

УДК 553.3/4

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2025-64-1-41-46

ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ БУРУКТАЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СИЛИКАТНОГО НИКЕЛЯ

Александр Александрович Борисов¹✉, Михаил Александрович Богуславский²

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; borisov@vims-geo.ru ✉

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; mikhail@geol.msu.ru

Аннотация. В работе рассмотрены основные факторы формирования Буруктальского месторождения, включающие палеогеографические, палеоклиматические, морфологические, петрологические и эндогенные. Составлена поэтапная схема развития коры выветривания, предусматривающая полигенный генезис месторождения. В результате сравнительного анализа выделены основные черты, сходства и различия условий образования никеленосных кор выветривания Южного Урала и Новой Каледонии.

Ключевые слова: Буруктальское месторождение, коры выветривания, силикатный никель, кобальт, серпентиниты, условия корообразования, генезис

Для цитирования: Борисов А.А., Богуславский М.А. Факторы формирования Буруктальского месторождения силикатного никеля // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2025. № 1. С. 41–46.

FACTORS IN THE FORMATION OF THE BURUKTAL NICKEL SILICATE DEPOSIT

Alexander A. Borisov¹✉, Mikhail A. Boguslavsky²

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; borisov@vims-geo.ru ✉

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; mikhail@geol.msu.ru

Annotation. The paper examines the main factors of the formation of the Buruktal deposit, including paleogeographic, paleoclimatic, morphological, petrological and endogenous. A step-by-step scheme for the development of the weathering crust has been drawn up, providing for the polygenic genesis of the deposit. As a result of a comparative analysis, the main features, similarities and differences in the conditions for the formation of nickel-bearing weathering crusts in the Southern Urals and New Caledonia were identified.

Key words: Buruktal deposit, weathering crusts, nickel silicate, cobalt, serpentinites, crust formation conditions, genesis

For citation: Borisov A.A., Boguslavsky M.A. Factors in the formation of the Buruktal nickel silicate deposit. *Moscow University Geol. Bull.* 2025; 1: 41–46. (In Russ.).

Введение. Месторождения никеля в мире представлены тремя основными геолого-промышленными типами: сульфидные медно-никелевые, силикатные никелевые и гидротермальные арсенидные. Наибольшее количество мировых запасов никеля (63 %) связано с силикатно-никелевым типом [Методические..., 2007], представляющим из себя коры выветривания ультраосновных пород. В России ведущими в запасах и добыче являются месторождения медно-никелевого типа.

Одним из крупнейших месторождений силикатно-никеля в РФ является Буруктальское месторождение, расположенное в Оренбургской области (рис. 1).

В данной статье рассмотрены основные факторы, обуславливающие формирование месторождения, а также предложена модель его образования.

Геологическое строение Буруктальского месторождения. Буруктальское месторождение приурочено к коре выветривания одноименного массива ультраосновных пород. Буруктальский массив ультрамафитов верхнедевонского возраста в плане имеет подковообразную форму, прорван более поздней

серией жильных образований различного состава мелового возраста. Месторождение разделяется на семь участков, образующих отдельные промышленные скопления никеля и кобальта (рис. 2).

Рудные залежи представлены линейно-площадной корой выветривания ультрамафитов с пологим субгоризонтальным залеганием. Мощность коры выветривания изменяется от первых до 70 м, в среднем составляя 15 м. Содержания никеля изменяются от 0,2 % до 2 %, в среднем составляя 0,89 %. Содержания кобальта — от 0,01 % до 0,5 %, в среднем составляя 0,08 %.

Кровля коры пологая и ровная, соответствует подошве неоген-четвертичных отложений, подошва — извилистая, часто с карманами и впадинами. Разрез коры характеризуется ярко выраженной зональностью, типичной для латеритных кор выветривания (рис. 3).

В разрезе коры выделяются следующие зоны: зона охр в верхней части разреза, зона нонtronитов в средней части, и зона выщелоченных и карбонизированных серпентинитов в нижней. Корнями коры



Рис. 1. Обзорная карта района Буруктальского месторождения

выветривания является зона карбонатизированных серпентинитов, для которых характерно присутствие магнезита. Магнезит образовался за счет выноса магния при выветривании вышележащего серпентинита [Гинзбург и др., 1947]. Таким образом, горизонт карбонатизированных серпентинитов имеет инфильтрационный генезис.

Над зоной карбонатизированных серпентинитов расположен горизонт выщелоченных серпентинитов. Выщелоченные серпентиниты представлены слабо разложившимися породами, сохранившими исходные структуры. Для этой зоны характерны минералы группы серпентина и незначительное количество нонтронита, количество которого увеличивается в верхней части горизонта.

Над горизонтом выщелоченных серпентинитов расположен горизонт нонтронитов, сложенный преимущественно нонтронитами, реже вермикулитом, клинохлором, тальком или гетитом [Таловина, 2012]. В пределах Буруктальского месторождения зона нонтронитов пользуется наиболее широким распространением, именно с ней связана большая часть промышленного кобальт-никелевого оруденения.

На верхних горизонтах коры выветривания выделяется зона охр. Они представлены двумя структурными разновидностями: в нижней части залежи структурными охрами, сохранившими структуру серпентинитового субстрата, а в верхней — бесструктурными охрами, являющимися конечным продуктом выветривания. Руды обеих разновидностей состоят преимущественно из гетита, гидрогетита и клинохлора [Рыжкова, 2010].

Наиболее богатыми по содержанию никеля и кобальта являются горизонты охр, нонтронитов, а также верхняя часть зоны выщелоченных серпентинитов. Основные рудные минералы — нонтронит, гетит и клинохлор.

Среди факторов, обуславливающих формирование Буруктальского месторождения, выделяются *палеогеографические, палеоклиматические, петрологические, морфологические и эндогенные.*

Палеогеографические факторы. Расположение древних морей оказывало прямое влияние на формирование кор выветривания, так как процессы,

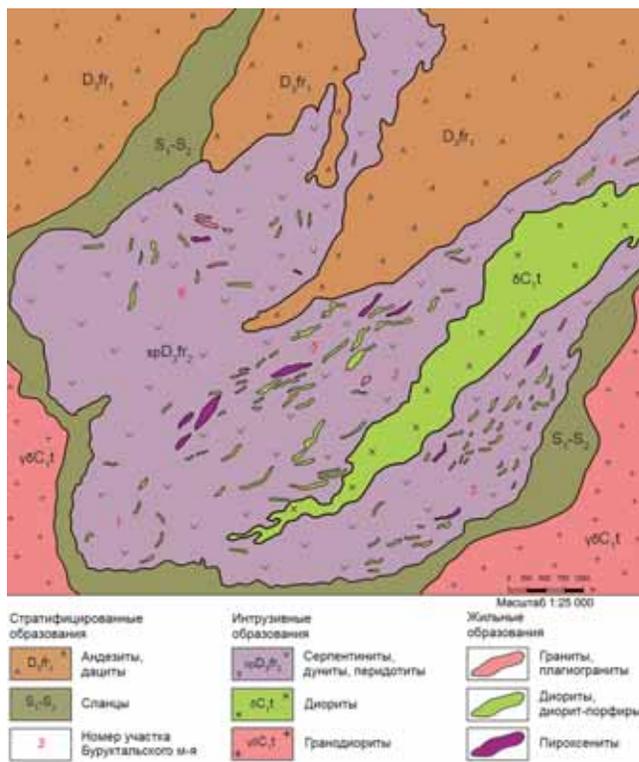


Рис. 2. Геологическая карта района Буруктальского месторождения [Устинов, Лосев, 1968] с изменениями и дополнениями

приводящие к образованию кор, происходили только в периоды регрессий. В эпохи трансгрессии эти процессы приостанавливались, а коры подвергались частичному или полному размыву.

Буруктальское месторождение расположено в Урало-Казахстанском районе. После того, как эта область стала эпигерцинской платформой, смена суши и моря происходила неоднократно.

К концу Пермского периода Урал представлял собой высокогорье, резко расчлененный рельеф которого не был благоприятен для формирования кор выветривания. В начале триасового периода на Урале происходили складчатые движения, но, в основном, этот период характеризовался разрушением горных цепей и сносом материала в предгорные впадины с постепенным выполаживанием рельефа [Никитин, 1970].

Вероятно, в среднем и верхнем триасе, в районе Буруктальского синклиория создавались условия, благоприятные для формирования кор выветривания. В юрском периоде Урал продолжал оставаться сушей, но местами водные бассейны занимали большие пространства. В конце юры и начале мелового периода происходила трансгрессия, достигавшая максимума в конце верхнего мела, в то время как суша сохранялась только вдоль осевой части хребта. Начало олигоцена охарактеризовалось регрессией и в верхнем палеогене распределение суши и моря снова, как и в раннем мезозое, благоприятствовало формированию кор выветривания ультраосновных пород.

Палеоклиматические условия. Значение фактора климата в образовании и сохранении кор выветривания также весьма велико. Выветривание горных пород на суше происходит при любых климатических условиях, однако наиболее интенсивно эти процессы развиваются в тропическом климате, для которого характерны высокие температуры и большое количество осадков. Роль климатических факторов заключается не только в активном непосредственном воздействии атмосферы на горные породы, но и в создании условий для разветвленной гидрографической сети и усилении агрессивной деятельности грунтовых вод.

Развитие Уральского поднятия в мезозое происходило в платформенных условиях жаркого и влажного климата, что создало благоприятную физико-химическую обстановку для интенсивного развития эпигенетических процессов. Специфическая геолого-климатическая обстановка в сочетании с непрерывным подъемом территории и дифференциальными подвижками отдельных блоков способствовали накоплению мощного чехла коры выветривания. Поэтому по климатическим условиям конец палеозоя и начало мезозоя были эпохой наиболее интенсивного и широкого корообразования. После меловой трансгрессии и последовавшей затем в начале палеогена регрессии, пространства этой огромной складчатой области длительное время находились в климатических условиях, хотя и изменившихся в худшую сторону (уменьшение тепла и влаги), но все же достаточно благоприятных для возобновления корообразования [Никитин, Глазовский, 1970]. Таким образом, верхний палеоген является для Урала второй эпохой корообразования.

Петрологические факторы (состав субстрата). В остаточных корах выветривания, к которым относится Буруктальское месторождение, полезные

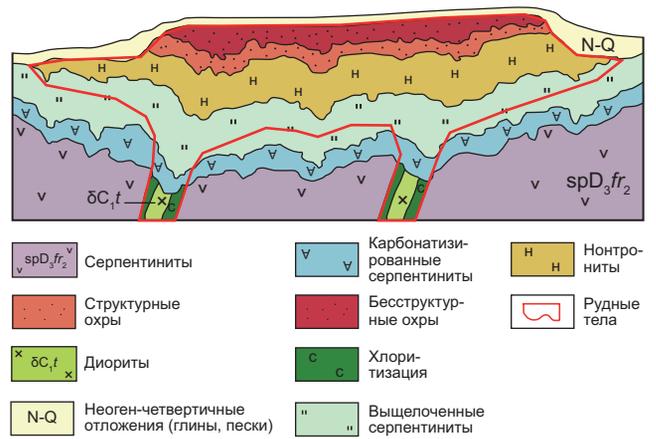


Рис. 3. Геологический разрез Буруктальского месторождения

компоненты не привносились извне, а присутствовали в исходном субстрате. Поэтому ключевое значение для концентрации никеля и кобальта в силикатных корах имеет содержание этих металлов в исходных материнских породах.

В таблице, приведенной по материалам [Никитин, Глазовский, 1970], отражены содержания никеля и кобальта в различных ультраосновных массивах России.

Можно отметить, что наиболее высокие концентрации никеля и кобальта характерны для ультраосновных пород дунитовой и перидотитовой формации, а также их разновидностей, подвергнутым серпентинизации. При этом в породах основного состава, входящих в состав массивов, в первую очередь габброидах и пироксенитах, содержание металлов меньше в 2–3 раза.

При прочих благоприятных для выветривания факторах на субстрате основного состава формируются мощные коры, но промышленные скопления

Таблица

Содержание никеля и кобальта в породах ультраосновных массивов России и СНГ

Порода	Содержание NiO, %	Содержание CoO, %	Автор
Кемпирсайский массив			
ультрабазиты в целом	0,37	0,003	Бакиров, 1961
дунитовые серпентиниты	0,39	–	
перидотитовые серпентиниты	0,39	–	
пироксениты, горнблендиты	0,12	0,01	
габброиды	0,09	0,001	
Шевченковский массив			
серпентинизированные ультрабазиты	0,25	0,009	Пономарев, 1934
пироксениты	0,11	0,003	
габброиды	0,12	0	
Буруктальский массив			
серпентиниты	0,24	0,01	Никитин, 1970
Западная Тува			
ультраосновные породы	0,2	–	Еремеев, 1968 Сибилев, 1980

никеля при этом не образуются, поскольку содержания этого металла в коренных породах более низкое.

Буруктальский массив сложен серпентинизированными дунитами и перидотитами с повышенными содержаниями никеля. Ультраосновой состав субстрата способствовал дальнейшему формированию гипергенного месторождения при образовании кор выветривания на всей приповерхностной части массива ультрамафитов.

Морфологические условия. Для формирования мощных остаточных рудоносных кор выветривания необходимо определенное положение базиса эрозии, которое обеспечивает глубокое и эффективное просачивание грунтовых вод через верхнюю зону коренных пород. Существенное значение для корообразования имеет степень дренирования подстилающей ее морфоструктуры. Для последующей сохранности коры важно насколько эта морфоструктура выложена. С другой стороны, процессы образования кор выветривания, в свою очередь, влияют на формирование рельефа. Чем более интенсивно они протекают, тем более выположенными и сглаженными становятся морфологические структуры рельефа. Таким образом, между приподнятыми пенепленизированными участками и развитыми на них корами выветривания существует причинно-следственная связь [Витовская, Бугельский, 1982].

Район Уральского поднятия, к которому приурочено Буруктальское месторождение, является областью завершённой палеозойской складчатости. Развитие процессов выравнивания в этом районе привело к образованию пенеплена в раннем мезозое, занимающего большие пространства и сохранившегося до современности. В районе самого Буруктальского месторождения рельеф несколько приподнят, что способствовало более глубокому проникновению грунтовых вод в коренные породы и развитию мощной коры с характерной зональностью.

Эндогенные факторы. Экзогенная природа формирования Буруктальского месторождения не поддается сомнению: коры выветривания связаны, в первую очередь, с гипергенными процессами. Однако, накопление никеля и кобальта связано также с эндогенными процессами.

Развитие герцинской складчатости в карбоне сопровождалось внедрением интрузий диоритов и гранитоидов. Процессы метасоматоза в субстрате ультрамафитов, протекавшие под влиянием «гранитизации», оказывали воздействие на перераспределение никеля и других когерентных элементов, вызывая вынос их из одних участков субстрата и привнос в другие, повышая их рудоносность. В результате образовавшиеся контактовые метасоматиты аккумулировали металлы, как выщелоченные при метасоматозе, так и элементы, привнесенные гидротермальными растворами [Сагдиева и др., 2016; Таловина, 2012]. В результате метасоматической переработки субстрата вдоль контакта даек

с ультрамафитами сформировались хлоритовые руды с повышенными содержаниями никеля.

Этапы формирования Буруктальского месторождения. Основные этапы развития коры выветривания Буруктальского массива ультрабазитов приведены на рис. 4.

В девонском периоде, во время активизации герцинского тектономагматического цикла, был сформирован Буруктальский ультраосновой массив.

В каменноугольном периоде герцинская складчатость сопровождалась магматизмом среднего и основного состава. В результате метасоматической переработки субстрата формировались хлоритовые руды с повышенным содержанием никеля и кобальта в зоне контакта интрузий и ультрамафитов.

С наступлением мезозоя заканчивается эпоха герцинской складчатости и Урал переходит на платформенную стадию развития. Первый этап корообразования приурочен к триасу: в это время сочетание всех необходимых условий (пенеплен, регрессия и жаркий климат) приводит к развитию процессов дезинтеграции и выщелачивания серпентинитов.

На протяжении юрского периода благоприятные для выветривания условия сохранялись, при этом происходило развитие кор с формированием характерной зональности: наиболее интенсивно проработанные охры в верхней части разреза, зоны нонtronитизации в средней части и более слабо измененные участки выщелоченных серпентинитов в нижней части разреза. После юры суша начинает постепенно опускаться, верхнемеловое море практически целиком покрывает Южный Урал и процессы корообразования приостанавливаются.

Регрессия в начале кайнозоя знаменует второй период корообразования — палеогеновый. В этот период морские отложения полностью денудированы, а мезозойская кора повторно подвергается процессам выветривания, при этом увеличивается ее мощность и сложность строения.

Сравнение с месторождениями силикатного никеля Новой Каледонии. Большая часть мировых запасов силикатного никеля связана с современными корами выветривания, расположенными в тропическом поясе. Одна из крупнейших рудных провинций — Новая Каледония [Elias, 2002; Tamehe, et al., 2024]. Условия формирования группы месторождений на этом архипелаге во многом схожи с Буруктальским месторождением.

Исходным субстратом для образования никеленосных кор выветривания в Новой Каледонии послужили гарцбургиты и серпентиниты: ультраосновные породы семейства перидотитов [Wells, et al., 2009], аналогичные по составу Буруктальскому массиву ультрамафитов. Морфологические и климатические условия также схожи: приподнятая пенепленизированная поверхность, жаркий и влажный климат с высокими средними температурами и большим количеством осадков.

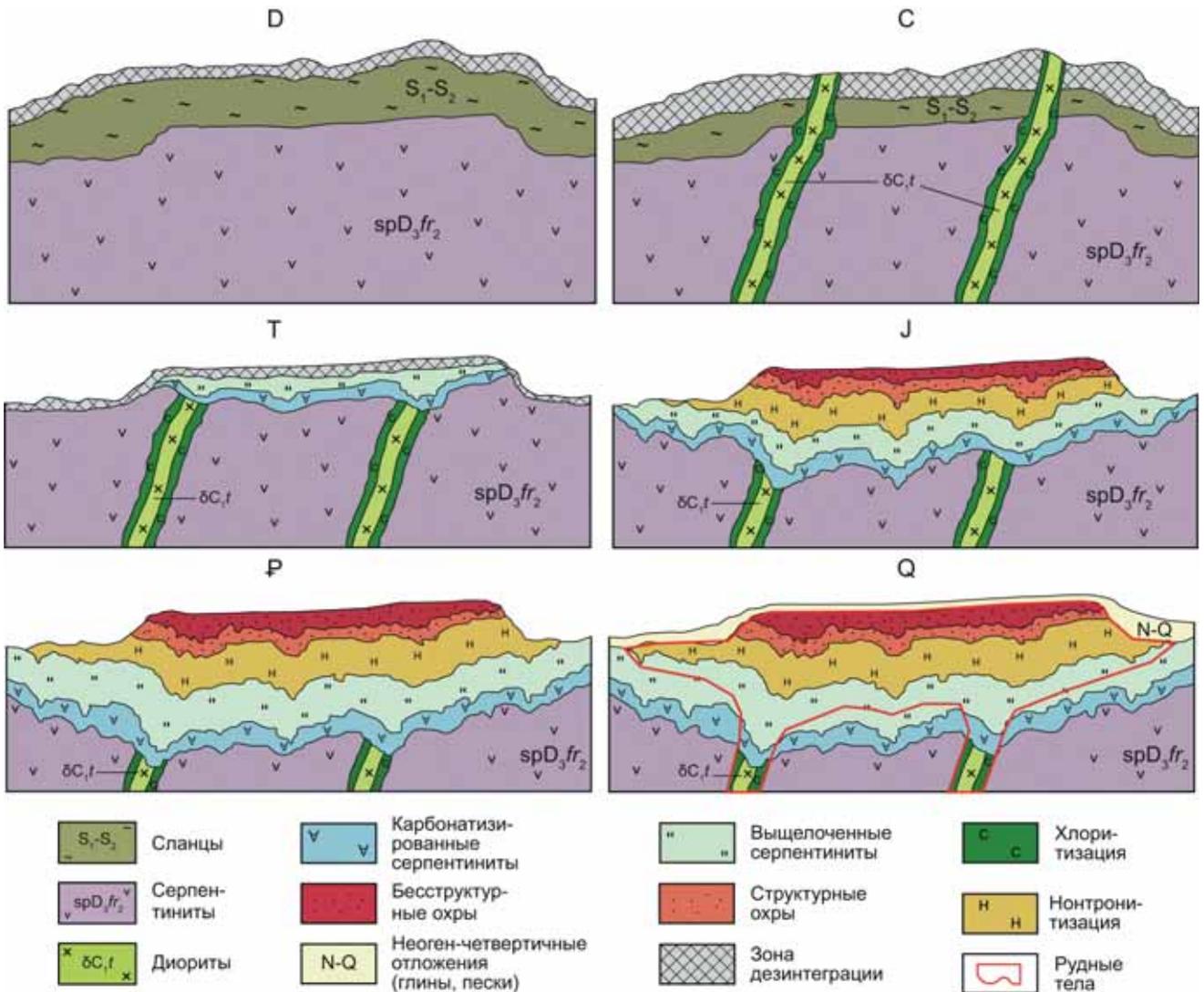


Рис. 4. Основные этапы формирования Буруктальского месторождения. Периоды и обозначение окон: D — Девон, С — Карбон, Т — Триас, J — Юра, P — Палеоген, Q — Четвертичный

Схожи и зональности кор: в месторождениях Новой Каледонии в верхней части разреза расположена зона окисления, представленная охрами и гидрогетитами, в средней — зона сапролитов (аналогичная зоне нонтронитов Буруктальского месторождения) и зона выщелоченных серпентинитов в нижней части разреза (рис. 5). Поскольку на Буруктальском месторождении протекали аналогичные процессы выветривания по породам схожего состава, общий вид разрезов Уральских и Каледонских кор совпадают.

Однако, при сравнении этих месторождений можно выделить и отличия. Первое связано со временем формирования коры: если месторождения Новой Каледонии начали образовываться в миоцене и эоцене, то Буруктальское месторождения связано с более древними процессами выветривания, протекающими в мезозое и раннем кайнозое.

Также эти месторождения различаются влиянием эндогенных процессов на накопление никеля: для Буруктальского месторождения характерно дополнительное обогащение никелем за счет метасо-

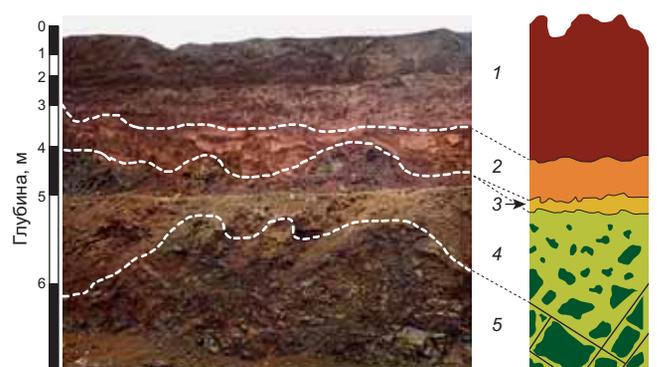


Рис. 5. Разрез месторождения Рио Туба в Новой Каледонии: 1 — бесструктурные охры, 2 — структурные охры, 3 — переходная зона, 4 — сапролиты, 5 — серпентиниты [Delina, et al., 2020]

матической переработки ультраосновного массива интрузиями среднего и основного состава, то для месторождений Новой Каледонии, расположенных в условиях океанической коры, характерно отсутствие подобного магматизма. Таким образом, генезис кор выветривания Новой Каледонии является

сугубо экзогенным, в то время как Буруктаьское месторождение сформировано под влиянием и экзогенных, и эндогенных факторов.

Заключение и выводы. Среди факторов, обуславливающих формирование коры выветривания на Буруктаьском ультраосновном массиве, можно выделить следующие: наличие приподнятой пенепленизированной поверхности в условиях суши, жаркий и влажный тропический климат. Повышенные содержания никеля и кобальта в ультрамафитах массива (серпентинитах, перидотитах и дунитах), способствовали образованию промышленных скоплений этих металлов в зоне гипергенеза. Дополнительное обогащение никелем и кобальтом может быть связано с метасоматической переработкой ультрамафитов интрузиями каменноугольного периода.

Сочетание всех благоприятных для корообразования условий на Буруктаьском месторождении отмечается во время двух периодов: в мезозое (триасовый и юрский периоды) и раннем кайнозое

(палеогеновый период). В мезозое и кайнозое платформенные условия развития Уральского поднятия вместе с высокими среднесуточными температурами и большим количеством осадков способствовали развитию мощных кор выветривания и формированию промышленных скоплений никеля и кобальта в зоне гипергенеза.

При сравнении Буруктаьского месторождения и кор выветривания Новой Каледонии можно отметить много общих признаков: состав субстрата, морфология рельефа и климатические условия при корообразовании. Различия этих месторождений заключаются в возрасте и генезисе: месторождения Новой Каледонии являются более молодыми и имеют сугубо гипергенное происхождение, а Буруктаьское месторождение связано с древними мезозойскими корами, и его генезис полигенный, за счет дополнительного обогащения никелем при метасоматической переработке ультрамафитов интрузиями среднего и основного состава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бакиров А.Г. К геохимии гипербазитов. Геохимия. М.: Наука, 1961. 47 с.

Витовская И.В., Бугельский Ю.Ю. Никеленосные коры выветривания. М.: Наука, 1982. 191 с.

Гинзбург И.И. и др. Древняя кора выветривания на ультраосновных породах Урала. М.: Академия наук СССР, 1947. 282 с.

Еремеев В.П., Павлов Н.В., Сибилев А.К. Хромитовая минерализация гипербазитовых поясов Тувы // Известия Академии Наук СССР. Серия геологическая. 1968. № 6. С. 45–56.

Никитин К.К., Глазовский А.А. Никеленосные коры выветривания ультрабазитов и методы их изучения. М.: Недра, 1970. 216 с.

Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Никелевые и кобальтовые руды. М.: ФБУ «ГКЗ», 2007.

Пономарев Д.В. Кора выветривания Шевченковского массива ультраосновных пород // Кора выветривания: Сборник. Вып. 5. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1934. 12 с.

Рыжкова С.О. Типы руд и особенности формирования Буруктаьского никелевого месторождения (Южный Урал): Диссертация на соискание степени кандидата геол.-мин. наук. СПб.: Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г.В. Плеханова, 2010. 168 с.

Сагдиева Р.К., Таловина И.В., Воронцова Н.И. Современные взгляды на формирование никеленосных кор выветривания ультраосновных массивов на Урале. //

Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 6. С. 278–288.

Сибилев А.К. Петрология и асбестоносность офиолитов (на примере Иджимского массива в Западном Саяне). Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1980. 216 с.

Таловина И.В. Геохимия гипергенных никелевых месторождений Урала: Дисс. ... д. геол.-мин. наук. СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2012. 255 с.

Устинов И.П., Лосев Е.И. Отчет о результатах геологоразведочных работ, проведенных на Буруктаьском никель-кобальтовом месторождении в Светлинском районе Оренбургской области в 1950–1968 гг. Оренбург, 1968. 257 с.

Elias M. Nickel laterite deposits — geological overview, resources and exploitation // Giant Ore Deposits: Characteristics, genesis and exploration. CODES Special Publication 4, Centre for Ore Deposit Research. University of Tasmania, 2002. P. 205–220.

Wells M., Ramanaidou E., Verrall M., Tessarolo C. Mineralogy and crystal chemistry of «garnierites» in the Goro lateritic nickel deposit // New Caledonia. European Journal of Mineralogy. 2009. Vol. 21 (2). P. 467–483.

Ruth E., Arcilla C., Tsubasa O., et al. to Chromium occurrence in a nickel laterite profile and its implications to surrounding surface waters // Chemical Geology. 2020. Vol. 558.

Tamehe S., Zhao Y., Xu W., Gao J. Ni(Co) Laterite Deposits of Southeast Asia: A Review and Perspective // Minerals. 2024. Vol. 14(2). P. 134. <https://doi.org/10.3390/min14020134>

Статья поступила в редакцию 11.07.2024, одобрена после рецензирования 30.10.2024, принята к публикации 28.02.2025