



Источники сноса терригенного материала при формировании аквальных отложений в Кельтминском погребённом каньоне (по данным изучения хромшпинелидов)

В. А. Исаков, Л. Н. Андреичева

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия
isakovvlad94@gmail.com, andreicheva@geo.komisc.ru

Впервые проведено исследование типоморфных особенностей и химического состава хромшпинелидов из аквальных отложений четвертичного возраста в Кельтминском погребённом каньоне на юго-востоке Республики Коми. Установлено, что хромшпинелиды характеризуются преимущественно округлой, угловатой и октаэдрической формами зёрен с выраженными следами механического износа поверхности и признаками коррозии. По химическому составу центральные части зёрен сложены преимущественно алюмохромитами, хромпикотитами, хромитами и субферриалюмохромитами, а внешние каймы — более железистыми разновидностями (субферрихромитами, субалюмоферрихромитами), что свидетельствует о постмагматических изменениях хромшпинелидов. Обнаружены микровключения хлоритов, плагиоклазов, амфиболов и пироксенов.

Результаты исследования указывают на связь хромшпинелидов с ультраосновными породами альпинотипных массивов Полярного Урала. Их транспортировка и переотложение в аквальные образования Кельтминской ложбины связаны в значительной степени с экзарационной деятельностью ледникового покрова. Полученные данные согласуются с опубликованными нами ранее результатами изучения вещественного состава аквальных осадков погребённого каньона, свидетельствующими об участии уральских магматических и метаморфических комплексов при образовании этих осадков, а также о возможности поступления обломочного материала в Кельтминскую ложбину из пород офиолитовой ассоциации ультраосновных массивов Полярного и Приполярного Урала.

Ключевые слова: минеральный состав, погребённый каньон, сквозная долина, флювиогляциальные отложения, аллювий, хромшпинелиды, типоморфизм, источник сноса

Sourceland of terrigenous material during the formation of aquatic deposits of the Keltmin burial canyon (based on the study of chromespinelides)

V. A. Isakov, L. N. Andreicheva

Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktывkar, Russia

The typomorphic features and chemical composition of chromespinelides from the Quaternary aquatic sediments of the Keltmin Buried Canyon in the southeastern Komi Republic have been studied for the first time. It has been established that the chromespinelides are characterized by predominantly rounded and octahedral grain shapes with pronounced traces of mechanical surface wear and signs of corrosion. Chemically, the grain cores are composed predominantly of aluminochromites, chrompicotites, chromites, and subferri-aluminochromites, while the outer rims are composed of more ferrous varieties (subferri-chromites and subaluminoferrichromites), indicating postmagmatic alteration of the chromespinelides. Microinclusions of chlorites, plagioclases, amphiboles, and pyroxenes have been detected. The study results indicate a connection between chromespinels and ultramafic rocks of the Alpine-type massifs of the Polar Urals. Their transport and redeposition in the aquatic formations of the Keltmin Trough are largely related to the exaration activity of the glacier. The obtained data are consistent with our previously published study of the composition of aquatic sediments of the buried canyon, which indicate the involvement of Ural igneous and metamorphic complexes in the formation of these sediments, as well as the possibility of the supply of detrital material to the Keltmin Trough from ophiolite association rocks of ultramafic massifs of the Polar and Subpolar Urals.

Keywords: mineral composition, burial canyon, through valley, fluvio-glacial deposits, alluvium, chromespinels, typomorphism, provenance source

Введение

Кельтминская ложбина является объектом интенсивных исследований начиная с середины прошлого века, когда в рельефе дочетвертичных пород на водоразделе рек Северной и Южной Кельтмы был обнаружен глубокий погребённый каньон (Яковлев, 1956). Эти исследования проводились для выяснения простран-

ственно-временного развития Печоро-Вычегодско-Камского водораздела и установления источников сноса обломочного материала для образования четвертичных отложений Кельтминской долины. С. А. Яковлев, изучив состав гальки из флювиогляциального галечника в основании каньона, предположил, что четвертичные отложения, заполняющие его, образовались

Для цитирования: Исаков В. А., Андреичева Л. Н. Источники сноса терригенного материала при формировании аквальных отложений в Кельтминском погребённом каньоне (по данным изучения хромшпинелидов) // Вестник геонаук. 2025. 10 (370). С. 41–50. DOI: 10.19110/geov.2025.10.4

For citation: Isakov V. A., Andreicheva L. N. Sourceland of terrigenous material during the formation of aquatic deposits of the Keltmin burial canyon (based on the study of chromespinelides). Vestnik of Geosciences, 2025, 10 (370), pp. 41–50, DOI: 10.19110/geov.2025.10.4

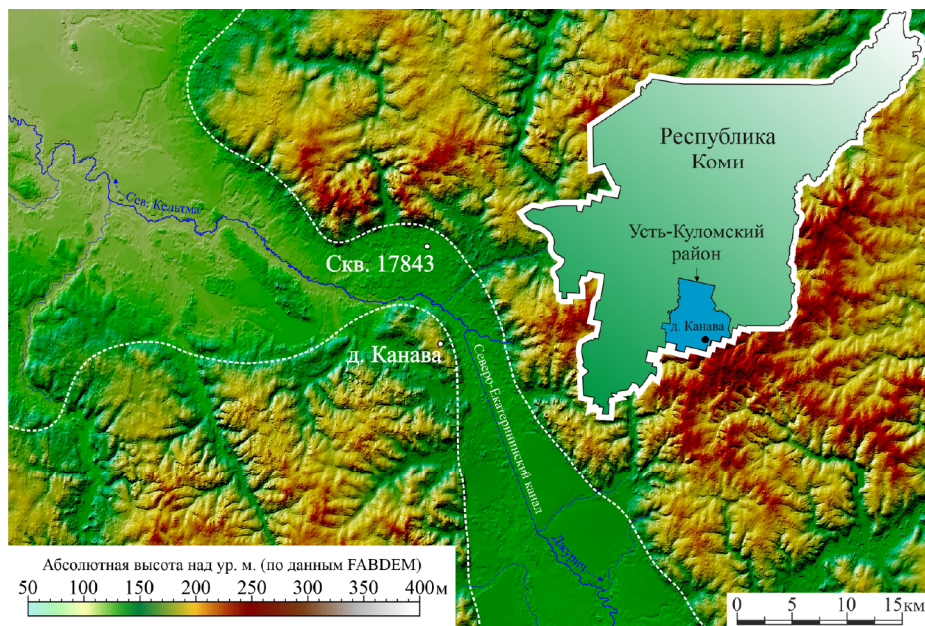


Рис. 1. Местоположение скв. 17843 и гипсометрическая характеристика Кельтминской ложбины (юго-восток Республики Коми).

Примечание: пунктиром отмечены границы Кельтминской ложбины (по: Назаров и др., 2020)

Fig. 1. Location of borehole 17843 and hypsometric characteristics of the Keltmin trough (southeast of the Komi Republic).

Note: the dotted line marks the boundary of the Keltmin trough (according to: Nazarov et al., 2020)

исключительно за счет новоземельских пород в результате стока вод в юго-восточном направлении в сторону Камы. При этом поступление обломочного материала с Урала и Фенноскандинавии исключалось.

При повторном вскрытии этого каньона в 2017 году скважиной № 17843 отложения были проанализированы гранулометрическим и палинологическим методами с целью генетического и стратиграфического расчленения четвертичной толщи.

Для определения местоположений источников сноса терригенного материала при формировании отложений квартера нами впервые было проведено изучение минерального состава тяжелой фракции осадков, слагающих Кельтминский каньон. В результате установлены количественные содержания некоторых тяжелых минералов, не вполне типичные для четвертичных отложений (Андреичева и др., 2021). Выявлены высокие концентрации магнетита (до 42 %), ильменита (до 24 %) и хромшпинелидов (до 8 %), тогда как обычными для четвертичных образований являются содержания магнетита на уровне первых процентов либо еще меньше, количество хромшпинелидов составляет доли процента до единичных знаков, максимальные содержания ильменита редко достигают 10–11 %.

На основании полученных данных сделано предположение о поступлении материала в процессе формирования четвертичных осадков с Урала (Андреичева и др., 2021). Повышенные содержания магнетита могли быть обусловлены поступлением его из магматических пород и метаморфизованных серпентинизированных ультрабазитов. Хромшпинелиды, вероятно, связаны с породами офиолитовой ассоциации Полярного и Приполярного Урала (Макеев, 1992; Макеев, Брянчанинова, 1999; Савельева, 1987). Ильменит — характерный минерал Северо-Восточной терригенно-минералогической провинции, в которую входят Новая Земля, Пай-Хой, Полярный и Приполярный Урал; образуется на последней стадии кристаллизации магматических пород основного и щелочного состава.

Однако полученные нами результаты изучения минерального состава тяжелой фракции четвертичных отложений не согласуются с выводами С. А. Яковлева, сделанными на основе изучения петрографического со-

става гальки. В этой связи было принято решение провести исследование типоморфных особенностей и химического состава хромшпинелидов, которые являются наиболее распространенными типоморфными минералами магматогенного минералообразования и связаны главным образом с ультраосновными и основными породами. Повышенный интерес к изучению хромшпинелидов определяется возможностью использования их типоморфных особенностей и химического состава для выявления связи хромшпинелидов с гипербазитовыми комплексами. Состав, свойства и типоморфные особенности хромшпинелидов изучались и изучаются многочисленными исследователями не только на Полярном, Приполярном и Среднем Урале, но и на Тимане (Макеев, 1985; Макеев и др., 1992; Осовецкий, 2001; Глухов и др., 2015, 2021; Бадида и др., 2020). По этой причине имеется возможность сопоставить полученные нами результаты изучения хромшпинелидов с уже имеющимися опубликованными данными.

Таким образом, целью настоящих исследований является изучение типоморфных особенностей и химического состава хромшпинелидов из аквальных осадков скв. 17843 для установления источника сноса обломочного материала при формировании неоплейстоценовых отложений Кельтминской ложбины.

Материал и методы исследований

Скважина 17843 пробурена в центральной части Кельтминской ложбины, в 5.7 км севернее дер. Канавы Усть-Куломского района Республики Коми (рис. 1).

Изучение литологического состава отложений и выполненное на их основе фацимальное расчленение 44-метровой толщи аквальных осадков, слагающих разрез скважины, были проведены нами ранее (Андреичева и др., 2021). По мнению А. В. Панина с коллегами, накопление отложений в скв. 17843 происходило в среднем и позднем неоплейстоцене (Панин и др., 2019; Panin et al., 2020).

В основании разреза, в интервале глубин 43.2–27.0 м, залегают флювиогляциальные тонко- и мелкозернистые буровато-серые пески, переходящие вверх по разрезу в темно- и коричневатые глинистые



алевриты с маломощными прослоями глин, супесей и мелкозернистых песков. Суммарная мощность флювиогляциальной пачки составляет 16.2 м.

Выше, в интервале глубин 25.9–23.6 м, вскрыта плотная слабосортированная тёмно-серая с коричневым оттенком алевритистая глина без включений крупнообломочного материала мощностью 2.3 м неясного генезиса.

Верхние 22 м представлены аллювием — хорошо сортированным средне- и мелкозернистым песком.

Минералогический анализ 18 образцов песков, алевритов и глин выполнен по методике М. Ф. Викуловой (1957). Двухсотграммовая навеска осадка подвергалась мокрому рассеву на ситах с выделением мелкопесчаной фракции 0.25–0.1 мм и дальнейшему разделению полученного материала в тяжелой жидкости «Бромформ», магнитной сепарации, взвешиванию и изучению под бинокулярным микроскопом. Зёрна хромшпинелидов отобраны из навесок тяжелой фракции осадков, накопление которых происходило в разных седиментационных обстановках.

Изучение морфологии и химического состава хромшпинелидов проведено на сканирующем элек-

тронном микроскопе «Tescan VEGA 3 LMN» с энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 450 при ЦКП «Геонаука» ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН при рабочем напряжении 20 kV (аналитик Е. М. Тропников). Всего выполнено 193 анализа химического состава хромшпинелидов и 17 определений состава включений, присутствующих в зернах.

Результаты исследований

Встречаемость в разрезе

Распределение хромшпинелидов в аквальных отложениях скв. 17843 Кельтминской ложбины имеет ряд особенностей.

Наименьшие содержания хромшпинелидов (от 0.3 до 5 %) наблюдаются в плотной слабосортированной алевритистой глине неясного генезиса и во флювиогляциальных тонко- и мелкозернистых буровато-серых песках, а также глинистых алевритах (0.4–5.5 %). Более высокая концентрация хромшпинелидов (от 1.8 до 8.3 %) характерна для желтовато- и серо-коричневых, средне- и мелкозернистых хорошо сортированных аллювиальных песков (рис. 2).

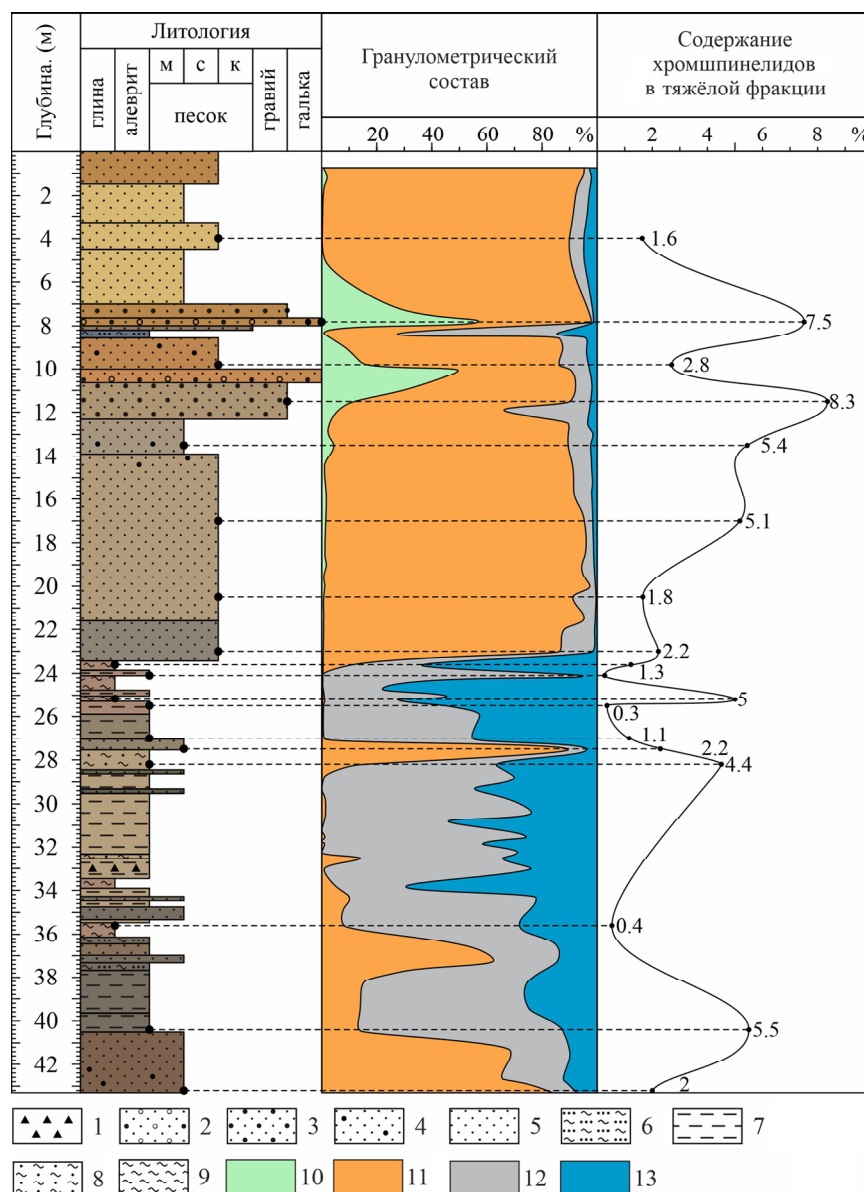


Рис. 2. Строение, гранулометрический состав и содержание хромшпинелидов в тяжелой фракции скв. 17843.

Литологическая характеристика: 1 — дресва, 2 — песок с гравием и галькой, 3 — песок с гравием, 4 — песок с единственным гравием, 5 — песок, 6 — супесь, 7 — алеврит, 8 — суглинок, 9 — глина.

Гранулометрический состав: 10 — гравий (> 1 мм), 11 — песок (1–0.1 мм), 12 — алеврит (0.1–0.01 мм), 13 — глина (< 0.01 мм)

Примечание: Цвета отложений в литологической колонке отражают их естественную окраску. Точками с пунктирными линиями отмечены места отбора проб на минералогический анализ

Fig. 2. Structure, granulometric composition and content of chromespinelides in the heavy fraction at borehole 17843.

Lithological characteristics: 1 — gravel, 2 — sand with gravel and pebbles, 3 — sand with gravel, 4 — sand with single gravel, 5 — sand, 6 — sandy loam, 7 — silt, 8 — loam, 9 — clay.

Grain size distribution: 10 — gravel (> 1 mm), 11 — sand (1–0.1 mm), 12 — silt (0.1–0.01 mm), 13 — clay (< 0.01 mm)

Note: The colors of the sediments in the lithological column reflect their natural coloring. The dots with dotted lines indicate the locations where samples were collected for mineralogical analysis

Морфология зёрен

Хромшпинелиды в тяжелой фракции аквальных отложений Кельтминского погребенного каньона представлены тремя основными морфологическими типами зёрен и характеризуются черной и коричнево-черной окраской со смолистым блеском.

Наиболее распространённой разновидностью (49 % общего количества изученных индивидов) являются зёрна округлой формы (рис. 3, а, b). Вторая по распространённости группа (28 %) представлена угловатыми обломками (рис. 3, с, d), характеризующимися различной степенью окатанности. Самой редкой морфологической разновидностью являются кристаллы октаэдрического габитуса (рис. 3, е, f) с притуплёнными рёбрами и вершинами, доля которых в выборке составляет 23 %.

Значительная часть зерен хромшпинелидов (до 76 %) характеризуется признаками механического воздействия, которое проявляется в виде абразивного сглаживания исходных кристаллографических граней и ребер (рис. 3, b, e), а также развития на поверхности микрорельефа выбоин и каверн (рис. 3, а—е).

Характерной особенностью части изученных индивидов (25 %) является наличие ярко выраженного коррозионного рельефа поверхности. Наиболее интенсивные коррозионные изменения локализованы преимущественно в зонах ребер и вершин кристаллов (рис. 3, е), где они проявляются в виде хорошо развитых ка-

верн размером от 3 до 34 мкм. На гранях индивидов коррозионные процессы выражены значительно слабее и представлены преимущественно поверхностным матированием. Коррозионные изменения полностью отсутствуют лишь в зонах сколов (рис. 3, с, d), которые характеризуются ровными раковистыми изломами и острыми кромками, образовавшимися, вероятно, в процессе механической транспортировки минеральных зерен.

Внутреннее строение

Детальные исследования хромшпинелидов на сканирующем электронном микроскопе позволили выделить ряд существенных различий в морфологии зёрен.

Значительная доля индивидов характеризуется однородным гомогенным строением с небольшими малоcontrastными различиями на их внутренних и внешних участках (рис. 4, а, b). Незначительное количество зёрен (13 %) имеют зональное строение за счёт ярко выраженных каём (рис. 4, с, d). В режиме обратно-рассеянных электронов данные каймы отличаются более светлым тоном, имеют контрастные и резкие границы, а их ширина варьирует от 5 до 15 мкм. Следует отметить, что незначительная часть минеральных зёрен покрыта многочисленными трещинами (рис. 4, е, f).

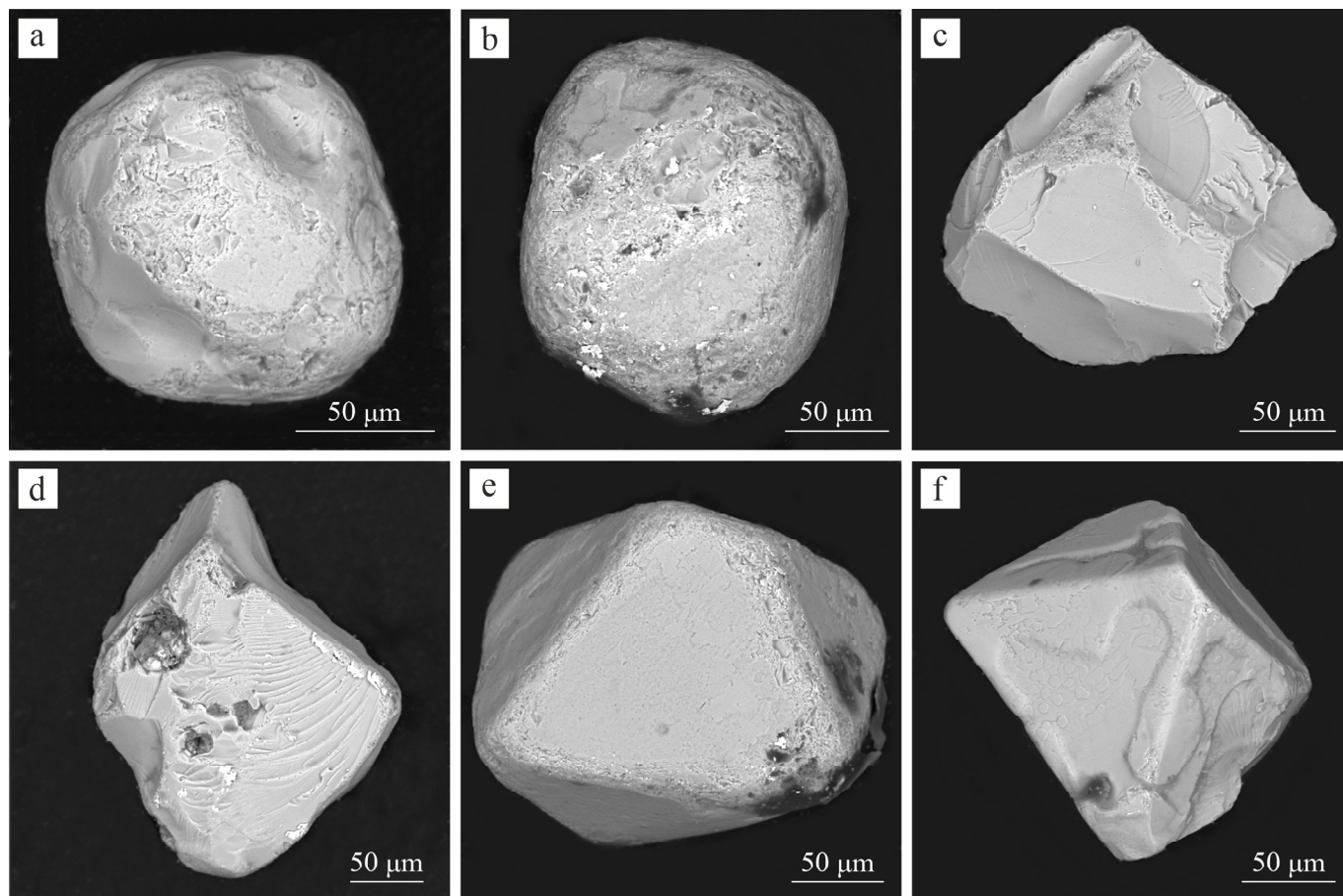


Рис. 3. Хромшпинелиды из осадков Кельтминского погребенного каньона.

Форма зёрен: а, b — округлая, с, d — угловатая, е, f — октаэдрическая

Fig. 3. Chromespinelides from the sediments of the Keltmin Buried Canyon.

Grain shape: а, b — round, с, d — angular, е, f — octahedral

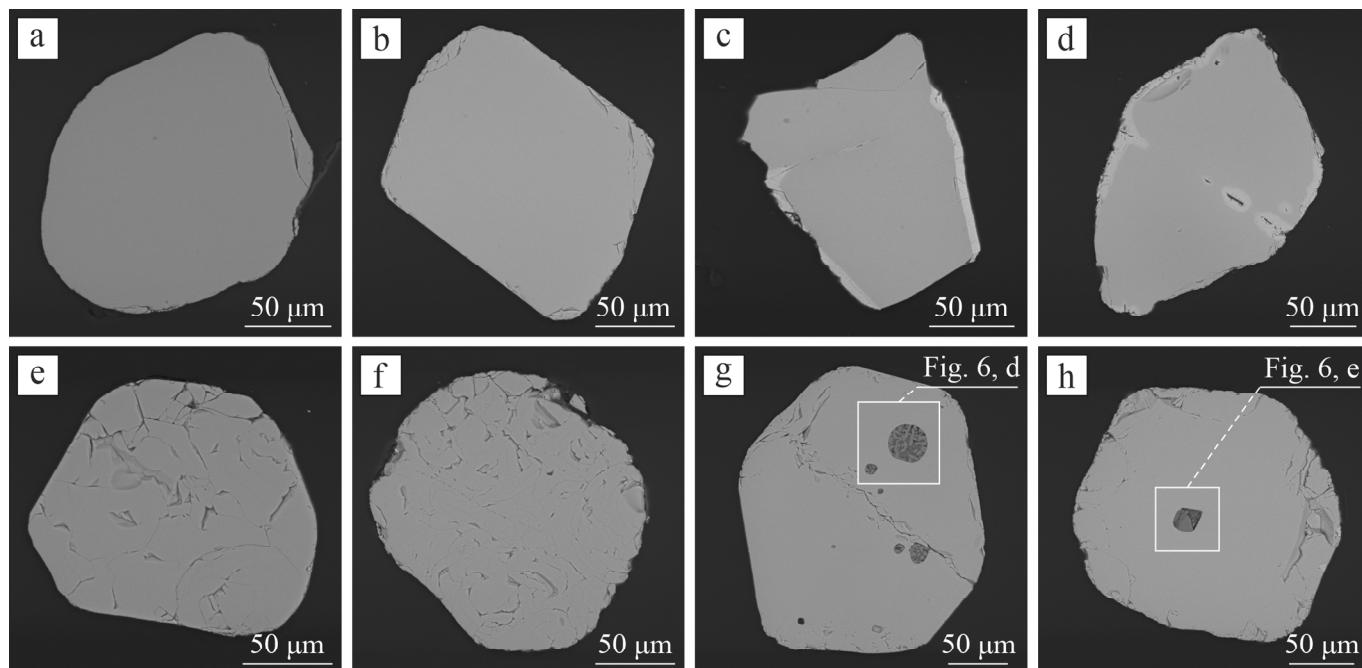


Рис. 4. Внутреннее строение хромшпинелидов: а, б — однородное, с, d — с каймой, е, f — трещиноватое, g, h — включения в зёрнах

Fig. 4. Internal structure of chromspinelides: a, b — homogeneous, c, d — with a rim, e, f — fractured, g, h — inclusions in grains

До 5 % всех зерен хромшпинелидов содержат включения иных минеральных фаз (рис. 4, g, h).

Химический состав

Хромшпинелиды в тяжелой фракции аквалных отложений, вскрытых скв. 17843, демонстрируют значительные вариации содержания основных химических компонентов (табл. 1).

Согласно классификации хромшпинелидов Н. В. Павлова (1949), центральные части зёрен этого минерала в отложениях Кельтминской ложбины пред-

ставлены преимущественно алюмохромитами (41 %), хромпикотитами (18 %), хромитами (16 %) и субферриалюмохромитами (15 %). В редких случаях (рис. 5) — субферрихромитами (5 %), субферрихромпикотитами (3 %), ферриалюмохромитами (2 %).

В центральных частях зерен хромшпинелидов наиболее характерной изоморфной примесью является V_2O_5 , который установлен в 86 % всей выборки зерен при содержании 0.15—0.58 мас. %. Второй по распространенности компонент (65 %) — MnO , количество которого варьирует от 0.18 до 2.09 мас. %. TiO_2 встречается реже, составляя менее половины выборки

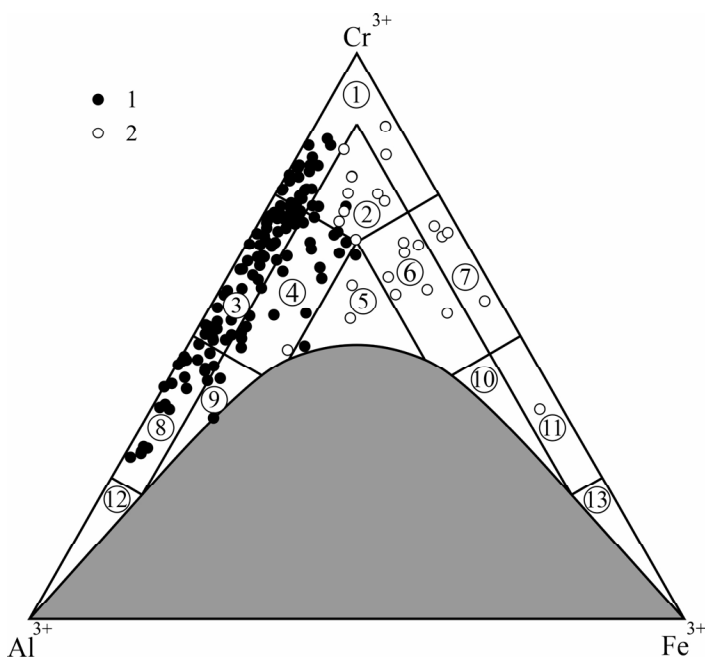


Рис. 5. Состав акцессорных хромшпинелидов в четвертичных отложениях Кельтминской ложбины на классификационной диаграмме ($Al^{3+}-Cr^{3+}-Fe^{3+}$) Н. В. Павлова (1949).

Фигуративные точки составов: 1 — из центра зерна, 2 — из внешней оторочки зерна;

подсемейства хромшпинелидов: 1 — хромит, 2 — субферрихромит, 3 — алюмохромит, 4 — субферриалюмохромит, 5 — ферриалюмохромит, 6 — субалюмоферрихромит, 7 — феррихромит, 8 — хромпикотит, 9 — субферрихромпикотит, 10 — субалюмохроммагнетит, 11 — хроммагнетит, 12 — пикотит, 13 — магнетит

Fig. 5. Composition of accessory chromspinelides from the Quaternary deposits of the Keltmin trough on the classification diagram ($Al^{3+}-Cr^{3+}-Fe^{3+}$) by N.V. Pavlov (1949).

Figurative points of the compositions: 1 — from the center of the grain, 2 — from the outer edge of the grain;

subfamilies of chromspinelides: 1 — chromite, 2 — subferrichromite, 3 — aluminochromite, 4 — subferrialluminochromite, 5 — ferrialluminochromite, 6 — subalumoferrichromite, 7 — ferrichromite, 8 — chrompicotite, 9 — subferrichrompicotite, 10 — subaluminochromemagnetite, 11 — chromium magnetite, 12 — picotite, 13 — magnetite



Таблица 1. Химический состав хромшпинелидов скв. 17843 (данные микрозондового анализа)

Table 1. Chemical composition of chromespinelides from borehole 17843 (microprobe analysis data)

№ п/п	Номер анализа Analysis No.	Химический состав, мас. % / Chemical composition, wt. %											Сумма Total	Т. ш.
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	V ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CoO	NiO	ZnO		
1	2-1 Ц	–	0.26	17.91	46.04	0.15	23.69	0.27	9.73	–	–	0.25	98.29	АХ
2	2-2 К	–	0.67	3.83	33.54	0.25	47.68	0.46	7.54	–	0.41	–	94.38	САФХ
3	3-1 Ц	–	0.19	18.45	45.51	0.37	21.45	0.88	11.75	0.47	–	0.42	99.5	АХ
4	3-3 К	–	0.24	3.19	40.81	0.23	41.76	1.21	5.08	–	0.41	0.49	93.43	САФХ
5	5-1 Ц	–	–	16.52	51.2	0.28	20.91	0.35	9.73			0.53	99.52	АХ
6	10-1 Ц	–	–	26.37	42.16	0.36	17.98		13.1				99.97	АХ
7	17-1 Ц	–	–	29.96	39.04	0.26	18.28	0.42	11.94	–	–	0.59	100.5	ХП
8	17-2 К	–	–	6.2	37.14	0.28	38.26	2.79	4.74	–	–	0.79	90.19	САФХ
9	27-1 Ц			26.11	41.82	0.3	19.16	0.27	12.7				100.37	АХ
10	29-1 Ц	–	0.25	15.43	46.54	0.4	28.79	0.43	8.3	–	–	–	100.15	СФАХ
11	29-2 К	–	0.31	3.69	46.69	0.26	38.76	0.69	3.31	–	–	–	93.7	СФХ
12	36-1 Ц	–	–	9.55	61.64	–	20.11	0.43	9.5	–	–	–	101.22	Х
13	36-2 К	–	0.11	10.02	66.31	–	14.1	0.36	6.04	–	–	–	96.93	Х
14	44-1 Ц	–	–	16.25	53.08	0.58	20.61	1.17	8.51	–	–	0.47	100.67	Х
15	44-2 К	0.26	–	8.08	48.28	0.17	30.27	5.18	4.37	–	–	0.99	97.61	СФХ
16	48-1 Ц	–	–	19.77	49.36	0.33	19.76	–	10.96	–	–	–	100.17	АХ
17	48-2 К	0.43	–	4.17	38.72	0.42	44.58	0.53	2.33	–	–	–	91.18	САФХ
18	49-1 Ц	–	0.51	27.19	36.65	0.25	22.2	0.4	12.87	–	–	–	100.08	ХП
19	49-2 К	1.1	0.77	17.31	33.38	0.24	37.94	0.53	5.76	–	–	–	97.04	СФАХ
20	59-1 Ц	–	–	15.64	51.09	0.42	24.36	–	7.98	–	–	0.62	100.1	АХ
21	59-2 К	–	–	0.78	40.84	0.28	47.06	0.82	2.86	–	–	0.38	93.02	ФХ
22	61-1 Ц	–	0.14	12.13	43.1	0.37	38.36	0.52	5.39	–	–	–	100.01	СФАХ
23	61-2 К	–	0.37	6.36	35.32	0.25	47.6	0.46	2.62	–	–	–	92.98	САФХ
24	62-1 Ц		0.38	23.13	42.78	0.32	21.89		11.85				100.34	АХ
25	70-1 Ц	–	–	12.65	53.34	0.2	24.88	0.4	8.32	–	–	–	99.79	АХ
26	70-2 К	–	0.17	6.16	50.64	–	35.27	0.86	3.49	–	–	–	96.6	СФХ
27	70-3 К	0.41	0.16	0.9	32.66	–	46.58	9.8	2.45	–	–	0.75	93.71	ФХ
28	72-1 Ц	–	0.16	11.29	54.08	0.21	25.19	0.35	8.66	–	–	–	99.93	АХ
29	72-2 К	–	0.21	4.19	51.21	0.17	38.26	0.56	4.73	–	–	–	99.32	СФХ
30	73-1 Ц	–	0.22	12.41	52.73	–	25.33	–	9.23	–	–	–	99.92	АХ
31	73-2 К	–	0.22	7.57	45.76	0.16	36.74	0.49	6.01	–	–	–	96.96	СФХ
32	97-1 Ц	–	0.13	9.63	57.35	0.17	21.17	0.4	10.86	–	–	–	99.71	Х
33	97-2 К	–	0.31	1.77	48.9	0.19	33.34	3.06	0.96	–	–	1.24	89.77	Х
34	102-1 Ц	–	–	20.75	44.26	0.37	30.34	0.46	3.28	–	–	0.66	100.12	АХ
35	102-2 К	–	1.61	3.82	40.24	0.46	47.68	0.65	–	–	–	0.66	95.12	САФХ
36	105-1 Ц	–	–	7.74	63.14	0.17	17.6	2.09	9.46	–	–	–	100.21	Х
37	105-2 К	–	0.15	13.2	57.69	0.24	15.57	0.69	5.72	–	–	–	93.27	АХ
38	127-1 Ц	–	–	14.71	54.81	0.32	20.74	–	9.61	–	–	–	100.19	АХ
39	127-2 К	–	–	5.39	54.45	0.35	32.82	0.48	5.09	–	–	0.36	98.94	СФХ
40	127-3 К	–	0.18	0.86	58.04	0.33	34.18	0.46	3.7	–	–	0.36	98.11	Х
41	137-1 Ц	–	–	14.3	47.94	0.31	29.59	0.32	7.12	–	–	0.41	100	СФАХ
42	137-2 К	–	0.93	2.84	43.96		46.02	0.58	3.27	–	–	–	97.6	САФХ

Примечание: Т.ш. — тип шпинели. Сокращения по Н. В. Павлову (1949): Х — хромит, СФХ — субферрихромит, АХ — алюмохромит, СФАХ — субферриалюмохромит, ФАХ — ферриалюмохромит, САФХ — субалюмоферрихромит, ФХ — феррихромит, ХП — хромпикотит.

Note: Т.ш. — spinel type. Abbreviations according to N. V. Pavlov's classification diagram (Pavlov, 1949): Х — chromite, СФХ — subferrichromite, АХ — aluminochromite, СФАХ — subferri-aluminochromite, ФАХ — ferri-aluminochromite, САФХ — subalumoferrichromite, ФХ — ferichromite, ХП — chrompicotite.



(0.11–1.67 мас. %). Подчиненную роль играют оксиды цинка, никеля и кобальта: ZnO установлен лишь в 11.7 % случаев при концентрациях от 0.22 до 0.69 мас. %; NiO встречается в 1.85 % зерен и в среднем составляет 0.27 мас. %; CoO фиксируется в редких случаях (0.6 % выборки), его содержание не превышает 0.47 мас. %.

Внешние оторочки зерен соответствуют составам субферрихромитов (37 %), субальюмоферрихромитов (25 %), феррихромитов (14 %), хромитов (9 %), ферриалюмохромитов (7 %), феррихромитов (4 %) и хроммагнетитов (4 %).

Химический состав корродированных участков, развитых преимущественно по внешним границам зёрен и трещинам (рис. 4, с, d), характеризуется обогащением FeO при одновременном выносе Al_2O_3 , Cr_2O_3 и MgO (табл. 1). Подобные изменения характерны для хромшпинелидов, подвергшихся воздействию флюидов и гидротермальных растворов в зонах серпентинизации и других вторичных преобразований ультрабазитов (Макеев, 1992).

В краевых участках зерен выявлен иной характер распределения изоморфных примесей. Наиболее распространённым примесным компонентом является MnO, установленный в 93 % исследованных зерен с содержанием от 0.3 до 9.8 мас. %. V_2O_5 отмечается реже — в 74 % зерен, его концентрация составляет 0.16–0.46 мас. %. TiO_2 установлен в 70 % зерен при содержании 0.11–0.93 мас. %, редко достигая 1.61 мас. %.

Химический состав внешних каём характеризуются существенным увеличением частоты встречаемости и концентраций оксидов цинка и никеля. Присутствие ZnO фиксируется в 43 % зерен и составляет 0.36–1.24 мас. %. NiO содержится в 10 % зерен, средняя концентрация его не превышает 0.38 мас. %. Кроме того,

в составе 16 % зерен выявлено присутствие SiO_2 (от 0.26 до 1.1 мас. %).

Микровключения

В 4 % зёрен всей выборки хромшпинелидов из отложений Кельтминского погребенного каньона установлены микровключения посторонних минеральных фаз.

Наиболее распространённой минеральной фазой являются минералы группы хлорита (рис. 4, а, b, e), развитые по микротрещинам и границам зёрен хромшпинелидов в виде изометричных и пластинчатых включений размером от 5 до 36 мкм. Для отмеченных хлоритов характерен широкий диапазон изменчивости химического состава (мас. %): SiO_2 — 26.56–42.33; Al_2O_3 — 12.03–19.43; MgO — 17.98–31.25; FeO — 1.4–13.47; Cr_2O_3 — 1.92–9.98 (табл. 2). Примерно в половине анализов установлен TiO_2 (0.87–2.03 мас. %). В единичных зернах обнаружены примеси CaO (0.17–0.68 мас. %) и K_2O (0.19–0.23 мас. %). Вероятно, формирование хлорита связано с гидротермальным преобразованием хромшпинелидов.

В одном из зёрен хромшпинелидов установлено пять расплавных включений изометричной формы размером от 10 до 33 мкм, представленных игольчатыми и столбчатыми кристаллами амфибола, пространства между которыми заполнены плагиоклазом (рис. 4, d).

Пироксеновые включения имеют размер до 18 мкм и представлены удлинённо-призматическими и изометричными кристаллами (рис. 4, с, e) с содержаниями SiO_2 до 59.88 %, MgO — 17.78–31.28 %, CaO — от 0.29 до 22.17 %, Al_2O_3 и FeO — менее 3.28 и 2.2 % соответственно.

Среди микровключений установлено единичное зерно граната (рис. 4, f) с повышенной примесью Cr_2O_3 (до 13.37 мас. %).

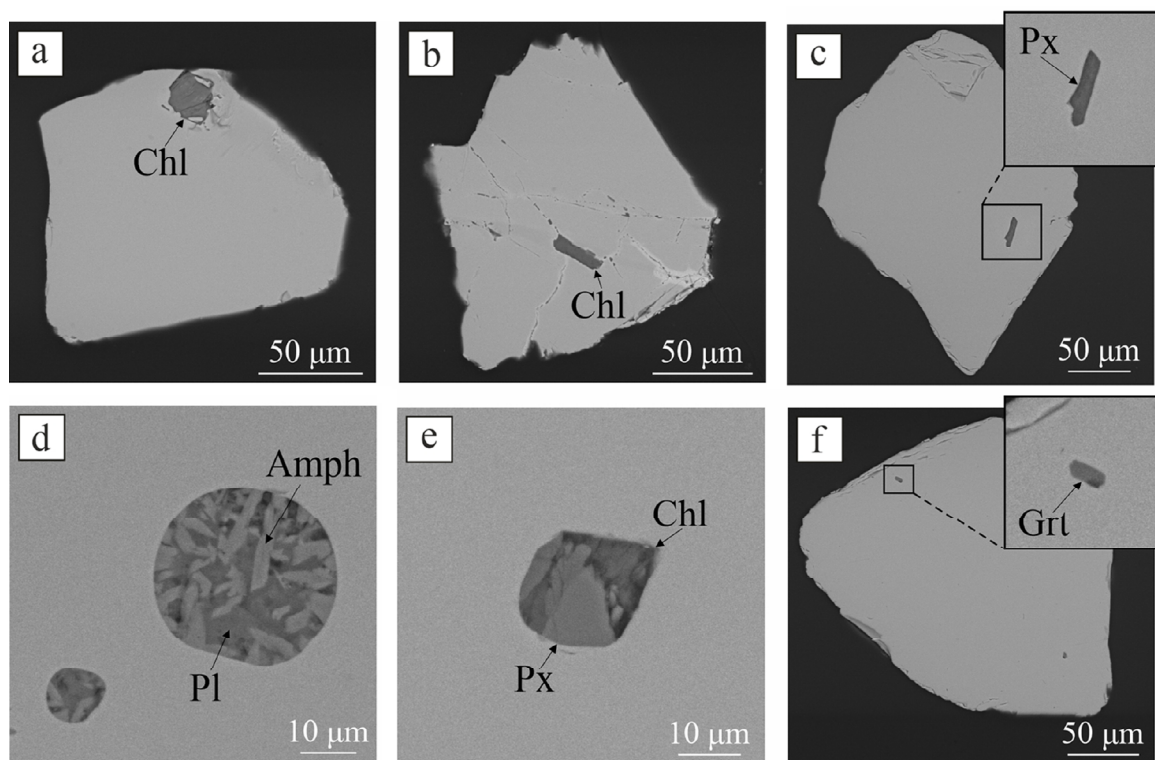


Рис. 6. Микровключения в хромшпинелидах. а, f — пояснения см. в тексте

Fig. 6. Microinclusions in chromspinelides. a, f — see text for explanations

**Таблица 2.** Химический состав микровключений в хромшпинелидах скв. 17843 (данные микрозондового анализа)**Table 2.** Chemical composition of microinclusions in chromespinelides from borehole 17843 (microprobe analysis data)

№ п/п	Номер анализа Analysis No.	Химический состав, мас. % / Chemical composition, wt. %												Сумма Total	Название Name
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	V ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	ZnO	K ₂ O	Na ₂ O		
1	3-4	28.19	–	17.14	3.28	–	1.4	–	29.3	–	–	–	–	79.31	Хлориты Chlorites
2	7-2	31.37	1.37	15.64	1.92	–	13.47	–	17.98	0.68	–	0.22	–	82.64	
3	46-3	42.33	2.03	16.8	1.93	–	1.95	–	25.63	0.17	–	0.19	5.85	96.87	
4	64-5	29.09	–	19.43	4.19	–	3.85	–	31.25	–	–	–	–	87.81	
5	66-2	32.89	2.13	17.77	1.97	–	3.08	–	30.26	–	–	–	–	88.1	
6	70-4	34.51	0.87	15.53	9.98	–	4.1	–	22.74	–	–	0.23	5.79	93.75	
7	127-4	26.56	–	12.03	5.09	–	2.33	–	26.26	–	–	–	–	72.28	
8	35-3	48.27	1.71	16.27	1.07	–	7.99	–	6.32	12.56	–	0.9	2.98	98.73	Амфиболы Amphiboles
9	91-3	43.58	2.79	13.33	0.81	–	12.14	–	12.37	10.53	–	0.46	2.46	98.48	
10	55-2	59.88	–	3.28	1.22	–	2.2	–	31.28	0.29	–	–	0.88	99.93	Пироксены Pyroxenes
11	97-3	53.61	–	0.89	1.89	–	2.42	–	17.78	22.17	–	–	0.44	99.21	
12	91-2	62.46	–	20.5	–	–	0.91	–	0.39	5.1	–	0.36	7.27	96.99	Плагиоклаз Plagioclase
13	38-3	33.42	1.39	10.84	13.37	–	4.47	–	16.3	10.49	–	–	2.97	93.24	Гранат Garnet
14	5-2	–	0.15	7.08	47.58	0.33	34.75	0.43	4.28	–	–	–	–	94.93	СФХ
15	10-2	0.58	0.51	3.97	34.2	–	35.59	11.83	2.57	–	2.49	–	–	91.75	САФХ
16	27-2	0.83	0.55	1.29	39.46	–	41.91	5.06	–	–	1.96	–	–	91.06	ФХ
17	62-2	–	0.87	1.25	44.15	–	39.77	4.77	0.71	–	1.02	–	–	92.54	Х

Примечание: усл. сокращения см. в табл. 1.

Note: For abbreviations, see Table 1.

Обсуждение результатов исследований

Проведённое изучение типоморфизма и химического состава хромшпинелидов из аквальных отложений Кельтминского погребённого каньона позволило выявить ряд их особенностей, имеющих важное значение для определения источника сноса обломочного материала.

Значительная доля всех зерен хромшпинелидов имеют округлую или угловатую форму, в то время как кристаллы с чётко выраженным октаэдрическим габитусом встречаются значительно реже. Такое распределение морфологических типов свидетельствует о механической переработке минеральных зерен, образовавшихся в условиях массивных рудных тел, где срастание минеральных зёрен происходило в условиях ограниченного пространства.

Хромшпинелиды в изученных отложениях представлены преимущественно алюмохромитами, хромпикотитами, хромитами и субферриалюмохромитами, что указывает на их связь с ультраосновными породами. Наличие зональных структур с феррихромитовыми и субферрихромитовыми каймами, а также корродированные участки, обогащённые FeO, свидетельствуют о постмагматических изменениях, вероятно связанных с гидротермальными процессами.

Подавляющая часть фигуративных точек состава центральных частей зерен хромшпинелидов на классификационной диаграмме (Al³⁺–Cr³⁺–Fe³⁺) Н. В. Павлова (1949) последовательно и без перерывов занимают все области хромпикотита, алюмохромита и верх-

нюю часть области хромита (рис. 5), что характерно для первичных рудообразующих хромшпинелидов альпинотипных массивов.

Фигуративные точки внешних оторочек зерен представлены меньшим количеством и располагаются в более железистых областях классификационной диаграммы (рис. 5), что может быть связано с метаморфизованными или серпентинизированными ультрабазами.

Обнаруженные микровключения хлоритов, плагиоклазов, амфиболов и пироксенов могут свидетельствовать о гидротермальных изменениях и ассимиляции корового материала магмой при кристаллизации зерен хромшпинелидов.

Сопоставление химического состава и типоморфных особенностей хромшпинелидов из четвертичных отложений Кельтминского погребённого каньона с материалами А. Б. Макеева по ультрабазитам Полярного Урала (Макеев, 1992; Макеев, Брянчанинова, 1999) показывает их значительное сходство. Однако в некоторых зернах хромшпинелидов нами обнаружены более высокие содержания FeO, что может свидетельствовать о контаминации минеральными зёрнами иного источника сноса. Высокая миграционная способность и относительная устойчивость хромовых шпинелей в гипергенных условиях (Кухаренко, 1961) способствует их многократному переотложению из рудных источников и промежуточных коллекторов в конечные седиментационные бассейны. Данный факт предопределяет возможную полигенность и полихронность хромшпинелидов из отложений, вскрытых в скв. 17843.



Отдельные выходы нижнепалеозойских ультрабазитов встречаются также на Северном Урале (Государственная ..., 2005). Наиболее крупным из них является салатимский комплекс, в состав которого входят гарцбургиты, дуниты и дунит-гарцбургиты среднего ордовика (Пестрецов и др., 1988) с мелкими разрозненными широкообразными телами хромитов, представленных железистыми алюмохромитами. На данном этапе исследований не представляется возможным достоверно исключить привнос материала в Кельтминскую долину с Северного Урала из-за недостатка фактического материала.

Экзарационная деятельность ледника способствовала разрушению коренных выходов ультрабазитов Полярного Урала и транспортировке осадочного материала. Аккумуляция флювиогляциальных тонко- и мелкозернистых серо-коричневых песков и глинистых алевроитов происходила в прифронтальной зоне вычегдского ледникового щита, граница максимального распространения которого расположена в 120 км севернее исследуемой скважины (Андреичева и др., 2015).

В результате последующего врезания русла р. Северная Кельтма произошло переотложение исследуемых хромшпинелидов из флювиогляциальных осадков в аллювий.

Заключение

На основании проведенных исследований типоморфизма и химического состава хромшпинелидов из аквальных отложений Кельтминского погребенного каньона установлена их несомненная связь со среднеордовикскими ультрабазитами Полярного Урала, что не подтверждает мнение С. А. Яковлева (1966), связавшего их формирование с Новой Землей и исключившего поступление обломочного материала с Урала. Выявлены также признаки поствагматических изменений хромшпинелидов, обусловленные гидротермальными процессами и гипергенным преобразованием.

Морфология и состав хромшпинелидов указывают на их формирование в условиях массивных рудных залежей с последующей транспортировкой и переотложением. Преобладание алюмохромитов, хромпикотитов и хромитов, а также наличие зональных структур и корродированных участков, возможно, свидетельствуют о гидротермальном воздействии.

Высокохромистые разности соответствуют дунитам и гарцбургитам, тогда как повышенные концентрации FeO могут быть связаны с серпентинизацией и метаморфизмом ультрабазитов. Сравнение с ультрабазитами Полярного Урала выявило значительное сходство, однако более высокие содержания FeO в отдельных зернах могут указывать на дополнительный источник сноса.

Экзарационная деятельность и последующая деградация ледникового покрова обусловили транспортировку и переотложение материала, включая хромшпинелиды, в аллювиальные отложения. Вопрос о возможной полигенности хромшпинелидов остаётся открытым из-за потенциального влияния других ультрабазитовых массивов Урала.

Дальнейшие комплексные исследования минеральных парагенезисов хромовых шпинелей из ак-

вальных отложений Печоро-Вычегдско-Камского водораздела помогут восстановить палеогеографические обстановки формирования четвертичных отложений в Кельтминском каньоне.

Авторы искренне благодарны к. г.-м. н. Ю. В. Глухову, к. г.-м. н. Б. А. Макееву и к. г.-м. н. Т. П. Майоровой за ценные рекомендации при подготовке настоящей публикации. Особую признательность авторы выражают двум анонимным рецензентам за их конструктивную критику, которая помогла существенно улучшить качество статьи.

Исследования выполнены в рамках темы НИР «Эволюция биоты и среды ее обитания как основа расчленения и геологической корреляции осадочного чехла Печорской плиты и ее складчатого обрамления» ГР №122040600008-5.

Литература / References

- Андреичева Л. Н., Марченко-Вагапова Т. И., Буравская М. Н., Голубева Ю. В. Природная среда неоплейстоцена и голоцена Европейского Северо-Востока России. М.: ГЕОС, 2015. 224 с.
- Andreicheva L. N., Marchenko-Vagapova T. I., Buravskaya M. N., Golubeva Yu. V. Natural environment of the Neopleistocene and Holocene of the European North-East of Russia. Moscow: GEOS, 2015, 224 p. (in Russian)
- Андреичева Л. Н., Марченко-Вагапова Т. И., Исаков В. А. Строение, состав и условия формирования четвертичных отложений в Кельтминском погребенном каньоне (юго-восток Республики Коми) // Вестник гео-наук. 2021. № 5 (317). С. 27—36. DOI: 10.19110/geov.2021.5.2
- Andreicheva L. N., Marchenko-Vagapova T. I., Isakov V. A. Structure, composition and conditions of formation of quaternary deposits in the Keltmin buried canyon (southeast of the Komi Republic). Vestnik of Geosciences, 2021, No. 5 (317), pp. 27—36. (in Russian)
- Бадида Л. В., Маслов А. В., Мизенс Г. А. Реконструкция состава пород питающих провинций. Статья 3. Современные методы исследования тяжелых обломочных минералов (гранатов, турмалинов, хромшпинелидов, рутила и др.) // Литосфера. 2020. Т. 20. № 2. С. 149—167. DOI: 10.24930/1681-9004-2020-20-2-149-167
- Badida L. V., Maslov A. V., Mizens G. A. Reconstruction of the composition of rocks of feeder provinces. Article 3. Modern methods for studying heavy detrital minerals (garnets, tourmalines, chrome-spinelides, rutile, etc.). Lithosphere, 2020, V. 20, No. 2, pp. 149—167. (in Russian)
- Виколова М. Ф. Общая характеристика глин // Методическое руководство по петрографо-минералогическому изучению глин. М.: Госгеолтехиздат, 1957. С. 7—90.
- Vikulova M. F. General characteristics of clays. Methodological guide to petrographic-mineralogical study of clays. Moscow: Gosgeoltekhizdat, 1957, pp. 7—90. (in Russian)
- Глухов Ю. В., Макеев Б. А., Варламов Д. А., Шевчук С. С., Исаенко С. И. Хромшпинелиды с цинксодержащими эпигенетическими каймами из девонских конглобративных горизонтов россыпнепроявления Ичтью (Средний Тиман) // Литосфера. 2015. № 2. С. 103—120.
- Glukhov Yu. V., Makeev B. A., Varlamov D. A., Shevchuk S. S., Isaenko S. I. Chrome spinels with zinc-con-



- taining epigenetic rims from Devonian conglobreccia horizons of the Ichetyu placer occurrence (Middle Timan). *Lithosphere*, 2015, No. 2, pp. 103–120. (in Russian)
- Глухов Ю. В., Макеев Б. А., Сокин М. Ю. Типоморфизм хромшпинелидов из голоценовых псефитов Кыв-вожского золотороссыпного поля (Вольско-Вымская гряда, Средний Тиман) // Вестник геонаук. 2021. № 8 (320). С. 3–15. DOI: 10.19110/geov.2021.8.1
- Glukhov Yu. V., Makeev B. A., Sokerin M. Yu. Typomorphism of chrome spinels from Holocene psephites of the Kyvvozh gold placer field (Volsko-Vymskaya ridge, Middle Timan). *Vestnik of Geosciences*, 2021, No. 8 (320), pp. 3–15. (in Russian)
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист Р-40 — Североуральск. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2005. 332 с.
- State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1000000 (third generation). Ural Series. Sheet P-40 — Northern Urals. Explanatory note. Saint Petersburg: VSEGEI Cartographic Factory, 2005, 332 p. (in Russian)
- Кухаренко А. А. Минералогия россыпей. М.: Гос. научно-техн. изд-во лит-ры по геологии и охране недр, 1961. 320 с.
- Kukharenko A. A. Mineralogy of placers. Moscow: State scientific and technical publishing house of literature on geology and subsoil conservation, 1961, 320 p. (in Russian)
- Макеев А. Б., Перевозчиков Б. В., Афанасьев А. К. Хромитовосность Полярного Урала. Сыктывкар: Коми филиал АН СССР, 1985. 152 с.
- Makeev A. B., Perevozchikov B. V., Afanasyev A. K. Chromite content of the Polar Urals. Syktyvkar: Komi branch of the USSR Academy of Sciences, 1985, 152 p. (in Russian)
- Макеев А. Б. Минералогия альпинотипных ультрабазитов Урала. СПб.: Наука, 1992. 197 с.
- Makeev A. B. Mineralogy of alpine-type ultrabasites of the Urals. St. Petersburg: Nauka, 1992, 197 p. (in Russian)
- Макеев А. Б., Брянчанинова Н. И. Минералогия, хромитовосность и платиновосность Полярного Урала // Вестник Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар: Геопринт, 1999. № 6. С. 20–24.
- Makeev A. B., Brianchaninova N. I. Mineralogy, chromite and platinum content of the Polar Urals. *Vestnik of the Institute of Geology Komi SC UB RAS*. Syktyvkar: Geoprint, 1999, No. 6, pp. 20–24. (in Russian)
- Назаров Н. Н., Копытов С. В., Жуйкова И. А., Чернов А. В. Плейстоценовые каналы стока в южной части Кельт-минской ложбины (Камско-Вычегодское междуречье) // Геоморфология. 2020. № 4. С. 74–88. DOI: 10.31857/S0435428120040070
- Nazarov N. N., Kopytov S. V., Zhuykova I. A., Chernov A. V. Pleistocene drainage channels in the southern part of the Keltminskaya trough (Kama-Vychegda interfluvium). *Geomorphology*. 2020, No. 4, pp. 74–88. (in Russian)
- Осовецкий Б. М. Типохимизм шлиховых минералов: Справочник. Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 2001. 244 с.
- Osovetskiy B. M. Typochemistry of placer minerals: Handbook. Perm: Perm University Press, 2001, 244 p. (in Russian)
- Павлов Н. В. Химический состав хромшпинелидов в связи с петрографическим составом ультраосновных интрузивов // Труды ИГН. Вып. 103. 1949. 87 с.
- Pavlov N. V. Chemical composition of chrome spinels in relation to the petrographic composition of ultrabasic intrusions. *Proceedings of IGN*, 103, 1949, 87 p. (in Russian)
- Панин А. В., Зарецкая Н. Е., Карпухина Н. В., Курбанов Р. Н., Модин И. Н., Мюррей Э. С. ОSL-хронология Кельтминской палеодолины и проблема перелива позднелейстоценовых ледниково-подпрудных озёр в Каспий // Геохронология четвертичного периода: инструментальные методы датирования новейших отложений: Тезисы докладов Всерос. науч. конф. (с междунар. уч.), посвящ. 90-летию со дня рождения Л. Д. Сулержичского. М.: ИГ РАН, ГИН РАН, 2019. С. 66.
- Panin A. V., Zaretskaya N. E., Karpushina N. V., Kurbanov R. N., Modin I. N., Murray E. S. OSL chronology of the Keltmin paleovalley and the problem of overflow of Late Pleistocene ice-dammed lakes into the Caspian Sea. Abstracts of the reports of the All-Russian scientific conference (with international participation) "Geochronology of the Quaternary: instrumental methods for dating the latest deposits", dedicated to the 90th anniversary of the birth of L. D. Sulerzhitsky. Moscow: IG RAS, GIN RAS, 2019, pp. 66. (in Russian)
- Яковлев С. А. Основы геологии четвертичных отложений Русской равнины (стратиграфия). М.: Госгеолтехиздат, 1956. 314 с.
- Yakovlev S. A. Fundamentals of the Geology of Quaternary Deposits of the Russian Plain (Stratigraphy). Moscow: Gosgeoltekhizdat, 1956, 314 p. (in Russian)
- Panin A., Astakhov V., Komatsu G., Lotsari E., Lang J., Winsemann J. Middle and Late Quaternary glacial lake-outburst floods, drainage diversions and reorganization of fluvial systems in northwestern Eurasia // *Earth-Science Reviews*. 2020. Vol. 201. P. 103069. DOI: 10.1016/j.earscirev.2019.103069

Поступила в редакцию / Received 26.09.2025