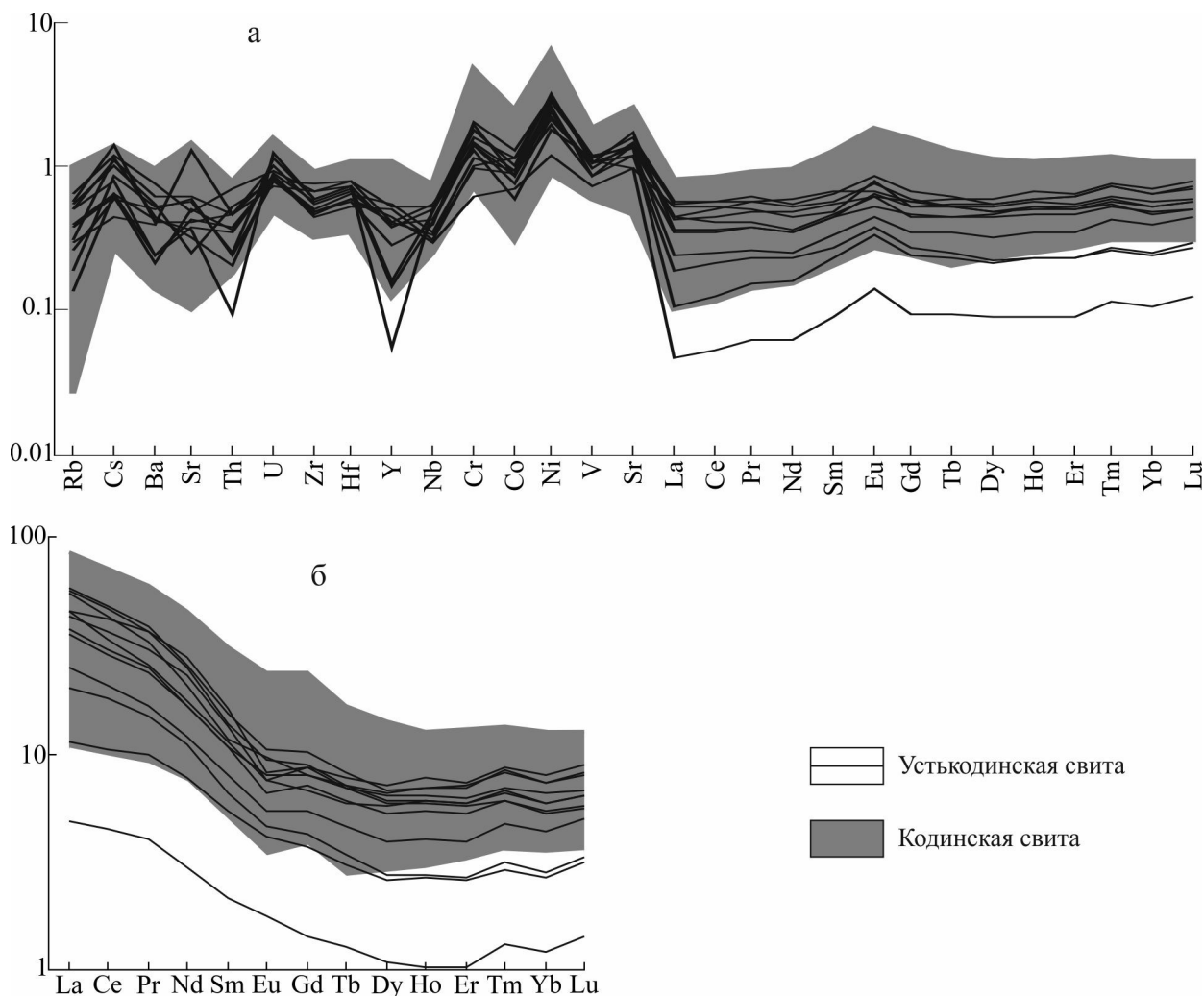
Рис. 3. Положение фигуративных точек составов изучаемых верхнедевонских глинистых пород.

а – универсальная [Юдович, Кетрис, 2000] четырехлучевая модульная диаграмма, б – многомерная диаграмма  $F_1$ – $F_2$  [Roser, Korsch, 1988].

предполагать одинаковый “набор” пород в источниках сноса. В-четвертых, обращает на себя внимание сходство спектров распределения редких и рассеянных, в том числе редкоземельных, элементов (РЗЭ), нормированных на PAAS и хондрит [Тейлор, МакЛеннан, 1988]. Наблюдаются обогащение элементами, характерными для основных магматических пород – Sc, V, Cr, Co, Ni, и обеднение РЗЭ, Th, Sr, Ba и Rb, а также Zr, Hf и Nb (рис. 4а), являющимися типичными для кислых и щелочных магматических пород соответственно [Юдович, Кетрис, 2011]. Особенно отличается пониженным содержанием Th и РЗЭ один из образцов устькодинской

свиты – содержание тяжелых РЗЭ в нем приближается к таковому в хондрите (рис. 4б).

Песчаники устькодинской свиты по петрографическому составу являются петрокластическими кварц-полевошпатовыми и полевошпатовыми граувакками. Содержание обломков кварца в них составляет порядка 5–22%, полевых шпатов (преимущественно средних и кислых плагиоклазов) – от 23 до 35, обломков пород – до 72%. Среди последних преобладают магматические породы: кислые, основные и средние вулканиты, намного реже отмечаются обломки полнокристаллических пород. Структура основной массы обломков отлича-



**Рис. 4.** Некоторые геохимические особенности пелитолитов.

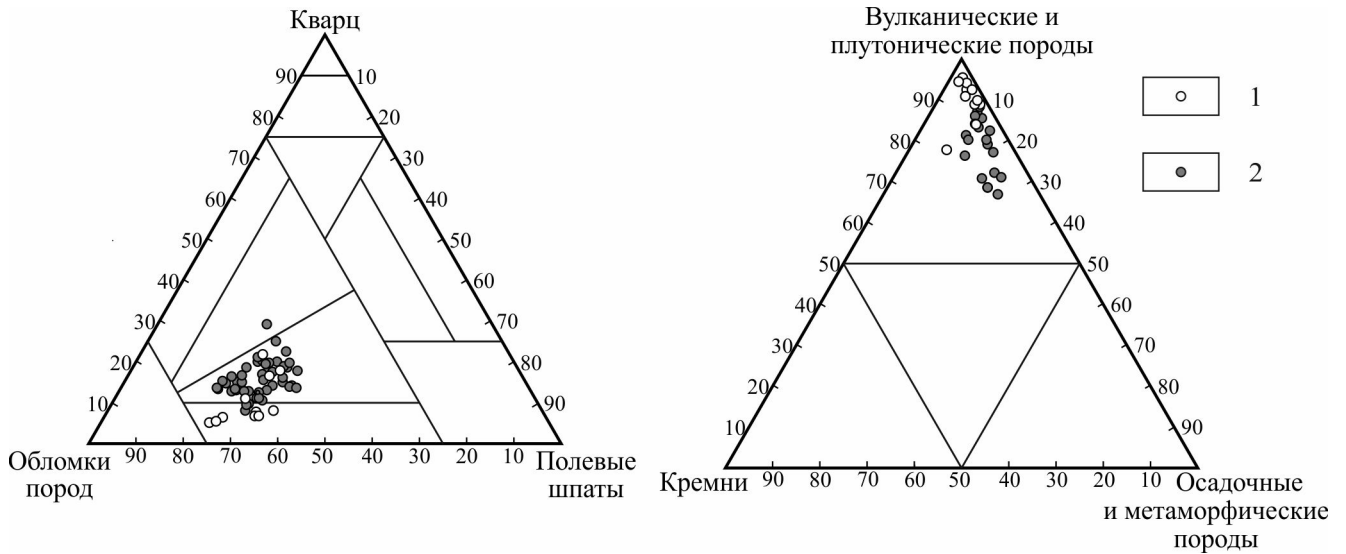
а – распределение малых элементов, нормированных на ПААС, б – вариация РЗЭ, содержание нормировано на хондрит.

ется большим разнообразием – часто встречаются интерсертальная, толеитовая, микрофельзитовая структуры, реже – метельчатая, гиалопилитовая, фельзитовая, стекловатая, микрогранитная, аплитовая и микропегматитовая. Иногда в микрофельзитовой массе можно обнаружить вкрапленники зонального полевого шпата. Как правило, вулканическое стекло эффузивов хлоритизировано либо ожелезнено, редко наблюдаются полностью хлоритизированные обломки вулканического стекла. Встречаются единичные обломки серпентинитов с параллельно- и перекрестно-волнистой структурой.

Метаморфические и осадочные образования составляют не более 11% от общего количества обломков пород. В основном это кварциты, микрокварциты с гранобластовой (редко лепидогранобластовой) и микрогранобластовой структурой соответственно, встречаются слюдяные сланцы. Зерна кварца имеют как ровные грани, так и изрезанные.

Обломков осадочных пород (аргиллитов и кремней) не более 2–5%. Лишь в одном образце крупнозернистого песчаника количество обломков кремней достигает 14%. Аргиллиты содержат разное количество алевритовой примеси, чешуек слюд и органических остатков. В некоторых кремнях достаточно хорошо диагностируются немногочисленные радиолярии разной степени сохранности.

Учитывая перечисленные особенности, можно утверждать, что на палеоводосборах размывались магматиты (в том числе базальты, андезиты, долериты, риолиты, граниты, серпентиниты и пр.), кремни, а также в разной степени метаморфизованные образования. От верхнефранских песчаных пород устькодинские псаммиты отличаются тем, что на классификационных диаграммах фигуративные точки сильнее тяготеют к основанию главного треугольника и вершине дополнительного треугольника (рис. 5), а также меньшим содержанием облом-



**Рис. 5.** Диаграммы на основе классификации [Шванов и др., 1998] с нанесенными на них составами верхнедевонских песчаных пород.

Слева – основной классификационный треугольник, справа – дополнительный, предназначенный для граувакк. 1, 2 – песчаники: 1 – устькодинские, 2 – кодинские.

ков серпентинитов. Мы склонны предполагать, что подобные отличия в основном связаны с несколько разным гранулометрическим составом пород.

Таким образом, особенности петрографического состава песчаников и вещественного состава аргиллитов устькодинской свиты практически аналогичны таковым глинистых и песчаных пород кодинской свиты, что позволяет предполагать наличие единого источника сноса, находившегося, вероятно, на поверхности микроконтинента [Мельничук, Рянская, 2017]. В результате разрушения материнских пород в фаменское время отлагались петрокластические полевошпатовые граувакки с различным содержанием зерен кварца и пелитолиты, в составе которых главными породообразующими минералами являются гидрослюда, хлориты и смешанослойные образования ряда гидрослюда–монтмориллонит.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований УрО РАН, проект № 15-18-5-36.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Анфимов Л.В., Силантьев Е.В. Петрография франских терригенных образований Урала // Литология главных типов осадочных пород франского яруса Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1975. С. 4–35.  
Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Изд. 2-е. Сер. Средне-

уральская. Л. О-41-XXXII / под ред. М.С. Рапопорта. Верхняя Пышма: Комитет природных ресурсов по Свердловской области, 2000.

Мельничук О.Ю., Рянская А.Д. Особенности вещественного состава аргиллитов кодинской свиты (верхний девон, восток Среднего Урала) // Литосфера. 2017. № 3. С. 71–86.

Наседкина В.А., Зенкова Г.Г. Биостратиграфия верхнего девона на восточном склоне Среднего и Северного Урала // Проблемы стратиграфии и палеонтологии Урала. Екатеринбург, 1999. С. 51–74.

Смирнов В.Н., Ферштатер Г.Б., Иванов К.С. Схема тектономагматического районирования территории восточного склона Среднего Урала // Литосфера. 2003. № 2. С. 40–56.

Смирнов Г.А., Смирнова Т.А. Материалы к палеогеографии Урала. Очерк 3. Фаменский век. Свердловск: УФ АН СССР, 1961. 85 с.

Тейлор С.Р., МакЛеннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.

Шванов В.Н., Фролов В.Т., Сергеева Э.И. и др. Систематика и классификация осадочных пород и их аналогов. СПб.: Недра, 1998. 352 с.

Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.

Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимические индикаторы литогенеза (литологическая геохимия). Сыктывкар: Геопринт, 2011. 742 с.

Roser B.P., Korsch R.J. Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data // Chem. Geol. 1988. V. 67. P. 119–139.