

УДК 550.4:551.734:552.52 (470.5)

ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА АРГИЛЛИТОВ КОДИНСКОЙ СВИТЫ (ВЕРХНИЙ ДЕВОН, ВОСТОК СРЕДНЕГО УРАЛА)

© 2017 г. О. Ю. Мельничук, А. Д. Рянская

*Институт геологии и геохимии УрО РАН, 620016, г. Екатеринбург, ул. Акад. Вонсовского, 15,
e-mail: o.u.melnichuk@gmail.com*

Поступила в редакцию 19.09.2016 г.; принята к печати 18.01.2017 г.

Объектом исследования являются особенности фазово-минерального и химического состава аргиллитов кодинской свиты. В строении свиты они слагают слои, пласты, а также местами преобладающие пакеты и пачки мощностью от первых сантиметров до 9 м. Седиментация предполагается в мелководно-морских и дельтовых обстановках (авандельта и продельта). Комплексное исследование проб (31 шт.) помимо петрографического изучения в шлифах производилось при помощи рентгенофазового, рентгенофлуоресцентного и термического анализа, метода ICP-MS. В дополнение были исследованы обломки песчаников из кодинской свиты. Образцы отобраны из пород самого представительного обнажения свиты (р. Исеть, окрестности г. Каменск-Уральский). Выявлены следующие особенности вещественного состава пелитолитов. 1. Основными породообразующими минералами являются хлориты, гидрослюда и в меньшей степени смешанно-слоистые образования (ССО) ряда гидрослюда-монтмориллонит, причем их содержание подчинено фациальной изменчивости. 2. Наблюдается обогащение составов элементами, характерными для основных магматических пород (Sc, V, Cr, Co, Ni), и дефицит элементов, являющихся типичными для кислых (PЗЭ, Th, Sr, Ba и Rb) и щелочных (Zr, Hf и Nb) магматических пород. 3. На диаграмме F_1 – F_2 , предназначенной для определения состава пород, размывавшихся на палеоводосборах, фигуративные точки аргиллитов сосредоточены в областях пород основного и среднего состава, а также осадочных образований, обогащенных кремнистым материалом. 4. Отклонение фигуративных точек на диаграмме Zr/Sc–Th/Sc от оси тренда в сторону оси абсцисс, а также некоторые другие особенности химического состава, вероятно, указывают на перетолженный характер рассматриваемых пород. 5. Величина индекса CIA для них изменяется в пределах от 61 до 63 для гидролизатов и от 66 до 77 для сипалитов, CIW – в пределах от 73 до 83, значения соотношения $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ – от 1.86 до 3.66 (среднее 2.7). Таким образом, особенности вещественного состава кодинских аргиллитов свидетельствуют об их терригенном происхождении, признаки вулканогенно-осадочных пород отсутствуют. Изучение обломков пород, в том числе в песчаниках, свидетельствует, что в области сноса размывалось несколько разнотипных массивов, включая магматические (основные, в меньшей степени кислые), метаморфические и кремни. Климат в это время, скорее всего, был переходным (семиаридным/семигумидным). Осадконакопление осуществлялось при пассивном тектоническом режиме. Вероятно, размывался континентальный блок коры (поверхность микроконтинента?). Степень постседиментационного преобразования пелитолитов неравномерна (умеренный и глубокий катагенез).

Ключевые слова: верхний девон, франкий ярус, кодинская свита, глинистые породы, минеральный состав, геохимия, микроконтинент

SPECIFIC COMPOSITION FEATURES OF KODINKA FORMATION MUDSTONES (UPPER DEVONIAN, MIDDLE URALS EASTERN SLOPE)

Oleg Yu. Melnichuk, Anastasiya D. Ryanskaya

*A.N. Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS, 620016, Akad. Vonsovsky st., 15, Ekaterinburg, Russia,
e-mail: o.u.melnichuk@gmail.com*

Received 19.09.2016; accepted 18.01.2017

Main subjects for study are the phase-mineral and geochemical composition specific features of Kodinka Formation mudstones. Mudstones build up laminas, beds, pack of beds and strata (up to 9 m). It's expected that sedimentation occurred in shallow-marine and deltaic (including delta front and prodelta) environments. Mudstone (31 samples) was comprehensive research by using the data of ICP-MS, XRD, XRF, thermal and petrographic analysis. In addition, the lithic fragments of sandstones are used. Samples collected from the most representative Kodinka Formation section (Iset' River near Kamensk-Uralskiy town). As a result, the following features of mudstones were revealed. 1. Main rock-forming minerals are chlorites, illite, illite-smectite mixed-layered minerals (MLM), fine micas, quartz and feldspars, and their content is subject to facial control. 2. In the major element-based discriminant function diagram of Roser and Korsch, the samples of the Kodinka Formation plotted on fields of mafic, intermediate igneous and quartzose sedimentary provenance (mostly). 3. Compositions are enriched in trace elements typical of mafic igneous rocks and depleted in trace elements typical of felsic and alkali igneous rocks. 4. Some evidence of recycling is received, for example in Zr/Sc–Th/Sc diagram the samples depart from the compositional trend. 5. CIA (chemical index of alteration) value vary generally within 61–63 with maximum at 66–77 for calcareous mudstones, CIW (chemical index of weathering) value range within 73–83 and $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ ((La–Eu)/(Gd–Lu, Y)) value vary within 1.86–3.66 (average 2.7). Specific features

of Kodinka Formation mudstones composition are indicative of their terrigenous origin (not first cycle rocks). There were some diverse rock massifs in source area, including cherts, igneous (mafic, intermediate, felsic), metamorphic (quartzite, serpentine rock and shale) units. Source rocks undergone weathering at intermediate semi-arid/semi-humid climate conditions and passive tectonic regime. Very likely that were the block of continental crust (surface of the microcontinent?) which were intensively eroded. Degree of mudstone alteration is different.

Keywords: *Upper Devonian, Frasnian stage, Kodinka Formation, clay rocks, mineral composition, geochemistry, microcontinent*

Acknowledgment

This work was financially supported by the UB RAS Basic Research Program (project no. 15-18-5-36).

Для цитирования: Мельничук О.Ю., Рянская А.Д. (2017) Особенности вещественного состава аргиллитов кодинской свиты (верхний девон, восток Среднего Урала). *Литосфера*, 17(3), 71-86. DOI: 10.24930/1681-9004-2017-3-071-086

For citation: Mel'nychuk O.Yu., Ryanskaya A.D. (2017) Specific composition features of Kodinka Formation mudstones (Upper Devonian, east of Middle Urals). *Litosfera*, 17(3), 71-86. DOI: 10.24930/1681-9004-2017-3-071-086

Кодинская свита – терригенная толща мощностью порядка 1000 м (Мельничук, Мизенс, 2016), обнажающаяся на территории Среднеуральского сегмента Восточно-Уральской мегазоны. Наиболее представительные разрезы прослеживаются по правому и левому берегам р. Исеть в окрестностях г. Каменск-Уральский, на всем протяжении от окраины д. Кодинка до подвесного моста в с. Щербакково и частично ниже него (рис. 1). Свита сложена песчаниками и аргиллитами, подчиненную роль играют алевролиты и карбонатные породы. Иногда встречаются линзы конгломератов. По органическим остаткам рассматриваемые породы датируются верхней частью франского яруса (верхний девон) (Наседкина, Зенкова, 1999; Чувашов, Анфимов, 2008; Мизенс, 2012).

Глинистые породы в составе свиты слагают прослой, пласты, пакеты и пачки мощностью от первых сантиметров до 9 м, в том числе в некоторых интервалах разреза они преобладают (Мельничук, Мизенс, 2016). Эти породы характеризуются тонкой горизонтальной слоистостью, равномерной и неравномерной, подчеркнутой слойками песчаного материала, присыпками слюд, растительным детритом. Значительно реже слоистость линзовидная, с тонкими изолированными и сочлененными линзами мелко- и тонкозернистых песчаников (рис. 2). Иногда можно наблюдать микромасштабную косую слоистость. На разных уровнях в аргиллитах развиты карбонатные конкреции разного размера и строения, в том числе с текстурами *cone-in-cone* (Бадида и др., 2015).

Породы кодинской свиты залегают на бугристой поверхности кодинской органогенной постройки, соответственно, нижняя часть ее формировалась в мелководно-морских условиях. Здесь широко развиты онколитовые и строматолитовые известняки, распространены разнообразные органические остатки (Анфимов, Чувашов, 2005; Мельничук, Мизенс, 2015). Выше залегают породы, для которых предполагаются условия авандельты (в основ-

ном) – увеличивается мощность песчаных пластов (до 7 м) и пачек, уменьшается видовое разнообразие фоссилей (главным образом это раковины пелеципод), известняки становятся песчанистыми и песчаными. Для песчаников этой части свиты характерна горизонтальная и косая слоистость, присутствуют многочисленные растительные остатки, местами достаточно крупные. Завершает разрез преимущественно глинистая толща, породы которой являются отражением относительно глубоководных условий осадконакопления – в зоне продельты. Здесь в том числе встречаются пласты турбидитов (Мельничук, 2016).

Несмотря на широкое распространение в разрезе свиты аргиллитов, минералогия и химический состав этих пород почти не изучены. Упомянутые характеристики частично освещены только в работе Л.В. Анфимова и Е.В. Силантьева (1975). Предлагаемое исследование является попыткой восполнить недостаток информации в данной области.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Комплексное исследование аргиллитов (всего 31 проба) выполнено в лаборатории ФХМИ ИГТ УрО РАН (ЦКП “Геоаналитик”).

Рентгенофазовый анализ. Порошковые пробы (навески 1–2 г) исследовали А.Д. Рянская и Т.Я. Гуляева на рентгеновском дифрактометре SHIMADZU XRD-7000. Условия проведения опытов: фильтрованное медное излучение в диапазоне брэгговских углов 2Θ 3–70°, скорость съемки 1°/мин, до получения оптимальных интенсивностей базальных пиков глинистых минералов. Кроме того, дополнительно изучали ориентированную глинистую фракцию для корректной диагностики глинистых минералов, в том числе монтмориллонитов и смешанослойных образований (ССО). При этом пробы центрифугировались до получения устойчивой глинистой суспензии. Затем ее сливали в стеклянные стаканы, на дно

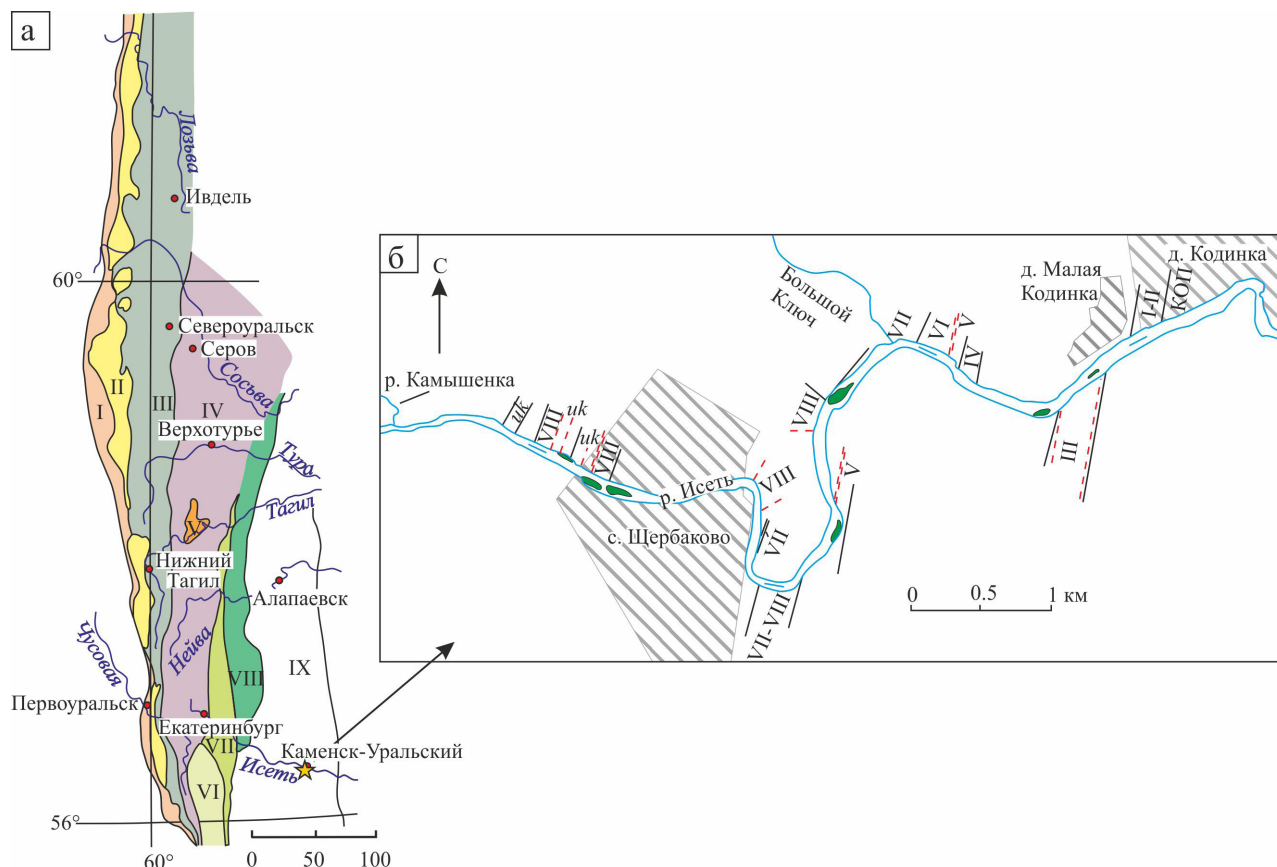


Рис. 1. Расположение разреза кодинской свиты в современной структуре Урала.

а – зоны (Смирнов и др., 2003): I – Салатимская зона, II – Платиноносный пояс, III – Тагильская зона, IV – Верхисетско-Турунская зона, V, VI – Салдинский и Сысертско-Ильменогорский выступы кристаллических пород соответственно, VII – Медведевско-Арамилская зона, VIII – Мурзинско-Адуйский кристаллический блок, IX – Восточно-Уральская зона. б – стратификация кодинской свиты по (Мельничук, Мизенс, 2016), *uk* – обнажения устькодинской свиты (фамен).

Fig. 1. Disposition of the Kodinka Formation section in the modern Urals structure.

а – zones (Smirnov et al., 2003): I – Salatim zone, II – Platiniferous belt, III – Tagil zone, IV – Verkhisetsk-Turinsk zone, V, VI – Saldna and Sysert-Ilmenogorsky crystal rocks ledge, VII – Medvedevo-Aramil zone, VIII – Murzinka-Adui crystal block, IX – Eastern Urals zone.

б – Kodinka formation stratification after (Melnichuk, Mizens, 2016), *uk* – Famenian Ust-Kodinka Formation sections.

которых помещалась стеклянная подложка. После отставания и высушивания подложки с ориентированным глинистым веществом исследовали в трех состояниях: 1) ориентированном (съемка в области углов 2θ 3–20°); 2) после насыщения этиленгликолем (2θ 3–15°); 3) после прокаливании в течение 1 ч при 600°C (2θ 3–14°). Последним этапом рассмотрения проб являлся подсчет полуколичественного фазово-минерального состава в программе SiroQuant (Sielectronics, Австралия). В деталях методика пробоподготовки и рентгенофазового анализа по методу Ритвельда с применением программы SiroQuant описана А.Д. Рянской и др. (2015а, 2015б).

Термический анализ (количественное определение фазово-минерального состава проб термически не инертных минералов). Проводился В.Г. Петрищевой на дериватографе Diamond TG/DTA

(Perkin Elmer) в температурном интервале от 20 до 1100°C при скорости нагрева 20°/мин. Погрешность при установлении изменения массы составляет $\pm 0.1\%$, температуры пиков на дифференциальных кривых – $\pm 0.3^\circ\text{C}$. При количественных расчетах использовали эталонные кривые по литературным данным. Погрешность определения глинистых минералов $\pm 5\%$, других – $\pm 1\%$.

Рентгенофлуоресцентный анализ (определение содержания петрогенных окислов). Использовали двуслойные таблетки-излучатели диаметром от 20 до 40 мм, массой 2–6 г, изготовленные из порошкообразных образцов с добавлением связующего вещества и борной кислоты. Анализ осуществляли на спектрометрах SHIMADZU XRF-1800 и CPM-35 (аналитики Н.П. Горбунова, Л.А. Татарина, Г.С. Неупокоева).

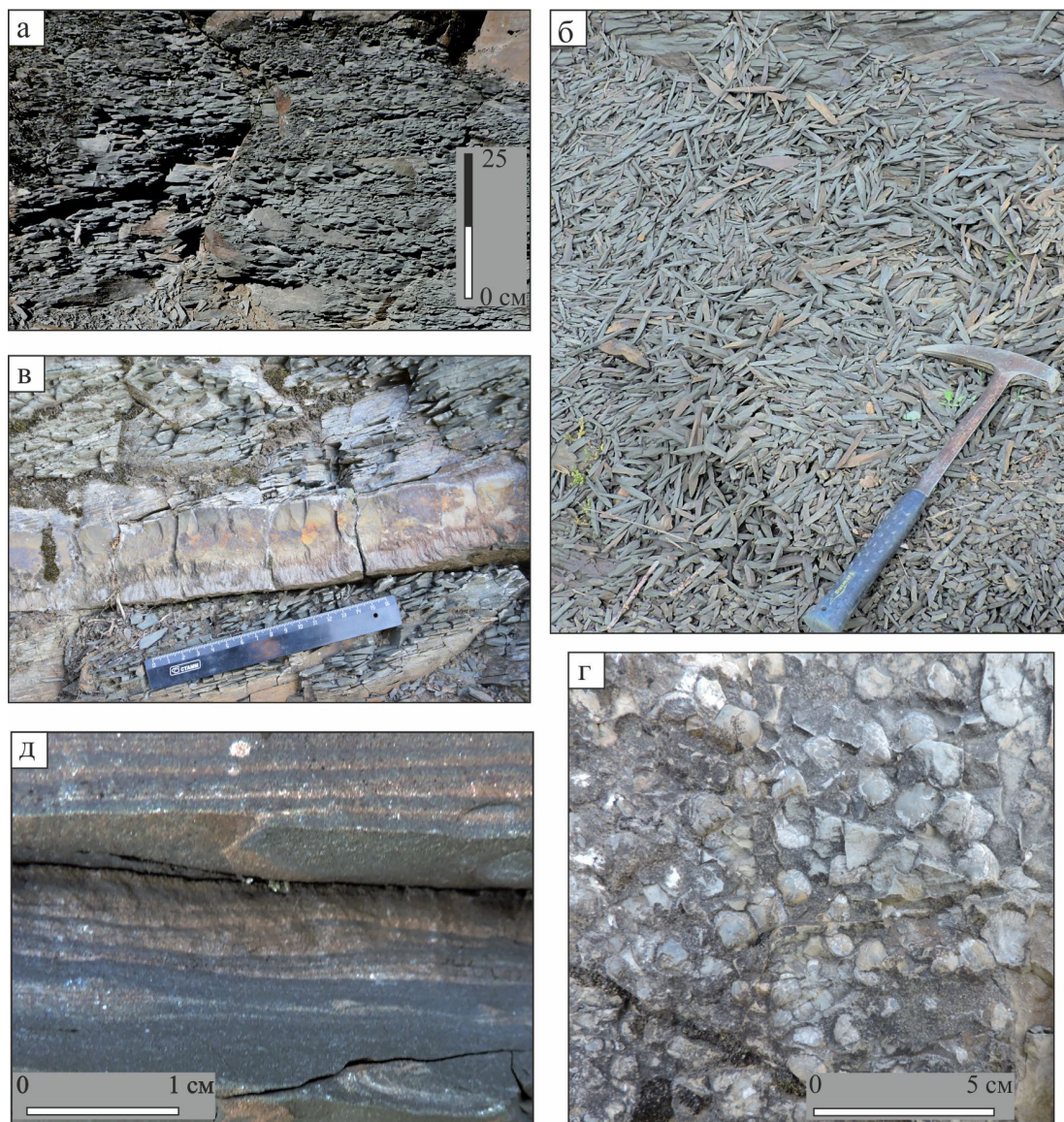


Рис. 2. Некоторые особенности глинистых пород в разрезе кодинской свиты.

а – тонкая слоистость, б – карандашная отдельность, в – конкреция известняка с текстурами cone-in-cone, г – уровень с брахиоподовым детритом, д – линзовидная и волнистая слоистость.

Fig. 2. Some features of the Kodinka Formation clay rocks.

а – thin horizontal parallel lamination, б – pencil structure, в – cone-in-cone structures in lime nodule, г – brachiopods shell layer, д – wavy and lenticular lamination.

Метод ICP-MS. Исследование включало кислотное разложение проб (навеска массой 50–100 мг) автоклавным и микроволновыми способами с последующим определением содержания редких и рассеянных элементов на квадрупольном масс-спектрометре ELAN-9000 (аналитики Д.В. Киселева, О.А. Березикова, Л.К. Дерюгина, Н.Н. Адамович и Н.В. Чередниченко). Для измерений использовали аргон чистоты 99.999%. Операционные условия работы прибора при мультиэлементном анализе геологических проб: мощность 1.3 кВт,

спектральное разрешение 0.7 а. е. м., материал конусов – никель или платина. Пределы обнаружения элементов составляли от 0.005 г/г при точности анализа 2–7 отн. %.

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД

Структура аргиллитов кодинской свиты алевропелитовая. В чешуйчатой массе достаточно равномерно рассеяны обломки разных пород и минералов.

Погасание основной массы в алевроитовых разностях неравномерное, но на отдельных участках наблюдается оптически ориентированное строение. В то же время в относительно чистых пелитолитах основная масса почти всегда оптически ориентирована. При этом преобладают желтый и красный, редко встречается синий цвет интерференционной окраски. Микротекстура рассматриваемых пород волнисто-слоистая, редко горизонтальная, подчеркнута углефицированным растительным аттитом (содержание составляет не более 10% от площади шлифа), чешуйками слюд и обломками пород.

Согласно результатам рентгеноструктурного анализа слоистые силикаты в составе аргиллитов представлены слюдястыми минералами, хлоритами и ССО ряда гидрослюда–монтмориллонит (табл. 1, рис. 3). Для слюдястых минералов характерны рефлексы 10, 5, 4.5, 3.66, 2.56, 2.4 и 1.5 Å, но разделить их по дифракционной картине сложно. Тем не менее,

можно сделать вывод, что в кодинских аргиллитах гидрослюды значительно преобладают над мусковитом. Подтверждением этого является наличие широкого 10 Å-го рефлекса (в противном случае он был бы более очерченным) и достаточно высокие низкотемпературные потери (порядка 0.8–5.1 мас. %). Кроме того, очевидно, что исследуемым глинистым породам свойственно значительное преобладание гидрослюды поли типа 1М над гидрослюдой с полиморфной модификацией 2М₁ (на дифрактограммах присутствует четкий рефлекс 3.66 Å, а рефлексы 4.5 и 5 Å несколько сглажены). Следует отметить также, что в шлифах достаточно хорошо диагностируются не только чешуйки мусковита (в том числе расщепленные с краев) и гидрослюда в основной массе, но и редкие чешуйки биотита, чаще измененные в результате хлоритизации.

Базальные рефлексы хлоритов – 14.3, 7.11, 4.7, 3.54 и 2.56 Å (см. рис. 3а), но здесь, вероятно, нуж-

Таблица 1. Фазово-минеральный состав аргиллитов кодинской свиты, полученный методом рентгенофазового и термического анализа (мас. %)

Table 1. Mineral composition of the Kodinka Formation mudstones (XRD analysis and thermography data) (wt %)

№ п/п	№ образца	Толща	Chl	HyMi и Mi	Потери при 20–240°C	ССО	Qu	Pl	Py	Cc	Dol	Gt
1	3171-13-1	VIII	17	47	1.4	0	25	10	0	1	0	0
2	3171-7-2	VIII	18	45	1.2	0	25	12	0	0	0	0
3	3171-1-1	VIII	17	46	1.2	0	25	11	1	0	0	0
4	3169-10-1	VIII	17	44	1.3	0	25	12	0	1	0	0
5	3169-8-1	VIII	22	40	1.1	0	25	12	0	1	0	0
6	3169-1-3	VIII	21	32	0.8	0	28	15	0	4	0	0
7	3169-1-2	VIII	14	50	1.3	0	23	13	0	0	0	0
8	3168-1-1	VIII	16	45	1.0	0	24	13	1	1	0	0
9	3156-33-12	VII	16	49	1.6	0	18	14	0	0	0	3
10	3156-33-9	VII	16	41	1.4	0	20	20	1	0	0	2
11	3156-31-21	VI	15	50	1.4	0	24	11	0	0	0	0
12	3156-31-1	VI	14	47	1.9	0	25	10	0	1	0	3
13	3156-24-5	VI	13	46	2.0	0	29	10	0	2	0	0
14	3156-22-1	V	11	40	2.9	5	32	6	0	0	0	6
15	3156-19-3	V	15	22	2.9	17	29	10	0	3	0	4
16	3156-17-5	IV	13	48	1.9	0	25	10	0	0	0	4
18	3156-6-5	IV	14	47	1.9	0	22	12	0	1	0	4
19	3156-2-3	IV	15	41	1.6	0	25	15	0	4	0	0
20	3155-13-1	III	14	45	1.8	0	26	10	2	3	0	0
21	3155-10-4	III	21	44	1.7	0	20	14	1	0	0	0
22	3155-9-8	III	19	28	1.2	0	28	23	1	1	0	0
23	3155-5-1	III	30	29	1.6	0	31	10	0	0	0	0
24	3155-4-1	III	15	25	2.6	26	26	6	1	1	0	0
25	3155-3-1	III	9	20	5.1	37	22	5	0	1	0	6
26	3155-1-2	III	14	19	2.6	32	31	3	1	0	0	0
27	3163-32-1	II	18	43	2.1	0	23	12	0	1	0	3
28	3163-29-1	II	18	40	2.2	0	25	10	0	2	0	5
29	3163-23-3	I	17	12	1.8	38	22	11	0	0	0	0
30	3163-13-4	I	14	16	3.6	33	18	6	0	6	0	7
31	3163-9-3	I	17	36	2.5	0	21	10	0	2	9	5

Примечание. Chl – хлориты, HyMi – гидрослюды, Mi – слюды, ССО – смешанослойные образования ряда гидрослюда–монтмориллонит, Qu – кварц, Pl – плагиоклазы, Py – пирит, Cc – кальцит, Dol – доломит, Gt – гётит.

Note. Chl – chlorite, HyMi – illite, Mi – mica, ССО – illite-smectite mixed-layered minerals, Qu – quartz, Pl – sodium-calcium feldspar, Py – pyrite, Cc – calcite, Dol – dolomite, Gt – goethite.

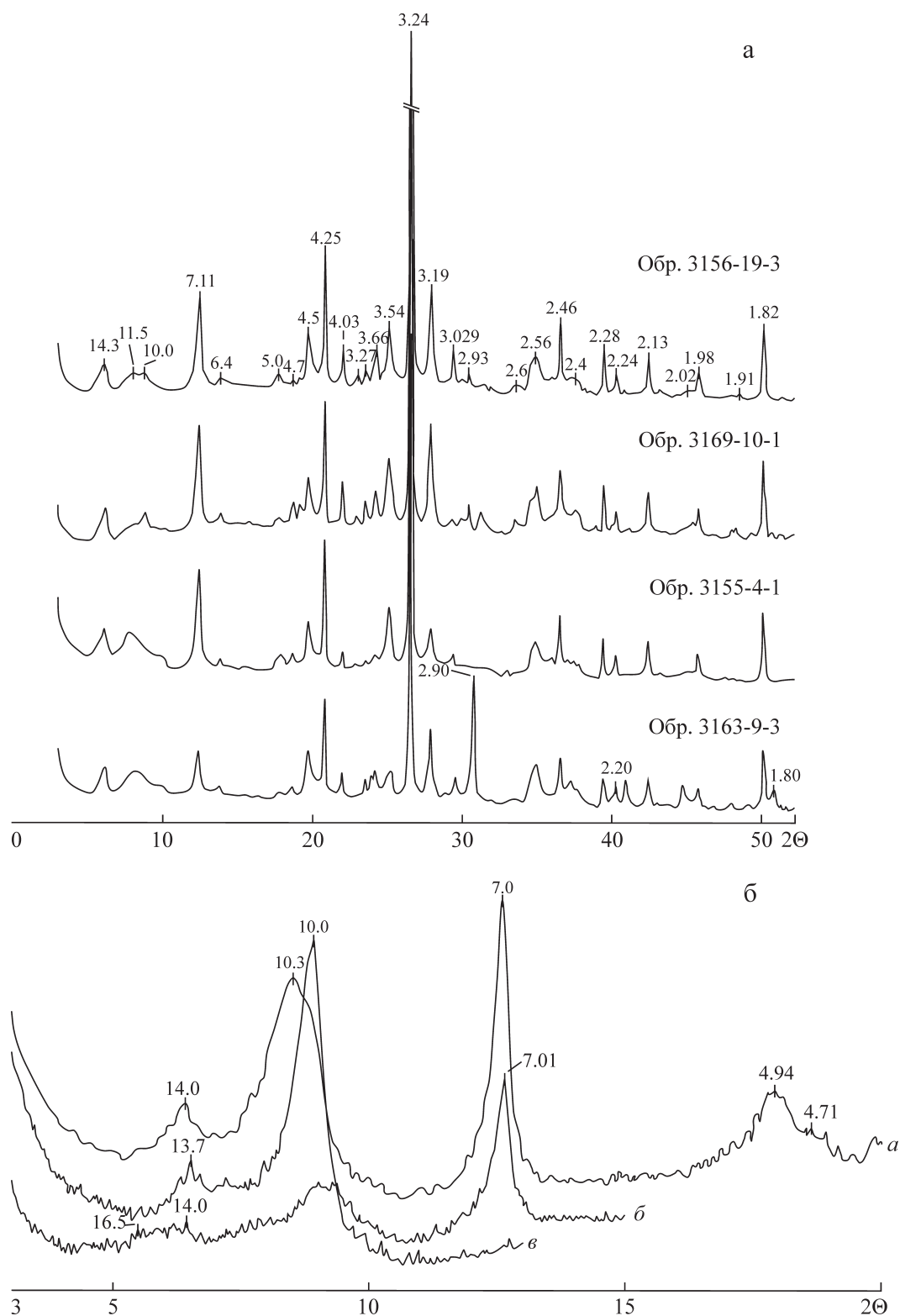


Рис. 3. Дифрактограммы ряда представительных образцов глинистых пород кодинской свиты.

а – исходное состояние; б – образец 3156-19-3 в состоянии: а – ориентированном, б – после насыщения этиленгликолем, в – после прокаливании при 600°C.

Fig. 3. XRD patterns of the Kodinka mudstones representative samples.

а – initial state; б – sample 3156-19-3: а – oriented, б – treated with ethylene glycol, в – heated to 600°C.

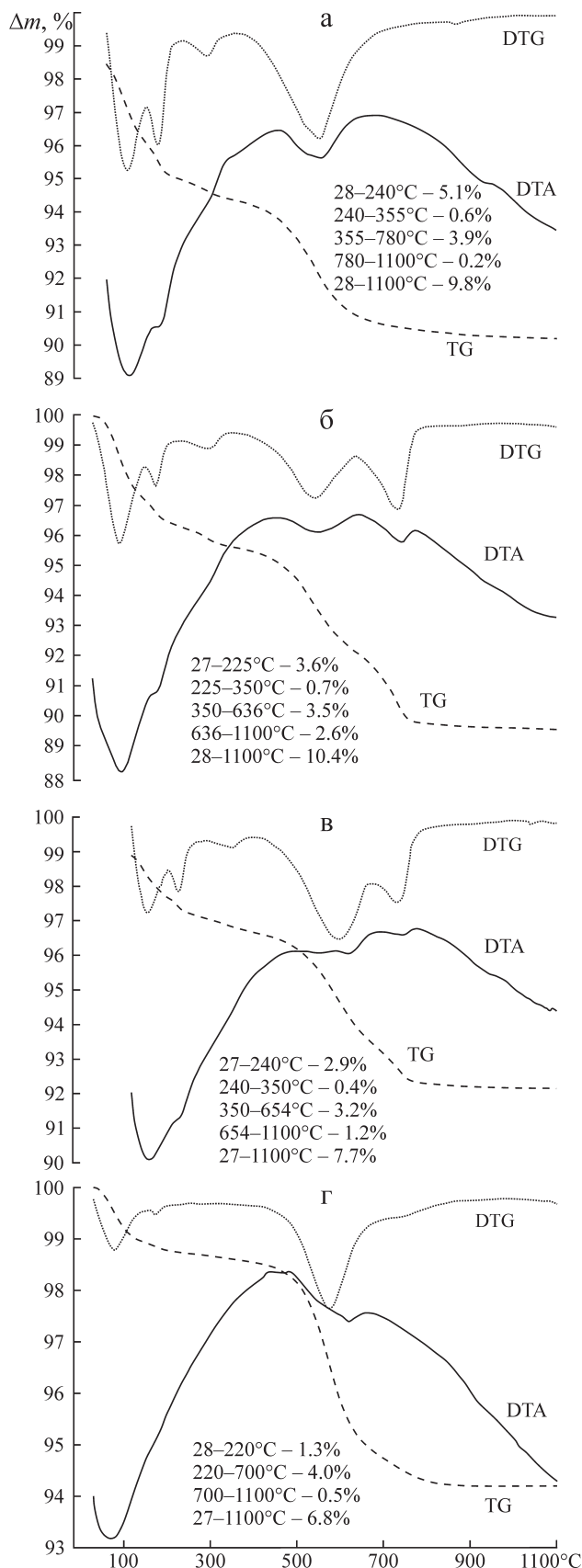


Рис. 4. Термограммы ряда представительных образцов глинистых пород кодинской свиты.

а – 3155-3-1, б – 3163-13-4, в – 3156-19-3, г – 3169-10-1.
Кривые: DTA – дифференциального термического анализа, TG – термогравиметрического анализа, DTG – дифференциально-термогравиметрическая.

Fig. 4. Thermograms of the Kodinka mudstones representative samples.

а – 3155-3-1, б – 3163-13-4, в – 3156-19-3, г – 3169-10-1.
Curves: DTA – differential thermal analysis, TG – thermogravimetric analysis, DTG – differential thermogravimetry.

но говорить о железисто-магнезиальных и железистых хлоритах. Присутствие железистых разностей определяется по наличию эндотермического эффекта 600–700°C, железисто-магнезиальных – по эндотермическому эффекту 500–650°C (рис. 4) и менее значительному эндотермическому эффекту в диапазоне 820–840°C, связанному с образованием минерала с оливковой структурой в результате взаимодействия продуктов распада хлорита (Иванова и др., 1974). В железистых разностях подобный пик отсутствует. В шлифах хлориты имеют бледно-зеленые цвета окраски и слагают чешуйки.

На некоторых дифрактограммах отмечается базальный рефлекс 11.5 Å, что может свидетельствовать о присутствии ССО, хотя это и не основной признак промежуточных образований в породе. Главным отличием этого минерала от остальных слоистых силикатов являются изменения в характере дифракционных кривых при насыщении проб этиленгликолем и последующем прокаливании: например сначала рефлекс расширяется до 16.5 Å, а затем уменьшается до 10 Å (см. рис. 3б).

Наряду с глинистыми минералами в составе аргиллитов кодинской свиты фиксируются карбонаты, минералы железа и сульфиды, а также, как уже отмечалось, многочисленные обломки терригенных пород и минералов.

Среди карбонатных минералов устанавливается новообразованный доломит, но в очень небольших количествах (2.9, 2.2 и 1.8 Å, обр. 3163-9-3 на рис. 3а). Чаще встречается кальцит – как в виде новообразованных кристаллов, так и в качестве редких органических остатков плохой и средней степени сохранности (фрагменты раковин брахиопод, пеллеципод, раковины остракод и пр.). Кальцит диагностируется по рефлексам 3.27, 3.03 и 1.91 Å, а также по эндотермическому эффекту 700–870°C (см. рис. 4б, в). Подобное снижение температуры эффекта связано с малым количеством этого минерала, иногда не более 4%, редко 6%, в основном – значительно меньше.

Наличие железосодержащих соединений определяется по незначительному низкотемпературному эндотермическому эффекту с максимумом в районе 300°C (гётит, рис. 4б, в) и по слабому экзотермическому эффекту в интервале 430–490°C (пирит, см. рис. 4г). Правда, не исключено, что экзотермический эффект мог возникнуть и в результате окисления либо двухвалентного железа хлоритов, либо примеси органического вещества (Иванова и др., 1974).

Небольшое количество гётита (2–7%) в некоторых пробах свидетельствует только о том, что порода в них подверглась выветриванию несколько сильнее, чем в остальных случаях.

Содержание обломков пород и минералов в целом в кодинских аргиллитах не опускается ниже 10%, а может достигать и 40–50% (определение произведено в шлифах). Среди них преобладает мелко и крупноалевритовая размерность частиц, редко встречается тонкопесчаная. В основном это зерна кварца (рефлексы 4.25, 3.34, 2.46, 2.28, 1.98, 1.82 Å) и полевых шпатов (6.4, 4.03, 3.27, 3.19, 2.93 Å). Наблюдаются единичные обломки крем-

Таблица 2. Содержание петрогенных оксидов (мас. %), значения петрохимических модулей и некоторых индикаторных показателей для глинистых пород кодинской свиты

Table 2. Major oxides contents (wt %), petrochemical modules and some other index values in the Kodinka Formation clay rocks

Компонент, модуль	Мин.	Ср.	Макс.
SiO ₂	47.89	55.82	60.08
TiO ₂	0.82	0.94	1.03
Al ₂ O ₃	14.96	17.13	18.95
Fe ₂ O ₃ общ	7.43	9.04	10.50
MnO	0.05	0.14	0.26
MgO	3.09	5.10	7.02
CaO	0.61	1.38	4.03
Na ₂ O	0.32	1.10	2.23
K ₂ O	1.36	2.49	3.80
P ₂ O ₅	0.10	0.15	0.30
П. п. п.	5.02	6.75	11.30
ГМ	0.43	0.49	0.60
ЖМ	0.39	0.51	0.65
ФМ	0.19	0.26	0.30
АМ	0.27	0.31	0.37
ТМ	0.046	0.055	0.063
НКМ	0.16	0.21	0.29
ЩМ	0.10	0.47	1.09
СИА	61	71	77
СИВ	73	79	83

ней, кварцитов, хлоритизированных вулканических пород основного/среднего состава.

ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И МАТЕРИНСКИЕ ПОРОДЫ

Достаточно функциональным инструментом для интерпретации геохимических данных является химическая классификация осадочных пород и их аналогов, предложенная в работе Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис (2000), а также диаграммы, составленные в том числе с использованием описанных указанными авторами петрохимических модулей. Так, гидролизатный модуль – ГМ = (Al₂O₃ + TiO₂ + Fe₂O₃общ + MnO)/SiO₂ – используется для количественной оценки воздействия процесса гипергенной дифференциации вещества, алюмокремниевый – АМ = Al₂O₃/SiO₂ – показывает величину химического выветривания пород, железный – ЖМ = (Fe₂O₃общ + MnO)/(TiO₂ + Al₂O₃) – отражает соотношение между продуктами гидролиза, феррический – ФМ = (Fe₂O₃общ + MnO + MgO)/SiO₂ – применяется для распознавания петро- и пирогенных пород и осадков. Величина титанового модуля ТМ = TiO₂/Al₂O₃ зависит от состава петрофонда, динамики среды седиментации, в то время как нормированная щелочность – НКМ = (Na₂O + K₂O)/Al₂O₃ – является индикатором относительного содержания главных типов щелочных алюмосиликатов – полевых шпатов и слюд, а щелочной модуль (ЩМ) в сочетании с натриевым (НМ) и калиевым (КМ) позволяет оценить в породе присутствие Na-содержащих минералов: ЩМ = Na₂O/K₂O, НМ = Na₂O/Al₂O₃, КМ = K₂O/Al₂O₃.

Применение упомянутых модулей позволило установить, что подавляющее большинство проб (29 из 31) изученных **глинистых пород** можно отнести к хемотипу псевдосиаллитов, значения ГМ которых изменяются в пределах 0.43–0.52, а содержание MgO составляет 3.09–7.02% (табл. 2). На ба-

Таблица 3. Дисперсия значений модулей по классам сиалитического стандарта (Юдович, Кетрис, 2000) для аргиллитов кодинской свиты

Table 3. The distribution of the module values over sialitic standard classes (Yudovich, Ketris, 2000), Kodinka Formation mudstones

Сиалиты (n = 29)							
Класс	ГМ	ТМ	ЖМ	ФМ	НКМ	АМ	ЩМ
Гипо-	0.30–0.33	≤0.030	≤0.30	≤0.10	≤0.20 (16)	≤0.20	≤0.30 (5)
Нормо-	0.34–0.48 (14)	0.030–0.070 (29)	0.30–0.55 (23)	0.11–0.20 (4)	0.21–0.40 (13)	0.20–0.35 (29)	0.30–1.50 (24)
Супер-	0.49–0.55 (15)	0.071–0.100	0.56–0.70 (6)	0.21–0.25 (6)	0.41–0.45	0.36–0.40	1.51–3.00
Гипер-	–	>0.100	0.71–0.75	>0.25 (19)	>0.45	>0.40	>3.00
Гидролизаты (n = 2)							
Гипо-	0.56–0.85 (2)	≤0.030	≤0.30	≤0.15	≤0.05	≤0.15	≤0.20
Нормо-	0.86–2.00	0.031–0.100 (2)	0.31–1.00 (2)	0.16–1.00 (2)	0.06–0.30 (2)	0.16–1.00 (2)	0.20–1.50 (2)

Примечание. Цифра в скобках – количество проб, относящихся к соответствующему классу.

Note. Number within the brackets – sample quantity relative to certain class.

зовых модульных диаграммах (таких как $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ –ГМ, НКМ–ГМ) псевдосиаллиты кодинской свиты формируют единый кластер. Дисперсия значений модулей приведена в табл. 3. Две пробы аттестуются как псевдогипогидролизаты с содержанием MgO 4.15 %, ГМ = 0.58–0.60. По значениям остальных модулей гипогидролизаты относятся к классу нормальных (нормотитанистых, нормофемичных и т. д.). На базовых диаграммах их фигуративные точки находятся вне кластера псевдосиаллитов, однако в остальном эти породы мало чем отличаются от других по химическому составу. У них лишь понижено содержание кремнезема (среднее 48.7% против 56.3%) и повышено – оксида кальция (3.8% против 1.2%). Вероятно, это связано с карбонатизацией основной массы и/или обломочной примеси, либо с присутствием в пелитолитах некоторого количества обломков карбонатных пород (известняков и, может быть, доломитов). Для аргиллитов типично отнесение к хемотипу сиаллитов и гидролизатов (Юдович, Кетрис, 2000), то есть в случае кодинских аргиллитов мы наблюдаем практически полное совпадение литотипов с хемотипами, что в свою очередь является своеобразной верификацией результатов исследований особенностей химического состава.

Для псевдосиаллитов кодинской свиты различие по подтипам сиаллического стандарта связано с наличием в породах изменчивого количества плагиоклазов, хлоритов и ССО. Особенно это сказывается на дисперсии модуля ФМ, что делает информативным положение фигуративных точек на классификационной диаграмме НКМ–ФМ (рис. 5). Породы, в которых присутствуют ССО ряда гидрослюда–монтмориллонит, в основном попадают в поля, характерные для них (II и V). Большинство проб – хлорит-гидрослюдистые, реже гидрослюда-хлоритовые аргиллиты с примесью зерен кварца и плагиоклазов сосредоточены на границе полей IV и V, III и II, а также на месте их наиболее близкого контакта и перекрытия, что тоже хорошо соотносится с результатами фазового анализа. В целом по распределению точек на диаграмме можно предполагать, что в составе аргиллитов, сейчас являющихся хлорит-гидрослюдистыми и гидрослюда-хлоритовыми, ранее было и некоторое количество монтмориллонитов, позднее преобразовавшихся в гидрослюды.

Обращает на себя внимание повышенное (более 3%) содержание оксида магния в породах, что свидетельствует о существенной доле силикатного носителя магния (Юдович, Кетрис, 2000, 2010), чаще всего хлорита, но иногда и высокотемпературных Mg-Fe силикатов, то есть служит индикатором основного состава пород, размывавшихся в области сноса, а также является одним из критериев для диагностики основных туффоидов. Дополнительными критериями для распознавания вулканогенно-осадочных пород основного состава служат повышенные значения модулей ФМ (обычно более 0.20–

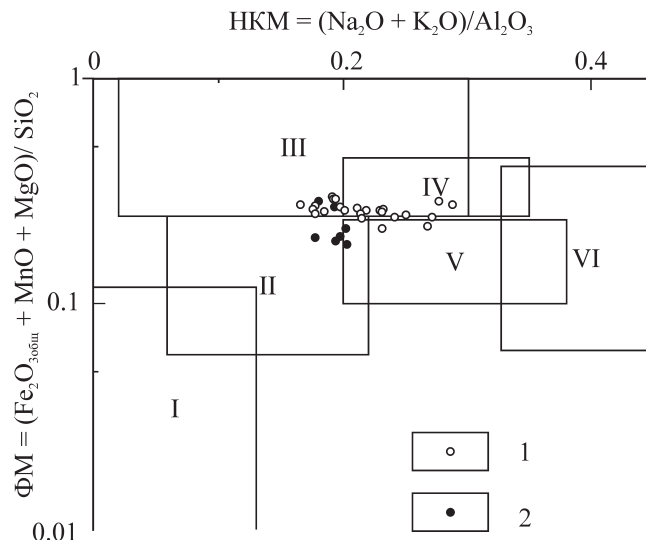


Рис. 5. Положение фигуративных точек составов аргиллитов кодинской свиты на классификационной диаграмме (Юдович, Кетрис, 2000) с некоторыми изменениями (пограничные значения полей приведены с использованием характерных значений).

Состав аргиллитов: 1 – без ССО, 2 – с ССО. Главные особенности составов (I–VI): 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.

Fig. 5. Compositions of mudstones Kodinka Formation in classification diagram (Yudovich, Ketris, 2000) with some changes (borderline values give as discriminative ones).

Mudstone composition: 1 – without mixed-layered clay minerals (MLM), 2 – with MLM. Main composition features (I–VI): I – kaolinite domination; II – smectite domination with subordinate amount of kaolinite and illite; III – chlorite domination, maybe some amount of Fe-illite; IV – illite domination with considerable amount of fine-grained feldspars; V – common trisyllabic system “chlorite + smectite + illite”; VI – illite domination with various amount of fine-grained feldspar.

0.25), ТМ и ЖМ, величина модуля ЩМ более единицы (для базальтовой и андезибазальтовой пирокластики), позитивная корреляция ЖМ–ТМ или негативная ФМ–НКМ (Юдович, Кетрис, 2010). Использование упомянутых критериев в отношении аргиллитов кодинской свиты (рис. 6а, б, в) предполагает ее терригенное происхождение – за счет размыва вулканических пород основного состава. Пирокластический материал если и присутствует, то в незначительных количествах. Так, несмотря на отнесение некоторых проб к классам супержелезистых и суперфемичных, величины модулей ТМ и

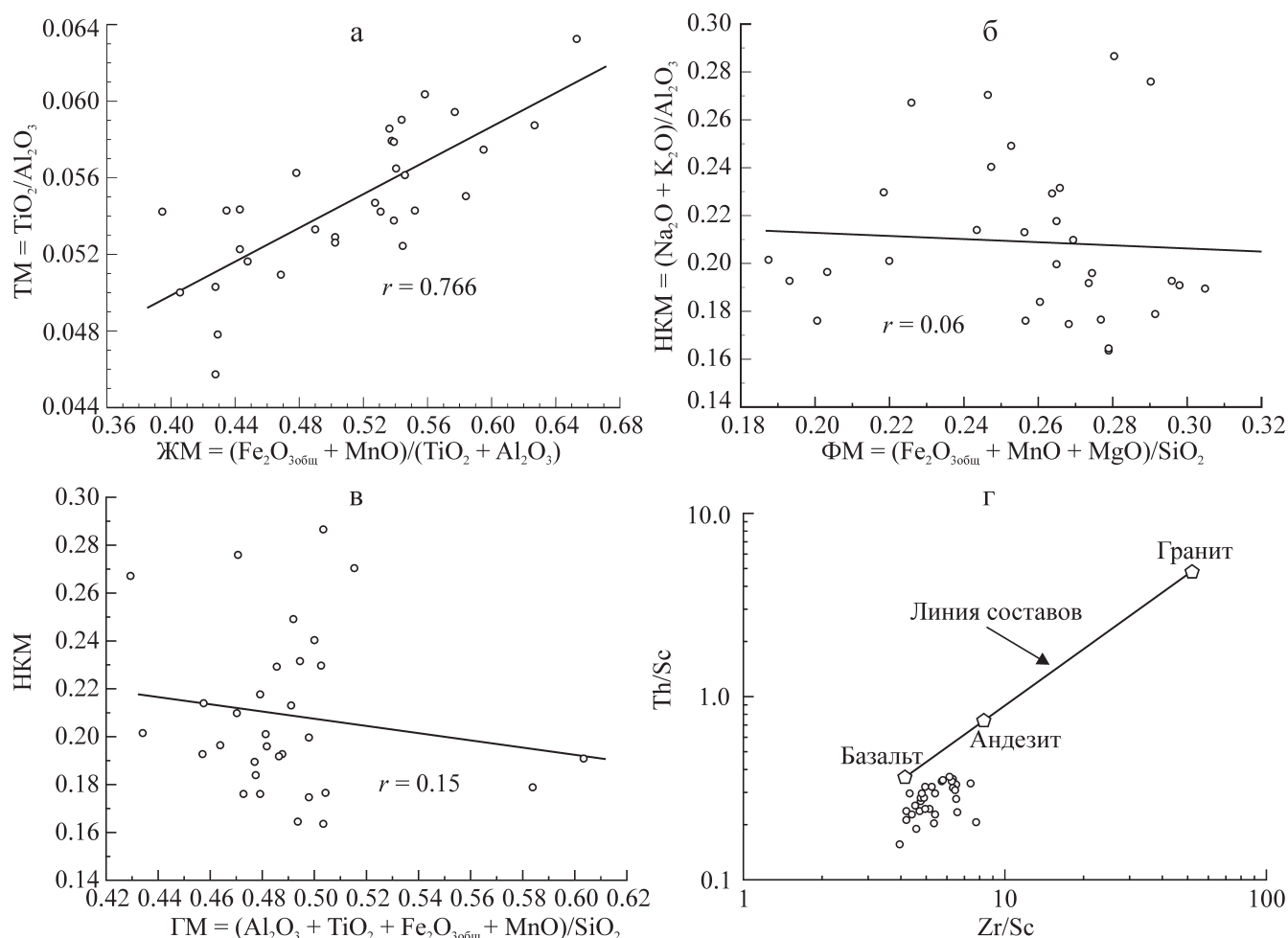


Рис. 6. Модульные диаграммы с нанесенными фигуративными точками составов кодинских глинистых пород. Пояснения в тексте.

Fig. 6. Module diagrams for the Kodinka Formation clay rocks. Explanation is in the text.

ЩМ (см. табл. 3) не позволяют рассматривать их в рамках супертитанистого и суперщелочного классов. Кроме того, имеет место позитивная корреляция железистости и титанистости (с достаточно высоким коэффициентом корреляции r – порядка 0.77), а негативная корреляция фемичности и щелочности практически отсутствует ($r = 0.06$). Почти отсутствует и негативная корреляция между щелочностью и гидролизатностью ($r = 0.15$), что не характерно для петрогенных пород.

Подтверждает и уточняет это предположение интерпретация некоторых особенностей распределения малых элементов. На переотложенный характер рассматриваемых пород указывает отклонение фигуративных точек от оси тренда (линии составов магматических пород) к оси абсцисс (рис. 6г) на диаграмме Zr/Sc–Th/Sc (Critelli et al., 2008). Содержание РЗЭ в исследуемых аргиллитах составляет от 49.4 до 165.1 г/т (табл. 4),

что несколько меньше средней суммы РЗЭ для аргиллитов и глинистых сланцев (Тейлор, МакЛеннан, 1988). Это тоже позволяет предполагать, что в источниках сноса преобладали основные породы (Маслов, 2005). Среди нормированных на РААС (Тейлор, МакЛеннан, 1988) содержаний малых элементов (рис. 7а) обращают на себя внимание следующие особенности: обогащение пелитолитов элементами, характерными для основных магматических пород, – Sc, V, Cr, Co, Ni, дефицит РЗЭ, Th, Sr, Ba и Rb, а также Zr, Hf и Nb, типичных для кислых и щелочных магматических пород соответственно (Юдович, Кетрис, 2011). Однако по характеру нормированных на хондрит спектров распределения редких земель нельзя с уверенностью предполагать преобладание в области сноса основных магматических образований (рис. 7б). Им свойственны значения отношения $(La/Yb)_N < 4$ и пологий общий облик кривых РЗЭ (Gd_N/Yb_N) до

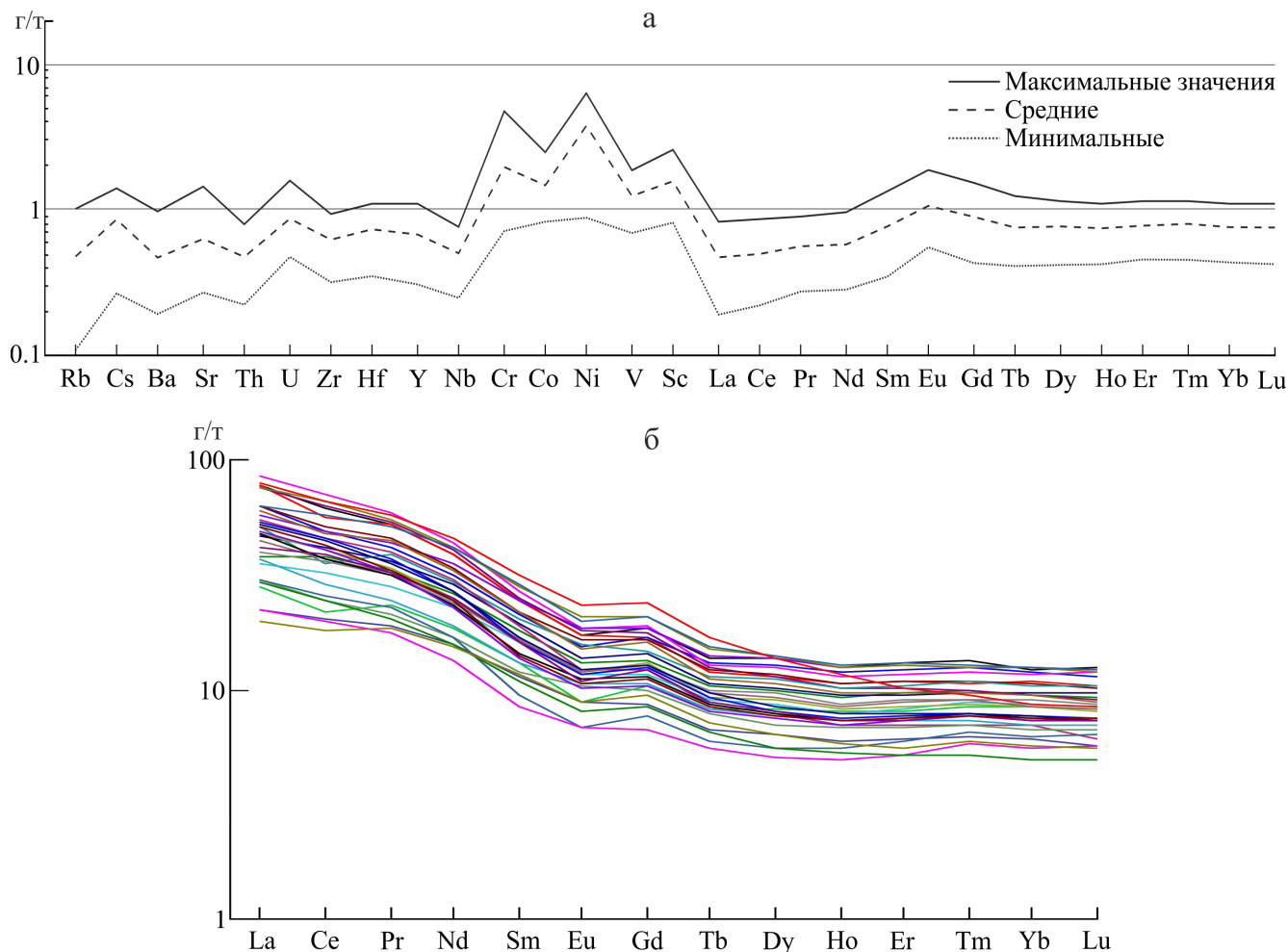


Рис. 7. Некоторые особенности распределения малых элементов в аргиллитах кодинской свиты.

а – распределение нормированных на ПААС содержаний малых элементов, б – вариация состава РЗЭ. Содержание нормировано на хондрит.

Fig. 7. Some trace elements distribution features in the mudstones from Kodinka Formation.

а – PAAS-normalized changes of trace elements, б – Chondrite-normalized changes of REE compositions.

1.5) (Маслов, 2005), а для изучаемых аргиллитов эти величины составляют 3.3–9.1 (при среднем 5.7) и 1.2–2.7 (среднее 1.6) соответственно.

В то же время на диаграмме F_1 – F_2 (рис. 8а) (Roser, Korsch, 1988), предназначенной для определения состава пород, размывавшихся на палеоводосборах, фигуративные точки сосредоточены в областях пород не только основного, но и среднего состава, а также осадочных образований, обогащенных кремнистым материалом. Представляется, что наличие нескольких комплексов пород на палеоводосборах является причиной неоднозначной трактовки геохимических данных, в частности определения литогенного или петрогенного характера компонентов глинистых пород.

Особенности химического состава аргиллитов зависят и от климата, существовавшего в области размыва материнских пород. Для его реконструк-

ции широко используются следующие соотношения и индексы химического выветривания.

1. CIA (Chemical Index of Alteration), значение которого увеличивается вместе с интенсивностью степени выветривания. Для разграничения обстановок теплого и холодного климата принимается значение индекса, равное 70 (Nesbitt, Young, 1982). Индекс рассчитывается по молекулярным количествам петрогенных оксидов, $CIA = 100 \times Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)$.

2. CIW (Chemical Index of Weathering) = $100 \times Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O)$. Для слабо измененных пород значения индекса составляют от 76 до 59, а в корах выветривания достигают 94–98 (Harnois, 1988). Расчет, как и в случае с CIA, производится с помощью молекулярных количеств.

3. Соотношение $\sum Ce / \sum Y$, где $\sum Ce = (La-Eu)$, $\sum Y = (Gd-Lu, Y)$, используется в качестве индикатора

Таблица 4. Содержания малых элементов (г/т) и некоторые индикаторные отношения для глинистых пород кодинской свиты**Table 4.** Trace elements content (ppm) and some indicator ratios in the Kodinka Formation clay rocks

Элементы и отношения	Мин.	Ср.	Макс.	PAAS	Хондрит
Rb	17.6	77.1	162.8	160.0	—
Cs	1.6	5.2	8.5	6.0	—
Ba	124.7	302.9	632.7	650.0	—
Sr	53.8	125.5	286.3	200.0	—
Th	3.2	6.8	11.6	14.6	—
U	1.5	2.7	4.9	3.1	—
Zr	66.7	132.0	196.8	210.0	—
Hf	1.7	3.7	5.5	5.0	—
Y	8.3	18.6	29.5	27.0	—
Nb	4.7	9.6	14.6	19.0	—
Cr	78.4	218.6	519.7	110.0	—
Co	18.9	34.2	57.1	23.0	—
Ni	48.9	209.8	345.7	55.0	—
V	105.2	187.6	279.9	150.0	—
Sc	13.1	25.1	41.5	16.0	—
La	7.23	18.36	31.45	38.20	0.367
Ce	17.50	39.96	68.24	79.60	0.957
Pr	2.42	4.97	8.11	8.83	0.137
Nd	9.56	19.71	32.65	33.90	0.711
Sm	1.93	4.21	7.27	5.55	0.231
Eu	0.59	1.15	2.05	1.08	0.087
Gd	2.04	4.19	7.25	4.66	0.306
Tb	0.32	0.59	0.98	0.77	0.058
Dy	1.94	3.62	5.38	4.68	0.381
Ho	0.42	0.75	1.08	0.99	0.0851
Er	1.28	2.21	3.26	2.85	0.249
Tm	0.19	0.32	0.47	0.41	0.0356
Yb	1.22	2.17	3.12	2.82	0.248
Lu	0.19	0.33	0.48	0.43	0.0381
ΣREE	49.4	102.5	165.1	184.8	3.900
Eu/Eu*	0.75	0.83	0.95	0.66	—
(La/Yb) _n	3.34	5.66	9.06	8.20	—
ΣCe/ΣY	1.86	2.70	3.66	3.75	—
Zr/Sc	3.94	5.41	7.76	13.13	—
Th/Sc	0.16	0.28	0.37	0.91	—

Примечание. Значения для PAAS и для хондрита приведены в соответствии с (Тейлор, МакЛеннан, 1988). Прочерк – данные отсутствуют.

Note. PAAS and chondrite values cited by (Taylor, McLennan, 1988). Dash – no data.

тора климата (Шатров, Войцеховский, 2009). Значения менее 2.5 характеризуют аридный тип климата, более 4.0 – гумидный.

Для глинистых пород кодинской свиты величина индекса CIA изменяется в пределах от 61 до 63 для гидролизатов и от 66 до 77 для сиаллитов, что свидетельствует о переходном, близком к гумидному, типе климата в пределах питающей про-

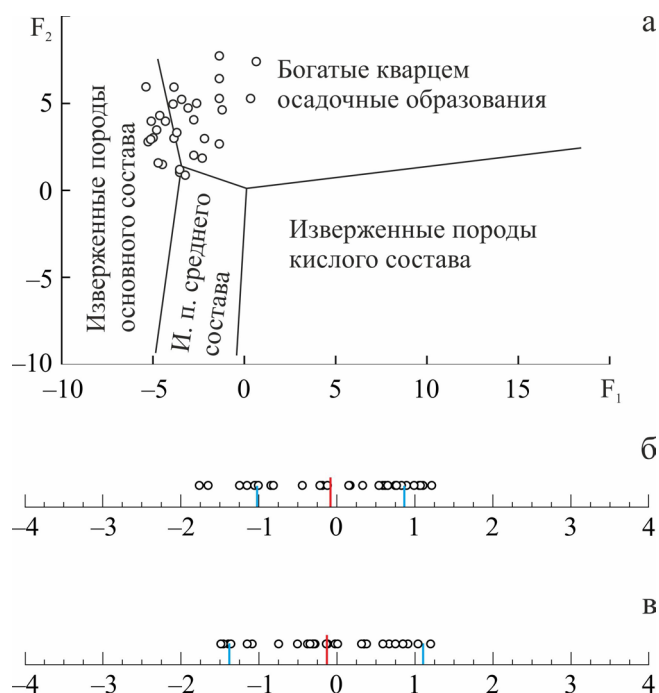


Рис. 8. Положение фигуративных точек составов глинистых пород кодинской свиты на многомерных диаграммах.

а – диаграмма F_1 – F_2 (Roser, Korsch, 1988), где $F_1 = 30.638 \times \text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - 12.541 \times \text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 7.329 \times \text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 12.031 \times \text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 35.402 \times \text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 6.382$; $F_2 = 56.5 \times \text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - 10.879 \times \text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 30.875 \times \text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 5.404 \times \text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 11.112 \times \text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 3.89$; б – диаграмма $DF_{(A-P)M}$; в – $DF_{(A-P)MT}$ (Verma, Armstrong-Altrin, 2016). Красной линией отмечены пограничные значения для разделения обстановок, слева от нее – пассивные континентальные окраины, справа – активные. Голубые линии ограничивают интервал погрешности определяемых обстановок, для диаграммы $DF_{(A-P)M}$ (б) он равен $[-1.00378; 0.84703]$, для диаграммы $DF_{(A-P)MT}$ (в) – $[-1.37443; 1.10752]$.

Fig. 8. Compositions of clay rocks from Kodinka Formation in multidimensional diagrams.

а – F_1 – F_2 diagram (Roser, Korsch, 1988), where $F_1 = 30.638 \times \text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - 12.541 \times \text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 7.329 \times \text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 12.031 \times \text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 35.402 \times \text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 6.382$; $F_2 = 56.5 \times \text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - 10.879 \times \text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 30.875 \times \text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 5.404 \times \text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 11.112 \times \text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 3.89$; б – $DF_{(A-P)M}$; в – $DF_{(A-P)MT}$ diagram (Verma, Armstrong-Altrin, 2016). On the left hand of red borderline – passive margin settings, on the right – active margin settings. Blue lines marks probably error interval for settings discrimination, for $DF_{(A-P)M}$ diagram it's $[-1.00378; 0.84703]$, for $DF_{(A-P)MT}$ diagram it's $[-1.37443; 1.10752]$.

винции. Соотношение $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ имеет следующие характеристики: минимальное значение равняется 1.86, максимальное – 3.66, что при среднем порядке 2.7 также позволяет предполагать размыв материнских пород в условиях переходного климата, но более близкого к аридному. Однако интерпретация значений индекса CIW несколько противоречит этим предположениям. Индекс CIW изменяется

в пределах от 73 до 83, что указывает на слабую и среднюю интенсивность выветривания. Возможно, это связано с тем, что кодинская свита формировалась при лавинных темпах седиментации. Мощная толща пород (более 1000 м), накопилась в течение позднего франа (!). По самым скромным подсчетам можно говорить о скоростях осадконакопления более 400 мм/тыс. лет. На высокие скорости осадконакопления косвенно указывает и повсеместное наличие примеси терригенного материала в аргиллитах. То есть на палеоводосборах происходил интенсивный размыв, препятствующий значительному выветриванию материнских пород.

Еще одним важным фактором, влияющим на особенности состава терригенных пород, является тектонический режим, существовавший во время осадконакопления. Диагностировать его зачастую бывает достаточно сложно, однако некоторые современные дискриминационные диаграммы позволяют это сделать в первом приближении, то есть разделить обстановки пассивных и активных континентальных окраин. Например, для данных целей служат многомерные диаграммы, впервые предложенные мексиканскими учеными С.П. Верма и Д.С. Армстронг-Алтрин (Verma, Armstrong-Altrin, 2016). При использовании этих диаграмм необходимо рассчитать функцию $DF_{(A-P)M}$, зависящую от значений петрогенных оксидов, и/или комбинированную функцию $DF_{(A-P)MT}$ (включает в себя значения не только петрогенных оксидов, но и малых элементов – Cr, Nb, Ni, V, Y, Zr). Для функции $DF_{(A-P)M}$ пограничным значением для разделения обстановок является -0.078376 , а для комбинированной функции оно равно -0.13345^1 .

Описанные диаграммы разработаны для песчаных пород, однако положение на них фигуративных точек кодинских аргиллитов также в определенной мере информативно (рис. 8б, в). Так, на диаграммах $DF_{(A-P)M}$ и $DF_{(A-P)MT}$ их положение неоднозначно, точки попадают в оба поля, но практически полностью находятся в пределах интервала погрешности определяемых обстановок. Вероятно, этот факт, как и некоторые из перечисленных особенностей, свидетельствует в пользу разнообразия размывавшихся материнских пород.

Таким образом, по особенностям распределения малых элементов и положению фигуративных точек аргиллитов на классификационных диаграммах можно предполагать наличие нескольких комплексов пород в области сноса. Это не противоречит выводам, сделанным при микроскопических исследованиях песчаников данного разреза, в том числе в работах Л.В. Анфимова и Е.В. Силантьева (1975), А.Л. Анфимова и Б.И. Чувашова (2005).

Песчаники кодинской свиты по петрографическому составу относятся к типу петрокластических кварц-полевошпатовых граувакк, единичные образцы – к полевошпат-кварцевым и полевошпатовым грауваккам (рис. 9). Содержание обломков кварца в них составляет порядка 8–29%, полевых шпатов (средних и кислых плагиоклазов, редких калиевых полевых шпатов) – от 20 до 37%, обломков пород – до 66%. Среди последних преобладают магматические породы: эффузивы кислого, основного/среднего состава, редко присутствуют обломки полнокристаллических пород, например микропегматиты. Также в отдельных шлифах отмечены полностью хлоритизированные обломки вулканических пород (вероятно, вулканического стекла) и серпентинитов. Содержание обломков метаморфических пород составляет порядка 10–24%, кремней – не превышает 11% (от общего количества обломков пород). Обломки других осадочных пород – тонкоотмученных или алевроитистых аргиллитов, алевролитов, песчаников и известняков – единичны. Метаморфические породы представлены кварцитами и микрокварцитами, редко – сланцами слюдисто-глинистого состава.

Следовательно, вполне вероятно, что при формировании кодинской свиты источником материала служил массив, сложенный континентальной корой (микроконтинент?), – присутствуют обломки как магматических пород, так и метаморфических. В целом это предположение находит подтверждение и в распределении точек составов глинистых пород на диаграммах нового поколения, предназначенных для разделения обстановок пассивной и активной континентальных окраин. Существование такого микроконтинента предполагается и в некоторых общих реконструкциях палеогеодинамических обстановок (Палеогеографический..., 1998).

ПОСТСЕДИМЕНТАЦИОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД

Присутствие в составе кодинских аргиллитов ССО ряда гидрослюда–монтмориллонит, 7 и 14 Å хлорита, преобладание гидрослюды политипа 1М над политипом 2М₁ являются важными индикаторными признаками, указывающими на то, что породы прошли стадию умеренного катагенеза перед их поднятием на поверхность (Дриц, Коссовская, 1991; Япаскерт, 2008, 2013). Однако эти компоненты присутствуют в составе пелитолитов глинистых и песчано-глинистых толщ кодинской свиты, для которых предполагается формирование в обстановках, наиболее удаленных от береговой линии, либо в условиях наиболее слабого влияния реки на конкретный прибрежный участок водоема (Мельничук, Мизенс, 2016) – толща I, нижняя часть толщ III, толща V. В то же время в осталь-

¹ Расчетные формулы достаточно громоздки, в связи с чем рекомендуется обратиться к указанной статье, особенно к приложению к ней.

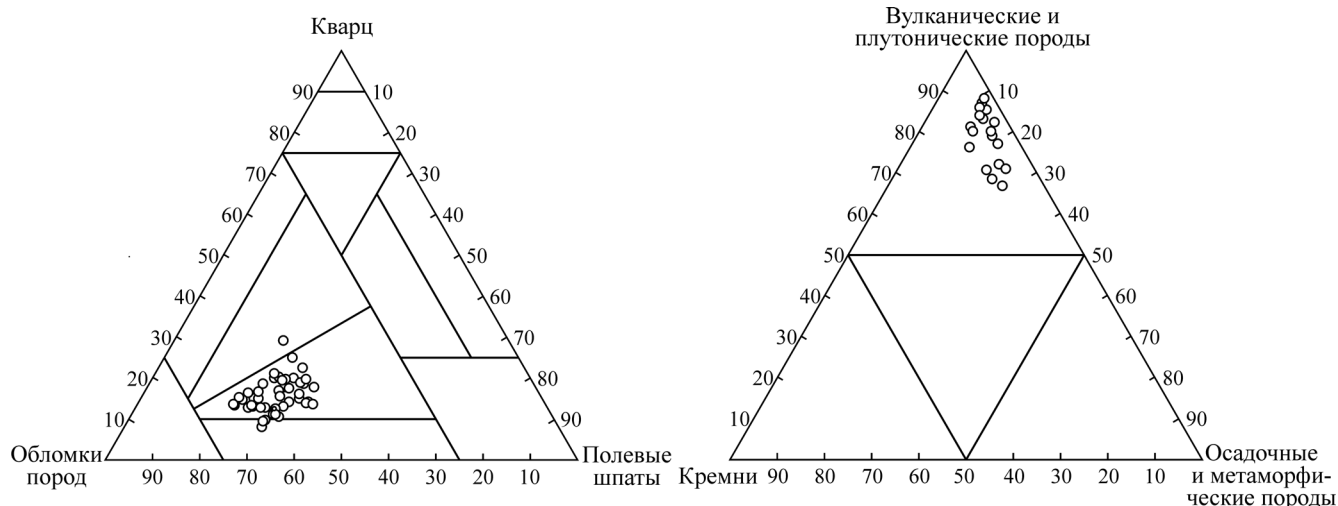


Рис. 9. Диаграммы на основе классификации В.Н. Шванова (Шванов и др., 1998) с нанесенными на них составами кодинских песчаных пород.

Fig. 9. Kodinka Formation sandy rocks in the sandstone ternary diagrams based on classification by V.N. Shvanov (Shvanov et al., 1998).

ных толщах рассматриваемой свиты, в том числе сильно глинистых (например, в толще VIII, детально описанной нами (Мельничук, 2016)), ССО отсутствуют, то есть монтмориллониты в составе глинистых пород практически полностью трансформировались в гидрослюды, что в свою очередь служит одним из главных признаков стадии глубокого катагенеза (Япаскерт, 2013). Обращает на себя внимание, что для этих толщ (II, IV, VI–VIII) предполагается накопление в условиях активной деятельности реки. Таким образом, в разрезе кодинской свиты мы сталкиваемся с фациальной изменчивостью и связанной с ней неравномерной степенью преобразования глинистых пород. Тем не менее подробный механизм подобной изменчивости не совсем ясен.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований показывают, что основными породообразующими минералами в составе кодинских аргиллитов являются хлориты, гидрослюды и в меньшей степени смешанослойные образования ряда гидрослюда–монтмориллонит. По химическому составу рассматриваемые аргиллиты относятся к хемотипам псевдосиаллитов и псевдогидролизатов (согласно классификации Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис (2000)). Особенности их вещественного состава свидетельствуют о терригенном происхождении, признаки вулканогенно-осадочных пород отсутствуют. Изучение обломков пород, в том числе в песчаниках, подтверждает, что в области сноса размывалось несколько разнотипных массивов, в том числе магматические (основные, в меньшей сте-

пени кислые), метаморфические и кремни. Климат в это время, скорее всего, был переходным (семиаридным/семигумидным). Осадконакопление осуществлялось при пассивном тектоническом режиме. Вероятно, размывалась поверхность микроконтинента.

Степень постседиментационного преобразования пелитолитов кодинской свиты неравномерна. Перед выходом на поверхность они прошли стадию глубокого катагенеза, но некоторые толщи достигли только стадии умеренного катагенеза.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Анфимов А.Л., Чувашов Б.И. (2005) Литолого-стратиграфическая и биофациальная характеристика верхнедевонских карбонатных и терригенных пород р. Исеть (разрез “Кодинка”). *Ежегодник-2004*. Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, 3-9.
- Анфимов Л.В., Силантьев Е.В. (1975) Петрография франских терригенных образований Урала. *Литология главнейших типов осадочных пород франского яруса Урала*. Свердловск: УНЦ АН СССР, 4-35.
- Бадида Л.В., Мизенс Г.А., Мельничук О.Ю. (2015) Текстура “конус в конусе” в терригенной толще верхнедевонской кодинской свиты на востоке Среднего Урала. *Ежегодник-2014*. Тр. ИГТ УрО РАН. Вып. 162, 44-48.
- Дриц В.А., Коссовская А.Г. (1991) Глинистые породы: слюды, хлориты. М.: Наука, 232 с.
- Иванова В.П., Касатов Б.К., Красавина Т.Н., Розина Е.Л. (1974) Термический анализ минералов и горных пород. Л.: Недра, 399 с.

- Маслов А.В. (2005) Осадочные породы: методы изучения и интерпретации полученных данных. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 289 с.
- Мельничук О.Ю. (2016) Фации проделты в составе позднедевонского дельтового конуса (восток Среднего Урала). *Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского*. № 19. Пермь: Пермский госуниверситет, 201-206.
- Мельничук О.Ю., Мизенс Г.А. (2015) Разрез верхнедевонской кодинской свиты на правобережье р. Исеть (восточный склон Среднего Урала). *Ежегодник-2014*. Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 162, 64-70.
- Мельничук О.Ю., Мизенс А.Г. (2016) Гидрофации верхнедевонской кодинской свиты по палеонтологическим и геохимическим данным (восточный склон Среднего Урала). *Материалы Всероссийской школы студентов, аспирантов и молодых ученых по литологии. "Уникальные литологические объекты через призму их разнообразия"*. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 162-165.
- Мизенс А.Г. (2012) Биостратиграфическое расчленение живецко-фаменских отложений Среднего и Южного Урала по брахиоподам. *Литосфера*, (2), 43-54.
- Наседкина В.А., Зенкова Г.Г. (1999) Биостратиграфия верхнего девона на восточном склоне Среднего и Северного Урала. *Проблемы стратиграфии и палеонтологии Урала*. Екатеринбург: Минприроды РФ, ОАО УГЭС, 50-74.
- Палеогеографический атлас Северной Евразии (1998) Под ред. В.Г. Казьмина, Л.М. Натапова. М.: Институт тектоники литосферных плит, 26 карт.
- Рянская А.Д., Гуляева Т.Я., Стрелецкая М.В. (2015а) Отработка методики получения ориентированных образцов глин для рентгеноструктурного анализа. *Ежегодник-2014*. Тр. ИГГ УрО РАН, Вып. 162, 254-266.
- Рянская А.Д., Шапова Ю.В., Гуляева Т.Я., Галахова О.Л., Петрищева В.Г., Горбунова Н.П., Татарина Л.А. (2015б) Полнопрофильный рентгенодифракционный анализ фазово-минерального состава пород-коллекторов нефти и газа с использованием программы SIROQUANT (на примере искусственных смесей). *Ежегодник-2014*. Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 162, 267-275.
- Смирнов В.Н., Ферштатер Г.Б., Иванов К.С. (2003) Схема тектономагматического районирования территории восточного склона Среднего Урала. *Литосфера*, (2), 40-56.
- Тейлор С.Р., МакЛеннан С.М. (1988) Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 384 с.
- Чувашов Б.И., Анфимов А.Л. (2008) Карбонатно-терригенные отложения разреза "Кодинка – Щербаково" – опорный разрез верхнего девона бассейна р. Исеть (восточный склон Среднего Урала). *Ежегодник-2007*. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 88-97.
- Шатров В.А., Войцеховский Г.В. (2009) Применение лантаноидов для реконструкций обстановок осадкообразования в фанерозое и протерозое (на примере разреза чехла и фундамента Восточно-европейской платформы). *Геохимия*, (8), 805-824.
- Шванов В.Н., Фролов В.Т., Сергеева Э.И. и др. (1998) Систематика и классификация осадочных пород и их аналогов. СПб.: Недра, 352 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. (2000) Основы литохимии. СПб.: Наука, 479 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. (2010) Геохимические и минералогические индикаторы вулканогенных продуктов в осадочных толщах. Екатеринбург: УрО РАН, 142 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. (2011) Геохимические индикаторы литогенеза (литологическая геохимия). Сыктывкар: Геопринт, 742 с.
- Япаскурт О.В. (2008) Генетическая минералогия и стадийный анализ процессов осадочного породо- и рудообразования. М.: ЭСЛАН, 356 с.
- Япаскурт О.В. (2013) Литология. Разделы теории. Ч. I. Процессы и факторы эпигенезиса горных пород: диагностика и системный анализ. М.: МАКС Пресс, 216 с.
- Critelli S., Mongelli G., Perri F., Martin-Algarra A., Martin-Martin M., Perrone V., Dominici R., Sonnino M., Zaghoul M.N. (2008) Compositional and Geochemical Signatures for the Sedimentary Evolution of the Middle Triassic-Lower Jurassic Continental Redbeds from Western-Central Mediterranean Alpine Chains. *J. Geol.*, **116**, 375-386.
- Harnois L. (1988) The CIW index: a new chemical index of weathering. *Sediment. Geol.*, **55**, 319-322.
- Nesbitt H.W., Young G.M. (1982) Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nat.*, **299**, 715-717.
- Roser B.P., Korsch R.J. (1988) Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. *Chem. Geol.*, **67**, 119-139.
- Verma S.P., Armstrong-Altrin J.S. (2016) Geochemical discrimination of siliciclastic sediments from active and passive margin settings. *Sediment. Geol.*, **332**, 1-12.

REFERENCES

- Anfimov L.V., Silant'ev E.V. (1975) Urals Frasnian terrigenous rocks petrography. *Litologiya glavneishikh tipov osadochnykh porod franskogo yarusy Urala* [Lithology of major types sedimentary rocks Frasnian stage of the Urals]. Sverdlovsk, UNTs AN SSSR Publ., 4-35. (In Russian)
- Anfimov A.L., Chuvashov B.I. (2005) Lithological, stratigraphic and biofacial features of the Upper Devonian carbonaceous and terrigenous rocks, Iset' river, section "Kodinka". *Ezhegodnik-2004*. Ekaterinburg, IGG Uro RAN Publ., 3-9. (In Russian)
- Badida L.V., Mizens G.A., Melnichuk O.Yu. (2015) Cone-in-cone structure in rocks of the Upper Devonian terrigenous Kodinka Formation in the Middle Urals eastern slope. *Ezhegodnik-2014*. Proc. IGG Uro RAN, V. 162, 44-48. (In Russian)
- Chuvashov B.I., Anfimov. A.L. (2008) Carbonaceous-terrigenous deposits in the "Kodinka-Shcherbakovo" section are the Upper Devonian key section (the Iset' River basin, Middle Urals eastern slope). *Ezhegodnik-2007*. Ekaterinburg, IGG Uro RAN, 88-97. (In Russian)
- Critelli S., Mongelli G., Perri F., Martin-Algarra A., Martin-Martin M., Perrone V., Dominici R., Sonnino M., Zaghoul M.N. (2008) Compositional and Geochemical Signatures for the Sedimentary Evolution of the Middle Triassic-Lower Jurassic Continental Redbeds from West-

- ern-Central Mediterranean Alpine Chains. *J. Geol.*, 116, 375-386.
- Drits V.A., Kossovskaya A.G. (1991) *Glinistye porody: slyudy, khlority* [Clay rocks: micas, chlorites]. Moscow, Nauka Publ., 232 p. (In Russian)
- Harnois L. (1988) The CIW index: a new chemical index of weathering. *Sediment. Geol.*, 55, 319-322.
- Ivanova V.P., Kasatov B.K., Krasavina T.N., Rozinova E.L. (1974) *Termicheskii analiz mineralov i gornykh porod* [Minerals and rocks thermography]. Leningrad, Nedra Publ., 399 p. (In Russian)
- Maslov A.V. (2005) *Osadochnye porody: metody izucheniya i interpretatsii poluchennykh dannykh* [Sedimentary rocks: studying and data interpretation methods]. Ekaterinburg, UGU Publ., 289 p. (In Russian)
- Melnichuk O.Yu. (2016) **Prodelta facies in the Upper Devonian delta fan (Middle Urals eastern slope).** № 19 *Problemy mineralogii, petrografii i metallogenii. Nauchnye chteniya pamyati P.N. Chirvinskogo* [Problems of Mineralogy, Petrography and Metallogeny. 19th Scientific readings in memory of P.N. Chirviskii]. Perm', Perm' St. Univ., 201-206. (In Russian)
- Melnichuk O.Yu., Mizens G.A. (2015) Upper Devonian Kodinka Formation section on the right bank of the Isset' river. *Ezhegodnik-2014. Proc. IGG UrO RAN*, V. 162, 64-70. (In Russian)
- Melnichuk O.Yu., Mizens A.G. (2016) **The hydrofacies Upper Devonian Kodinka Formation determination by paleontological and geochemical indicators (Middle Urals eastern slope).** "Unikal'nye litologicheskie ob'ekty cherez prizmu ikh raznoobraziya". *Materialy Vserossiiskoy shkoly studentov, aspirantov i molodykh uchenykh po litologii*. ["Unique lithological objects in terms of their diversity" Proc. of All-Russian lithological school for students, graduate students and young scientists]. Ekaterinburg: IGG UrO RAN, 162-165. (In Russian)
- Mizens A.G. (2012) Biostratigraphy (brachiopod using) of the Givetian-Famenian rocks in the Middle and South Urals. *Litosfera*, (2), 43-54. (In Russian)
- Nasedkina V.A., Zenkova G.G. (1999) **Upper Devonian biostratigraphy of the Middle and North Urals eastern slope.** *Problemy stratigrafii i paleontologii Urala* [Problems of Stratigraphy and Paleontology of the Urals]. Ekaterinburg, 50-74. (In Russian)
- Nesbitt H.W., Young G.M. (1982) Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nat.*, 299, 715-717.
- Paleogeograficheskii atlas Severnoi Evrazii* (1998) (Ed. Kaz'min V.G., Natapov L.M.) [Northern Eurasia paleogeographical atlas (Ed. Kaz'min V.G., Natapov L.M.)]. Moscow: Institut tektonki litosfernykh plit Publ, 26 maps. (In Russian)
- Roser B.P., Korsch R.J. (1988) Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. *Chem. Geol.*, 67, 119-139.
- Ryanskaya A.D., Gulyaeva T.Ya., Streletskaya M.V. (2015) Development of the orientated clay probe extraction techniques for X-ray diffraction analysis. *Ezhegodnik -2014. Proc. IGG UrO RAN*, V. 162, 254-266. (In Russian)
- Ryanskaya A.D., Shchapova Yu.V., Gulyaeva T.Ya., Galakhova O.L., Petrishcheva V.G., Gorbunova N.P., Tatarnova L.A. (2015) Full-profile XRD analysis of reservoir rocks mineral composition using SIROQUANT program (by the examples of artificial formula). *Ezhegodnik-2014. Proc. IGG UrO RAN*, V. 162, 267-275. (In Russian)
- Shatrov V.A., Voitsekhovskii G.V. (2009) **Lanthanides using for Phanerozoic and Proterozoic depositional environments reconstruction (by the example of Eastern European Platform cover and basement section).** *Geokhimiya*, (8), 805-824. (In Russian)
- Shvanov V.N., Frolov V.T., Sergeeva E. I. et al. (1998) *Sistematika i klassifikatsiya osadochnykh porod i ikh analogov* [Systematic and classification of sedimentary rocks and their analogs]. St-Petersburg, Nedra Publ., 352 p. (In Russian)
- Smirnov V.N., Fershtater G.B., Ivanov K.S. (2003) **Tectono-magmatic zoning scheme of the Middle Urals eastern slope territory.** *Litosfera*, (2), 40-56. (In Russian)
- Taylor S.R., McLennan S.M. (1988) *Kontinental'naya kora: ee sostav i evolutsiya* [Continental crust, geochemistry and evolution]. Moscow, Mir Publ., 384 p. (In Russian)
- Verma S.P., Armstrong-Altrin J.S. (2016) Geochemical discrimination of siliciclastic sediments from active and passive margin settings. *Sediment. Geol.*, 332, 1-12.
- Yapaskurt O.V. (2008) **Geneticheskaya mineralogiya i stadial'nyi analiz protsessov osadochnogo porodo- i rudobrazovaniya** [Genetic mineralogy and stadium analysis of sedimentary and ore genesis processes]. Moscow, ESLAN Publ., 356 p. (In Russian)
- Yapaskurt O.V. (2013) *Litologiya. Razdely teorii. Ch. I. Protsessy i faktory epigenezisa gornykh porod: diagnostika i sistemnyi analiz* [Lithology. Parts of the theory. Ch. I. Processes and factors of sedimentary rocks epigenesis: Diagnostics and system analysis]. Moscow, MAKSPress, 216 p. (In Russian)
- Yudovich Ya.E., Ketris M.P. (2000) *Osnovy litokhimii* [Lithochemistry basics]. St.Petersburg, Nauka Publ., 479 p. (In Russian)
- Yudovich Ya.E., Ketris M.P. (2010) **Geokhimicheskie i mineralogicheskie indikatory vulkanogennykh produktov v osadochnykh tolshchakh** [Geochemical and mineralogical indicators of volcanic products in terrigenous strata]. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 142 p. (In Russian)
- Yudovich Ya.E., Ketris M.P. (2011) **Geokhimicheskie indikatory litogeneza (litologicheskaya geokhimiya)** [Geochemical indicators of lithogenesis (lithological geochemistry)]. Syktyvkar, Geoprint Publ., 742 p. (In Russian)