

УДК 553.068.56

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ПРОДУКТИВНОГО ПЛАСТА И ОСОБЕННОСТИ ХРОМИТОВ ЛУКОЯНОВСКОГО РОССЫПНОГО РАЙОНА (НИЖЕГОРОДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

© 2025 г. А. В. Лаломов^{а,*}, А. В. Григорьева^а, Ю. Н. Иванова^а, Л. А. Иванова^а,
И. Д. Горностаев^б, Е. С. Иванова^б

^аИнститут геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН,
Старомонетный пер., 35, Москва, 119017 Россия

^бМосковский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Ленинские Горы, Москва, 119991 Россия

*e-mail: lalomov@mail.ru

Поступила в редакцию 10.10.2024 г.

После доработки 02.12.2024 г.

Принята к публикации 19.02.2025 г.

В результате геологоразведочных работ в пределах Лукояновского россыпного района (Нижегородская область) в комплексных прибрежно-морских редкометалльно-титановых россыпях установлены повышенные содержания хромшпинелидов, достигающие промышленного уровня до 100 кг/м³, при этом их источник не очевиден.

Помимо хромшпинелидов, промышленными компонентами россыпей являются ильменит, циркон и рутил. Морфологические особенности рудных минералов дают возможность сделать предположение о нескольких источниках рудного материала как ближнего, так и дальнего сноса. Умеренно зрелый минеральный состав тяжелой фракции (повышенное количество неустойчивых при выветривании минералов) указывает на то, что формирование пермско-юрских отложений этого региона происходило без участия (или при слабом участии) кор химического выветривания. В процессе мобилизации обломочного материала в зоне источника и в период формирования промежуточных коллекторов (пермских и раннемезозойских комплексов осадочного чехла приуральской части Восточно-Европейской платформы) преобладали механические процессы при подчиненном влиянии корообразования.

Исследование химического состава хромшпинелидов наиболее изученной и перспективной Итмановской россыпи показало, что в большинстве своем они аналогичны хромшпинелидам офиолитовой формации, а также концентрически-зональных платиноносных массивов.

Представляется, что при общем влиянии на формирование осадочного чехла центральной и восточной частей Восточно-Европейской платформы на рубеже перми и триаса палеоорогена Урала, на состав тяжелой фракции отложений района заметное влияние оказала Пучеж-Катунская кольцевая структура, расположенная к северу от Лукояновского купола.

Ключевые слова: россыпи, хромиты, типоморфизм, типохимизм, Лукояновский россыпной район

DOI: 10.31857/S0024497X25040031, **EDN:** JEKJMQ

Хромовые руды являются дефицитным стратегическим видом минерального сырья. В связи с этим рассматриваются вопросы вовлечения в эксплуатацию нетрадиционных источников, связанных с ископаемыми прибрежно-морскими россыпями. Эталонным объектом этого типа месторождений считается Итмановская россыпь Лукояновского россыпного района (ЛРР), основными промышленными компонентами которого являются циркон, ильменит, рутил и хромшпинелиды. В работе [Лаломов и др., 2024] приведены

результаты исследований тектонических, стратиграфических, геоморфологических и фациально-динамических параметров, контролирующих локализацию россыпного района в целом и распределение россыпей в его пределах.

Для построения поисково-ориентированной модели месторождения необходимо изучить минеральный состав продуктивных отложений и особенности основных россыпеобразующих минералов. В первую очередь это относится к хромшпинелидам, поскольку именно их наличие

в значительном количестве является характерной особенностью Лукояновского месторождения по сравнению с другими редкометалльно-титановыми россыпями. Поэтому необходимо установить первичные источники хромшпинелидов на основании исследования типоморфизма и типохимизма этих минералов в россыпях.

С этой целью из продуктивных отложений наиболее изученной россыпи ЛРР — Итмановской, в период проведения полевых работ 2024 г. была отобрана малая минералого-технологическая проба 20 кг (в юго-восточной части россыпи из шурфа рядом со скважиной 242 разведочной линии 796, интервал 2.1–2.4 м), исследован ее гранулометрический, минеральный и химический состав, а также типоморфные особенности хромшпинелидов и ряда других минералов тяжелой фракции.

Минеральный состав был изучен оптическими методами под бинокляром, для изучения морфологии отобранные минералы тяжелой фракции были сфотографированы на сканирующем электронном микроскопе JSM-5610LV (Япония) в отраженных электронах (BSE COMPO). Структура зерен и химический состав хромшпинелидов были исследованы в полированных шашках методом рентгеноспектрального микроанализа в аналитической лаборатории ИГЕМ РАН на приборе JEOL–8200. Это послужило основой для построения генетических диаграмм хромшпинелидов, что дало возможность предположить их формационный источник, а степень вторичных изменений позволила оценить дальность переноса и историю минералов в зоне гипергенеза.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Лукояновский россыпной район (ЛРР) расположен на юге Нижегородской области и приурочен к структурам Токмовского свода Восточно-Европейской платформы (ВЕП), строение и тектоническая история которого определили локализацию благоприятных россыпеобразующих факторов как по площади, так и в пределах стратиграфической последовательности отложений. Пространственно район приурочен к выступу свода — Лукояновскому куполу. Продуктивные тонкозернистые пески с прослоями алевритов были отложены в период среднеюрской батской регрессии моря, когда в центральной части купола сформировались условия динамически активного морского мелководья с банками и отмелями [Лаломов и др., 2024]. Это привело к обогащению

отложений минералами тяжелой фракции и формированию лентовидных, иногда подковообразных, россыпных тел. Положение их определялось серией локальных поднятий, реконструированных по кровле среднего келловоя по данным картировочного и геологоразведочного бурения. Эти особенности фактически определяли литодинамику палеобассейна и морфологию отдельных залежей.

Последующая келловейско-оксфордская (J_2k-J_3o) трансгрессия моря привела к образованию преимущественно глинистой толщи с прослоями алевритов в нижней части и карбонатов в верхней, перекрывающей продуктивный горизонт. Россыпной район располагался на северном фланге среднеюрского батского бассейна в фазе его максимальной регрессии. С востока он был ограничен складчатыми структурами и предгорной равниной Урала, с северо-запада — флангами Воронежской антеклизы (рис. 1). В работе С.И. Гурвича и А.М. Болотова [1968, рис. 25] в отложениях батского яруса чехла платформы прогнозируется перспективная на россыпеобразование зона протяженностью 500–700 км, простирающаяся к юго-востоку от ЛРР (см. рис. 1).

Продуктивная толща исследованной Итмановской россыпи относится к юрским отложениям,

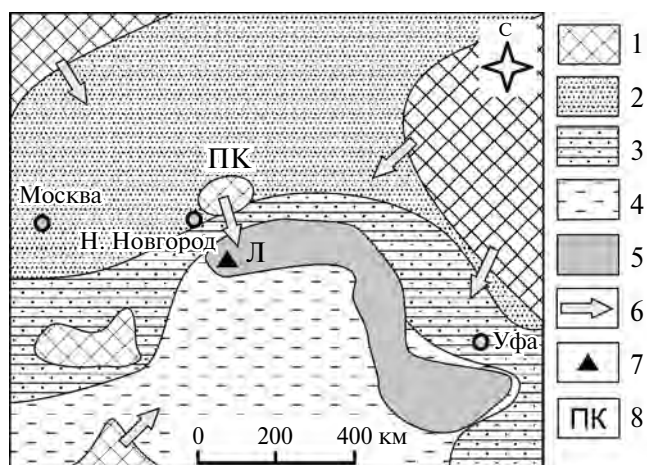


Рис. 1. Схема распространения перспективных на редкометалльно-титановые россыпи отложений батского яруса средней юры по материалам [Гурвич, Болотов, 1968; Лаломов и др., 2024].

1 — горная и равнинная суша, область эрозии; 2 — равнинная суша, область осадконакопления; 3 — прибрежная равнина, временами заливаемая морем; 4 — мелководное море, терригенные осадки; 5 — площади развития перспективных продуктивных отложений; 6 — главные направления сноса обломочного материала; 7 — Лукояновский россыпной район; 8 — Пучеж-Катунская структура.

батскому ярусу (J_2bt). Она подстилается средне-пермскими аргилитоподобными глинами уржумского яруса (P_{2ur}) и перекрывается плотными юрскими келловейскими глинами с прослойками алевритов (J_2k). Продуктивные отложения представлены тонко- и мелкозернистыми песками с примесью алевритового материала. По всему разрезу отмечаются тонкие прослои глины и тончайшие слойки, образованные концентрацией темноцветных рудных минералов. Глинистость песков рудной толщи не превышает 15%. Мощность рудного пласта в границах россыпи изменяется от 2.0 (минимальное значение по кондициям) до 10 м. Подробное описание геологического строения месторождения и геологическая история развития региона приведены в работе [Лаломов и др., 2024].

К северу от Лукояновского купола находится Пучеж-Катунская кольцевая структура диаметром около 80 км. Внутренняя часть структуры заполнена эксплозивными образованиями (брекчиями) различных типов, содержащими во включениях породы архея, венда и палеозоя. В центральной части располагается локальное поднятие Воротиловского выступа, в пределах которого породы архейского фундамента поднимаются с отметок –3000 до –50 м.

По мнению одних исследователей, эта структура является метеоритным кратером, образованным падением крупного метеоритного тела, произошедшим в интервале времени от поздней перми до средней юры (байоса) [Колодяжный и др., 2023].

В ряде работ был предложен сценарий эндогенно-эксплозивного и вулканотектонического происхождения Пучеж-Катунской структуры, которая рассматривается как полистадийное образование, сформированное в результате взаимодействия ряда тектонических, вулканических и эксплозивных явлений, и сопоставляется в некоторых интерпретациях с трубкой взрыва или палеовулканом [Маракушев и др., 1993].

Съемочно-поисковыми работами было установлено, что среди архейских гнейсов и амфиболитов фундамента наблюдаются маломощные тела пироксенитов, горнблендитов и перидотитов, а архейские породы Воротиловского выступа перспективны на выявление месторождений редких земель цериевой группы и хрома [Кирков и др., 2021].

Осадочные породы средней юры на Воротиловском выступе и в примыкающей к нему внутренней зоне залегают с размывом на архейских,

вендских, девонских, каменноугольных и пермских образованиях, и, таким образом, подстилающие полиформационные отложения являлись источником поступления обломочного материала в бассейн россыпеобразования. В среднеюрских отложениях наблюдаются повышенные содержания эпидота, циркона, гидроксидов железа, магнетита, хромита и ильменита [Кирков и др., 2021].

По мнению многих исследователей региона [Гурвич, Болотов, 1968; Патык-Кара, 2008; Колодяжный и др., 2023], на формирование пермских отложений большое влияние оказали состав и история развития Уральского складчатого региона. Тем не менее, на образование россыпных концентраций большое влияние могли оказать местные источники, даже такие экзотические, как Пучеж-Катунская структура.

Как правило, россыпи ЛРР рассматриваются вместе с другими редкометалльно-титановыми россыпями (РТР), но, при этом, от других аналогичных россыпей ВЕП они отличаются умеренной зрелостью минерального состава (повышенным содержанием неустойчивых при выветривании минералов), повышенным содержанием хромшпинелидов, достигающим промышленных значений (до 100 кг/м³), и весьма значительным содержанием циркона. Итмановская россыпь является богатейшей в стране и одной из лучших в мире по содержанию основного рудного минерала – циркона. Содержание диоксида циркония в промышленном пласте составляет 13 кг/м³. По этому параметру оно является вторым в мире после австралийской россыпи Атлас-буна Харринг с содержанием ZrO_2 17.4 кг/м³ [Патык-Кара, 2008]. Такое своеобразие состава может объясняться влиянием местного источника.

СОСТАВ ПРОДУКТИВНОЙ ТОЛЩИ

По размеру частиц изученные продуктивные отложения, в соответствии с классификацией Л.Б. Рухина [1969], относятся к тонкозернистым алевритистым пескам. Гранулометрический состав отобранной минералогической пробы приведен в табл. 1.

В составе пробы преобладают классы крупности 0.28–0.074 мм (87.63%). Материал россыпи хорошо сортирован, гистограмма грансостава имеет одномодальный характер и близка к нормальному распределению.

Россыпеобразующие минералы в большинстве своем приурочены к классу 0.1–0.044 мм: в нем находятся 88.4% титановых минералов (ильменит, рутил, лейкоксен), 87.96% циркона и

Таблица 1. Гранулометрический состав рудных песков Итмановской россыпи и распределение россыпеобразующих компонентов по размерным классам по данным исследования минералого-технологической пробы

Классы крупности, мм	>0.56	0.56–0.28	0.28–0.14	0.14–0.1	0.1–0.074	0.074–0.044	<0.044
Выход гранулометрического класса от исходного, %	0.46	0.81	27.52	50.48	9.63	9.22	1.88
Распределение россыпеобразующих минералов по классам, всего, %	0.11	0.12	0.17	3.36	63.89	25.09	7.27
В т.ч. титановых минералов (ильменит, лейкоксен, рутил)	0.08	0.13	0.18	3.64	67.88	20.52	7.57
Циркон	0.14	0.11	0.16	2.18	54.79	33.17	9.45
Хромшпинелиды	0.10	0.11	0.16	4.26	68.99	21.58	4.80

90.57% хромшпинелидов. Пик содержания тяжелой фракции смещен по сравнению с общей гистограммой гранулометрического состава в сторону мелких классов, что характерно для хорошо сортированных осадков, прошедших несколько циклов переотложения. В таких отложениях минералы легкой фракции крупнее минералов тяжелой, при этом их гидравлическая крупность (скорость падения в водной среде) совпадает [Патык-Кара, 2008].

Среди минералов тяжелой фракции преобладают эпидот, ильменит, циркон, хромшпинелиды. В содержании более 1% присутствуют гидроксиды железа (аутигенные), рутил, лейкоксен, гематит (табл. 2).

Из промышленных россыпеобразующих минералов преобладает ильменит – 5.69% (102.4 кг/м³) от исходной пробы или 19% тяжелой фракции. Ильменит представлен большим разнообразием морфологических типов: неокатанные остроугольные обломки зерен, не сохранившие кристаллических граней (рис. 2а); зерна неправильной формы, слабо окатанные, с неровной ямчатой поверхностью, подвергшейся гипергенным изменениям (растрескивание поверхностного слоя) (см. рис. 2б); округлые уплощенные (лепешкообразные) зерна с высокой степенью окатанности) (см. рис. 2в). Исходя из этих морфологических особенностей зерен ильменита, можно сказать, что минерал поступал из разных источников сноса, находящихся как в непосредственной близости от россыпи, так и на разном удалении от нее.

Рутил также характеризуется разнообразием морфологических типов: встречаются кристаллы и их обломки незначительной окатанности, со слегка округленными ребрами (рис. 3а); остроугольные неокатанные обломки (см. рис. 3б); полуокатанные зерна с неровной поверхностью.

Таблица 2. Минеральный состав рудных песков Итмановской россыпи в размерном классе 0.14–0.044 мм по данным исследования минералого-технологической пробы

Минерал	Содержание в исходной пробе, %
Промышленные россыпеобразующие	
Ильменит	5.69
Лейкоксен	1.80
Рутил	1.99
Циркон	3.43
Циркон метамиктный	0.10
Хромшпинелиды	2.29
Гематит	1.59
Всего	16.89
Прочие тяжелые	
Эпидот	7.82
Гидроксиды Fe	2.46
Магнетит + титаномагнетит	0.23
Турмалин	0.82
Гранат	0.67
Апатит	0.40
Титанит	0.25
Ставролит	0.22
Дистен	0.05
Всего	12.92
Минералы легкой фракции	
Кварц	63.33
Полевые шпаты	5.32
Группа слюд	0.77
Кремнистые образования	0.77
Всего	70.19

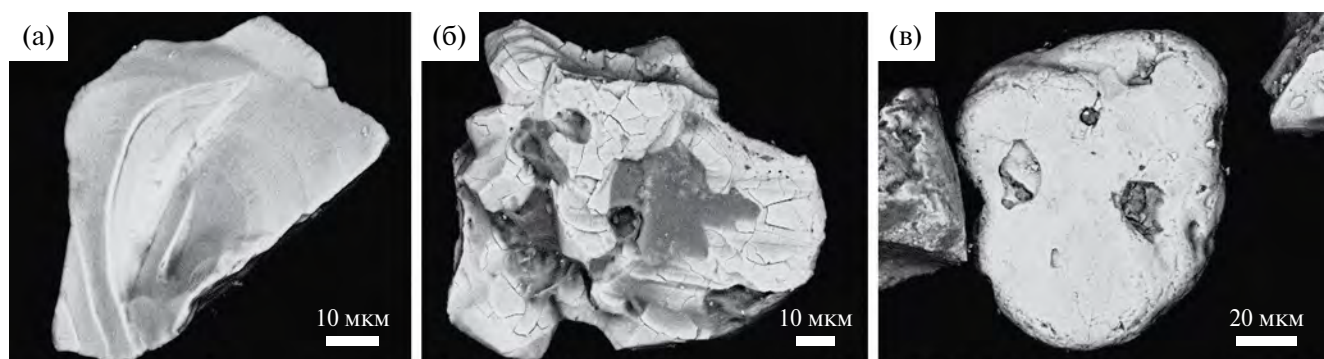


Рис. 2. Ильменит отобранной минералого-технологической пробы Итмановской россыпи (BSE-изображения). а – неокатанные остроугольные обломки; б – зерна неправильной формы, слабоокатанные, с неровной ямчатой поверхностью; в – округлые уплощенные зерна с высокой степенью окатанности.



Рис. 3. Рутил отобранной минералого-технологической пробы Итмановской россыпи (BSE-изображения). а – кристаллы и их обломки со слегка округленными ребрами; б – остроугольные неокатанные обломки; в – полуокатанные зерна с неровной поверхностью, вероятно, связанные с развитием рутила по ильмениту в титаномagnetите.

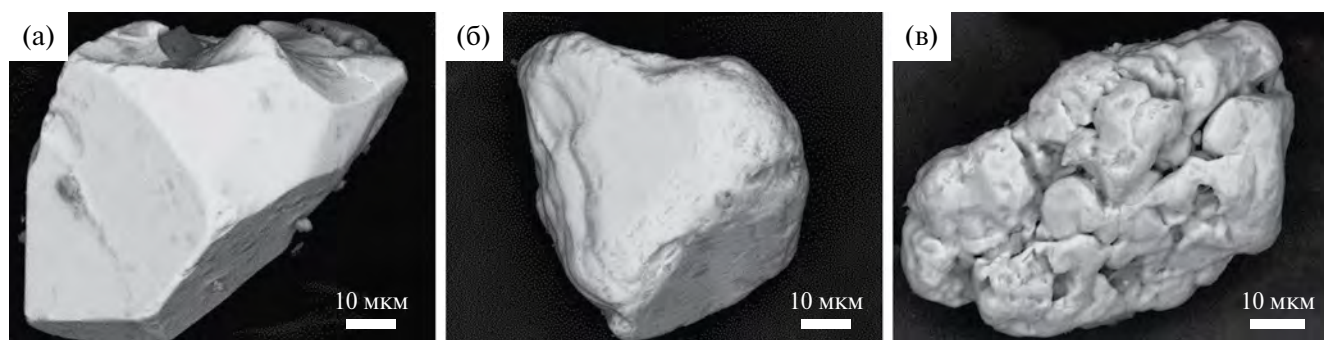


Рис. 4. Циркон отобранной минералого-технологической пробы Итмановской россыпи (BSE-изображения). а – хорошо сохранившиеся кристаллы с правильными кристаллографическими гранями; б – полуокатанные кристаллы со сглаженными ребрами, но частично сохранившимися гранями; в – округлые зерна с неровной поверхностью, обусловленной нарастанием новообразованных кристаллов “оплавленного” облика.

Содержание рутила в проанализированной пробе 1.99% или 35.8 кг/м³.

Циркон представлен в россыпи также различными морфологическими типами, отражающими историю их накопления в процессе становления россыпи: хорошо сохранившиеся кристаллы с правильными кристаллографическими гранями

(рис. 4а); полуокатанные кристаллы со сглаженными ребрами, но частично сохранившимися гранями (см. рис. 4б); округлые зерна с неровной поверхностью, обусловленной нарастанием новообразованных кристаллов “оплавленного” облика (см. рис. 4в), что связано с процессами метаморфизма [Громалова, 2023]. Наиболее часто размеры зерен циркона находятся в интервале



Рис. 5. Лейкоксен отобранной минералого-технологической пробы Итмановской россыпи (BSE-изображения). а — хорошо окатанные зерна глубоко измененного ильменита; б, в — зерна с реликтами ильменита.



Рис. 6. Гематит отобранной минералого-технологической пробы Итмановской россыпи (BSE-изображения). а — массивные зерна гематита хорошей окатанности; б — плохоокатанные массивные зерна; в — кавернозные зерна с примазками гидроокислов.

0.1–0.044 мм. Содержание циркона в проанализированной пробе 3.43% или 61.9 кг/м³.

Лейкоксен присутствует в основном как продукт изменения ильменита. Он встречается в виде зерен неправильной формы, в различной степени окатанных (рис. 5). Иногда в зернах лейкоксена видны мелкие реликты ильменита. С лейкоксеном связано 13.25% оксида титана. Распределяется лейкоксен в основном в классах крупности 0.1–0.074 мм (57.71%) и 0.074–0.044 мм (30.57%). Содержание диоксида титана составляет от 42.96 до 96.98%, в среднем 73.78%, что соответствует псевдорутилу [Цимбал, Полканов, 1975]. Содержание лейкоксена в проанализированной пробе 1.80% или 32.4 кг/м³.

Гематит встречается в двух формах: в виде свободных зерен хорошей и средней окатанности, составляющих основную часть гематита, а также в виде сростков гематита и ильменита (ильменогематит), образованных в результате распада твердого раствора (рис. 6). Свободный гематит представлен, как плотными зернами, так и кавернозными. Часто по стенкам пор кавернозного гематита наблюдаются тонкие бурые примазки гидроокислов железа — гидрогетита, гетита. Гематит

представлен зернами неправильной формы размером от 0.02 до 0.12 мм, основная масса зерен приходится на класс 0.074–0.044 мм (87.19%).

Вследствие частичного выноса железа в гипергенных условиях, магнитная восприимчивость титаномагнетита уменьшается, и он концентрируется в электромагнитной фракции. Титаномагнетит представлен зернами преимущественно средней и слабой степени окатанности, в отдельных случаях сохраняющими кристаллографические формы и характерную решетку, со следами выноса железа. Поверхность частично корродирована, формы зерен близки к изометричным или округло-овальным (рис. 7). Зерна титаномагнетита хорошо сортированы, имеют размеры в интервале 0.1–0.044 мм. Эти признаки дают возможность предположить, что минерал поступал из одного источника сноса, расположенного достаточно далеко от современной россыпи.

Эпидот является преобладающим нерудным минералом тяжелой фракции. Он встречается в виде полупрозрачных и прозрачных зерен желтовато-зеленого и светло-зеленого цвета. Зерна окатанные и полуокатанные, размером от 0.14 до 0.074 мм. Содержание в тяжелой фракции

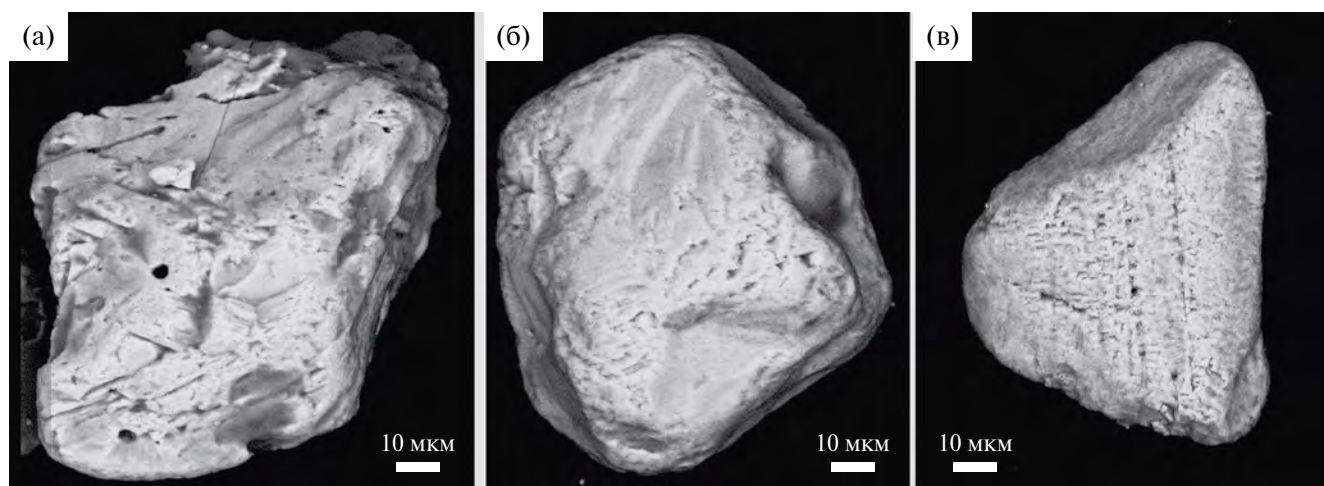


Рис. 7. Титаномagnetит отобранной минералого-технологической пробы Итмановской россыпи (BSE-изображения). а — среднеокатанные зерна неправильной формы; б — зерна, сохраняющие кристаллографические формы; в — зерна со следами выноса железа.

достигает 45% при среднем содержании в отложениях продуктивного пласта 7.3%.

Для присутствующих в тяжелой фракции титанита, граната, турмалина и других акцессорных минералов, содержание которых, как правило, не превышает 1%, характерна неправильная угловатая, слабоокатанная и среднеокатанная форма зерен.

Кварц является основным породообразующим минералом. Преобладающая масса кварца бесцветная, прозрачная, некоторая часть зерен, имеющих примазки и включения гидроокислов железа, окрашены в буроватые тона. В крупных размерных классах зерна кварца окатанные и полуокатанные, в мелких — остроугольные. Содержание кварца в отобранной минералого-технологической пробе составляет 63%.

Полевые шпаты — второй породообразующий минерал песков, представлен калиевой разновидностью. Цвет минерала от бледно-розового до кирпично-красного. Зерна полевых шпатов, в основном, слабо окатаны. Содержание в проанализированной пробе 5.32%. Около 70% полевых шпатов приходится на класс крупности 0.28–0.1 мм.

Морфологические особенности рудных минералов россыпи дают возможность сделать предположение о нескольких источниках сноса рудного материала: как близко расположенных к бассейну россыпеобразования (ильменит, циркон, рутил), так и находящегося на более далеком расстоянии (титаномagnetит, циркон метаморфический, лейкоксен и псевдорутил).

Хромшпинелиды Итмановской россыпи

Хромшпинелиды наиболее хорошо изученной Итмановской россыпи по составу чаще всего относятся к магнезиальному алюмохромиту (62%), хромпикотиту (14%), собственно хромиту (11%) и субферриалюмохромиту (8%) [Павлов и др., 1979]. Около 5% исследованных зерен близки по составу к хромистому герциниту.

Преобладающий размер зерен от 0.044 мм до 0.1 мм (90.57% хромшпинелидов исследованной пробы). Морфологически они различаются по степени сохранности первичных форм и вторичным изменениям (окатанности, дроблению, коррозии), что позволяет выделить четыре типа (рис. 8).

Тип 1 выделяется по степени сохранности зерен, имеющих признаки кристаллов октаэдрической формы несмотря на частичные поверхностные изменения, примазки других минералов или сростки с ними.

Тип 2 отличается заметной окатанностью зерен (преимущественно от слабой до средней); иногда прослеживаются признаки кристаллических форм и свежие сколы.

Тип 3 — осколочные обломки зерен, в которых хорошо видны свежие сколы, гладкие или с раковистым изломом, полученные при механическом воздействии на них внешних сил.

Тип 4 характеризуется различной степенью окатанности и значительной коррозией поверхности, как правило, выражающейся в частичном неравномерном или послойном растворении

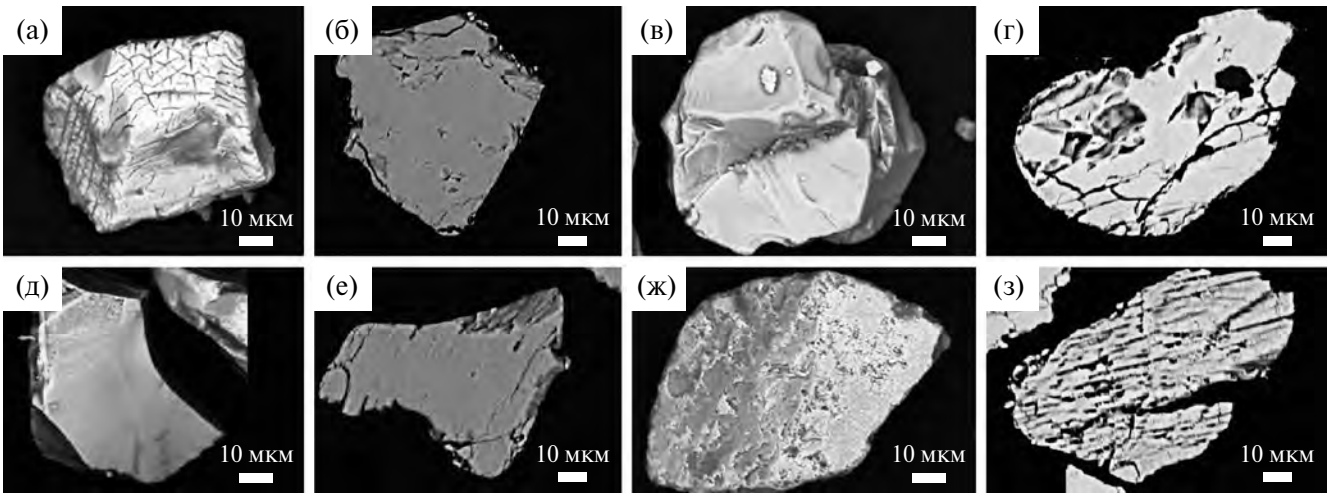


Рис. 8. Морфологические типы зерен хромшпинелидов Итмановской россыпи (слева BSE-изображения зерен на пленке, справа – сечения в полированных шашках).
а, б – зерна, частично сохранившие очертания октаэдра (тип 1); в, г – обломки зерен различной степени окатанности (тип 2); д, е – неокатанные осколочные обломки зерен (тип 3); ж, з – частично окатанные зерна со следами поверхностного растворения (тип 4).

Таблица 3. Химический состав выделенных морфологических типов хромитов

Морфо-тип		Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	FeO + Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	MnO	SiO ₂	Количество зерен
1	среднее	45.50	15.47	28.52	7.78	0.35	0.60	0.08	21
	S _o	8.81	9.23	14.08	4.04	0.33	0.77	0.14	
2	среднее	45.89	21.93	19.30	10.42	0.27	0.27	0.13	10
	S _o	7.89	7.55	5.16	2.56	0.16	0.24	0.15	
3	среднее	42.27	22.46	19.74	9.55	0.56	0.29	0.32	23
	S _o	7.51	6.08	4.66	2.95	0.33	0.28	0.81	
4	среднее	34.01	23.60	28.04	9.54	0.69	0.20	0.12	9
	S _o	14.43	13.34	14.08	3.96	0.75	0.17	0.11	

Примечание. So – стандартное отклонение выборки.

поверхности граней кристаллов или их обломков. Благоприятные для растворения условия образуются в окислительных обстановках при воздействии аэрируемых грунтовых вод, что приводит к коррозии зерен хромшпинелидов [Рыженко, Черкасова, 2013].

Исходя из морфологических особенностей, можно сказать, что исследованные хромшпинелиды претерпели все стадии формирования россыпи: перенос на значительное расстояние (окатанность зерен), механическое воздействие, приведшее к раскалыванию кристаллов в процессе переноса материала, растворение поверхности в окислительных обстановках в процессе становления и захоронения россыпи.

По статистическим параметрам химического состава хромшпинелидов (табл. 3, рис. 9) для

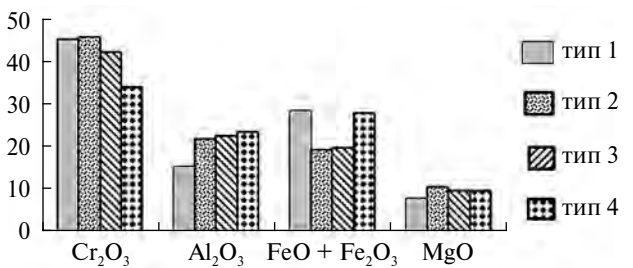


Рис. 9. Сравнение среднего химического состава различных морфологических типов хромшпинелидов Итмановской россыпи по данным исследования минерало-технологической пробы Итмановской россыпи.

типа 1 можно отметить несколько пониженное (в отличие от типов 2 и 3) содержание алюминия и повышенное содержание железа. Типы 2 и 3 очень

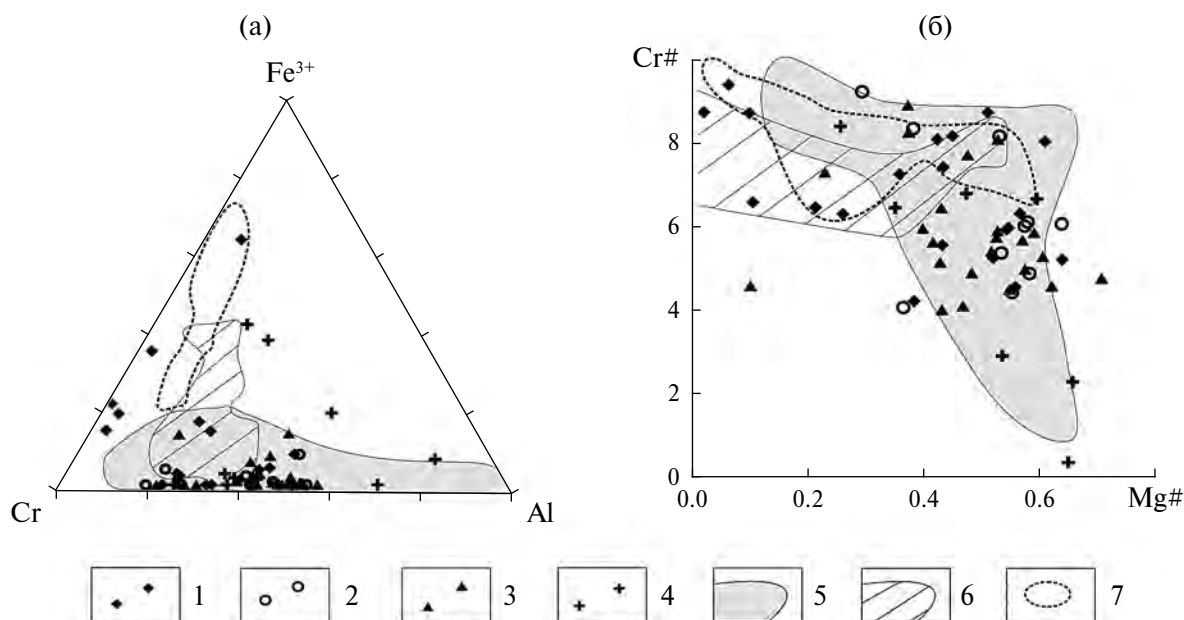


Рис. 10. Классификационные диаграммы Cr–Al–Fe³⁺ (а) и Mg#–Cr# (б) для хромшпинелидов Итмановской россыпи.

1–4 – морфологические типы зерен хромшпинелидов: 1 – тип 1 (идиоморфные), 2 – тип 2 (окатанные), 3 – тип 3 (обломочные неокатанные), 4 – тип 4 (корродированные); 5–7 – поля составов хромшпинелидов (50%-ный контур) из офиолитов (5), расслоенных интрузивных массивов (layered intrusions) (6), концентрически-зональных платиноносных массивов (Alaskan zoned ultramafic complexes) (7). Поля составов хромшпинелидов из ультрамафитов различной формационной принадлежности даны по [Barnes, Roeder, 2001; Рахимов и др., 2020].

близки как по химическому составу, так и выдержанности содержания компонентов (стандартному отклонению выборки). Для типа 4 характерно пониженное содержание хрома и повышенное – железа, а также более широкий разброс значений (стандартное отклонение).

Анализ составов с использованием классификационных диаграмм Cr–Al–Fe³⁺ и Mg#–Cr# (где Mg# = Mg/(Mg + Fe²⁺), Cr# = Cr/(Cr + Al)) (рис. 10) с целью установления формационной принадлежности их источников показал, что хромшпинелиды Итмановской россыпи в большинстве своем соответствуют хромшпинелидам офиолитовых ассоциаций. На диаграмме Cr–Al–Fe³⁺ (см. рис. 10а) они образуют непрерывное протяженное поле, отвечающее мантийному тренду дифференциации. Несколько точек, полученных по зернам типа 1, попадают в область концентрически-зональных платиноносных массивов. Часть точек корродированных зерен (тип 4) находятся за пределами 50%-ного контура выделенных типов основных и ультраосновных пород, что характеризует степень их гипергенных преобразований.

На диаграмме Mg#–Cr# (см. рис. 10б) изученные хромшпинелиды также формируют область

точек, обнаруживающую отрицательную корреляцию между хромистостью и магнезиальностью, что является характерным признаком эндогенных шпинелидов из ультрамафитов офиолитовых комплексов [Barnes, Roeder, 2001; Рахимов и др., 2020].

Имеющиеся данные по составу хромшпинелидов ультрабазитовых массивов Восточного Саяна [Бенедюк и др., 2010] позволяют детализировать возможные источники хромшпинелидов Итмановской россыпи. Так, на диаграммах Cr–Al–(Fe³⁺+2Ti) (рис. 11а) и Mg#–Cr# (см. рис. 11б) основная часть зерен хромшпинелидов локализуется в поле составов дунит-верлит-плагיוверлитовой формации.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование минерального состава продуктивных отложений и типоморфизма основных промышленных минералов Итмановской россыпи ЛРП показало, что в ней проявлен ряд особенностей, отличающих ее от классических РТР дальнего переноса, что необходимо учитывать при создании поисково-ориентированной структурно-генетической модели месторождений такого типа.

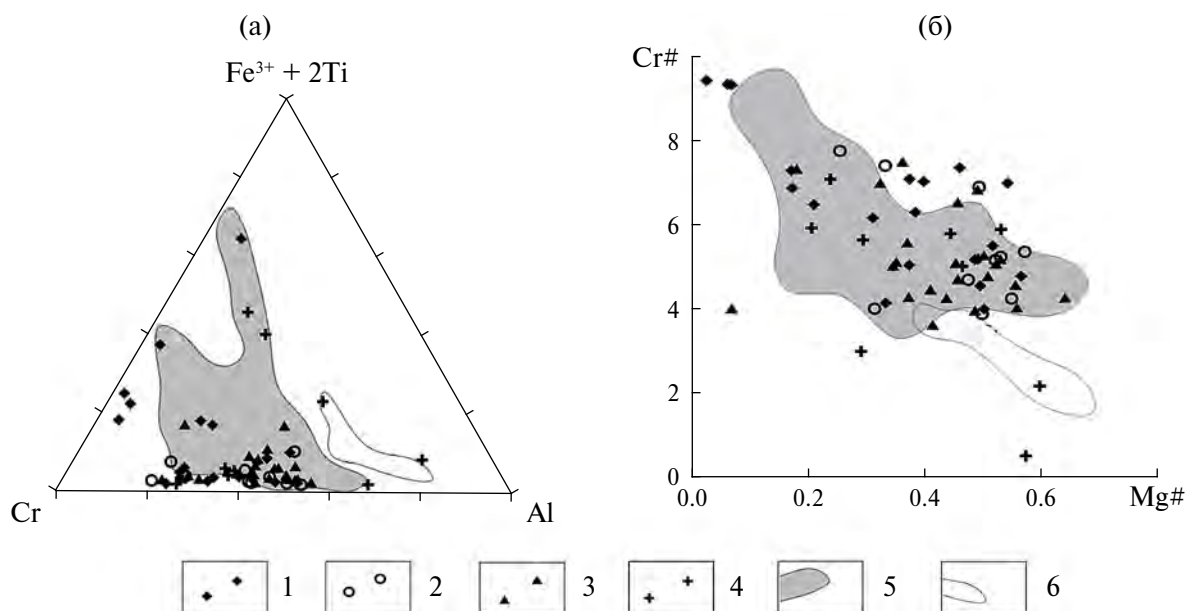


Рис. 11. Положение хромшпинелидов Итмановской россыпи на диаграммах Cr–Al–($Fe^{3+}+2Ti$) (a) и коэффициентов Mg#–Cr# (б) ультрабазитовых массивов Восточного Саяна, полученных по данным [Бенедюк и др., 2010].

1–4 – морфологические типы зерен хромшпинелидов: 1 – тип 1 (идиоморфные), 2 – тип 2 (окатанные), 3 – тип 3 (обломочные неокатанные), 4 – тип 4 (корродированные); 5, 6 – поля составов хромшпинелидов из пород дунит-верлит-плагиверлитовой формации (5) и дунит-гарибургитовой формации (6).

Для Итмановской россыпи характерен относительно незрелый минеральный состав: если обычно в РТР преобладают устойчивые к выветриванию минералы [Патык-Кара, 2002; Лаломов, 2023], то в тяжелой фракции Итмановской россыпи наиболее распространенным является эпидот, который характеризуется как “химически нестойкий, редко сохраняющийся в древних отложениях, измененных процессами выветривания” [Кухаренко, 1961, с. 261]. Это говорит о том, что материал источника не подвергался глубокому химическому выветриванию, или же процессы корообразования в области источника россыпеобразующего материала носили ограниченный характер.

По содержанию хромшпинелидов россыпи ЛРР являются уникальными объектами среди РТР дальнего переноса – только здесь хромшпинелиды достигают содержаний, при которых хром входит в подсчет запасов месторождения¹. Поскольку при дальнем переносе хромшпинелиды преимущественно рассеиваются, их повышенное содержание указывает на существование близко

расположенного богатого источника и/или промежуточного коллектора. Морфологические особенности рудных минералов россыпи дают возможность сделать предположение о нескольких источниках сноса рудного материала.

Интерпретация источников хромшпинелидов с использованием генетических диаграмм продемонстрировала, что в подавляющем большинстве они относятся к офиолитовой формации и, возможно, в незначительном количестве к концентрически-зональным платиноносным ультрабазитовым массивам. Частичное перекрытие генетических зон офиолитовой и стратиформной формаций не дает возможность диагностировать источники со 100% уверенностью, но отсутствие фигуративных точек в исключительно стратиформном поле позволяет предположить, что в зоне перекрытия они относятся к офиолитовой формации. Фигуративные точки, выходящие за 50%-ный контур генетического поля офиолитов, как правило, относятся к типу корродированных, для которых нарушено первичное соотношение основных минералообразующих компонентов.

Морфологические особенности хромшпинелидов позволили выделить четыре типа, из которых три (типы 2, 3 и 4), скорее всего, связаны генетически; различия между ними обусловлены процессами зоны гипергенеза. Тип 2 приобрел

¹ Быховский Л.З. Разработка технико-экономического обоснования постоянных кондиций, подсчет запасов титано-циркониевых песков Итмановской россыпи Лукояновского месторождения в Нижегородской области (по состоянию на 01.06.2010 г.). Отчет. М.: ВИМС, 2010.

свои характерные особенности в результате окатывания в процессе транспортировки, которое может быть весьма заметно уже при переносе на расстояние 30–40 км [Gujar et al., 2010].

Тип 3 — остроугольные неокатанные обломки хромшпинелидов — образовался, скорее всего, в результате дробления частиц в высокоскоростном волноприбойном потоке. На это указывает идентичный химический состав типов 2 и 3, и наличие реликтов окатанной поверхности на отдельных угловатых зернах со свежими сколами.

Тип 4 по морфологии и химизму близок к типу 3. Коррозионные изменения связаны, вероятно, с тем, что по причинам, пока еще не до конца еще понятным, в зоне гипергенеза эти зерна наиболее длительно подвергались воздействию окислительных процессов, что привело к изменению их химического состава — выносу хрома и относительному накоплению железа и алюминия.

Тип 1 (идиоморфные зерна) с повышенным содержанием хрома и пониженным — алюминия заметно отличается от трех остальных по химическому составу. Хотя значительная часть этих зерен находится в поле офиолитов, некоторые попадают в поле концентрически-зональных платиноносных массивов, что может указывать на поступление материала в промежуточный коллектор из нескольких питающих областей как регионального, так и местного уровня.

Таким образом, можно сделать вывод, что по своему химическому составу исследованные зерна в большинстве своем соответствуют хромшпинелидам офиолитовых формаций и могут быть связаны как с основными — ультраосновными комплексами Уральской складчатой системы, так и с другими, в том числе и локальными источниками.

Офиолитовые комплексы пород трассируют Уральскую складчатую систему практически на всем ее протяжении, поэтому вынос материала в восточную часть ВЕП отражает многообразие различных типов базитовых — гипербазитовых пород, входящих в состав этой формации. В пределах Приуральского бассейна пермского времени поступающий из зоны денудации материал перемещивался и переносился вдольбереговыми потоками субмеридионального направления [Лаломов и др., 2017], что осложняет возможность более точного диагностирования источников хромитов Приуральской части ВЕП.

Для исследованной Итмановской россыпи, как и Лукояновского россыпного района в целом, характерна умеренная зрелость минерального состава отложений, что не типично для

аналогичных россыпей, поскольку они, как правило, образуются за счет размыва кор глубокого химического выветривания и промежуточных коллекторов, в которых неустойчивые минералы в большинстве своем разрушены. Так, в россыпях Зауральского россыпного района содержание в тяжелой фракции неустойчивых в зоне выветривания минералов (эпидот, гранаты, пироксены, амфиболы и т.д.) не превышает 20%, а палеогеографический коэффициент по Сигову (отношение суммы устойчивых аксессуариев к неустойчивым) [Сигов, 1971] изменяется в пределах от 4 до 28 [Патык-Кара и др., 2009]. Для продуктивных отложений месторождения Центральное (Тамбовская обл.) этот коэффициент составляет в среднем 2.1 (от 1.8 до 2.6 по рядовым пробам). Для отложений Итмановской россыпи палеогеографический коэффициент изменяется в пределах от 0.27 до 0.51, что не характерно для зрелых толщ, подвергшихся влиянию процессов образования коры выветривания.

Низкие значения палеогеографического коэффициента для россыпей ЛРР связаны предположительно с тем, что поступающий с Урала в промежуточный коллектор осадочный материал из континентальных и мелководно-морских отложений средней и верхней перми не проходил через стадию образования коры глубокого химического выветривания, а являлся результатом механической дезинтеграции, размыва и транспортировки отложений в зону осадконакопления.

Пермско-триасовое время, связанное с завершающим этапом Уральского орогенеза, для которого корообразование с глубоким химическим выветриванием не было типичным, характеризуется формированием в Предуральском прогибе терригенных, минералогически незрелых (содержащих большое количество неустойчивых в зоне выветривания минералов) молассовых отложений.

Платформенный этап на Урале начался с ранней юры. Именно с этим периодом связывается начало образования пенеплена и появления первых кор выветривания [Пучков, 2010]. Таким образом, в пределы среднеюрского морского бассейна ЛРР поступал в основном материал эродированных пермских отложений и в меньшей степени — начавших формироваться кор выветривания.

Рудные минералы могли быть переотложены в батские пески ЛРР в результате переомыва палеозойских и раннемезозойских образований. Важным источником, повлиявшим на минеральный

состав отложений ЛРР, могли служить отложения нижней и средней перми, которые размывались в районе Воротиловского выступа севернее Лукояновского купола. Отложения этого района требуют дополнительного изучения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Хромовые руды являются дефицитным стратегическим видом минерального сырья. В связи с этим рассматриваются вопросы оценки перспективности нетрадиционных источников, связанных с хромитоносными ископаемыми прибрежно-морскими россыпями. Эталонным объектом этого типа месторождений считается Итмановская россыпь ЛРР, основными промышленными компонентами которого являются циркон, ильменит, рутил и хромшпинелиды.

Углубленное исследование хромшпинелидов позволило выделить четыре морфологических типа зерен, из которых три (окатанные, угловато-обломочные и корродированные) сходны по химическому составу и, скорее всего, по происхождению; указанные особенности характеризуют процессы преобразования в зоне гипергенеза.

Исследование химического состава хромшпинелидов Итмановской россыпи показало, что в большинстве своем они аналогичны одноименным минералам офиолитовой формации, а также концентрически-зональных платиноносных массивов, что наиболее характерно для зерен типа 1 (идиоморфные).

В целом состав осадочного чехла восточной части ВЕП связан с влиянием Уральской складчатой области, при этом на формирование ЛРР существенное влияние мог оказывать локальный размыв местных источников, расположенных к северу от ЛРР.

Нетипичный для редкометалльно-титановых россыпей умеренно зрелый минеральный состав тяжелой фракции, повышенное содержание хромшпинелидов, широкий разброс показателей окатанности тяжелых минералов показывают, что, помимо общих благоприятных для россыпеобразования условий, на формирование россыпи большое влияние оказали местные источники, расположенные в районе Воротиловского выступа фундамента.

Более обоснованное доказательство этой модели возможно после анализа хромитов и циркона из пород Пучеж-Катунской импактной структуры.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-00109, <https://rscf.ru/project/24-27-00109/>.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бенедюк Ю.П., Колотилина Т.Б., Мехоношин А.С. Хромшпинелиды Медекского массива (Восточный Саян) // Известия Сибирского отделения секции наук о земле РАН. Геология поиски и разведка рудных месторождений. 2010. № 2(37). С. 72–76.
- Громалова Н.А. Циркон метаморфических пород. Особенности кристалломорфологии, химизма и внутреннего строения // Жизнь Земли. 2023. Т. 45. № 2. С. 184–192.
- Гурвич С.И., Болотов А.М. Титано-циркониевые россыпи Русской платформы и вопросы поисков. М.: Недра, 1968. 185 с.
- Кирков И.Г., Кочергина В.А., Хайдарова Д.А. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200000. Издание второе. Серия Средневожская. Лист О-38-XXVI (Пучеж). Объяснительная записка [Электронный ресурс]. М.: Московский филиал ФГБУ "ВСЕГЕИ", 2021. 112 с.
- Колодяжный С.Ю., Кузнецов Н.Б., Романюк Т.В. и др. Природа Пучеж-Катунской импактной структуры (центральная часть Восточно-Европейской платформы): результаты изучения U–Th–Pb изотопной системы зерен детритового циркона из эксплозивных брекчий // Геотектоника. 2023. № 5. С. 70–95.
- Кухаренко А.А. Минералогия россыпей. М.: Недра, 1961. 318 с.
- Лаломов А.В., Рахимов И.Р., Григорьева А.В. Хромитовые россыпные проявления Волго-Уральского бассейна – вопросы генезиса, источников и промышленного потенциала // Георесурсы. 2021. № 3. С. 70–75.
- Лаломов А.В. Локальные факторы формирования прибрежно-морских редкометалльно-титановых россыпей // Литология и полез. ископаемые. 2023. № 4. С. 407–420.
- Лаломов А.В., Берто Г., Изотов В.Г. и др. Реконструкция палеогидродинамических параметров верхнепермского осадочного бассейна Прикамья // Георесурсы. 2017. № 2. С. 103–110.
- Лаломов А.В., Григорьева А.В., Иванова Ю.Н. Особенности хромитосодержащих россыпей Лукояновского россыпного района (Нижегородская область) и условия их формирования // Литология и полез. ископаемые. 2024. № 6. С. 710–720.
- Маракушев А.А., Богатырев О.С., Феногенов А.Н. и др. Формирование Пучеж-Катунской кольцевой струк-

туры на Русской платформе // ДАН. 1993. Т. 328. № 3. С. 361–365.

Павлов Н.В., Григорьева И.И., Гришина Н.В. Образование и генетические типы хромитовых месторождений геосинклинальных областей // Условия образования магматических рудных месторождений / Отв. ред. А.И. Смирнов. М.: Наука, 1979 М.: Наука, 1979. С. 5–78.

Патык-Кара Н.Г. Россыпи в системе седиментогенеза // Литология и полез. ископаемые. 2002. № 5. С. 494–508.

Патык-Кара Н.Г. Минерация россыпей: типы россыпных провинций М.: ИГЕМ РАН, 2008. 526 с.

Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.

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

Рухин Л.Б. Основы литологии: Учение об осадочных породах. Л.: Недра, 1969. 703 с.

Рыженко Б.Н., Черкасова Е.В. Прогноз загрязнения вод при разработке месторождения хромита // Геохимия. 2013. № 9. С. 809–818.
<https://doi.org/10.7868/S0016752513060071>

Сигов А.П. Условия образования полезных ископаемых и металлогенические эпохи мезозоя и кайнозоя Урала // Материалы по геоморфологии Урала. М.: Недра, 1971. С. 117–126.

Цымбал С.Н., Полканов Ю.А. Минералогия титано-циркониевых россыпей Украины. Киев: Наукова Думка, 1975. 248 с.

Barnes S., Roeder P. The Range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rocks // Journal of Petrology. 2001. V. 42. P. 2279–2302.

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(4). P. 492–499.

MINERAL COMPOSITION OF THE PRODUCTIVE FORMATION AND FEATURES OF CHROMITES OF THE LUKOYANOVSKY PLACER AREA (NIZHNY NOVGOROD REGION)

A. V. Lalomov^{1,*}, A. V. Grigorieva¹, Yu. N. Ivanova¹, L. A. Ivanova¹,
I. D. Gornostaev², E. S. Ivanova²

¹Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry (IGEM) RAS, Staromonetny lane, 35, Moscow, 119017 Russia

²Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory, Moscow, 119991 Russia

*e-mail: lalomov@mail.ru

As a result of geological exploration within the Lukoyanovsky placer district (Nizhny Novgorod region), increased contents of chrome spinel reaching an industrial level of up to 100 kg/m³ were established in complex coastal-marine rare metal-titanium placers, while their source is not obvious. In addition to chrome spinel, industrial components of placers are ilmenite, zircon and rutile. Morphological features of ore minerals make it possible to assume several sources of ore material transportation, both proximal and distant. Moderately mature mineral composition of the heavy fraction (increased amount of minerals unstable during weathering) indicates that the formation of Permian-Jurassic deposits of this region occurred without the participation (or with weak participation) of chemical weathering crusts. During the mobilization of detrital material in the source zone and during the formation of intermediate reservoirs (Permian and Early Mesozoic complexes of the sedimentary cover of the Ural part of the East European platform), mechanical processes prevailed with a subordinate influence of crust formation. The study of the chemical composition of chrome spinel of the most studied and promising Itmanovskaya placer showed that they are mostly similar to the same-name minerals of the ophiolite formation, as well as concentrically zoned platinum-bearing massifs. It seems that with the general influence on the formation of the sedimentary cover of the central and eastern parts of the East European platform at the Permian-Triassic boundary of the Uralide paleo-orogen, the Puchezh-Katunka ring structure, located to the north of the Lukoyanov dome, had a noticeable effect on the composition of the heavy fraction of sediments in the region.

Keywords: placers, chromites, typomorphism, typochemistry, Lukoyanovsky placer area