

Петрология, минералогия, геохимия, изотопная геология

Petrology, mineralogy, geochemistry, isotope geology

Научная статья
УДК 553.3



МИНЕРАЛОГИЯ И ОБСТАНОВКИ СЕДИМЕНТАЦИИ САБАНТУЙСКОЙ ХРОМИТОВОЙ ПЛЯЖНОЙ ПАЛЕОРОССЫПИ ЮЖНОГО ПРЕДУРАЛЬЯ: ИСТОЧНИКИ ДЕТРИТОВОГО МАТЕРИАЛА И ЦЕМЕНТА ПЕСЧАНИКОВ

И. Р. Рахимов¹, А. М. Васильев¹, А. В. Вишневский², С. А. Дьякова¹

1 — Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, г. Уфа, Россия, rigel92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2808-2402> andvas02@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-9632-7605> Solodova. IG@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2466-5782>

2 — Институт геологии и минералогии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск, Россия, vishnevsky@igm. nsc.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8221-9353>

Выполнено минералогическое исследование песчаников рудного пласта Сабантуйской палеороссыпи. При помощи сканирующей электронной микроскопии с ЭДС изучен состав зёрен рудных песчаников (хромитолитов) и переслаивающихся с ними условно безрудных песчаников (кремнёвых граувакк). С помощью ЭДС-картирования оценены соотношения рудных минералов в хромитолитах и безрудных песчаниках продуктивного пласта. Установлено, что среди рудных минералов количественно преобладает хромит (53 об. %), далее по распространённости следуют магнетит (25%, с учётом хроммагнетита — 29%) и ильменит (12%). Выявлено, что вариации в содержаниях рудных элементов связаны с положением конкретного образца в разрезе относительно энергетических зон волновой деятельности. Хромит предпочтительно накапливался в зоне супрайтальдаи вдоль линии относительного энергетического затухания накатывающихся волн. Совокупность геологических, литологических и морфодинамических факторов указывают на дистальные источники рудного материала для Сабантуйской палеороссыпи. Основными источниками детритового материала вмещающих песчаников могли быть осадочные и метаморфические комплексы Башкирского мегантиклинория и зоны Уралтау, а дополнительного (рудноносного) — ультрабазит-базитовые массивы, ныне представленные в осевой части Урала — офиолитовые аллохтоны (типа Кракинского и Хабаровинского) и тектониты Главного Уральского разлома. Источником цемента являлись продукты растворения и переотложения известняков из вышележащей пачки.

Ключевые слова: Сабантуйская палеороссыпь хромитов, граувакки, минералогия, обломки пород, литодинамика

Благодарности: Исследования выполнены в рамках государственного задания Института геологии УФИЦ РАН № FMRS-2025-0015.

Для цитирования: Рахимов И. Р., Васильев А. М., Вишневский А. В., Дьякова С. А. Минералогия и обстановки седиментации Сабантуйской хромитовой пляжной палеороссыпи Южного Предуралья: источники детритового материала и цемента песчаников // Геологический вестник. 2026. № 2. С. 166–192. <https://doi.org/10.31084/2619-0087/2026-2-12>

For citation: Rakhimov I. R., Vasiliev A. M., Vishnevskiy A. V., Dyakova S. A. (2026) Mineralogy and Sedimentation of the Sabantuy Chromite Beach Paleoplacer of the Southern Pre-Urals: Provenance and Origin of Cement. *Geologicheskii vestnik*. 2026. No. 2. P. 166–192. <https://doi.org/10.31084/2619-0087/2026-2-12>

© И. Р. Рахимов, А. М. Васильев, А. В. Вишневский, С. А. Дьякова, 2026

Original article

MINERALOGY AND SEDIMENTATION OF THE SABANTUY CHROMITE BEACH PALEOPLACER OF THE SOUTHERN PRE-URALS: PROVENANCE AND ORIGIN OF CEMENT

I. R. Rakhimov¹, A. M. Vasiliev¹, A. V. Vishnevskiy², S. A. Dyakova¹

1 — Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia,

rigel92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2808-2402>

andvas02@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-9632-7605>

Solodova.IG@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2466-5782>

2 — Institute of Geology and Mineralogy of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, *vishnevsky@igm.nsc.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8221-9353>*

A mineralogical study of sandstones from the ore bed of the Sabantuy paleoplacer was completed. Using EDS scanning electron microscopy, the composition of grains of ore-bearing sandstones (chromitites) and interbedded, conventionally barren sandstones (chert graywackes) was studied. Using EDS mapping, the ratios of ore minerals in the chromitites and barren sandstones of the productive bed were estimated. Chromite was found to be the most quantitatively prevalent ore mineral (53 vol.%), followed by magnetite (25%, including chromium-magnetite — 29%) and ilmenite (12%). Variations in ore element contents were found to be related to the position of a particular sample within the section relative to the wave energy zones. Chromite preferentially accumulated in the supratidal zone along the line of relative energy dissipation of breaking waves. A combination of geological, lithological, and morphodynamic factors indicates distal sources of ore detritus for the Sabantuy paleoplacer. The primary sources of detrital material for the host sandstones could have been sedimentary and metamorphic complexes of the Bashkir Meganticlinorium and the Uraltau Zone, while additional (ore-bearing) material could have come from ultramafic-mafic massifs currently present in the axial Urals — ophiolitic allochthons (such as the Krakinsky and Khabarninsky) and tectonites of the Main Ural Fault. The source of cement was limestones from the overlying unit, which dissolve and redeposit.

Keywords: Sabantuy chromite paleoplacer, graywackes, mineralogy, rock fragments, lithodynamics

Acknowledgements: The research was carried out on the subject № FMRS-2025–0015 of the state task to the Institute of Geology UFRS RAS.

Введение

В Предуралье в среднепермских и миоценовых отложениях выявлена серия мелких аллювиальных хромитовых палеороссыпей и одна пляжная палеороссыпь — Сабантуйская (рис. 1а) [Рахимов, 2022б; Rakhimov et al., 2022; Самигуллин и др., 2024]. Вариации состава детритового хромита в них однотипны и в целом соответствуют хромиту офиолитового типа источника. Но механизм формирования этих палеороссыпей пока не ясен, поскольку их современное геолого-географическое положение указывает скорее на дистальный источник, тогда как все известные в мире хромитовые россыпи имеют проксимальные источники [Rakhimov et al., 2022]. Сабантуйская палеороссыпь является наиболее крупной по площади и мощности среди выявленных в Предуралье. Ранее детально был изучен состав хромита и вы-

полнена его типизация [Rakhimov et al., 2022], но другие минералы, как рудные, так и нерудные, изучены мало [Рахимов, 2022а]. Учитывая то, что источник детритового материала Сабантуйской палеороссыпи остаётся дискуссионным и не были ясно определены соотношения между рудными минералами, актуально продолжение минералогического изучения обломочного материала. Статья представляет результаты минералогического исследования песчаников Сабантуйской пляжной палеороссыпи с целью выявления состава нерудных обломков, определения соотношения минералов тяжёлой фракции и интерпретации типа их коренных источников.

Методика

Образцы. Полевые работы с отбором образцов велись в 2017, 2019, 2025 и 2026 гг. В рам-

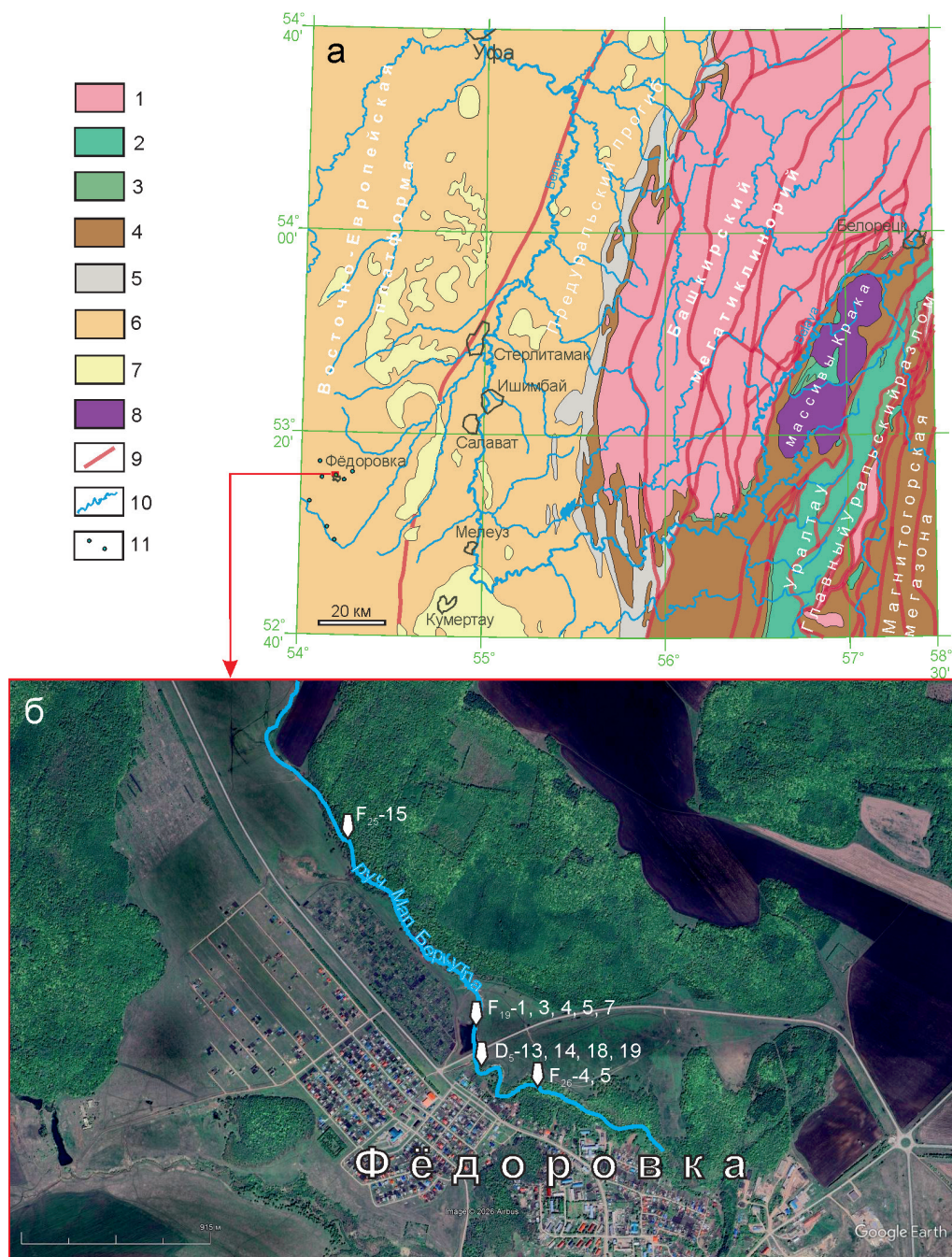


Рис. 1. Обзорная структурно-геологическая схема Южного Предуралья и Урала по [Князев и др., 2013; Rakhimov et al., 2022] (а) и спутниковый снимок Google северных окрестностей с. Фёдоровка с расположением точек пробоотбора (б)

Условные обозначения: 1 — метаморфические и осадочные комплексы рифея и венда, 2 — вулканогенно-осадочные и метаморфические комплексы ордовика, 3 — вулканогенно-осадочные комплексы силура, 4 — вулканогенно-осадочные комплексы девона, 5 — осадочные комплексы карбона, 6 — осадочные комплексы перми, 7 — осадочные комплексы мезозоя и кайнозоя, 8 — офиолиты, 9 — региональные разломы, 10 — речная сеть, 11 — пермские хромитовые россыпи.

Fig. 1. General scheme of the Southern Pre-Urals and the Urals according to [Knyazev et al., 2013; Rakhimov et al., 2022] (a) and Google satellite image of the northern vicinity of the village of Fedorovka with the location of sampling points (b)

Legend: 1 — Riphean and Vendian metamorphic and sedimentary complexes, 2 — Ordovician volcanogenic-sedimentary and metamorphic complexes, 3 — Silurian volcanogenic-sedimentary complexes, 4 — Devonian volcanogenic-sedimentary complexes, 5 — Carboniferous sedimentary complexes, 6 — Permian sedimentary complexes, 7 — Mesozoic and Cenozoic sedimentary complexes, 8 — ophiolites, 9 — regional faults, 10 — river flows, 11 — Permian chromite placers.

ках текущего исследования были использованы образцы (рис. 1б): 2017 г. из шурфа в южной части Сабантуйской хромитоносной залежи (D_5 -13а, D_5 -13ах, D_5 -14 и D_5 -18ах — рудный пласт, D_5 -19 — подрудный), образцы из зачистки 2019 г. на склоне в 200 м к север-северо-западу (F_{19} -1 и F_{19} -3 — рудный пласт, F_{19} -4 и F_{19} -5 — надрудные, F_{19} -7 — подрудный), а также образцы 2025 и 2026 гг. из глыб песчаников в речном аллювии по руч. Мал. Беркутла: к северо-западу от зачистки в 1 км (F_{25} -15) и к востоку на 200 м от шурфа (F_{26} -4 и F_{26} -5).

Оптическая и электронная микроскопия.

Петрографическое описание хромитовых песчаников (хромитолитов) и вмещающих их условно безрудных песчаников проводилось в полированных шлифах на микроскопе Altami Polar 3 в ИГ УФИЦ РАН. Для визуализации деталей структуры песчаников и морфологии составляющих зёрен на сканирующем микроскопе TescanVega Compact (ИГ УФИЦ РАН).

Рентгеноспектральный микроанализ. Спектры и карты ЭДС выполнялись при помощи ЭДС-приставки Xplorer 15 Oxford Instruments на сканирующем микроскопе TescanVega Compact (ИГ УФИЦ РАН). Всего составы минералов определялись в семи шлифах. Для калибровки спектров использовался чистый кобальт. Обработка спектров велась в автоматическом и ручном режиме в программном пакете AzTec One с использованием методики TrueQ. При съёмке использованы следующие установки: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда 3.5–3.8 нА, диаметр пучка 1–3 мкм, время накопления спектра в точке 30 с, время накопления элементной карты 10–40 мин.

Результаты и их обсуждение

Геологическое и литологическое строение

Сабантуйская палеороссыпь располагается на юго-восточной окраине Восточно-Европейской платформы (рис. 1а), где мощность осадочного чехла оценивается в районе 4 км [Синицын, Синицына, 1965]. В административном отношении объект примыкает к северо-западной окраине с. Фёдоровка Фёдоровского района республики Башкортостан (см. рис. 1б). В структурном плане эта территория принадлежит Южно-Татарскому своду. Здесь явно проявляются элементы клавишной тектоники, выраженной в блоковом строении наблюдаемого разреза, при котором по системам

разломов (их трассируют ручьи и овраги) соседние блоки приподняты или опущены на разные гипсометрические уровни. В результате один и тот же стратиграфический уровень может располагаться на абсолютных отметках с разницей до 200 м или даже более [Рахимов, 2021].

Сабантуйская палеороссыпь обнаружена самой первой и изучена наиболее подробно [Рахимов и др., 2020; Rakhimov et al., 2021]. Рудная залежь имеет постоянную мощность (0.9–1.0 м) и площадь ≥ 16500 м² (не менее 350 м в длину и 50 м в ширину). Минимальные прогнозные ресурсы (по категории P_2) хромитовых руд со средним содержанием Cr_2O_3 11 мас. % при средней плотности руды 3.2 г/см³ оценены в 50160 т (15675 м³) [Рахимов, 2021]. Обнаружение обломков хромитовых песчаников в русле руч. Мал. Беркутла в 1 км к СЗ от достоверно установленной перед погружением под более молодыми осадками северной части хромитоносной залежи указывает на возможное продолжение рудного пласта.

На левом крутом берегу руч. Мал. Беркутла нами описан геолого-литологический разрез общей мощностью около 15 м. Хромитоносный горизонт (рудный пласт) залегает на глубине от 0.7–1.5 м (в южной части) до 3–4 м (в северной части) от земной поверхности. Рудный пласт представляет собой 0.9–1.0 м интервал однородных тёмно-серых или полосчатых песчаников с многочисленными прослойками (толщиной 1–2 мм и реже до 13 см) хромитолитов, переслаивающимися с «безрудными песчаниками» (рис. 2а). Хромитолиты характеризуются разнообразным типом слоистости (см. рис. 2а, рис. 3а — г) — горизонтальной, пологоволнистой, косоволнистой, перекрёстной, разнонаправленной косой и местами извилистой. В одной из глыб песчаников по руч. Мал. Беркутла (см. рис. 1б) было обнаружено неслоистое, а струйчато-пятнистое распределение хромитолита в «безрудной» матрице (см. рис. 2б, 2в), что вероятно является результатом штормовых процессов. В этом образце (F_{26} -5) размерность песчаных зёрен матрицы крупнее (встречаются обломки кремней гравийной размерности), чем в типичных песчаниках рудного пласта, и хуже степень сортировки.

Рудный пласт залегает под толщей светло-серых перекристаллизованных известняков средней мощностью 2 м и толщей серых субгоризонтальных мелкозернистых песчаников с высоким содержанием рудных минералов (5–12% обломочной фракции) мощностью 1.1 м. В из-

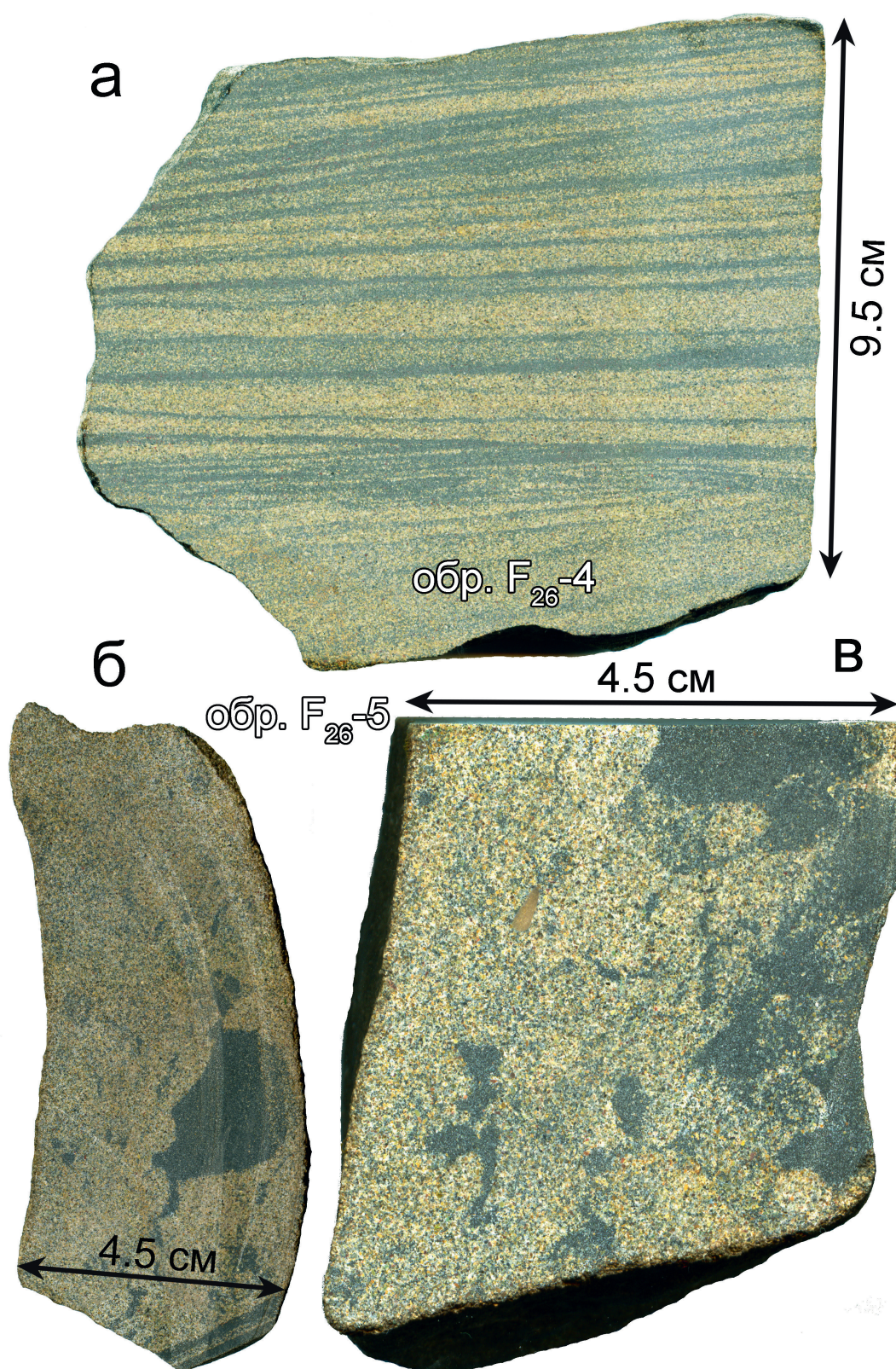


Рис. 2. Пришлифовки образцов рудного пласта Сабантуйской хромитовой палеороссыпи
Условные обозначения: а — полосчатая текстура; б, в — струйчато-пятнистая текстура.

Fig. 2. Polished hand specimens from the ore bed of the Sabantuy chromite paleoplacer
Legend: а — banded structure; б, в — streaky-spotted structure.

вестняках обнаружены неморские остракоды *Paleodarwinula fragiliformis* Kashevarova, 1958, *P. cf. teodorovichii* Belousova, 1963, *Paleodarwinula* sp., *Prasuchonella* sp., относимые к уржумскому ярусу биармийского отдела пермской системы [Тагариева и др., 2022].

Ниже рудного пласта залегают мелкозернистые песчаники с субгоризонтальной и косой слоистостью, имеющие мощность не менее 20 м и содержащие прослои гравия и гальки кремней в верхней части толщи. Судя по строению разрезов, находящихся в 2–3 км западнее Сабантуйской россыпи, ниже залегают серые горизонтально-слоистые мелкозернистые песчаники и известняки с обломками брахиопод *Productida* gen. indet., двустворчатых моллюсков *Netschajewia* sp., ювенильных гастропод, морских остракод *Actuaria diffusa* Schneider, 1956, *Bairdia sobolevskensis* Khivintseva, 1969, *Cavellina* ex. gr. *edmonstonei* (Harrisset Lalicker, 1932), *Healdia subtriangula* Kotschetkova, 1959, Kellett, 1935, *Healdia* spp. [Тагариева и др., 2022], а также голубовато-серые алевролиты общей мощностью не менее 20 м.

Петрография и минералогия

Песчаники рудного пласта, включая хромитолиты и междрудные граувакки, имеют как правило хорошую сортировку с размерностью обломочной фракции 0.10–0.25 мм (обломки кремней до 0.55 мм) (см. рис. 3а — е). Рудные минералы (0.70–0.15 мм) по размеру меньше нерудных, в особенности обломков пород. Обломки разноориентированы, хотя удлинение их выражено слабо. Большинство зёрен имеют изометричную или слабоудлинённую форму, окатанность слабая или практически отсутствует — от 0 до 2 баллов по шкале Хабакова. Цемент песчаников (базального и контактового типов) карбонатный пелитоморфный, практически полностью состоит из сросшихся ксеноморфных выделений кальция с небольшой примесью глинистых частиц (гидрослюд). Происхождение цемента вероятно связано с растворением и переотложением вещества из вышележающих известняков, о чём свидетельствует также близкий изотопный состав углерода и кислорода в известняках вышележающей пачки и карбонатного цемента из подрудного песчаника (наши неопубликованные данные). Известняки присутствуют в разрезе и ниже рудного пласта, в том числе в более древних толщах [Синицын, Синицына, 1965].

Контакт рудных и подрудных песчаников, фиксирующий нижнюю границу хромитоносной залежи, достаточно резкий, но обнаружить его можно только при зачистке склона. Состав и размерность нерудных обломков между рудным пластом и нижележащими породами немного отличается, но состав цемента однотипен. Подрудные песчаники чуть крупнее и имеют немного худшую степень отсортированности.

На треугольной диаграмме Шютова «Q — R — F» (кварц — обломки пород — полевошпат) изученные песчаники попадают, главным образом, в поле граувакк (рис. 4а). Сами граувакки классифицируются как кремнёвые (см. рис. 4б), поскольку в них преобладают обломки кремней, кварца/кварцитов и кварцитопесчаников. Подрудные песчаники характеризуются меньшим содержанием обломков метаморфических и магматических пород в сравнении с междрудными и надрудными. Также в них незначительно содержание рудных минералов ($\leq 1\%$), в то время как надрудные песчаники наравне с междрудными богаты ими — от 13 до 61% (см. рис. 4в). Песчаники обр. F₂₅–15 из аллювиальной глыбы, в которых обнаружен прослой хромитолитов, близки к надрудным или междрудным (7% рудных обломков). Хромитолиты в среднем содержат 93% рудных зёрен в обломочной фракции, остальное — чаще всего обломки клинопироксена, роговой обманки, кварца. Доля обломков метаморфитов/метасоматитов (обычно серпентинитов, метавулканитов и зелёных сланцев) в междрудных и надрудных песчаниках почти не отличается от подрудных (по 12%). Но в последних заметно ниже доля обломков известняков (2% против 6%) и изверженных пород (базальты, андезитобазальты и микрогаббро) (0.3% против 1.2%).

На изображениях, полученных в обратно-рассеянных электронах (BSE), показаны характерные и специфические обломки пород и минеральных агрегатов (рис. 5, 6). В изученных песчаниках регулярно встречаются единичные зёрна детритового глауконита, имеющие округлые очертания и насыщенную зелёную окраску (см. рис. 5а). Также из гидрослюда был встречен аутигенный иллит (браммалит), образующий оторочки толщиной до 50 мкм вокруг зёрен кварца, кремней (см. рис. 5б) и обломков разных пород, или даже структуры замещения внутри обломков пород, чаще в метасоматических, как, например, в плагиоклазовой породе совместно с гётитом (см. рис. 5в), или в обломке с вкраплениями эпидота и алланита (см. рис. 5д). Наличие глауконита

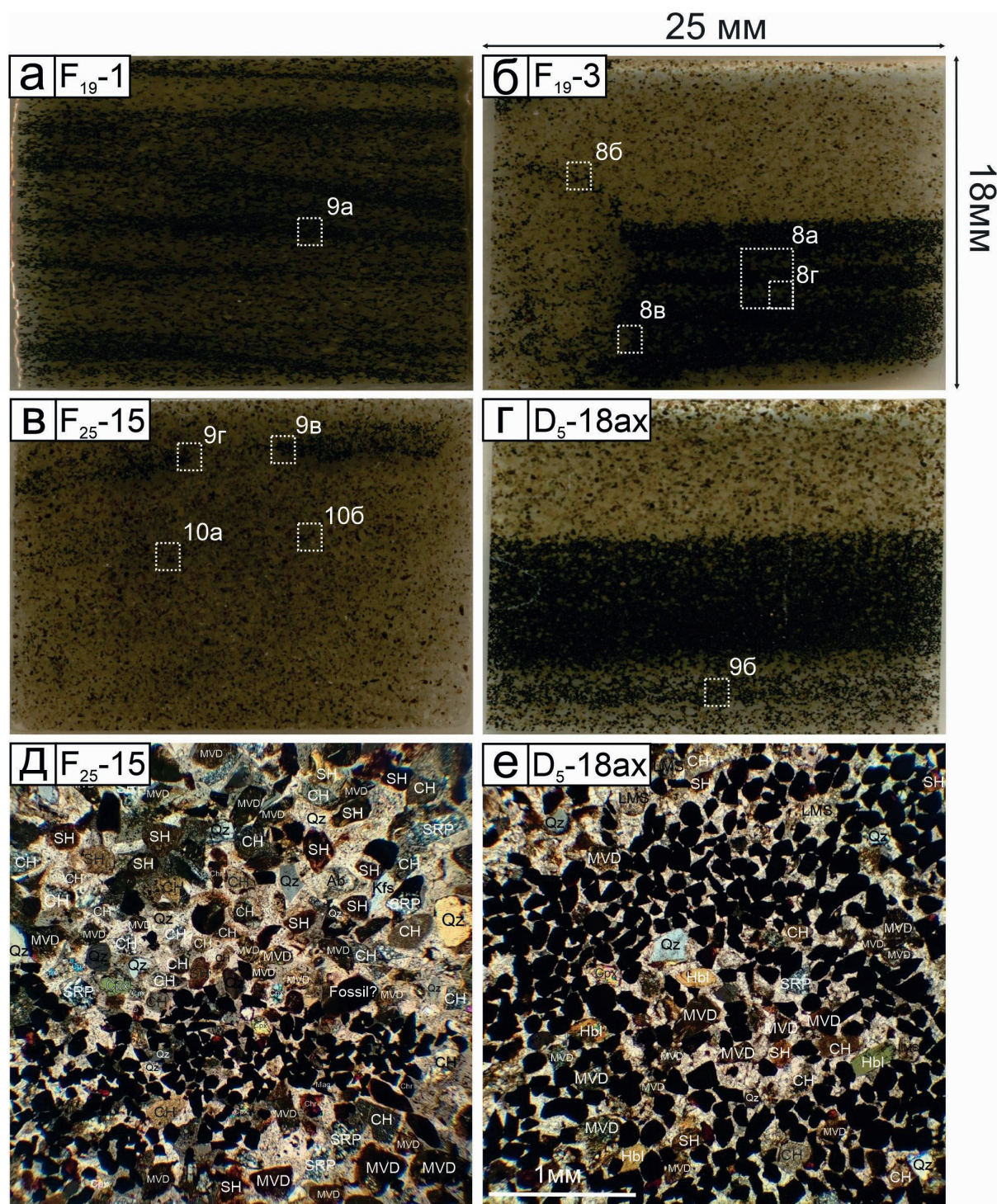


Рис. 3. Фотографии полированных пластинок (а — г) и микрофотографии (д, е) с анализатором рудных песчаников Сабантуйской хромитовой палеороссыпи

Условные обозначения: Ab — альбит, CH — кремнь, Chr — хромит, Cpx — клинопироксен, Fossil — минерализованные костные остатки (?), Hbl — роговая обманка, Kfs — калиевый полевой шпат, LMS — известняк, Mag — магнетит, MVD — обломки метавулканитов, Qz — кварц, SH — сланцы, SRP — серпентинит. Рамками обозначены площади элементного картирования.

Fig. 3. Photographs of polished sections (a — г) and microphotographs (д, е) by cross polarized light of ore sandstones of the Sabantuy chromite paleoplacer

Legend: Ab — albite, CH — chert, Chr — chromite, Cpx — clinopyroxene, Fossil — mineralized bone remains (?), Hbl — hornblende, Kfs — potassium feldspar, LMS — limestone, Mag — magnetite, MVD — metavolcanic debris, Qz — quartz, SH — shale, SRP — serpentinite. The frames indicate the areas of elemental mapping.

считается важнейшим критерием морских условий осадконакопления. Детритовые зёрна глауконита могли попасть в зону пляжного осадконакопления из зоны субтайдиали за счёт кратковременных эпизодов увеличения энергетической активности волн, например, при штормах. Аутигенные выделения иллита, по-видимому, сформировались совместно с кальцитовым цементом за счёт содержания в богатом карбонатом растворе растворённых частиц силикатов, либо за счёт растворения детритовых зёрен *in situ*. В таблице 1 приведены представительные рентгеноспектральные микроанализы аллотигенного глауконита и аутигенного иллита.

Помимо кремней среди обломков осадочных пород обычны кварцевые песчаники (тонко- и мелкозернистые), алевролиты (см. рис. 5е), глинисто-гидрослюдистые сланцы, которые часто сложно определить в конкретную группу по составу обломков — осадочную или метаморфическую. Кроме того, встречаются спутанно-волокнистые агрегаты апатита (см. рис. 5 г), вероятно представляющие собой минерализованные костные фоссилии.

Довольно разнообразен состав обломков метаморфических и метасоматических пород. Помимо вышеуказанных с наличием аутигенного иллита, встречаются фрагменты серпентини-

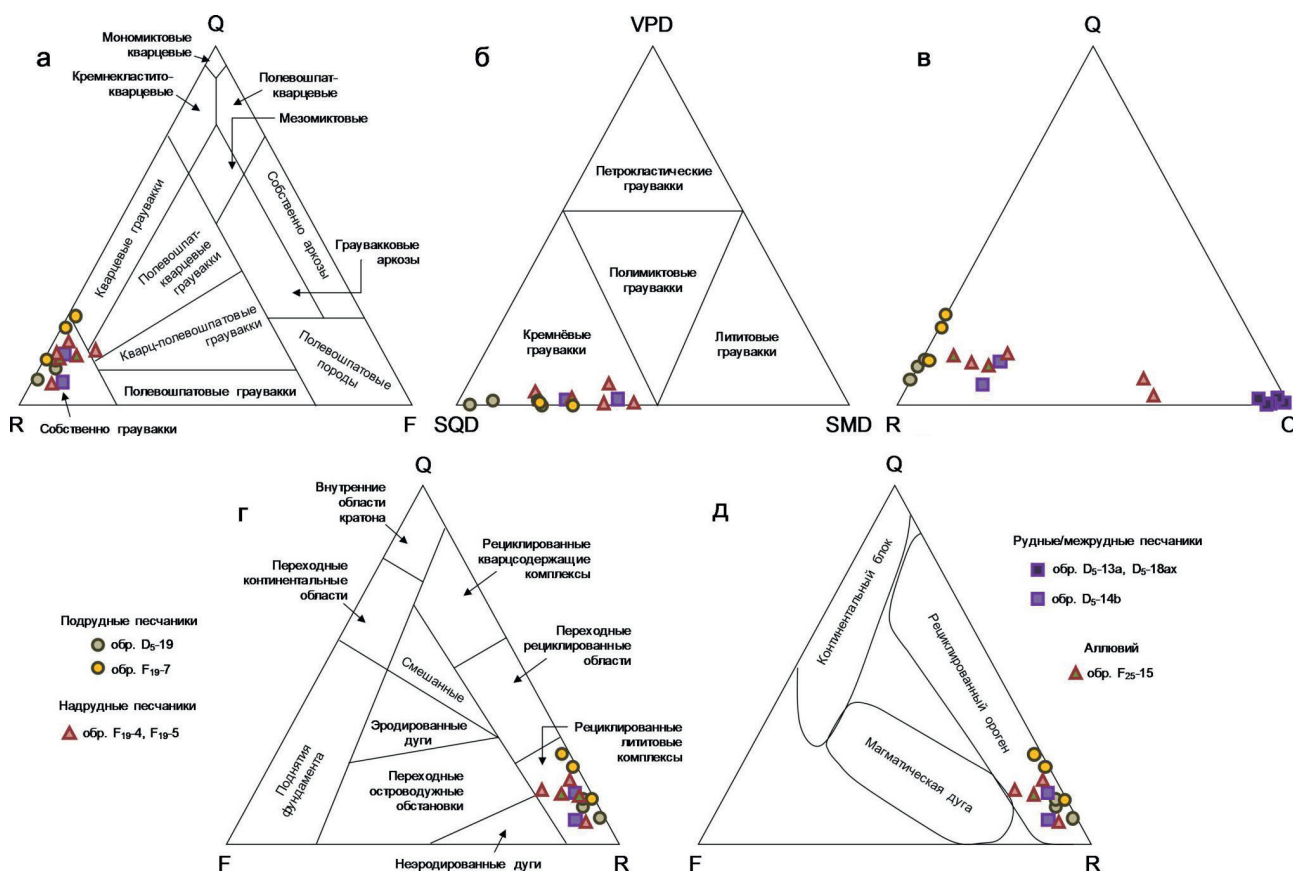


Рис. 4. Классификационные (а–в) и дискриминационные (г, д) диаграммы для песчаников Сабантуйской хромитовой палеороссыпи

Условные обозначения: Диаграммы «Q — R — F» (кварц — обломки пород — полевого шпата) (а) и «VPD — SQD — SMD» (обломки вулканических и плутонических пород — обломки кремней и кварцитов — обломки метаморфических и осадочных пород) (б) с полями по [Шутов, 1967]; диаграмма «Q — R — O» (кварц — обломки пород — рудные минералы) (в) авторская; диаграммы «Q — R — F» (кварц — полевого шпата — обломки пород) (г) и (д) с полями по [Dickinson et al., 1983] и [Dickinson, 1988] соответственно.

Fig. 4. Classification (a–v) and discrimination (r, d) diagrams for sandstones of the Sabantuy chromite paleoplacer

Legend: Diagrams “Q — R — F” (quartz — rock debris — feldspar) (a) and “VPD — SQD — SMD” (volcanic and plutonic debris — chert and quartzite debris — metamorphic and sedimentary debris) (б) with fields according to [Shutov, 1967]; diagram “Q — R — O” (quartz — rock debris — ore minerals) (в) the author’s; diagrams “Q — R — F” (quartz — feldspar — rock debris) (r) and (д) with fields according to [Dickinson et al., 1983] and [Dickinson, 1988], respectively.

Таблица 1. Химический состав глауконита (1, 2) и иллита-браммалита (3–14) из хромитолитов Сабантуйской палеороссыпи (мас. %)
Table 1. Chemical composition of glauconite (1, 2) and illite-brammallite (3–14) from chromitolithes of the Sabantuy paleoplacer (wt. %)

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Сумма
1	50.25		13.98	0.16	12.13	4.49	0.52	0.12	8.07	89.73
2	52.05		7.96		17.02	5.53	0.46		8.48	91.51
3	55.15		19.92				4.03	11.08	1.51	91.68
4	56.31	0.22	20.82		0.3		0.27	12.75	0.07	90.73
5	56.46		20.6				0.34	10.84	1.31	89.54
6	48.03		17.36		0.17		8.65	9.57	1.08	84.86
7	58.9		20.46				0.1	10.8	2.02	92.28
8	58.1		21.88				0.41	12.52	1.23	94.14
9	51.97		18.52				5.83	10.5	1.26	88.08
10	54.06		19.58				3.02	9.38	1.05	87.09
11	52.67		18.72				3.13	10.51	1.05	86.09
12	51.69		18.65				7.02	10.65	1.04	89.05
13	56.22		20.77		0.27		1.33	11.74	1.19	91.52
14	59.32		20.88©				0.48	12.58		93.26

Примечание: пустая клетка — ниже предела обнаружения (здесь и далее).

Note: empty sell — below detection limit (hereinafter).

тов (см. рис. 6а), иногда в сростании с хромитом (см. рис. 6б), гранатовых метасоматитов, вероятно скарновой природы (см. рис. 6в), но наиболее распространены обломки зелёных сланцев (см. рис. 6 г — е), сложенных хлоритом-диабантином и реже кварцем. Кроме того, встречаются обломки метавулканитов — метасоматизированных андезибазальтов (?) с реликтовой пилотакситовой или интерсертальной структурой и полным замещением магматических минералов низкотемпературными метасоматическими фазами (см. рис. 6е). К обломкам магматических пород можно отнести редкие обломки микрогаббро (см. рис. 6а) и вулканитов (слабо- и умеренно-метасоматизированных) (см. рис. 6д, 6ж). Изредка встречаются довольно экзотичные обломки, как например обломков роговой обманки с обильными округлыми включениями ильменита (см. рис. 6з) — вероятно из магматических титановых руд.

В тяжёлой фракции хромитолитов рудные минералы составляют 89–98%, остальное — Mg-Fe силикаты (рис. 7а — з). Преобладают зёрна хромита, магнетита и ильменита, реже встречаются титаномагнетит, титанит, рутил, циркон. Окатанность чаще всего слабая, хорошая окатанность характерна некоторым зёрнам циркона (см. рис. 7б). Согласно [Рахимов и др., 2024] окатанные зёрна

циркона в Сабантуйской залежи редки и имеют докембрийский возраст, тогда как большинство зёрен не окатаны и имеют девонский возраст. Для точной оценки соотношений рудных минералов между собой построены и обработаны карты ЭДС (рис. 8–10). При этом важно отметить, что около трети зёрен имеют сложную внутреннюю структуру, обусловленную зональностью, включениями, замещением (рис. 11). В случае сложнотитановых зёрен в расчёт принималась доминирующая фаза. К примеру, встречаются агрегаты замещения титаномагнетита гётитом с реликтовым ильменитом и включениями хлорита с рутилом (см. рис. 11а). Ильменит бывает замещён титанитом и рутилом (см. рис. 11б). В титаномагнетите и ильмените нередко встречаются включения апатита (см. рис. 11в) или силикатов (см. рис. 11 г). В хромите также нередко обнаруживаются включения магматических или метасоматических минералов (см. рис. 11 г). Сами зёрна хромита часто имеют пятнистую зональность (см. рис. 11д, 11е), обусловленную вариациями содержания Cr, Fe, Al. Более подробные данные о составе включений и о внутреннем строении хромита приведены в работах [Rakhimov et al., 2021; Рахимов, 2022а, 2022б]. Большая часть таких замещений, вероятно, произошла в самом источнике детрита,

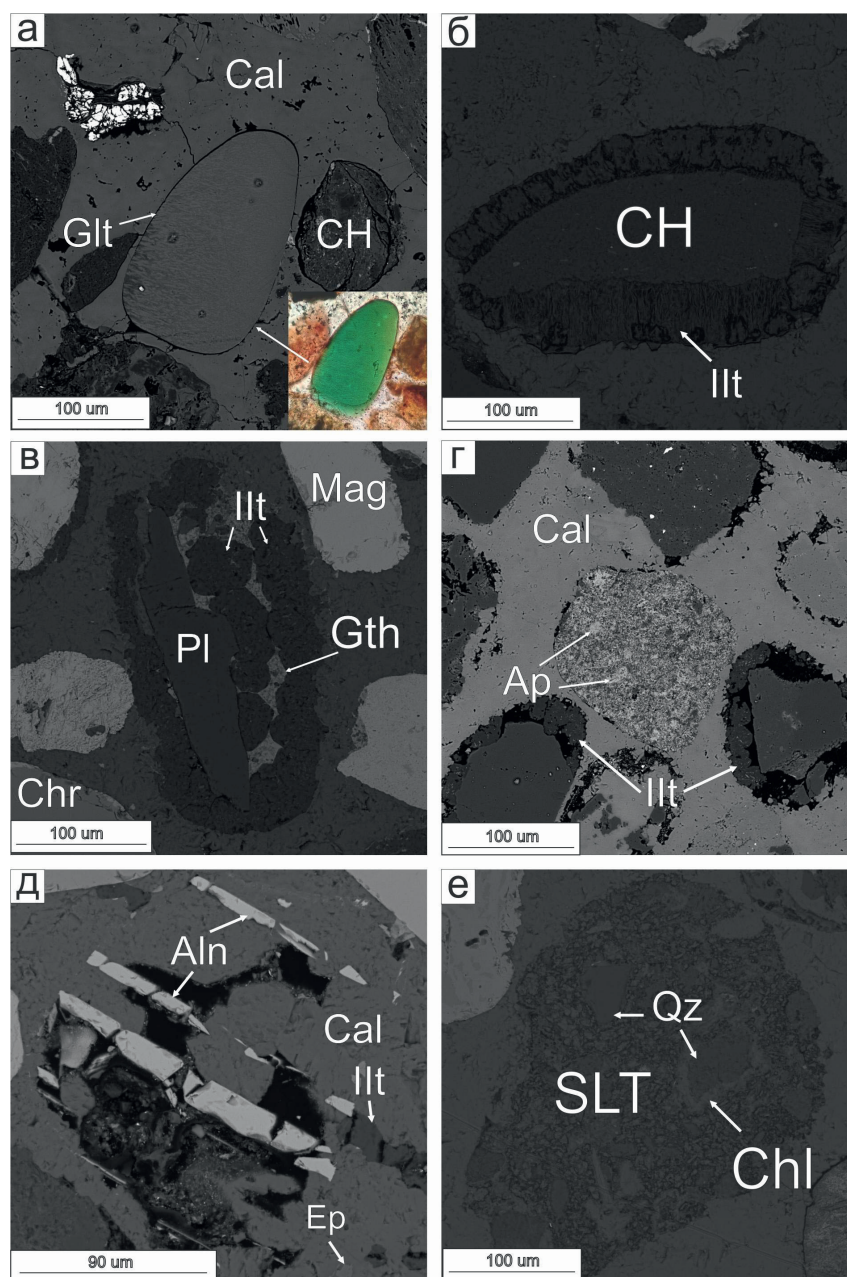


Рис. 5. Электронные изображения различных обломков минералов и пород в песчаниках Сабантуйской палеороссыпи

Условные обозначения: а — окатанное зерно глауконита (с врезкой оптической микрофотографии), б — окатанный обломок кремня с оторочкой иллита, в — обломок метасоматической породы с аутигенными гётитом и иллитом, г — минерализованная костная фоссилия? (спутанно-волоконистый апатит) и оторочки иллита вокруг разных зёрен, д — обломок метасоматической породы с вкраплениями алланита и эпидота (матрица замещена кальцитом и иллитом), е — обломок алевролита с хлоритовым цементом. Aln — алланит, Ap — апатит, Cal — кальцит, CH — кремень, Chl — хлорит, Ep — эпидот, Gth — гётит, Illt — иллит, Pl — плагиоклаз, Qz — кварц, SLT — алевролит.

Fig. 5. Electron images of various mineral and rock fragments in the Sabantuy paleoplacer sandstones

Legend: a — rounded grain of glauconite (with an inset optical micrograph), б — rounded chert with a illite rim, в — a fragment of metasomatic rock with authigenic goethite and illite, г — mineralized bone fossil? (tangled-fibrous apatite) and rims of illite around different grains, д — metasomatic rock with inclusions of allanite and epidote (the matrix is replaced by calcite and illite), е — siltstone having chlorite cement. Aln — allanite, Ap — apatite, Cal — calcite, CH — chert, Chl — chlorite, Ep — epidote, Gth — goethite, Illt — illite, Pl — plagioclase, Qz — quartz, SLT — siltstone.

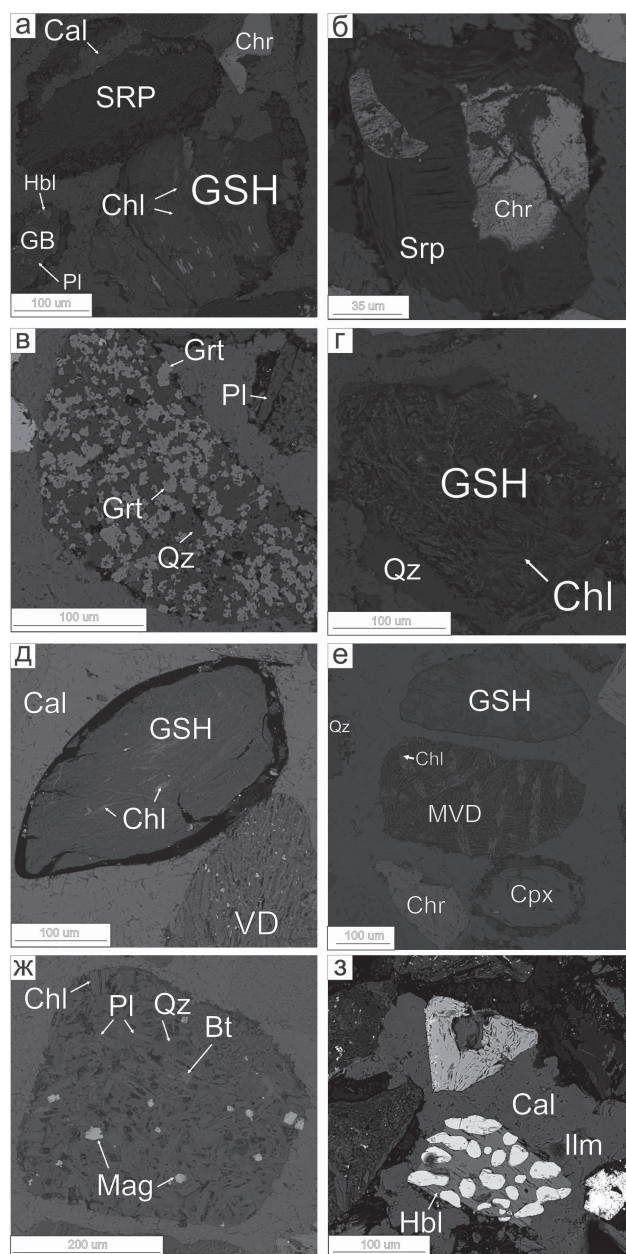


Рис. 6. Электронные изображения различных обломков пород в песчаниках Сабантуйской палеороссыпи

Условные обозначения: а — обломки серпентинита, зелёного сланца и микрогаббро, б — обломок серпентинита с хромитом, в — обломок кварц-гранатового (скарноид?), г — обломок кварц-хлоритового (зелёного) сланца, д — обломки хлоритового (зелёного) сланца и вулканита (андезибазальта?), е — обломки метавулканита, зелёного сланца, клинопироксена и хромита, ж — обломок вулканита (андезибазальта?), з — обломок роговой обманки с включениями ильменита. Bt — биотит, Cal — кальцит, Chl — хлорит, Chr — хромит, Cpx — клинопироксен, GB — габбро, GCH — зелёный сланец, Grt — гранат, Hbl — роговая обманка, Ilm — ильменит, Mag — магнетит, MVD — метавулканит, Pl — плагиоклаз, Qz — кварц, SRP — серпентинит, Srp — серпентин, VD — вулканит.

Fig. 6. Electron images of various rock fragments in the sandstones of the Sabantuy paleoplacer

Legend: a — serpentinite, greenschist and microgabbro, б — serpentinite with chromite, в — quartz-garnet rock (skarnoid?), г — quartz-chlorite (green) schist, д — greenschist and volcanic rock (basaltic andesite?), е — metavolcanic rock, greenschist, clinopyroxene and chromite, ж — volcanic rock (basaltic andesite?), з — hornblende with ilmenite inclusions. Bt — biotite, Cal — calcite, Chl — chlorite, Chr — chromite, Cpx — clinopyroxene, GB — gabbro, GCH — greenschist, Grt — garnet, Hbl — hornblende, Ilm — ilmenite, Mag — magnetite, MVD — metavolcanic debris, Pl — plagioclase, Qz — quartz, SRP — serpentinite, Srp — serpentine, VD — volcanic debris.

но часть изменений, например, окисление каймы минералов, могла произойти при транспортировке или в зоне седиментации при диагенетическом преобразовании осадков.

Элементное картирование выборочных зон хромитолитов и граувакк выполнено с целью определить соотношения главных рудных минералов между собой в разных литоструктурных элементах пород — в «массивных» хромитолитах, тонкополосчатых песчаниках, единичных прослоях хромитолитов и выклинивающихся ответвлениях (рис. 8а — г, рис. 9а — г). Это позволяет оценить не только характер поступления рудного материала в область седиментации, но и морфодинамические свойства рудных зёрен. По результатам картирования выполнены количественные расчёты (табл. 2). Хромит преобладает в объёме рудной фракции (40–69%, в среднем 53%), а на втором месте находится магнетит — 17–31%, среднее 25%. Отдельно рассчитано количество хроммагнетита — 0–8%, среднее 4%. Третий по распространённости — ильменит с диапазоном вариаций 5–22%, среднее 12%. Также существенно содержание титаномагнетита (1–12%, среднее 3%), остальные же минералы (титанит, рутил, псевдобрукит, гётит) суммарно составляют ~3%. Гётит редко слагает цельнозерновой детрит, а чаще встречается лишь в виде пятен и жил в магнетите и др. Таким образом, Сабантуйская палеороссыпь является ильменит-магнетит-хромитовой, но ввиду заметного преобладания хромита может упрощённо называться хромитовой.

Наибольшие количественные вариации хромита и магнетита прослежены вдоль единого прослоя хромитолита в обр. F₂₅–15 (см. рис. 3в), в котором также велики вариации по остальным минералам. Достаточно широки вариации по соотношениям рудных минералов и в отдельных прослойках в обр. F₁₉–1 с ритмичным переслаиванием (см. рис. 3а) вдоль одной линии разреза. Тогда как вариации между образцами или разными литоструктурными элементами (например, между толстыми слоями хромитолита и отдельными тонкими выклинивающимися и ответвляющимися слойками) менее значимы. Это наблюдение свидетельствует о ведущем факторе волновой активности в распределении рудных зёрен в рудном пласте. Т. е. распределение зёрен по плотности происходило в соответствии с возрастанием/снижением энергии волн. В обр. F₂₅–15 с утолщением прослоя количество хромита уменьшалось, а ильменита и магнетита увеличивалось. В пере-

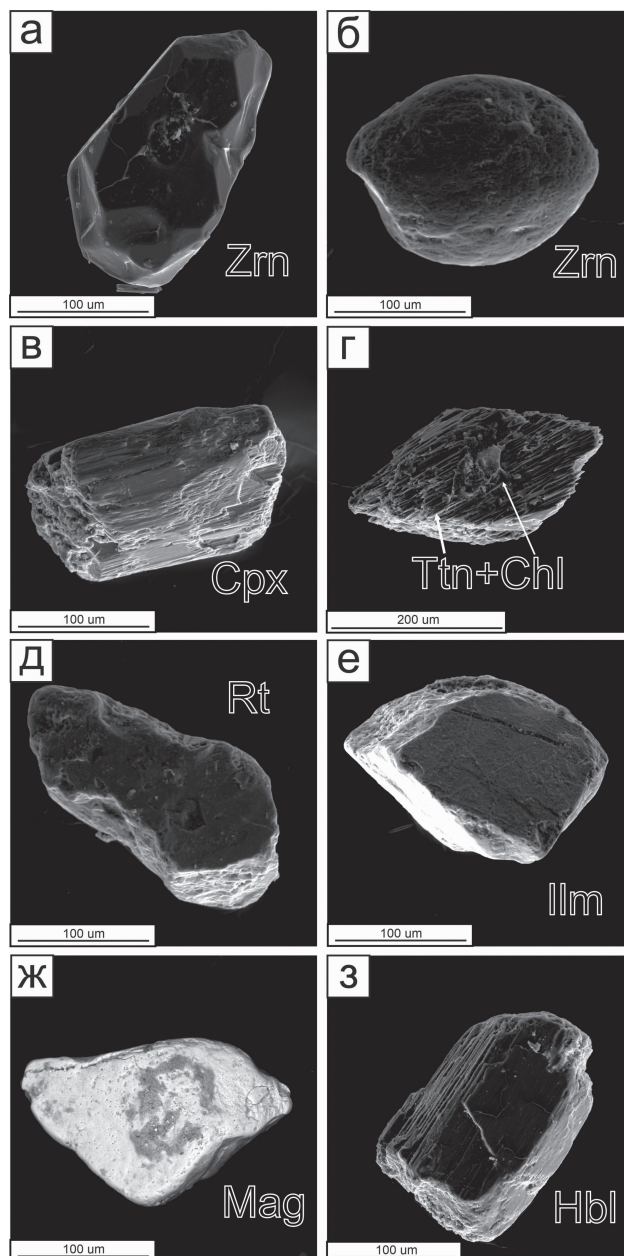


Рис. 7. Электронные фотографии детритовых зёрен тяжёлой фракции хромитолитов Сабантуйской палеороссыпи (обр. F19-3)

Условные обозначения: Chl — хлорит, Cpx — клинопироксен, Hbl — роговая обманка, Ilm — ильменит, Mag — магнетит, Rt — рутил, Ttn — титанит, Zrn — циркон.

Fig. 7. Electron images of detrital heavy minerals from the Sabantuy paleoplacer (sample F19-3).

Legend: Chl — chlorite, Cpx — clinopyroxene, Hbl — hornblende, Ilm — ilmenite, Mag — magnetite, Rt — rutile, Ttn — titanite, Zrn — zircon.

Таблица 2. Количественные соотношения рудных минералов по результатам элементного ЭДС-картирования хромитолитов Сабантуйской палеороссыпи
Table 2. Proportions of ore minerals based on the results of elemental EDS mapping of the chromitilites of the Sabantuy paleoplacer

Хромитолиты								
Индекс карты	Chr	Mag	Cr-Mag	Ilm	Rt	Ti-Mag	Ttn	Psb
F ₂₅ -15 (рис. 9в)	51.21	30.49	3.05	11.59	0.61	1.22	1.83	0.00
F ₂₅ -15 (рис. 9 г)	40.47	29.37	7.94	15.87	3.57	1.19	0.40	1.19
F ₂₅ -15 (К2)	55.86	29.31	1.72	7.24	0.69	2.07	2.07	1.03
F ₂₅ -15 (К4)	55.29	29.33	4.33	4.81	3.36	1.92	0.48	0.48
F ₂₅ -15 (К6)	69.29	16.93	1.57	7.78	1.57	1.97	0.79	0.00
F ₁₉ -1 (рис. 9а)	41.79	26.05	5.47	22.19	0.32	2.25	0.64	1.29
F ₁₉ -1 (К2)	55.26	22.10	5.27	13.42	0.52	1.58	0.79	1.06
F ₁₉ -1 (К3)	54.70	21.78	1.98	17.82	0.25	2.48	0.99	0.00
F ₁₉ -1 (К4)	57.38	25.90	1.31	4.92	1.31	1.64	0.33	7.21
D ₅ -18ах (рис. 9б)	46.69	22.91	2.20	7.05	0.88	12.34	2.64	5.29
D ₅ -18ах (К2)	51.37	25.00	3.89	16.39	0.56	1.67	0.56	0.56
D ₅ -18ах (К3)	51.44	28.29	3.56	12.25	0.45	1.11	1.56	1.34
F ₁₉ -3 (рис. 8б)	52.08	31.25	0.00	11.46	0.00	5.21	0.00	0.00
F ₁₉ -3 (рис. 8в)	56.77	23.23	4.04	13.74	0.81	1.01	0.40	0.00
F ₁₉ -3 (рис. 8 г)	49.92	29.47	2.78	15.71	0.33	0.65	0.16	0.98
F ₁₉ -3 (К1)	53.89	19.97	5.52	16.56	0.00	1.95	0.97	1.14
F ₁₉ -3 (К9)	56.92	20.51	6.15	8.21	0.51	4.62	1.03	2.05
Среднее значение	52.96	25.41	3.58	12.18	0.93	2.64	0.92	1.39
Средние значения по образцам								
Обр.	Chr	Mag	Cr-Mag	Ilm	Rt	Ti-Mag	Ttn	Psb
F ₂₅ -15	54.42	27.09	3.72	9.46	1.96	1.67	1.11	0.54
F ₁₉ -1	52.28	23.96	3.51	14.59	0.60	1.99	0.69	2.39
D ₅ -18ах	49.83	25.40	3.22	11.90	0.63	5.04	1.59	2.40
F ₁₉ -3	53.92	24.89	3.70	13.14	0.33	2.69	0.51	0.83
Вмещающая граувакка								
F ₂₅ -15 (рис. 10а)	46.54971	23.62573		16.60819	3.274854		9.94152	
F ₂₅ -15 (рис. 10б)	35.71429	35.71429		7.142857	14.28571		7.142857	

Примечание: Chr — хромит, Cr-Mag — хромомagnetит, Ilm — ильменит, Psb — псевдобрукит, Rt — рутил, Ti-Mag — титаномагнетит, Ttn — титанит.

Note: Chr — chromite, Cr-Mag — chromium magnetite, Ilm — ilmenite, Psb — pseudobrookite, Rt — rutile, Ti-Mag — titanomagnetite, Ttn — titanite.

численном ряду происходит постепенное увеличение плотности минералов (от 4.5 до 5.2 г/см³), что вероятно указывает на максимальное накопление хромита в области затухания энергии волн.

Состав хромшпинелида из разных образцов подробно рассмотрен в работах [Рахимов и др., 2020; Rakhimov et al., 2021; Rakhimov et al., 2022]. В текущей работе дополнительно приведены новые анализы по хромиту, а также впервые рассмо-

трены составы магнетита, ильменита и др. рудных минералов (табл. 3, 4). Фигуративные точки хромита на треугольной диаграмме Cr³⁺ — Al³⁺ — Fe³⁺+Ti (рис. 12а) образуют непрерывный тренд между Cr и Al, меньшая часть точек распределяется вдоль грани Cr — Fe. Между разными образцами какие-либо закономерности в вариациях состава хромита не выявлены. На треугольной диаграмме TiO₂ — FeO — Fe₂O₃ (см. рис. 3б) отражены поло-

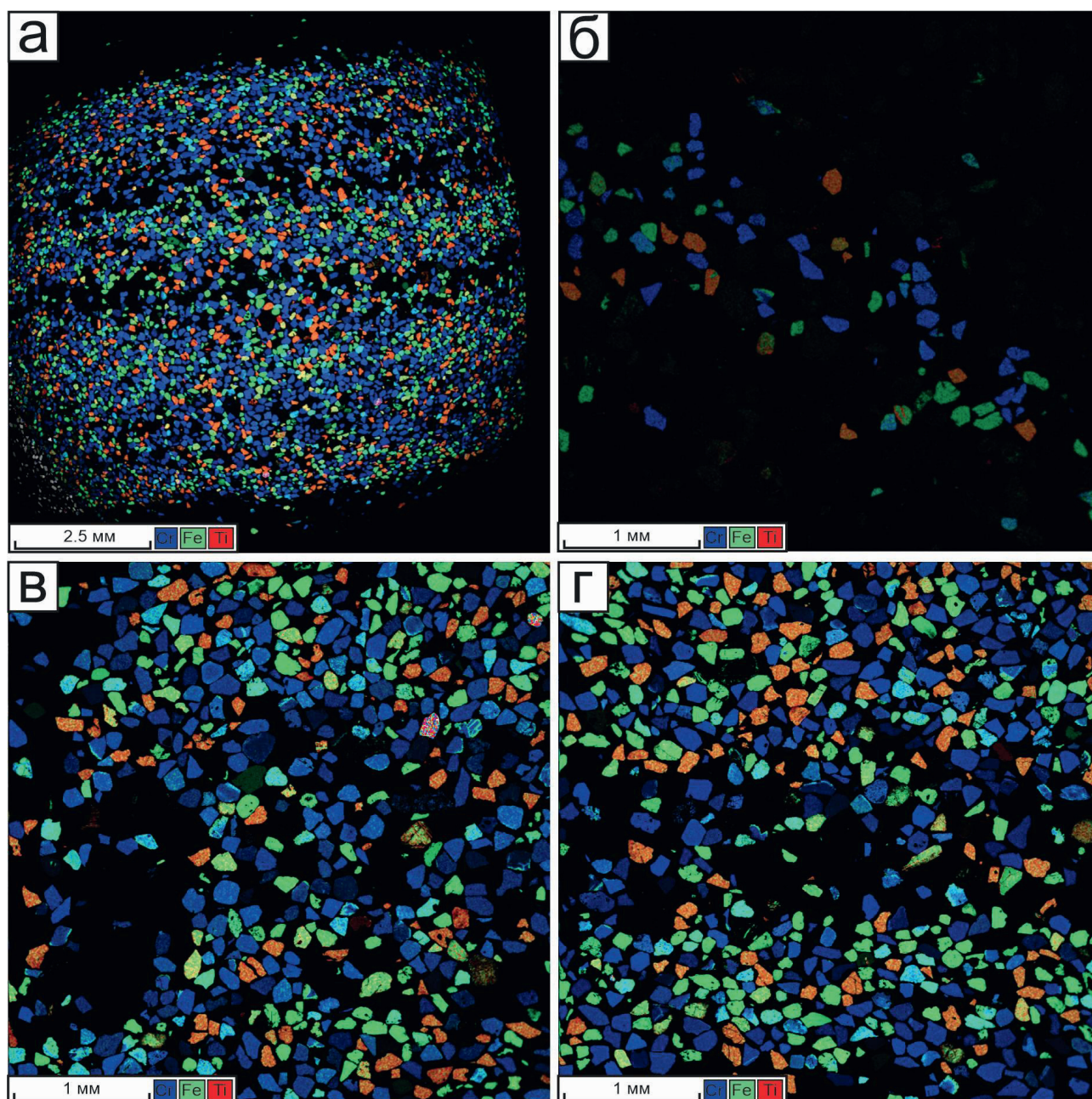


Рис. 8. Элементные карты ЭДС хромитолита (обр. F19-3) Сабантуйской палеороссыпи, иллюстрирующие распределение Cr, Fe и Ti

Условные обозначения: а — «массивный» хромитолит с прослоями «безрудного» песчаника, б — секущее ответвление, в, г — прослой «безрудного» песчаника в «массивном» хромитолите. Локализация площадей картирования показана на рис. 3б.

Fig. 8. Elemental EDX-maps of chromitite (sample F19-3) from the Sabantuy paleoplacer, illustrating the distribution of Cr, Fe and Ti

Legend: а — “massive” chromitolite with interlayers of “barren” sandstone, б — cross-cutting branch, в, г — interlayers of “barren” sandstone in “massive” chromitolite. The localization of the mapping areas is shown in Fig. 3б.

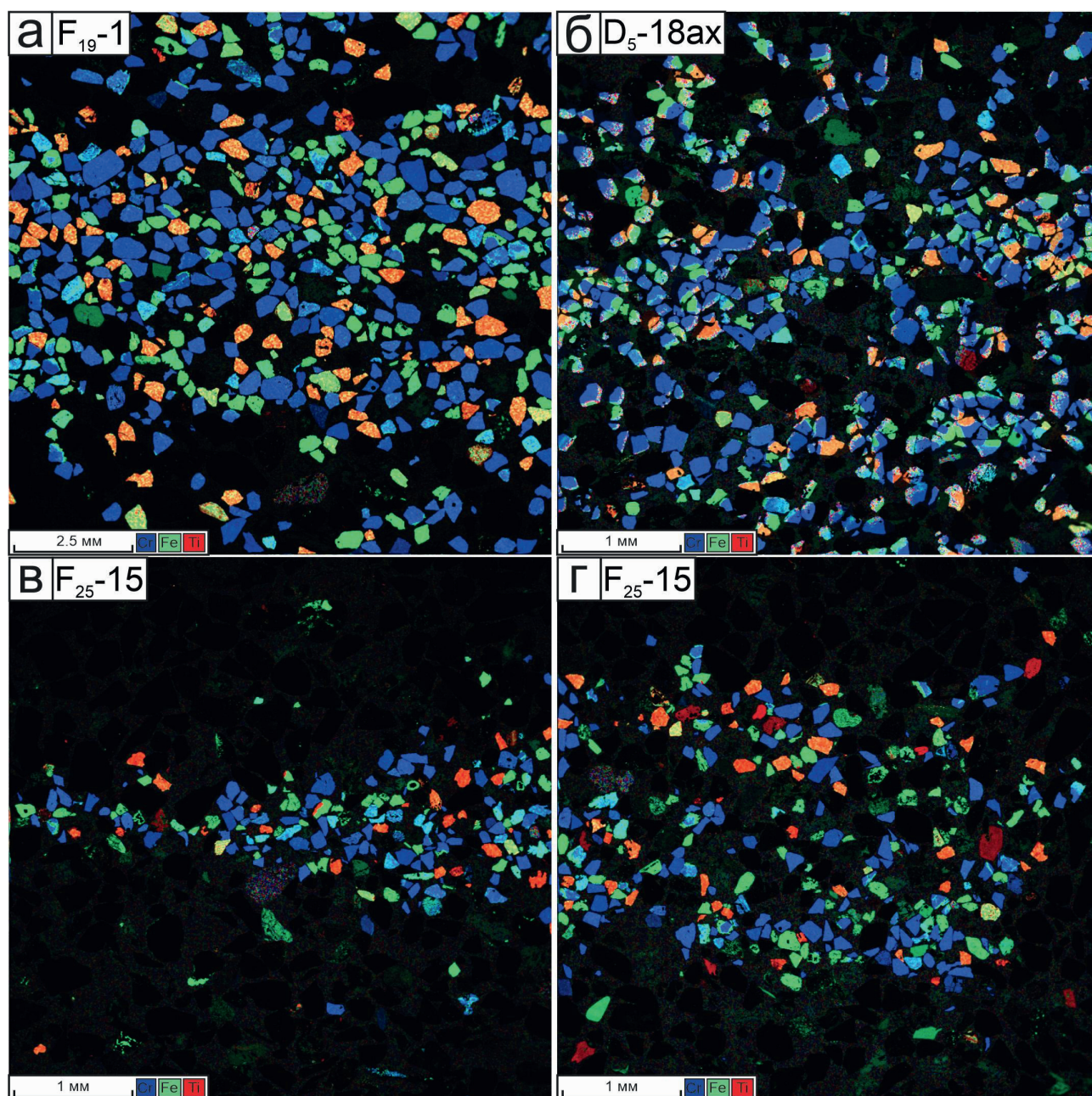


Рис. 9. Элементные карты ЭДС хромитолитов Сабантуйской палеороссыпи, иллюстрирующие распределение Cr, Fe и Ti

Условные обозначения: а, б — прослой хромитолита в полосчатом рудном песчанике, в, г — единственный выклинивающийся прослой хромитолита в граувакке. Локализация площадей картирования показана на рис. 3а, 3в, 3 г.

Fig. 9. Elemental EDX-maps of chromitolites from the Sabantuy paleoplacer, illustrating the distribution of Cr, Fe, and Ti

Legend: а, б — chromitolite interlayers in banded ore sandstone, в, г — a single wedging-out chromitolite interlayer in graywacke. The localization of the mapping areas is shown in Fig. 3а, 3в, and 3 г.

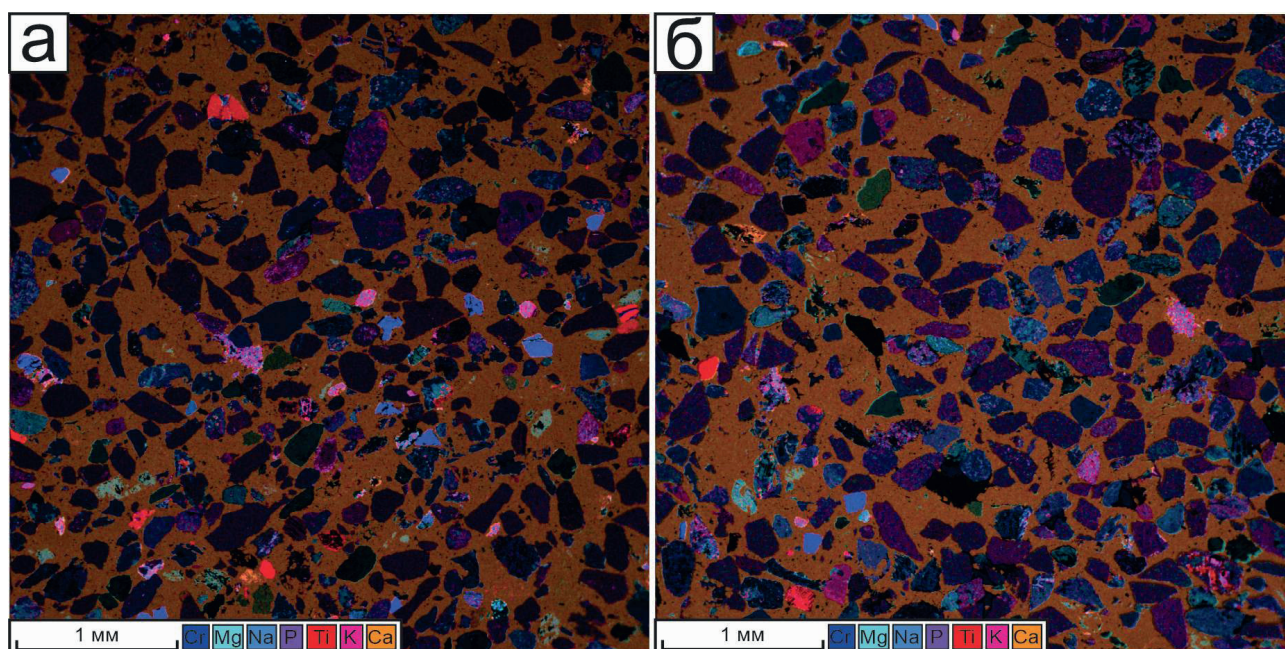


Рис. 10. Элементные карты ЭДС граувакки, вмещающей прослой хромитолита (обр. F25-15), иллюстрирующие распределение Cr, Mg, Na, P, Ti, K и Ca

Fig. 10. Elemental EDX-maps of the greywacke hosting the chromitilite layer (sample F25-15), illustrating the distribution of Cr, Mg, Na, P, Ti, K and Ca

жения точек Fe — Ti оксидов, иллюстрирующих широкие вариации составов серий псевдобрукита, титаногематита и титаномagnetита по содержанию гематитового минерала. Ильменит выдержан по составу, но расчётный гематитовый минерал в отдельных анализах достигает 12 мол. %. Такие составы Fe — Ti оксидов скорее указывают на гетерогенность их коренных источников (например, различных базитовых ассоциаций).

Среди обломков силикатных минералов, содержащих хромитолиты, чаще всего встречаются амфибол (обычно роговая обманка), клинопироксен и плагиоклаз. Амфибол соответствует магнезиально-железистой роговой обманке, магнезиогастингситу и паргаситу, реже эдениту. Клинопироксен выдержан по составу и отвечает низкотитанистому диопсиду. Оба минерала ранее подробно рассматривались в работе [Рахимов, 2022а], по составу они перекрываются с минералами офиолитовых ассоциаций.

Плагиоклаз и калиевый полевой шпат встречаются в виде обломков кристаллов неясного габитуса, слабой и умеренной окатанности в хромитолитах и реже в граувакках. Их составы приведены в таблице 5. Плагиоклаз охватывает поля андезина, олигоклаза и альбита (см. рис. 12в). Ка-

лиевый полевой шпат часто содержит альбитовый минерал (до 22 мол. %).

Гранат встречается в виде единичных идиоморфных зёрен слабой окатанности, достигая 1 % объёма тяжёлой фракции хромитолитов (в обр. F₂₅-15). По составу гранат варьирует очень широко — от спессартина к альмандину и пиропу (см. рис. 12 г, табл. 6). С цельнозерновым детритовым гранатом сопоставлены анализы граната из обломков минеральных агрегатов. В целом для объяснения происхождения граната достаточно привлечения двух источников — метасоматического (скарны, родингиты или известково-силикатные породы) и амфиболитового (см. рис. 12 г). Однако нельзя исключить того, что часть граната могла иметь иной источник — из гранулитов, голубых сланцев или пород офиолитовой ассоциации. Для уточнения этого вывода следует существенно нарастить выборку по составу детритового граната.

Источники терригенного материала и обстановки седиментации

На дискриминационных диаграммах Дикинсона (см. рис. 4 г, 4д) изученные песчаники попа-

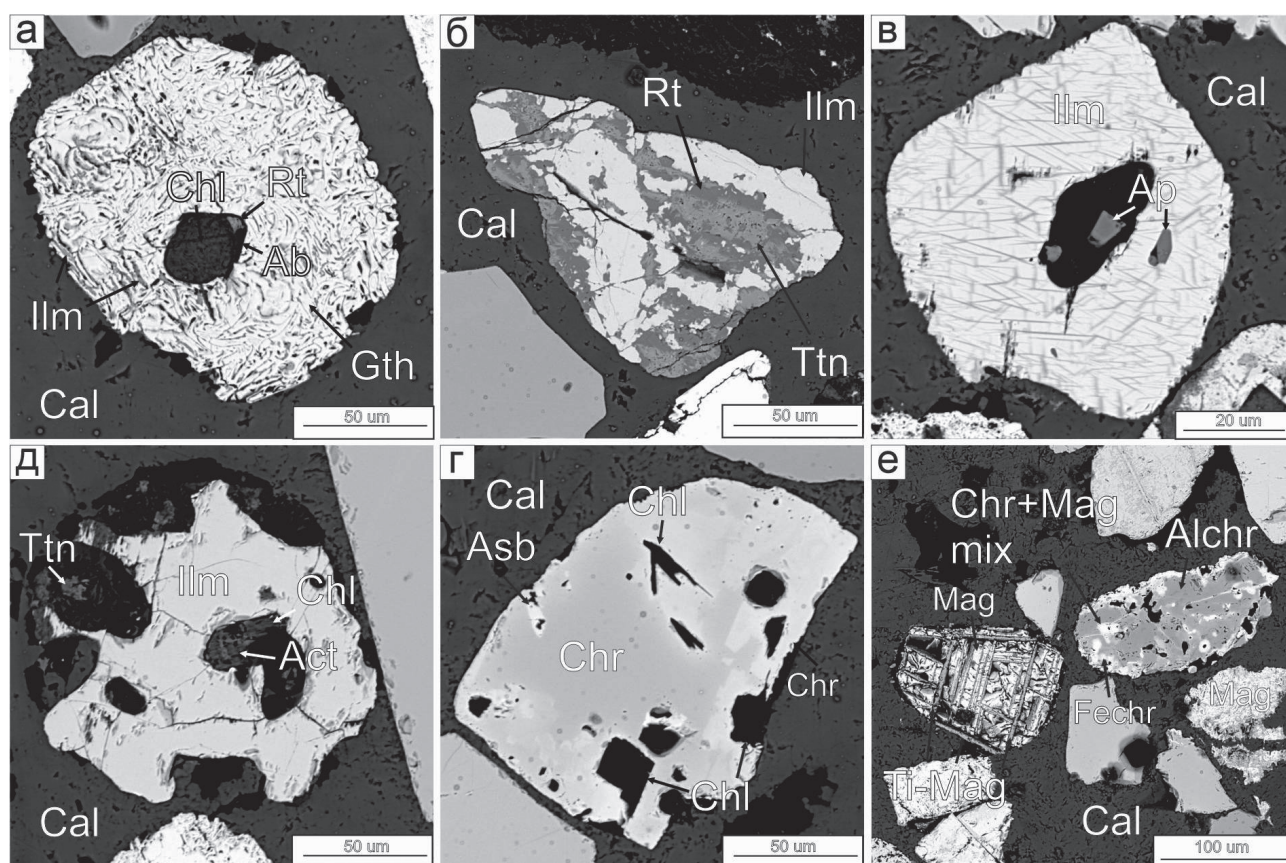


Рис. 11. Электронные изображения неоднородных рудных зёрен Сабантуйской палеороссыпи

Условные обозначения: а — псевдоморфоза гётита по титаномagnetиту, б — частичное замещение ильменита титанитом и рутилом, в — включения апатита в ильмените, г — включения метасоматических минералов в ильмените, д — пятнистая зональность зерна хромита и включения хлорита в нём, е — пятнистая зональность зерна хромита.

Ab — альбит, Act — актинолит, Alchr — алюмохромит, Ap — апатит, Asb — асболан, Cal — кальцит, Chl — хлорит, Chr — хромит, Fechr — феррихромит, Gth — гетит, Ilm — ильменит, Mag — магнетит, Rt — рутил, Ti-Mag — титаномagnetит, Ttn — титанит.

Fig. 11. Electron images of heterogeneous ore grains from the Sabantuy paleoplacer

Legend: a — pseudomorphosis of goethite after titanomagnetite, б — partial replacement of ilmenite by titanite and rutile, в — inclusions of apatite in ilmenite, г — inclusions of metasomatic minerals in ilmenite, д — spotted zoning of chromite grain and inclusions of chlorite in it, е — spotted zoning of chromite grain.

Ab — albite, Act — actinolite, Alchr — aluminochromite, Ap — apatite, Asl — asbolane, Cal — calcite, Chl — chlorite, Chr — chromite, Fechr — ferrichromite, Gth — goethite, Ilm — ilmenite, Mag — magnetite, Rt — rutile, Ti-Mag — titanomagnetite, Ttn — titanite.

Таблица 3. Химический состав шпинелидов из хромитолитов Сабантуйской палеороссыпи (мас. %)
Table 3. Chemical composition of spinel-group minerals from chromitolites of the Sabantuy paleoplacer (wt. %)

Компонент	Образец												
	D ₅ -13a					D ₅ -13ax			D ₅ -18ax				
SiO ₂				0.21		1.09	0.19	0.17		1.46		0.21	0.24
TiO ₂		4.14	6.31	27.57	37.43				0.27	0.38	0.28		7.97
Al ₂ O ₃		1.23	2.51	2.12	1.19	0.23				1.58		0.45	1.11
Cr ₂ O ₃	2.60				0.26		25.81	6.09	1.77	16.23	32.04		0.18
V ₂ O ₅			0.82	0.29	0.31				0.09			0.87	0.50
FeO	92.77	85.32	84.45	66.60	56.86	93.19	62.67	84.95	88.51	69.63	59.68	92.10	81.71
MnO	0.22	2.09	0.52	0.83	1.33		1.51	0.19			4.34		0.31
MgO	0.23	0.95		0.23	0.35		4.03	1.36		2.20			0.95
CaO	0.59	0.14		0.24	0.25	0.34	0.13	0.22	0.12	0.48	0.21	0.28	0.25
ZnO		0.57					0.32				1.13		
CoO	0.64	0.47	0.36				0.38	0.41					
NiO		0.24					1.13	0.62		0.44			0.25
Сумма	97.05	95.15	94.96	98.10	97.99	94.85	96.17	94.02	90.77	92.39	97.68	93.92	93.47
Ф. е.	O = 4												
Ti		0.12	0.18	0.77	1.06				0.01	0.01	0.01		0.23
Al		0.05	0.11	0.09	0.05	0.01				0.07		0.02	0.05
Cr	0.08				0.01		0.75	0.18	0.06	0.49	0.95		0.01
Fe (iii)	1.92	1.71	1.51	0.34		1.91	1.24	1.80	1.93	1.31	1.04	1.94	1.45
Fe (ii)	0.94	0.95	1.15	1.73	1.79	1.03	0.68	0.88	1.00	0.91	0.83	1.00	1.16
Mn	0.01	0.07	0.02	0.03	0.04		0.05	0.01			0.14		0.01
Mg	0.01	0.05		0.01	0.02		0.22	0.08		0.12			0.05
Cr#					13					87			10

Примечание: Cr# = (100*Cr/ (Cr+Al) мол.).

Note: Cr# = (100*Cr/ (Cr+Al) mol.).

Продолжение таблицы 3.
Continuation of Table 3.

Компонент	Образец												
	F ₁₉ -1									F ₁₉ -3		F ₂₅ -15	
SiO ₂						0.17			0.22	0.42	0.17	0.26	0.70
TiO ₂				0.44		0.41			0.14	6.30	17.84	0.25	3.60
Al ₂ O ₃	39.32	18.66	20.04	37.22	4.86	1.94	27.05	11.52		2.51	3.13		0.83
Cr ₂ O ₃	26.90	53.16	45.31	29.10	64.74	42.75	38.92	53.83	0.30				
V ₂ O ₅			0.24			0.34	0.22			0.56	2.06		1.09
FeO	13.98	15.05	19.99	14.97	19.21	45.12	18.51	27.47	90.56	84.57	70.94	93.04	82.88
MnO										0.88	0.44		
MgO	16.07	13.64	8.94	17.55	7.83	3.33	11.69	5.36	0.72			0.89	
CaO			0.25			0.26		0.12	0.11	0.14		0.16	0.24
ZnO	0.22		0.75		0.23	0.27	0.33	0.38					
CoO									0.61				
NiO				0.27					0.46				
Сумма	96.49	100.51	95.52	99.54	96.86	94.59	96.72	98.68	93.11	95.38	94.58	94.60	89.33
Ф. е.	O = 4												
Ti				0.01		0.01				0.18	0.51	0.01	0.11
Al	1.34	0.68	0.78	1.24	0.20	0.09	1.00	0.47		0.11	0.14		0.04
Cr	0.62	1.30	1.19	0.65	1.81	1.27	0.96	1.46	0.01				
Fe (iii)	0.04	0.02	0.02	0.09		0.60	0.04	0.08	1.97	1.49	0.76	1.97	1.65
Fe (ii)	0.30	0.37	0.53	0.26	0.57	0.81	0.45	0.71	0.93	1.16	1.50	0.96	1.13
Mn										0.03	0.01		
Mg	0.69	0.63	0.44	0.74	0.41	0.19	0.54	0.27	0.04			0.05	
Cr#	31	66	60	34	90	94	49	76					

Таблица 4. Химический состав Fe-Ti оксидов из хромитолитов Сабантуйской палеороссыпи (мас. %)
Table 4. Chemical composition of Fe-Ti-oxide minerals from chromitilites of the Sabantuy paleoplacer (wt. %)

Компонент	Псевдобрукит					Ильменит				
	обр. D ₅ -13a	обр. D ₅ -13ax	обр. F ₂₅ -15			обр. D ₅ -13ax			обр. D ₅ -18ax	
SiO ₂		0.41	0.17	0.25	0.57					
TiO ₂	57.76	54.63	59.89	57.2	63.72	50.93	51.69	51.88	51.83	51.91
Al ₂ O ₃		0.23	0.18	0.18	0.15	0.34			0.14	0.19
V ₂ O ₅	0.44	0.53		0.71		0.74	0.35			0.59
FeO	41.59	37.37	36.04	36.25	24.56	45.83	47.77	45.95	46.50	45.05
MnO		4.07	1.26	4.79	8.71	0.65	0.54	1.46	0.63	2.92
MgO			1.65			1.96	0.58	0.18		0.68
CaO	0.35	0.17	0.09		0.17		0.13	0.70		0.17
Сумма	100.15	97.40	99.29	99.37	97.88	100.43	101.06	100.18	99.10	101.51
Ф. е.	O = 5					O = 3				
Si		0.02	0.01	0.01	0.02					
Ti	1.65	1.60	1.71	1.65	1.87	0.95	0.97	0.98	0.99	0.96
Al		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01			0.00	0.01
V	0.01	0.01		0.02		0.01	0.01			0.01
Fe ⁽ⁱⁱⁱ⁾	0.66	0.71	0.57	0.62	0.20	0.06	0.05	0.04	0.01	0.04
Fe ⁽ⁱⁱ⁾	0.66	0.50	0.58	0.54	0.60	0.88	0.94	0.92	0.98	0.89
Mn		0.13	0.04	0.16	0.29	0.01	0.01	0.03	0.01	0.06
Mg			0.09			0.07	0.02	0.01		0.03
Ильменит										
Компонент	обр. F ₁₉ -1					обр. F ₁₉ -3				обр. F ₂₅ -15
SiO ₂					0.12					0.17
TiO ₂	51.02	48.80	52.53	49.04	50.64	48.86	52.01	51.19	53.34	51.19
Al ₂ O ₃		0.39			0.11					
V ₂ O ₅				0.95						0.71
FeO	47.64	46.28	47.61	45.24	46.31	48.78	46.82	47.76	45.59	44.70
MnO	0.49	1.33	0.94	0.92	0.83	1.88	0.56	0.49	0.63	0.68
MgO	0.85	4.25			1.13		0.75			1.63
CaO		0.13		0.09	0.19					
Сумма	100.00	101.18	101.08	96.24	99.34	99.51	100.15	99.44	99.57	99.08
Ф. е.	O = 3									
Si					<0.01					<0.01
Ti	0.96	0.88	0.99	0.97	0.96	0.93	0.98	0.98	1.02	0.97
Al		0.01			<0.01					
V				0.02						0.01
Fe ⁽ⁱⁱⁱ⁾	0.08	0.23	0.03	0.01	0.08	0.14	0.04	0.05		0.02
Fe ⁽ⁱⁱ⁾	0.92	0.70	0.97	0.98	0.89	0.89	0.94	0.97	0.97	0.92
Mn	0.01	0.03	0.02	0.02	0.02	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01
Mg	0.03	0.15			0.04		0.03			0.06

Таблица 5. Химический состав обломочного полевого шпата из хромитолитов Сабантуйской палеороссыпи (мас. %)

Table 5. Chemical composition of detrital feldspar from chromitolites of the Sabantuy paleoplacer (wt. %)

Плагноклаз											
№	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	BaO	Сумма	An	Ab	Or
1	62.23	21.93	0.00	5.61	10.02	0.20	0.00	99.99	23.39	75.61	0.99
2	56.41	27.71	0.33	9.17	5.36	0.59	0.00	99.57	46.85	49.56	3.59
3	65.50	20.74	0.00	1.69	9.97	0.19	0.00	98.09	8.47	90.40	1.13
4	64.54	23.80	0.40	1.20	8.62	1.95	0.00	100.51	6.28	81.58	12.14
5	62.09	22.89	0.25	0.58	12.06	0.00	0.00	97.87	2.61	97.39	0.00
6	64.93	22.00	0.11	2.55	9.89	0.25	0.00	99.73	12.29	86.27	1.43
7	55.13	28.05	0.16	10.05	5.65	0.12	0.00	99.16	49.22	50.08	0.70
8	57.93	27.48	0.55	9.18	6.06	0.56	0.00	101.76	44.11	52.69	3.20
9	67.55	20.30	0.00	0.40	10.86	0.00	0.00	99.11	1.98	98.02	0.00
10	61.24	22.88	0.20	4.26	8.38	0.44	0.00	97.39	21.37	76.02	2.61
11	60.31	21.49	0.00	5.57	11.31	0.14	0.00	98.82	21.27	78.10	0.62
12	61.55	22.94	0.00	0.11	12.26	0.25	0.00	97.12	0.49	98.20	1.30
Калиевый полевой шпат											
№	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	BaO	Сумма	An	Ab	Or
1	64.97	19.17	0.46	0.00	2.37	13.50	0.00	100.47	0.00	21.06	78.94
2	63.25	18.43	0.49	0.00	0.19	16.66	0.00	99.02	0.00	1.75	98.25
3	65.85	18.47	0.21	0.00	0.24	16.51	0.00	101.28	0.00	2.16	97.84
4	64.98	18.78	0.00	0.00	0.00	16.08	0.00	99.84	0.00	0.00	100.00
5	63.02	18.58	0.00	0.00	0.74	15.67	0.00	98.01	0.00	6.67	93.33
6	65.93	18.03	0.42	0.78	2.39	11.87	0.32	99.74	4.05	22.48	73.46
7	64.25	17.41	0.00	0.00	0.00	16.26	0.00	97.92	0.00	0.00	100.00
8	62.36	17.60	2.23	0.52	1.01	14.86	0.15	98.73	2.59	9.12	88.29
9	51.74	31.98	2.66	0.00	0.00	10.60	0.00	96.98	0.00	0.00	100.00

Таблица 6. Химический состав обломочного граната из цельных зёрен (№ 1–6) и в составе пород (№ 7–9) из хромитолитов Сабантуйской палеороссыпи (мас. %)

Table 6. Chemical composition of detrital garnet from grains (No. 1–6) and in the composition of rocks (No. 7–9) from chromitolites of the Sabantuy paleoplacer (wt. %)

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	37.29	37.78	34.98	30.44	35.73	36.15	37.35	36.95	33.57
TiO ₂			1.52	0.27			0.58	0.33	0.72
Al ₂ O ₃	20.43	21.37	17.37	18.37	21.08		20.31	20.60	14.60
FeO	33.38	33.37	5.19	14.38	18.54	29.65	4.52	10.19	10.31
MnO	0.77	1.21	37.84	33.27	18.17	0.29	32.77	27.54	33.51
MgO	2.24	4.54	1.93	1.03	2.93		0.15	0.23	
CaO	7.19	3.34	0.98	0.69	2.32	33.91	6.55	5.69	7.88
Сумма	101.30	101.61	99.81	98.45	98.77	100.00	102.23	101.53	100.59
Конечные члены									
Блитит									11.22
Спессартин	1.72	2.67	78.87	69.86	41.74		73.65	62.35	59.52
Пироп	8.82	17.65			11.85		0.59	0.92	
Альмандин	67.59	68.88			36.58		7.14	19.87	
Гроссуляр	14.96	7.13			6.27		12.55	12.36	0.38
Андрадит	5.38	2.20		1.23	0.48	98.84	3.95	2.94	20.65
Прочие			19.31	15.12					
Остаток	1.52	1.47	1.82	13.78	3.1	1.16	0	0.57	6

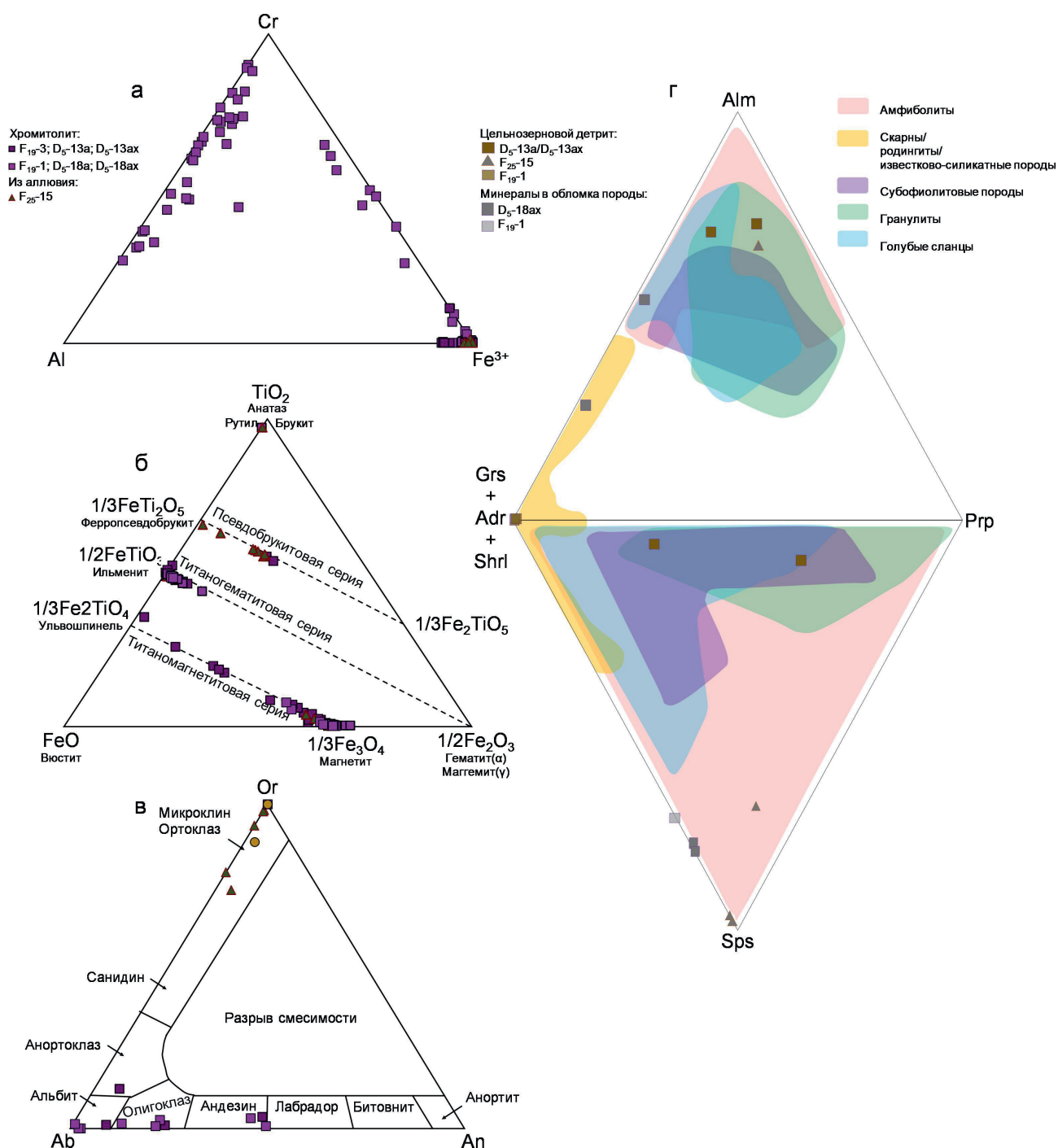


Рис. 12. Классификационные диаграммы для рудных минералов (а, б), полевых шпатов (в) и граната (г) из хромитолитов Сабантуйской палеороссыпи. Диаграмма Cr³⁺ — Al³⁺ — Fe³⁺⁺Ti (для хромита, магнетита и хроммагнетита), диаграмма TiO₂ — FeO — Fe₂O₃ (для магнетита, титаномagnetита, ильменита, псевдобрукита, рутила) по [Butler, 1992], диаграмма Or — Ab — An с полями по [Deer et al., 1992], диаграмма Alm — Adr+Grs+Shrl — Prp — Sps с полями граната из различных формаций по [Scott et al., 2013].

Fig. 12. Classification diagrams for ore minerals (a, б), feldspars (в) and garnet (г) from chromitites of the Sabantuy paleoplacer. Diagram Cr³⁺ — Al³⁺ — Fe³⁺⁺Ti (for chromite, magnetite and chromomagnetite), diagram TiO₂ — FeO — Fe₂O₃ (for magnetite, titanomagnetite, ilmenite, pseudobrookite, rutile) after [Butler, 1992], diagram Or — Ab — An with fields after [Deer et al., 1992], diagram Alm — Adr+Grs+Shrl — Prp — Sps with fields of garnet from different formations after [Scott et al., 2013].

дают в области сноса материала с орогенических поднятий (рециклированные лититовые комплексы). В целом это согласуется с представлениями о поступлении терригенного материала в течение всей перми с Уральского складчатого пояса [Маслов и др., 2015]. Однако это не объясняет характер источников рудного материала, сформировавшего россыпи. По мнению Г. А. Мизенса [Мизенс, 1997] средне- и позднепермские отложения накапливались за счёт дальнего переноса материала после того, как был заполнен Предуральский краевой прогиб. Сабантуйская пляжная палеороссыпь могла возникнуть либо при разрушении рудоносных массивов в непосредственной близости или на небольшом отдалении от побережья (первые километры, десятки километров), либо за счёт эрозии дистальных рудоносных массивов, имевших гигантскую площадь распространения. В настоящее время нет никаких признаков (кроме выявленных россыпей) того, что ультрабазит-базитовые массивы — потенциальные поставщики рудных минералов — располагались в позднем палеозое внутри платформы. Источники и хромита, и магнетита, и ильменита, и других рудных минералов не могли быть единственными и должны были содержать в основном нерудный материал, в особенности, Mg — Fe и Ca — Al силикаты. Однако во вмещающих хромитолиты песчаниках такого материала слишком мало, а в исследованных разрезах не обнаружено специфических кор выветривания по базитам и ультрабазитам. Не обнаружены они ни нами, ни предшественниками (по данным из отчёта Салмышской ГСП о работах 1973–1975 гг. по уточнению геологической карты листа N-40-XXV В. А. Ефремова и др., 1975). Кроме того, изучаемая территория исследовалась геофизическими методами (сейсморазведка), но никаких сведений о предполагаемых магматических телах в осадочных толщах не зафиксировано. Поэтому гипотеза проксимального источника, на наш взгляд, менее убедительна в сравнении с гипотезой дистального источника. На то, что Сабантуйская палеороссыпь имела дистальный источник/источники, указывают следующие факты:

- 1) наличие многочисленных мелких аллювиальных хромитовых россыпей такого же возрастного уровня [Rakhimov et al., 2022], которые могли быть как транзитными путями рудного материала, так и промежуточными коллекторами;
- 2) современная удалённость вскрытых эрозией офиолитовых массивов (>200 км) — Кра-

инского и Хабаровинского аллохтонов — главных поставщиков хромита и др. рудных минералов — от россыпей Предуралья;

- 3) дефицит в песчаниках обломков эндогенной рудовмещающей матрицы, очевидно имеющих иные гидродинамические свойства в сравнении с рудными зёрнами;

- 4) гетерогенность источников рудного материала — хромит, магнетит, ильменит, титаномagnetит, рутил, гематит и другие минералы — все не могли иметь единый источник, поэтому присутствие разнородных массивов на платформе вблизи побережья тем более маловероятно;

- 5) одномодальное распределение абсолютных U — Pb датировок детритового циркона из Сабантуйской рудной залежи с раннедевонским пиком [Рахимов и др., 2024], свидетельствующем о преобладающем дистальном источнике этого минерала;

- 6) мезозойские промышленные титан-циркониевые россыпи Евразии, например, в Украине, Казахстане, Центральной России и Западной Сибири, обычно содержат хромшпинелиды [Савко, 2025] и явно имеют удалённые гетерогенные источники. Офиолитовые аллохтоны Южного Урала, по мнению [Камалетдинов, 1974], к концу палеозоя могли слагать обширные покровы и в таком случае проблема разубоживания рудного материала из-за дальнего переноса разрешается большим количеством самого материала. Тем более, если большие площади обнажений имели хромититы — типовые рудные тела в дунитах. Скопление рудного материала в локальных участках — бассейнах седиментации, каким являлся Сабантуйский участок побережья, при постоянном его поступлении и последующей сортировке за счёт волноприбойной и приливно-отливной деятельности, представляется приемлемым механизмом.

По литологическим характеристикам (типы слоистости, толщина рудных и «безрудных» прослоев, размерность зёрен, минеральный состав рудной фракции) Сабантуйская палеороссыпь сходна с современной пляжной хром-титановой россыпью Пирвади-Талашил в южной Махараштре (Индия), имеющей протяжённость 12.5 км [Gujar et al., 2010]. В качестве источника детритового хромита в ней предполагаются офиолиты Канкавали, переносимогося р. Гад. Сообщается, что максимальные концентрации рудного материала в россыпи Пирвади-Талашил характерны для зоны супрайтайдали и уменьшаются в направлении интёртайдали. Сабантуйская хромитовая залежь достоверно прослежена на 350 м и есть признаки

того, что к северу она продолжается ещё как минимум на 1 км, судя по глыбам граувакк с хромитовыми прослойками в русле руч. Мал. Беркутла (обр. F₂₅-15). Полосчатая текстура с пере-слаиванием рудных и «безрудных» песчаников, а также вариации типов слоистости (полого-волнистая, косо-волнистая, перекрёстно-волнистая) свидетельствуют о непрерывной малоамплитудной миграции зон седиментации во время формирования Сабантуйской палеороссыпи. Для наглядности положения этих зон и зоны формирования изучаемой палеороссыпи приведена схема зональности прибрежно-морской седиментации (рис. 13). Судя по текстурным особенностям рудных пластов и по соотношению рудных минералов между собой литодинамические характеристики Сабантуйской палеороссыпи были близки к россыпи Пирвади-Талашил. Формирование изучаемого рудного пласта происходило в зонах интертайдали и супрайтайдали (см. рис. 13). Согласно указанным выше особенностям распределения рудных минералов, хромит накапливался скорее в зоне супрайтайдали.

Приведённые выше петрографические характеристики показали, что состав обломочной фракции подрудных граувакк отличается от межрудных и надрудных меньшим количеством обломков известняков и магматических пород, а также породообразующих и рудных минералов. Однако

общее преобладание обломков кремней, кварца, кварцитов и кварцитопесчаников неизменно. Это указывает на то, что при седиментации с определённого времени к основному источнику добавился дополнительный — рудоносный, который эпизодами резко преобладал. Впоследствии роль рудоносного источника сильно ослабла, но не прекратилась, вплоть до этапа трансгрессии, приведшего к смене терригенного литорального осадконакопления (отсортированные пляжевые пески) на карбонатный сублиторальный (мелководные известняки, в т. ч. песчанистые).

В качестве основного источника детритового материала представляются осадочные и метаморфические комплексы Башкирского мегантиклинория и зоны Уралату (рис. 1а), а дополнительного (рудоносного) — ультрабазит-базитовые массивы, ныне представленные в центральной оси Урала — офиолитовые аллохтоны (типа Кракинского и Хабарнинского) и тектониты Главного Уральского разлома.

Выводы

Выполненное минералогическое и литологическое изучение песчаников рудного пласта Сабантуйской палеороссыпи хромитов позволяет сделать следующие ключевые выводы:

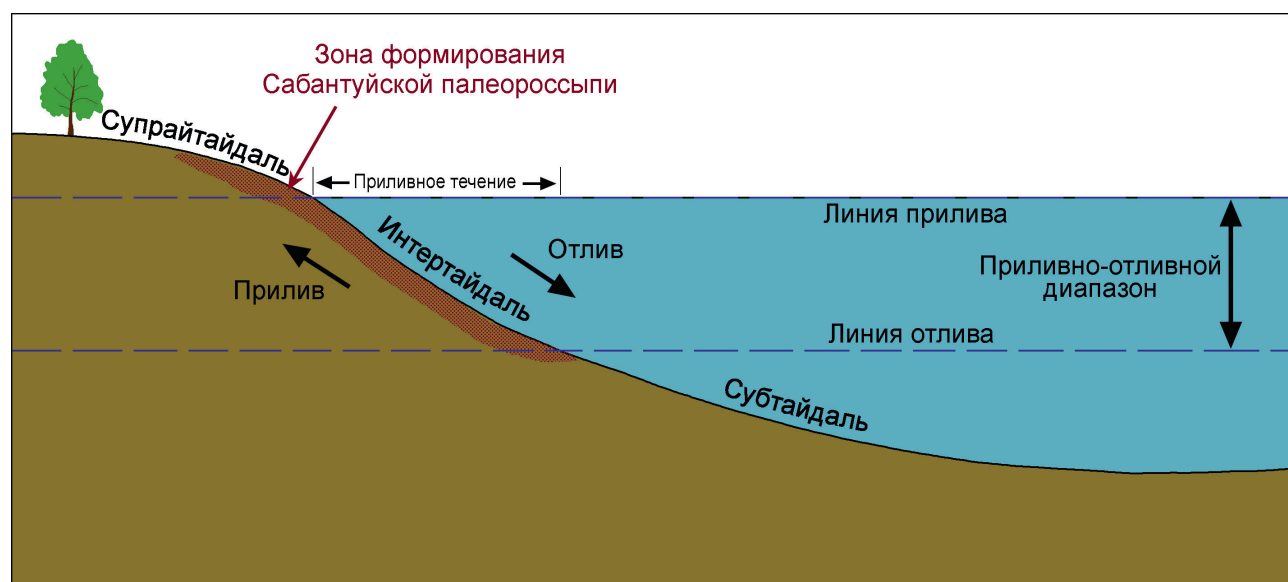


Рис. 13. Схема прибрежно-морской седиментационной зональности по [Mukherjee et al., 2023] с положением зоны накопления Сабантуйской палеороссыпи

Fig. 13. Scheme of coastal-marine sedimentation zoning after [Mukherjee et al., 2023] with the position of the accumulation zone of the Sabantuy paleoplacer

1) Сабантуйская палеороссыпь формировалась вдоль морской береговой линии (пляжа) в зонах супрайтальдали и интертайдали;

2) Рудный пласт сложен хромитолитами, переслаивающимися с условно безрудными кремневыми граувакками;

3) Среди рудных минералов доминирует хромит (53 об. %), далее по распространённости следуют магнетит (25%, или 29% с учётом хроммагнетита) и ильменит (12%);

4) Состав обломков указывает на то, что их источником являлся рециклированный ороген, в котором в основном разрушались кремнистые толщи, кварцитопесчаники и зелёные сланцы;

5) Совокупность геологических, литологических и морфодинамических факторов указывают на дистальные источники рудного детрита для палеороссыпи;

6) Основными источниками детритового материала песчаников, вмещающих хромитолиты, могли быть осадочные и метаморфические комплексы Башкирского мегантиклинория и зоны Уралтау, а дополнительного (рудоносного) — ультрабазит-базитовые массивы, ныне представленные в центральной оси Урала — офиолитовые аллотоны (типа Кракинского и Хабарнинского) и тектониты Главного Уральского разлома;

7) Источником цемента являлись продукты растворения и переотложения известняков из вышележащей пачки.

Список литературы

Камалетдинов М. А. Покровные структуры Урала. М.: Наука, 1974. 232 с.

Князев Ю. Г., Князева О. Ю., Сначёв В. И., Жданов А. В., Каримов Т. Р., Айдаров Е. М., Масагутов Р. Х., Арсланова Е. Р. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1000000 (третье поколение). Уральская серия. Лист N-40-Уфа. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2013. 512 с.

Мизенс Г. А. Верхнепалеозойский флиш Западного Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 1997. 230 с.

Рахимов И. Р. Детритовые клинопироксен и амфибол из хромитоносных песчаников казанского яруса в Южном Предуралье как индикаторы источника хромшпинелидов. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2022а. №3. С. 41–51.

Рахимов И. Р. Свидетельство о регистрации базы данных RU20222622457 «Реестр хромитовых палеороссыпей Южного Предуралья». 2022б.

Рахимов И. Р. Фёдоровские разрезы казанского яруса в Южном Предуралье: геологическая и литологическая характеристика отложений // Геология. Известия Отделе-

ния наук о Земле и природных ресурсов Академия наук Республики Башкортостан. 2021. №28. С. 60–68.

Рахимов И. Р., Пушкарёв Е. В., Червяковский В. С., Дьякова С. А. U — Pb-возраст детритового циркона из Сабантуйской хромитовой палеороссыпи Средней Перми (Южное Предуралье) // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2024. Т. 517. №1. С. 5–12.

Рахимов И. Р., Савельев Д. Е., Холоднов В. В., Замятин Д. А. Уникальная Сабантуйская хромитовая палеороссыпь в осадочном чехле Восточно-Европейской платформы // Геология рудных месторождений. 2020. Т. 62. №6. С. 568–573.

Савко А. Д. Эволюция накопления титан-циркониевых россыпей в истории Земли // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2025. №4. С. 4–24.

Самигуллин А. А., Шабутдинов Т. Д., Гатауллин Р. А., Савельев Д. Е. Детритовые шпинелиды северной части башкирского Приуралья // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов. 2024. №4. С. 44–58.

Синицын И. М., Синицына Г. И. Объяснительная записка к геологической карте СССР масштаба 1:200000, Лист №40-XXVI. Уфа: БТГУ, 1965. Т. 1. 170 л.

Тагариева Р. Ч., Рахимов И. Р., Наумчева М. А., Семенов Р. Е., Уразаева М. Н. Органические остатки из карбонатно-терригенных хромитоносных отложений казанского и уржумского ярусов Южного Предуралья // Геологический вестник. 2022. №3. С. 79–92. <https://doi.org/10.31084/2619-0087/2022-3-7>

Шутов В. Д. Классификация песчаников // Литология и полезные ископаемые. 1967. №5. С. 86–102.

Butler R. F. Paleomagnetism: Magnetic Domains to Geologic Terranes. Boston: Blackwell Scientific Publications, 1992. 319 p.

Deer W. A., Howie R., Zussman J. An Introduction to the Rock — Forming Minerals, 2nd ed.; Pearson Education Limited: London, UK, 1992. P. 1–712.

Dickinson W. R., Beard L. S., Brakenridge G. R., Erjavec J. L., Ferguson R. C., Inman K. F., Knepp R. A., Lindberg F. A., Ryberg P. T. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting // Geological Society of America Bulletin. 1983. V. 94. P. 222–235. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1983\)94%3C222:ponaps%3E2.0.co;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1983)94%3C222:ponaps%3E2.0.co;2)

Dickinson W. R. Provenance and sediment dispersal in relation to paleotectonics and paleogeography of sedimentary basins // In New Perspectives in Basin Analysis; Frontiers in Sedimentary Geology; Kleinspehn, K. L., Paola, C., Eds.; Springer: New York, NY, USA, 1988. P. 3–25.

Gujar A. R., Ambre N. V., Iyer S. D., Mislankar P. G., Loveson V. J. Placer chromite along south Maharashtra, central west coast of India // Current Science 2010. V. 99. No. 4. P. 492–499.

Mukherjee S., Ghosh K. K., Chanda A. Energy from the Ocean // Environmental Oceanography and Coastal Dynamics. Current Scenario and Future Trends. Springer, Cham. 2023. 440 p. https://doi.org/10.1007/978-3-031-34422-0_13

Rakhimov I. R., Pushkarev E. V., Gottman I. A. Chromite Paleoplacer in the Permian Sediments at the East Edge of the

East European Platform: Composition and Potential Sources // Minerals. 2021. V. 11. No. 7: 691.

Rakhimov I. R., Saveliev D. E., Rassomakhin M. A., Samigullin A. A. Chromian Spinel from Kazanian-Stage Placers in the Southern Pre-Urals, Bashkiria, Russia: Morphological and Chemical Features and Evidence for Provenance // Minerals. 2022. No. 12: 849.

Scott R. A., Smyth H. R., Morton A. C., Richardson N. (Eds.), Sediment Provenance Studies in Hydrocarbon Exploration and Production, Geological Society of London, Special Publication, 2013, V. 386. <https://doi.org/10.1144/SP386.8>

References

Kamaletdinov M. A. (1974) Nappe structures of the Urals. Moscow: Nauka Publ. 232 p. (In Russian).

Knyazev Yu. G., Knyazeva O. Yu., Snachev V. I., Zhdanov A. V., Karimov T. R., Aydarov E. M., Masagutov R. Kh., Arslanova E. R. (2013) State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1,000,000 (third generation). Ural series. Sheet N-40-Ufa. St. Petersburg: Cartographic Factory of VSEGEI. 512 p. (In Russian).

Mizens G. A. (1997) Upper Paleozoic flysch of the Western Urals. Yekaterinburg: Ural Branch of RAS. 230 p. (In Russian).

Rakhimov I. R. (2022a) Detrital clinopyroxene and amphibole from chromite-bearing sandstones of the Kazanian Stage in the Southern Pre-Urals as indicators of chromite source. Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology. (3), 41–51. (In Russian).

Rakhimov I. R. (2022b) Register of chromite paleoplacers of the Southern Pre-Urals: certificate of database registration No. RU20222622457. (In Russian).

Rakhimov I. R. (2021) Fedorovsky sections of the Kazanian Stage in the Southern Pre-Urals: geological and lithological characteristics of deposits. Geology. Proceedings of the Department of Earth Sciences and Natural Resources of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan. (28), 60–68. (In Russian).

Rakhimov I. R., Pushkarev E. V., Chervyakovsky V. S., Dyakova S. A. (2024) U — Pb age of detrital zircon from the Sabantuy chromite paleoplacer of the Middle Permian (Southern Pre-Urals). Doklady of the Russian Academy of Sciences. Earth Sciences. 517 (1), 5–12. (In Russian).

Rakhimov I. R., Saveliev D. E., Kholodnov V. V., Zamyatin D. A. (2020) The Unique Sabantuy Chromite Paleoplacer in the Sedimentary Cover of the Eastern European Platform. Geology of Ore Deposits. 62 (6), 542–546. (In Russian).

Savko A. D. (2025) Evolution of the accumulation of titan-zircon placers in the Earth's history. Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology. (4), 4–24. (In Russian).

Samigullin A. A., Shabutdinov T. D., Gataullin R. A., Saveliev D. E. (2024) Detrital spinelids of the northern part of Bashkirian Urals region. Geology. Proceedings of the Department of Earth Sciences and Natural Resources. (4), 44–58. (In Russian).

Sinitsyn I. M., Sinitsyna G. I. (1965) Explanatory note to the geological map of the USSR, scale 1:200,000, Sheet No. 40-XXVI. Ufa: BTGU. 1, 170 sheets. (In Russian).

Tagarieva R. Ch., Rakhimov I. R., Naumcheva M. A., Semenov R. E., Urazaeva M. N. (2022) Organic fossils from carbonate-terrigenous chromite-bearing deposits of the Kazanian and Urzhumian stages of the Southern Pre-Urals. Geologicheskii Vestnik. 3, 79–92. (In Russian). <https://doi.org/10.31084/2619-0087/2022-3-7>

Shutov V. D. (1967) Classification of sandstones. Lithology and Mineral Resources. (5), 86–102. (In Russian).

Butler R. F. (1992) Paleomagnetism: Magnetic Domains to Geologic Terranes. Boston: Blackwell Scientific Publications. 319 p.

Deer W. A., Howie R., Zussman J. (1992) An Introduction to the Rock-Forming Minerals. 2nd ed. London: Pearson Education Limited. 712 p.

Dickinson W. R., Beard L. S., Brakenridge G. R., Erjavec J. L., Ferguson R. C., Inman K. F., Knepp R. A., Lindberg F. A., Ryberg P. T. (1983) Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. Geological Society of America Bulletin. 94, 222–235. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1983\)94%3C222:ponaps%3E2.0.co;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1983)94%3C222:ponaps%3E2.0.co;2)

Dickinson W. R. (1988) Provenance and sediment dispersal in relation to paleotectonics and paleogeography of sedimentary basins. Kleinspehn K. L., Paola C. (Eds.). New Perspectives in Basin Analysis. New York: Springer. P. 3–25.

Gujar A. R., Ambre N. V., Iyer S. D., Mislankar P. G., Loveson V. J. (2010) Placer chromite along south Maharashtra, central west coast of India. Current Science. 99 (4), 492–499.

Mukherjee S., Ghosh K. K., Chanda A. (2023) Energy from the Ocean. Environmental Oceanography and Coastal Dynamics. Current Scenario and Future Trends Springer, Cham., 440 p. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-031-34422-0_13

Rakhimov I. R., Pushkarev E. V., Gottman I. A. (2021) Chromite Paleoplacer in the Permian Sediments at the East Edge of the East European Platform: Composition and Potential Sources. Minerals. 11 (7), 691.

Rakhimov I. R., Saveliev D. E., Rassomakhin M. A., Samigullin A. A. (2022) Chromian Spinel from Kazanian-Stage Placers in the Southern Pre-Urals, Bashkiria, Russia: Morphological and Chemical Features and Evidence for Provenance. Minerals. 12, 849.

Scott R. A., Smyth H. R., Morton A. C., Richardson N. (Eds.) (2013) Sediment Provenance Studies in Hydrocarbon Exploration and Production. Geological Society of London, Special Publication. No. 386. <https://doi.org/10.1144/SP386.8>

Сведения об авторах:

Рахимов Ильдар Рашитович, кандидат геол.-минерал. наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа, Россия, rigel92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2808-2402>.

Васильев Андрей Максимович, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа, Россия, andvas02@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-9632-7605>.

Вишневский Андрей Владиславович, кандидат геол.-минерал., с.н.с., Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН), Новосибирск, Россия; evgeny.i.mikheev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1576-3188>.

Дьякова Светлана Андреевна, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа, Россия, Solodova.IG@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2466-5782>.

About the authors:

Rakhimov Ildar Rashitovich, PhD in Geology and Mineralogy, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa, Russia, rigel92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2808-2402>.

Vasiliev Andrey Maksimovich, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa, Russia, andvas02@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-9632-7605>.

Vishnevskiy Andrey Vladislavovich, PhD in Geology and Mineralogy, Senior Researcher: Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (IGM SB RAS), Novosibirsk, Russia; vishnevsky@igm.nsc.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8221-9353>.

Dyakova Svetlana Andreevna, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa, Russia, Solodova.IG@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2466-5782>.

Вклад авторов в публикацию.

ИРР — разработка концепции, проведение исследования, подготовка текста статьи, редактирование текста статьи, создание иллюстраций; АМВ — проведение исследования, создание иллюстраций, редактирование текста статьи; АБВ — обработка анализов, редактирование текста; САД — обработка анализов.

Authors' contribution to the publication.

IRR — concept development, research implementation, article preparation, article editing, creation of illustrations; AMV — research implementation, creation of illustrations, article editing; ABB — analysis processing, text editing; SAD — analysis processing.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 04.05.2026; одобрена после рецензирования 05.06.2026; принята к публикации 01.07.2026

The article was submitted 04.05.2026; approved after reviewing 05.06.2026; accepted for publication 01.07.2026