УДК 551.311.550.423

ГЕОЛОГИЯ И МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ НИЖНЕТАГИЛЬСКОГО И СВЕТЛОБОРСКОГО МАССИВОВ СРЕДНЕГО УРАЛА

А.М.ДУРЯГИНА, *аспирантка, gayfutdinovaam@yandex.ru*
Н.И.ВОРОНЦОВА, *канд. геол.-минерал. наук, доцент, natvoron@yandex.ru*
Е.С.НИКОЛАЕВА, *аспирантка, legenda.92@mail.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия

Приведен анализ минерального состава и геохимических данных по корам выветривания Нижнетагильского и Светлоборского массивов Платиноносного пояса Урала. Коры выветривания здесь представлены неполным профилем и сложены дезинтегрированными лизардит-хризотиловыми и рыхлыми выщелоченными лизардитовыми серпентинитами, на Светлоборском массиве выявлена глинистая нонтронитовая зона. Коры выветривания изученных массивов характеризуются накоплением большинства элементов-примесей и редкоземельных элементов (РЗЭ) вверх по профилю. В породах Светлоборского массива из зон контакта дунитов с дайковыми комплексами обнаружен высокий уровень РЗЭ и рассчитаны их коэффициенты накопления. Коры выветривания Светлоборского и Нижнетагильского массивов характеризуются низкими содержаниями благородных металлов. Их геохимическая специализация определяется палладием и платиной, а в первичных зональных массивах субстрата главными платиноидами являются иридий и платина.

Ключевые слова: Светлоборский массив, Нижнетагильский массив, Платиноносный пояс Урала, кора выветривания, редкоземельные элементы, элементы платиновой группы, золото, серебро.

Введение. В связи с истощением запасов россыпных месторождений платины в России вопрос поисков и освоения новых и альтернативных источников платиновых металлов в последние десятилетия становится все более актуальным. С этой точки зрения интересными представляются массивы Платиноносного пояса Урала, освоенного промышленного региона, в котором выделяются одни из крупнейших в мире россыпеобразующие Светлоборский и Нижнетагильский зональные массивы.

Многими исследователями уже в начале XX в. отмечалось поисковое значение элювия и коры выветривания платиноносных массивов Урала: при задирке нижнего слоя коры выветривания (дунита, разрушенного в щебень или распадающегося на большие глыбы шарообразной формы) старатели не раз наталкивались на коренные проявления платины (Высоцкий, 1913). Кроме того, на сегодняшний день в мировой практике известно множество примеров выявления промышленных концентраций элементов платиновой группы (ЭПГ) в корах выветривания по ультраосновным массивам. Обогащенными благородными металлами являются никелевые месторождения кор выветривания Кубы (Моа и Никаро), Новой Каледонии, Индонезии (Сороако, Помалеа), Австралии (Гринвейл, Рокгемптон), Польши (Шкляры), Бразилии, России (Серовское, Уфалейское, Буруктальское, Сахаринское никелевые месторождения Урала) [8, 9, 14, 16]. С этой точки зрения весьма актуальным представляется изучение кор выветривания Светлоборского и Нижнетагильского массивов, особенно на фоне широкомасштабного проведения на них поисково-разведочных работ [6, 18, 19] по изучению коренных рудопроявлений платины (рудопроявление им. Н.К.Высоцкого, Светлоборский массив и т.д.).

Строение Светлоборского и Нижнетагильского массивов. Строение массивов освещено во многих работах, включая классические труды Н.К.Высоцкого (1913), А.Н.Заварицкого (1928), А.Г.Бетехтина (1935), И.А.Малахова [11] и других. Нижнетагильский и Светлоборский массивы входят в цепочку 16 концентрически-зональных массивов Платиноносного пояса Урала (рис.1): 1 – Ревдинский, 2 – Тагило-Баранчинский, 3 – Нижнетагильский, 4 – Арбатский, 5 – Качканарский, 6 – Светлоборский, 7 – Вересовоборский, 8 – Павдинский, 9 – Косьвинский, 10 – Кытлымский, 11 – Княспинский, 12 – Кумбинский, 13 – Денежкинский, 14 – Помурский, 15 – Чистопский, Ялпинг-Ньерский, 16 – Хорасюрский. Зональное строение характеризуется наличием дунитового ядра и клинопироксенитовой оболочки. Для дунитов также отмечается зональность: мелкозернистые дуниты периферии сменяются средне- и крупнозернистыми в центральных частях. Породы жильной серии на Нижнетагильском массиве представлены, главным образом, хромититами, на Светлоборском – дайками клинопироксенитов, горнблендитов и иситов [17].

Строение коры выветривания на Светлоборском и Нижнетагильском массивах. Развитие коры выветривания в пределах Светлоборского и Нижнетагильского массивов носит прерывистый характер. Кора карманообразно залегает на серпентинизированных дунитах, наблюдается в бортах логов, отдельные интервалы ее вскрыты расчистками. Мощность кор выветривания в обнажениях не превышает 20 м на Светлоборском массиве и 10 м на Нижнетагильском массиве.

На основании описанных нами обнажений были составлены сводные профили выветривания обоих массивов (рис.2). В зональном профиле выветривания преобладает серпентинитовая зона, мощность которой составляет от 0,5 до 5 м, в редких случаях до 10 м. В составе ее нами выделяются подзоны дезинтегрированных (2-3 м) и выщелоченных серпентинитов (0,3-10 м). Первые представлены плотными, трещиноватыми, хризотиловыми серпентинитами, сложенными количественно доминирующим хризотилом $2Or_{C1}$ и лизардитом $1T$ с многочисленными серпентин-сапонит-магнезитовыми прожилками, с редкой хромитовой вкрапленностью (размер зерен хромита 0,3-2,5 мм) и округлыми реликтами невыветрелого дунита размером до 40 см. Выщелоченные серпентиниты второй подзоны сложены преимущественно лизардитом $1T$ с подчиненным количеством хризотила $2Or_{C1}$ [14]. В нижней части разреза они плотные, слабо трещиноватые, в верхней части становятся более трещиноватыми и переходят в тонкоплитчатые и рыхлые серпентиниты, местами нонтронитизированные и обохренные, с гидроксидами железа и марганца.

Помимо серпентинитовой зоны на Светлоборском массиве выделяются участки развития глинистой – нонтронито-

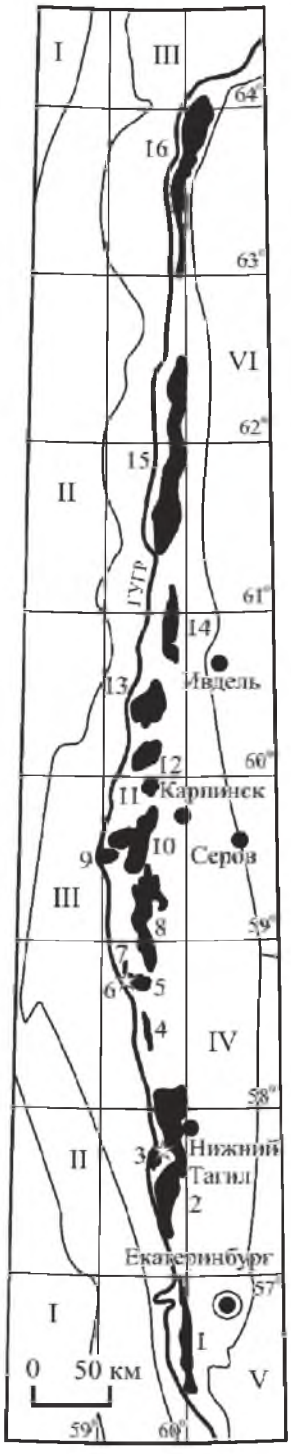


Рис.1. Положение массивов Платиноносного пояса Урала (по [5]). Пояснения см. в тексте

Структурно-минерагенические мегазоны Уральской складчатой системы: I – Предуральский краевой прогиб, II – Западно-Уральская, III – Центрально-Уральская, IV – Тагило-Магнитогорская, V – Восточно-Уральская, VI – чехол Западно-Сибирской платформы. ГУГР – Главный уральский глубинный разлом

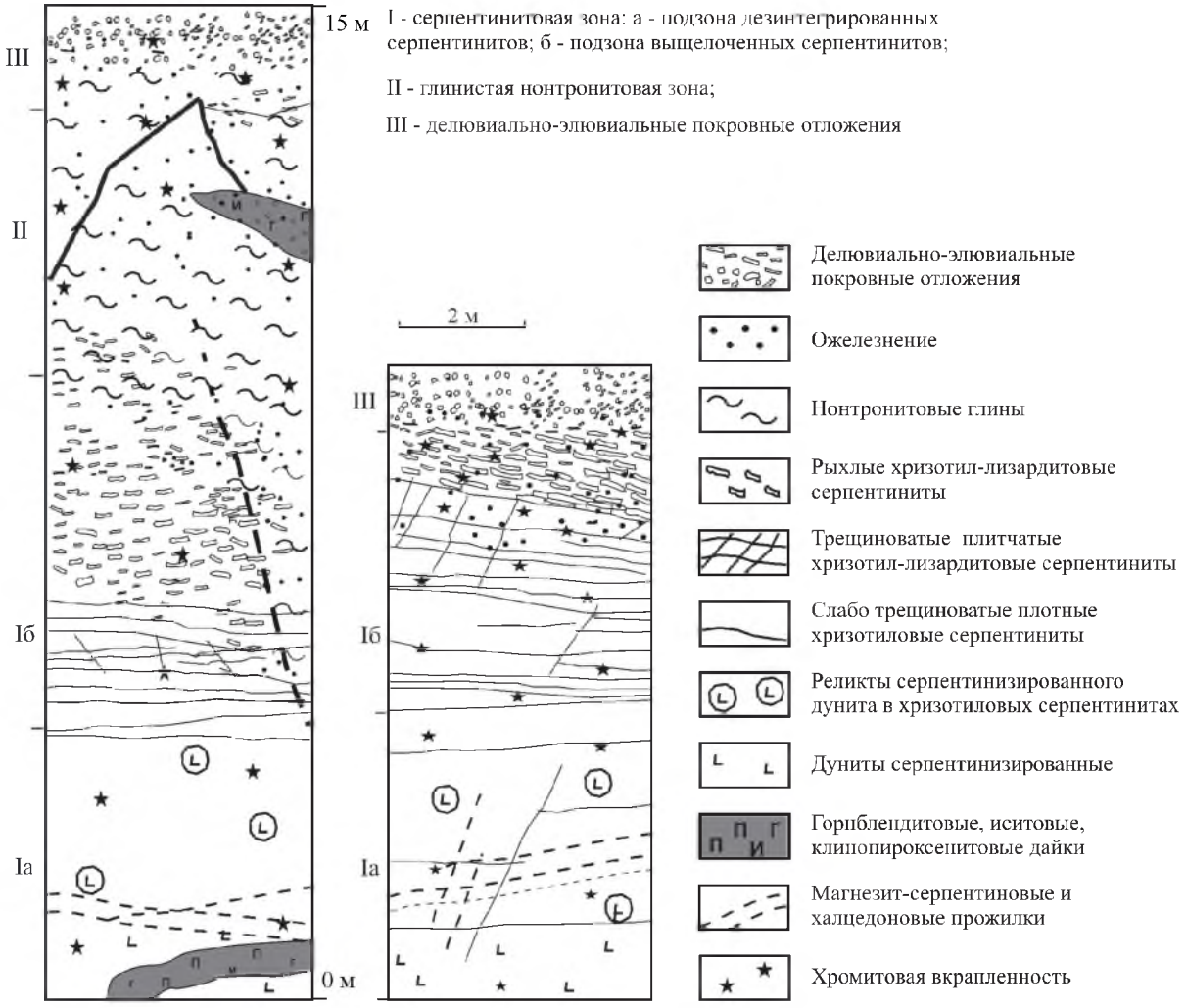


Рис.2. Профиль кор выветривания Светлоборского (слева) и Нижнетагильского (справа) массивов

вой зоны, по И.И.Гинзбургу (1953) – мощностью от 0,5 до 10 м. Неравномерно обохренные глины залегают на рыхлых выщелоченных хризотил-лизардитовых серпентинитах (лизардит 1*T*), которые образуют своеобразные карманы коры выветривания, ограниченные разрывными нарушениями. По результатам проведенного рентгенофазового анализа установлено, что в составе нонтронитовой зоны преобладают минералы группы серпентина (непуит, лизардит 1*T*, хризотил), глинистые минералы (сапонит, монтмориллонит 15А, корренсит), в подчиненном количестве присутствуют клинохлор, кальцит, гетит, ферригидрит, кварц.

Оксидно-железная зона в профиле выветривания отсутствует и выражена только в ожелезнении верхних частей разреза и некотором обогащении их гидроксидами Fe и Mn. В верхней части разреза породы кор выветривания как Светлоборского, так и Нижнетагильского массивов перекрываются элювиально-делювиальными и делювиально-элювиальными покровными отложениями мощностью от 0,2 до 2,5-3 м. Согласно отчету Висимского геоморфологического отряда о полевых работах 1968-1969 годов (А.П.Сигов, А.В.Ломаев, И.И.Титаренко и др.), возраст продуктов выветривания – палеогеновый.

Геохимия кор выветривания Светлоборского и Нижнетагильского массивов. Для изучения распределения петрогенных и редких элементов в зональном профиле коры выветривания Светлоборского и Нижнетагильского массивов было проведено исследование химического состава проб подзоны дезинтегрированных хризотиловых серпентинитов

(1 и 10 проб соответственно), рыхлых выщелоченных хризотил-лизардитовых серпентинитов (6 и 2 пробы соответственно) и глинистой нонтронитовой зоны (6 проб, Светлоборский массив). Петрогенные элементы определялись рентгеноспектральным силикатным методом, редкие элементы методом ICP-MS. Анализ проб выполнялся в ЦАЛ ВСЕГЕИ. Результаты анализов представлены в таблице.

Содержание петрогенных и редких элементов в коре выветривания Светлоборского и Нижнетагильского массивов

Химические элементы	Зона дезинтегрированных хризотиловых серпентинитов			Зона рыхлых выщелоченных хризотил-лизардитовых серпентинитов				Глинистая нонтронитовая зона	
	СБМ	НТМ		СБМ		НТМ		СБМ	
	x	x	s	x	s	x	s	x	s
Петрогенные элементы, % по массе									
SiO_2	36,6	36,4	1,4	38,9	0,9	41,8	0,2	43,1	2,9
TiO_2	0,011	0,005	0,000	0,012	0,008	0,070	0,011	0,106	0,117
Al_2O_3	0,16	0,17	0,14	0,29	0,16	1,46	0,13	1,99	2,04
Fe_2O_3	8,15	10,75	1,10	11,32	1,57	10,95	2,06	10,26	2,52
MnO	0,14	0,21	0,02	0,19	0,03	0,18	0,04	0,20	0,07
MgO	43,7	39,0	2,7	41,6	1,2	34,4	3,0	28,8	6,4
CaO	0,25	0,19	0,25	0,45	0,35	0,11	0,02	4,20	7,32
Na_2O	0,02	0,02	0,001	0,02	0,000	0,09	0,02	0,13	0,15
K_2O	0,09	0,01	0,038	0,04	0,048	0,23	0,014	0,09	0,041
P_2O_5	0,04	0,02	0,016	0,03	0,02	0,06	0,01	0,05	0,03
BaO	–	0,01	0,001	0,01	0,001	–	–	0,01	0,003
C общ	0,20	0,23	0,05	0,14	0,02	0,34	0,15	0,25	0,14
П.п.п	10,10	12,69	2,42	6,64	2,91	9,65	0,78	10,40	4,94
Сумма	99,47	99,43		99,43		99,05		99,58	
Элементы группы железа (ЭГЖ), г/т									
V	1,25	8,28	7,69	9,09	7,94	16,50	2,69	50,94	54,82
Cr	3360	8921	8398	3710	3174	3150	255	3252	1299
Ni	2070	1307	355	1317	585	2385	148	1590	1319
Co	129	141	1	162	26	186	34	197	33
Группа транзитных элементов (ТЭ), г/т									
Cu	2,03	23,29	16,81	8,32	4,42	8,96	0,51	14,78	10,54
Zn	38,5	40,1	10,02	49,4	17,1	62,4	9,05	63,56	21,87
Pb	0,50	0,80	0,43	1,04	0,76	2,42	0,50	0,50	0,00
Cs	0,05	0,05	0,00	0,05	0,00	0,61	0,03	0,08	0,07
Группа крупноионных литофилов (LIL), г/т									
Rb	1,00	1,61	1,001	0,73	0,35	9,60	0,32	1,48	0,67
Ba	3,21	1,54	2,20	7,11	7,18	38,4	9,69	26,06	36,30
Sr	1,68	2,51	6,16	3,64	2,23	7,18	1,94	42,27	43,14
Группа высокозарядных элементов (HFS), г/т									
Y	0,10	0,07	0,03	0,42	0,14	2,10	0,38	3,19	2,67
Th	0,05	0,03	0,01	0,03	0,01	0,94	0,20	0,11	0,10
U	0,05	0,03	0,01	0,06	0,06	0,24	0,06	0,24	0,30
Zr	0,87	1,35	0,90	2,27	1,44	12,71	4,23	5,70	5,11
Nb	0,25	0,09	0,08	0,15	0,10	1,16	0,28	0,38	0,24
Ta	–	0,05	0,00	0,05	0,00	–	–	0,04	0,02
Hf	0,02	0,05	0,01	0,11	0,09	0,30	0,14	0,23	0,20

Окончание таблицы

Химические элементы	Зона дезинтегрированных хризотиловых серпентинитов			Зона рыхлых выщелоченных хризотил-лизардитовых серпентинитов				Глинистая нонтронитовая зона	
	СБМ	НТМ		СБМ		НТМ		СБМ	
	x	x	s	x	s	x	s	x	s
Группа редкоземельных элементов (РЗЭ, REE), г/т									
La	0,05	0,05	0,03	0,39	0,37	2,48	0,50	1,54	0,95
Ce	0,09	0,05	0,04	0,30	0,22	5,14	1,75	3,09	3,12
Pr	0,01	0,02	0,01	0,09	0,04	0,60	0,13	0,60	0,42
Nd	0,07	0,08	0,08	0,39	0,28	2,40	0,52	2,92	2,25
Sm	0,02	0,01	0,02	0,08	0,04	0,47	0,13	0,70	0,58
Eu	0,003	0,01	0,008	0,03	0,01	0,10	0,02	0,18	0,178
Gd	0,005	0,03	0,02	0,11	0,06	0,46	0,13	0,679	0,68
Tb	0,003	0,005	0,001	0,01	0,006	0,08	0,02	0,092	0,090
Dy	0,005	0,02	0,01	0,05	0,04	0,43	0,08	0,55	0,51
Ho	0,003	0,005	0,001	0,01	0,008	0,09	0,03	0,10	0,096
Er	0,005	0,02	0,01	0,06	0,03	0,19	0,06	0,29	0,289
Tm	0,003	0,005	0,001	0,01	0,004	0,03	0,01	0,04	0,039
Yb	0,005	0,02	0,018	0,05	0,02	0,16	0,04	0,27	0,25
Lu	0,003	0,005	0,001	0,01	0,005	0,03	0,01	0,04	0,03
Сумма	0,28	0,32		1,59		12,67		11,10	
Благородные металлы, мг/т									
Ru	0,001	0,001	0,000	0,002	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001
Rh	0,004	0,004	0,0003	0,005	0,002	0,005	0,0004	0,004	0,004
Pd	0,001	0,0114	0,0217	0,0268	0,0328	0,0655	0,0205	0,0162	0,0162
Ir	0,001	0,006	0,007	0,011	0,003	0,010	0,0001	0,006	0,0057
Pt	0,004	0,053	0,0933	0,341	0,5549	0,044	0,0240	0,108	0,1083
Au	0,001	0,004	0,0013	0,070	0,1617	0,003	0,0009	0,003	0,003
Ag	0,005	0,011	0,008	0,005	0,000	0,009	0,006	0,005	0,005

Примечание. СБМ – Светлоборский массив, НТМ – Нижнетагильский массив; x – среднее; s – стандартное отклонение от среднего, Fe_2O_3 – общее.

Из таблицы следует, что характер распределения петрогенных элементов в коре выветривания Нижнетагильского и Светлоборского массивов демонстрирует общие закономерности процессов, происходящих при выветривании: к верхним частям профиля выветривания интенсивно выносится магний, в незначительной степени накапливаются железо и алюминий.

Распределение редких элементов носит более дифференцированный характер. Для пород коры выветривания Светлоборского и Нижнетагильского массивов были построены графики нормированных к мантийному перидотиту концентраций редких элементов (рис.3, 4) и подсчитаны их коэффициенты накопления $К_н$ относительно мантийного перидотита, дунитов Платиноносного пояса Урала. Также было проведено сравнение с мощными мезозойскими корами выветривания, развитыми по другим ультрамафитовым массивам Урала (Уфалейский, Буруктальский, Еловский офиолитовые комплексы, Сахаринский зональный массив и т.д.).

На рис.3 видно, что характер распределения редких элементов в корах выветривания Светлоборского и Нижнетагильского массивов весьма неустойчив в зоне хризотил-лизардитовых серпентинитов, в то время как лизардитовые серпентиниты характеризуются более спокойным трендом распределения. В Нижнетагильском массиве наблюдается увеличение содержаний редких элементов в верхних зонах коры выветривания, что подтвер-

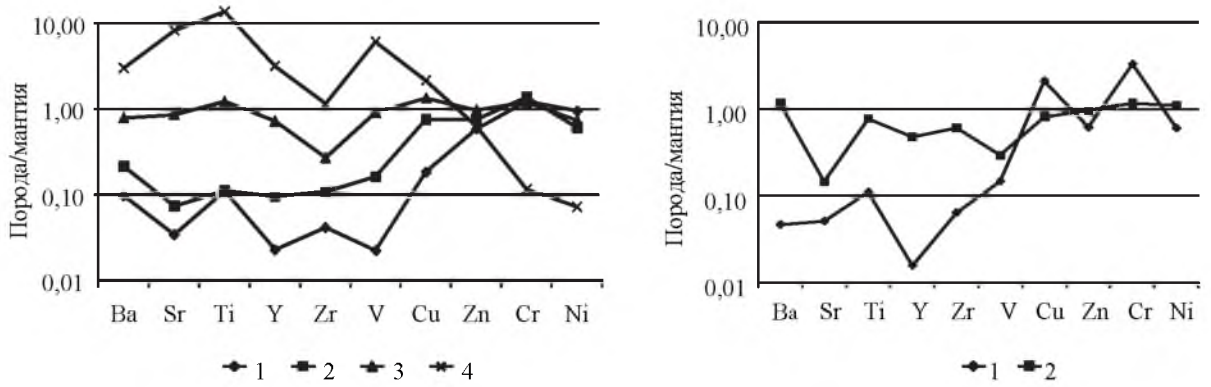


Рис.3. Распределение редких элементов в породах коры выветривания Светлоборского (слева) и Нижнетагильского (справа) массивов, нормированное к мантийному гарцбургиту [23]

1 – хризотиловые серпентиниты с реликтами серпентинизированных дунитов и карбонатными прожилками; 2 – трещиноватые, плитчатые хризотил-лизардитовые серпентиниты, рыхлые в верхней части разреза; 3 – неравномерно обохренные нонтронитовые глины; 4 – горнблендиты Светлоборского массива [3]

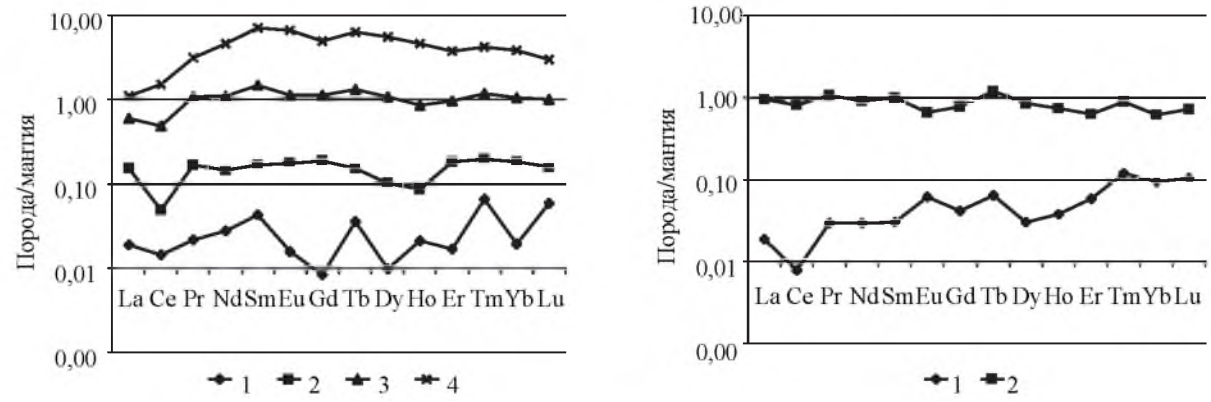


Рис.4. Распределение РЗЭ в горных породах кор выветривания Светлоборского (слева) и Нижнетагильского (справа) массивов, нормированное к мантийному гарцбургиту [23]. Усл. обозн. см. на рис.3

ждается и их коэффициентами накопления: хром, марганец и кобальт накапливаются во всех зонах массивов ($К_н$ = 1,3÷3,0), медь, свинец ($К_н$ = 1,9÷10,8) и цезий, рубидий интенсивно накапливаются в верхних частях профиля ($К_н$ до 14,3). Стоит отметить также высокий уровень редких элементов и их $К_н$ в породах Светлоборского массива из зон контакта дунитов с дайковыми образованиями (горнблендитового, иситового и других составов), а также в самих горнблендитах [3]. При нормировании к дуниту Платиноносного пояса Урала [13] дунита Нижнетагильского массива [10, 21] основные особенности распределения редких элементов сохраняются.

Из таблицы видно, что преобладающую роль в профиле выветривания Светлоборского и Нижнетагильского массивов играют легкие редкие земли. Содержания РЗЭ в зоне хризотиловых серпентинитов крайне неравномерны и, как следует из рис.4, почти на 2 порядка меньше мантийных, в то время как хризотил-лизардитовые серпентиниты характеризуются более спокойным трендом распределения РЗЭ. Все РЗЭ демонстрируют характер распределения, близкий мантийному. Наблюдается отчетливое увеличение содержаний РЗЭ вверх по профилю выветривания, что подтверждается и коэффициентами накопления: РЗЭ накапливаются в нонтронитовой зоне Светлоборского массива ($К_н$ = 1,05÷1,5), истощаясь в серпентинитах ($К_н$ = 0,05÷0,1), особенно в карбонатизированных хризотил-лизардитовых разностях ($К_н$ = 0,01÷0,07). Редкоземельные элементы Нижнетагильского массива также

характеризуются пониженными концентрациями в зоне хризотиловых серпентинитов ($К_н$ = 0,01÷0,12) и повышаются к верхним частям разреза ($К_н$ 0,7÷1,2). При этом значения $К_н$ РЗЭ сопоставимы с аналогичными зонами Буруктальского ($К_н$ = 0,08÷1,01) и Еловского ($К_н$ = 0,2÷1,6) силикатных никелевых месторождений Урала [20]. Цериевая аномалия проявлена незначительно в хризотиловых серпентинитах ($К_н$ = 0,008).

В породах профиля выветривания Светлоборского массива относительно Нижнетагильского наблюдается повышенный уровень РЗЭ. Возможно, это связано с широким развитием дайкового комплекса в породах Светлоборского массива. Горнбендитовые, иситовые и пироксенитовые дайки, пронизывающие дуниты Светлоборского массива по тектонически ослабленным зонам, в коре выветривания претерпевают изменения и превращаются в вермикулит-хлорит-нонтронитовые породы. Вероятно, жильные породы изначально содержат более высокие концентрации редкоземельных элементов, чем дуниты (рис.4), и при разложении они дополнительно обогащают глины коры выветривания Светлоборского массива лантаноидами. Как наиболее инертные компоненты РЗЭ накапливаются в процессах выщелачивания и гидратации ультрабазитов, причем, по мнению А.В.Дубинина, более 99 % остается во вторичных минералах [4]. Многочисленные литературные данные указывают на то, что в окислительных условиях под воздействием метеорных вод РЗЭ могут переходить в водные комплексы [1, 2, 4, 23] и в дальнейшем образовывать собственные гипергенные минералы [16], либо сорбироваться марганцевыми и глинистыми минералами коры выветривания, которые, как известно, обладают значительной сорбционной способностью, связанной в основном с большой площадью поверхности минеральных частиц.

Элементы платиновой группы, золото и серебро в Светлоборском и Нижнетагильском массивах. Как видно из таблицы, коры выветривания Светлоборского и Нижнетагильского массивов характеризуются низкими содержаниями элементов группы платины, золота, серебра, интенсивным выносом их из нижних зон профиля выветривания (относительно углистого хондрита С1 $К_н$ = 0,001÷0,049 для пород Нижнетагильского массива и $К_н$ = 0,001÷0,259 для Светлоборского) и частичным накоплением в верхних. Рудная специализация в коре выветривания обоих массивов (палладий-платиновая с повышенными концентрациями Au и Ag) отличается от коренной преимущественно иридий-платиновой минерализации в дунитах Нижнетагильского массива [7, 12, 15]. Отношение Pt/Pd > 1 практически во всех зонах профиля выветривания обоих массивов, за исключением зоны выщелачивания, где в лизардитовых обохренных серпентинитах оно падает до 0,67.

В серпентинитовых рудах мощных мезозойских кор выветривания, развитых по ультрамафитам Урала (Уфалейский, Буруктальский, Еловский офиолитовые комплексы, Сахаринский зональный массив и т.д.), обычно соотношение Pt/Pd < 1, т.е. в них, за некоторым исключением, преобладает палладий. В оксидно-железных рудах Уфалейского, Рокгемптонского (Австралия), Гринвейлского (Австралия) массивов величина Pt/Pd > 1, в рудах Буруктальского и Еловского месторождений Pt/Pd < 1, а в месторождении Никаро (Куба) вообще падает до 0,15 [16]. Таким образом, по сравнению с мощными корами выветривания, развитыми по ультрамафитам Урала, Австралии, Кубы, процессы геохимической миграции элементов в профиле выветривания Светлоборского и Нижнетагильского массивов, с их сокращенной мощностью, неполным профилем, проходили не в полной мере.

Выводы. В заключение подведем некоторые итоги, касающиеся уровня концентраций элементов-примесей, РЗЭ и благородных металлов в породах кор выветривания Светлоборского и Нижнетагильского массивов.

1. Кора выветривания Светлоборского и Нижнетагильского массивов сложена дезинтегрированными хризотиловыми и рыхлыми выщелоченными хризотил-лизардитовыми серпентинитами. Помимо серпентинитовой зоны в Светлоборском массиве наблюдается глинистая нонтронитовая зона, сложенная смесью серпентиновых и глинистых минералов.

Реликты этой зоны сохранились только в карманах коры выветривания вдоль тектонических нарушений. Оксидно-железная зона выветривания на массивах не сохранилась.

2. Коры выветривания Светлоборского и Нижнетагильского массивов характеризуются выносом большинства элементов-примесей и РЗЭ из серпентинитовой зоны, их дальнейшим накоплением в верхней (глинистой) части разреза и мантийным характером распределения, наследуемым от пород субстрата.

3. Высокий уровень содержаний элементов-примесей и их коэффициенты накопления в породах Светлоборского массива из зон контакта дунитов с дайковыми комплексами, а также мантийный характер распределения позволяют предполагать, что в ходе наложенных процессов внедрения даек разного состава некогерентные (высокозарядные, крупноионные литофильные и щелочные) элементы подвергались перераспределению и накоплению к верхним частям профиля. Основной механизм их накопления связан с высокими сорбционными свойствами глинистых минералов.

4. Коры выветривания Светлоборского и Нижнетагильского массивов характеризуются низкими содержаниями элементов группы платины, золота, серебра. Геохимическая специализация их определяется палладием и платиной, тогда как в дунит-клинопироксенитовом субстрате первичных зональных массивов главными платиноидами являются иридий и платина, что свидетельствует о перераспределении благородных металлов в профиле выветривания и может быть использовано в поисково-геохимических целях.

5. Отношение $Pt/Pd > 1$ практически во всех зонах профиля выветривания обоих массивов, за исключением зоны ожелезненных хризотил-лизардитовых серпентинитов, где оно падает до 0,67. Этим коры выветривания Светлоборского и Нижнетагильского массивов отличаются от мощных кор выветривания по офиолитовым массивам Урала, Австралии, Кубы, где это соотношение обычно ниже единицы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Балашов Ю.А.* Геохимия редкоземельных элементов. М.: Наука, 1976. 268 с.

2. *Бугельский Ю.Ю.* Экзогенные рудообразующие системы кор выветривания / Ю.Ю.Бугельский, И.В.Витовская, А.П.Никитина. М.: Наука, 1990. 365 с.

3. *Готтман И.А.* Геологические данные о магматической природе горнблендитов в габбро-ультрамафитовых комплексах Урало-Аляскинского типа / И.А.Готтман, Е.В.Пушкарев // Литосфера. 2009. № 2. С.78-86.

4. *Дубинин А.В.* Геохимия редкоземельных элементов в океане. М.: Наука. 2006. 360 с.

5. *Ефимов А.А.* Итоги столетнего изучения Платиноносного пояса Урала // Литосфера. 2010. № 5. С.134-153.

6. Крупно-объемные рудные месторождения платины в зональных базит-ультрабазитовых комплексах урало-аляскинского типа и перспективы их освоения / А.П.Козлов, В.А.Чантурия, Е.Г.Сидоров, Н.Д.Толстых, Ю.М.Телегин // Геология рудных месторождений. 2011. Т.53. № 5. С.419-437.

7. *Лазаренков В.Г.* Геохимия элементов платиновой группы / В.Г.Лазаренков, И.В.Таловина. СПб: Галарт, 2001. 266 с.

8. *Лазаренков В.Г.* Никелевые коры выветривания как потенциальный промышленный источник металлов платиновой группы / В.Г.Лазаренков, В.Ю.Абрамов, И.В.Таловина // Платина России. М.: Геоинформмарк, 1995. Т.2. Кн.1. С.121-125.

9. *Лазаренков В.Г.* Платиноиды, золото и серебро в гипергенных никелевых месторождениях / В.Г.Лазаренков, И.В.Таловина, Н.И.Воронцова // Платина России / ГПКК «КНИИГиМС». Красноярск, 2011. Т.7. С.379-394.

10. *Ланда Э.А.* Геохимические особенности Нижне-Тагильского зонального массива и вопросы его генезиса / Э.А.Ланда, В.Г.Лазаренков // Записки ВМО. Ч.127. № 4. 1990. С.38-50.

11. *Малахов И.А.* Нижнетагильский дунит-клинопироксенитовый массив и его вмещающие породы / И.А.Малахов, Л.В.Малахова // Труды Института геологии и геохимии УФАН СССР. Свердловск: Уральский рабочий, 1970. 157 с.

12. *Малич К.Н.* Платиноиды клинопироксенит-дунитовых массивов Восточной Сибири / ВСЕГЕИ. СПб, 1999. 296 с.

13. Новые данные по геохимии Платиноносного пояса Урала: вклад в понимание петрогенезиса / Г.Б.Ферштатер, Ф.Беа, Е.В.Пушкарев, Дж.Гарути, П.Монтеро, Ф.Заккарини // Геохимия. 1999. № 4. С.352-370.

14. Платиновые металлы в гипергенных никелевых месторождениях и перспективы их промышленного извлечения / В.Г.Лазаренков, И.В.Таловина, И.Н.Белоглазов, В.И.Володин. СПб: Недра, 2006. 188 с.

15. Структурно-вещественная эволюция комплексов Платиноносного пояса Урала при формировании хромит-платиновых месторождений уральского типа. Ч.1 / Ю.А.Волченко, К.С.Иванов, В.А.Коротеев, Т.Оже // Литосфера. 2007. № 4. С.73-101.

16. *Таловина И.В.* Геохимия уральских оксидно-силикатных никелевых месторождений / Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». СПб, 2012. 270 с.

17. *Телегин Ю.М.* Геологические особенности рудопроявлений платины Светлоборского и Каменушинского массивов Платиноносного пояса Урала / Ю.М.Телегин, Т.В.Телегина, Н.Д.Толстых // Ультрабазит-базитовые комплексы складчатых областей и связанные с ними месторождения. Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 2009. Т.2. С.212-215.

18. *Толстых Н.Д.* Коренная платиновая минерализация Светлоборского и Нижнетагильского массивов, Платиноносный пояс Урала / Н.Д.Толстых, А.П.Козлов, Ю.М.Телегин // Платина России / ГПКК «КНИИГиМС». Красноярск, 2012. С.297-312.

19. *Толстых Н.Д.* Коренная платина Светлоборского и Каменушинского массивов платиноносного пояса Урала / Н.Д.Толстых, Ю.М.Телегин, А.П.Козлов // Геология и геофизика. 2011. Т.52. № 6. С.775-793.

20. Характер распределения редкоземельных элементов в рудах Еловского и Буруктальского гипергенных никелевых месторождений / И.В.Таловина, Н.И.Воронцова, С.О.Рыжкова, О.П.Мезенцева, А.Г.Пилюгин // Записки Горного института. 2012. Т.196. С.31-35.

21. *Шмелев В.Р.* Нижнетагильский дунит-клинопироксенитовый массив и его платиновые месторождения / В.Р.Шмелев, Е.В.Пушкарев, Е.В.Аникина // Путеводитель геологических экскурсий к XI Всероссийскому петрографическому совещанию. Екатеринбург: Изд-во Института геологии и геохимии УрО РАН, 2010. С.38-58.

22. *Lipin B.R.* Geochemistry and mineralogy of Rare Earth elements / B.R.Lipin, G.A.McKay // Reviews in mineralogy. Mineralogical society of America. 1989. Vol.21. 348 p.

23. *McDonough W.F.* Constrains of the composition of continental lithospheric mantle // EPSL. 1990. Vol.101. N 1. P.1-18.

REFERENCES

1. *Balashov Ju.A.* Geohimija redkozemel'nyh elementov (*Geochemistry of Rare Earth elements*). Moscow: Nauka, 1976, p.265.

2. *Bugelskiy Ju.Ju., Vitovskaya I.V., Nikitina A.P.* et al. Ekzogennye rudoobrazujushhie sistemy kor vyvetrivanija (*Exogenic ore-forming systems of weathering crusts*). Moscow: Nauka, 1990, p.365.

3. *Gottman I.A., Pushkarev E.V.* Geologicheskie dannye o magmaticheskoi prirode gornblenditov v gabbro-ul'tramafitovyh kompleksah Uralo-Alyaskinskogo tipa (*Geological data on the magma nature of hornblendites in gabbro-ultramafic complexes of the Ural-Alaskan type*). Litosfera. 2009. N 2, p.78-86.

4. *Dubinin A.V.* Geohimija redkozemel'nyh elementov v okeane (*Geochemistry of Rare Earth elements in the ocean*). Moscow: Nauka, 2006, p.360.

5. *Efimov A.A.* Itogi stoletnego izuchenija Platinonosnogo pojasa Urala (*Results of centennial studying of the Ural Patinum Belt*). Litosfera. 2010. N 5, p.134-153.

6. *Kozlov A.P., Chanturiya V.A., Sidorov E.G. et al.* Krupno-ob'emnye rudnye mestorozhdeniya platiny v zonal'nyh bazit-ul'trabazitovyh kompleksah uralo-alyaskinskogo tipa i perspektivy ih osvoeniya (*Platinum ore deposits of a large volume in zonal basic-ultrabasic complexes of the Ural-Alaskan type and prospects for their development*). Geologiya rudnyh mestorozhdenii. 2011. Vol.53. N 5, p.419-437.

7. *Lazarenkov V.G., Talovina I.V.* Geohimija elementov platinovoj gruppy (*Geochemistry of Platinum Group Elements*). St Petersburg: Galart, 2001, p.266.

8. *Lazarenkov V.G., Abramov V.Yu., Talovina I.V.* Nikelevye kory vyvetrivanija kak potencial'nyj promyshlennyj istochnik metallov platinovoj gruppy (*Nickel-bearing weathering crusts as a potential commercial source of platinum group metals*). Platina Rossii. Moscow: Geoinformmark, 1995. Vol.2. Book 1, p.121-125.

9. *Lazarenkov V.G., Talovina I.V., Vorontsova N.I.* Platinoidy, zoloto i serebro v gipergennyh nikelevyh mestorozhdenijah (*Platinum group elements (PGE), gold (Au) and silver (Ag) in supergene nickel deposits*). Platina Rossii. GPKK «KNIIGiMS». Krasnoyarsk, 2011. Vol.7, p.379-394.

10. *Landa E.A., Lazarenkov V.G.* Geohimicheskie osobennosti Nizhne-Tagil'skogo zonal'nogo massiva i voprosy ego genezisa (*Geochemical features of the Nizhny Tagil zonal massif and issues of its genesis*). Zapiski VMO. 1990. Vol.127. N 4, p.38-50.

11. *Malakhov I.A., Malakhova L.V.* Nizhnetagil'skij dunit-klinopiroksenitovyj massiv i ego vmeshhajushhie porody (*The Nizhny Tagil dunite-clinopyroxenite massif and its host rocks*). Trudy Instituta geologii i geohimii UFAN SSSR. Sverdlovsk: Ural'skii rabochii. 1970, p.157.

12. *Malitch K.N.* Platinoidy klinopiroksenit-dunitovyh massivov Vostochnoi Sibiri (*Platinoids of clinopyroxene-dunite massifs of East Siberia*). VSEGEI. St Petersburg, 1999, p.296.

13. *Fershtater G.B., Bea F., Pushkarev E.V.* et al. Novye dannye po geohimii Platinonosnogo pojasa Urala: vklad v ponimanie petrogenezisa (*New data on geochemistry of the Ural Platinum Belt: a contribution to the understanding of petrogenesis*). Geohimiya. 1999. N 4, p.352-370.

14. *Lazarenkov V.G., Talovina I.V., Beloglazov I.N., Volodin V.I.* Platinovye metally v gipergennyh nikelevyh mestorozhdenijah i perspektivy ih promyshlennogo izvlechenija (*Platinum metals in supergene nickel deposits and prospects for their commercial extraction*). St Petersburg: Nedra, 2006, p.188.

15. *Volchenko Y.A., Ivanov K.S., Koroteev V.A. et al.* Strukturno-veshhestvennaja evoljuciya kompleksov Platinonosnogo pojasa Urala pri formirovanii hromit-platinovyh mestorozhdenii ural'skogo tipa (*Structural-compositional*

evolution of the Ural Platinum Belt complexes during the formation of platinum-chromite deposits of the Ural type). Part 1. Litosfera. 2007. N 4, p.73-101.

16. *Talovina I.V.* Geohimija ural'skih oksidno-silikatnyh nikelevyh mestorozhdenij (*Geochemistry of the Uralian oxide-silicate nickel deposits*). Natsional'nyi mineral'no-syr'evoi universitet «Gornyi». St Petersburg, 2012, p.270.

17. *Telegin Y.M., Telegina T.V., Tolstykh N.D.* Geologicheskie osobennosti rudoprojavlenii platiny Svetloborskogo i Kamenushinskogo massivov Platinonosnogo pojasa Urala (*Geologic features of platinum occurrences of the Svetloborsky and Kamenushinsky massifs of the Ural Platinum Belt*). Ekaterinburg: Izd-vo IGiG UrO RAN, 2009. Vol.2, p.212-215.

18. *Tolstykh N.D., Kozlov A.P., Telegin Y.M.* Korennaya platinovaya mineralizaciya Svetloborskogo i Nizhnetagil'skogo massivov, Platinonosnyi pojas Urala (*Bedrock platinum mineralization of the Svetloborsky and Nizhny Tagil massifs of the Ural Platinum Belt*). Platina Rossii. GPKK «KNIIGiMS». Krasnoyarsk, 2012, p.297-312.

19. *Tolstykh N.D., Telegin Y.M., Kozlov A.P.* Korennaya platina Svetloborskogo i Kamenushinskogo massivov platinonosnogo pojasa Urala (*Bedrock platinum mineralization of the Svetloborsky and Kamenushinsky massifs of the Ural Platinum Belt*). Geologiya i geofizika. 2011. Vol.52, N 6, p.775-793.

20. *Talovina I.V., Vorontsova N.I., Ryzhkova S.O., Mezentseva O.P., Pilugin A.G.* Harakter raspredelenija redkozemel'nyh jelementov v rudah Elovskogo i Buruktal'skogo gipergennyh nikelevyh mestorozhdenij (*Pattern of rare earth element distribution in ores of the Elov and Buruktal supergene nickel deposits*). Zapiski Gornogo instituta. 2012. Vol.196, p.31-35.

21. *Shmeliov V.R., Pushkarev E.V., Anikina E.V.* Nizhnetagil'skii dunit-klinopiroksenitovyi massiv i ego platinovye mestorozhdeniya (*The Nizhny Tagil dunite-clinopyroxenite massif and its platinum deposits*). Putevoditel' geologicheskih ekskursii k XI Vserossiiskomu petrograficheskomu soveshhaniyu. Ekaterinburg: Izd-vo IGiG UrO RAN, 2010, p.38-58.

22. *Lipin B.R., McKay G.A.* Geochemistry and mineralogy of Rare Earth elements. Reviews in mineralogy. Mineralogical society of America. 1989. Vol.21, p.348.

23. *McDonough W.F.* Constrains of the composition of continental lithospheric mantle. EPSL. 1990. Vol.101. N 1, p.1-18.

GEOLOGY, MINERALOGY AND GEOCHEMISTRY OF WEATHERING CRUST OF THE SVETLOBORSKY AND NIZHNETAGILSKY MASSIFS, THE MIDDLE URALS

A.M.DURYAGINA, *Postgraduate student, gayfutdinovaam@yandex.ru*
N.I.VORONTSOVA, *PhD in Geological and Mineral Sciences, Assistant Professor, natvoron@yandex.ru*
E.S.NIKOLAEVA, *Postgraduate student, legenda.92@mail.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), St Petersburg, Russia

The article encompasses the analysis of the mineral composition and geochemistry of weathering crusts of the Svetloborsky and Nizhnetagilsky massifs of the Ural Platinum Belt. Weathering crusts are represented by a partial profile and composed of disintegrated lizardite-chrysotile and loose leached lizardite serpentinite, which are overlapped by clays of nontronite zone at the Svetloborsky massif. The supergene process reveals accumulation of trace elements and rare earth elements (REE) upwards within the weathering profile. Rocks of the Svetloborsky massif contacting with dike complexes show high levels of REE content and their accumulation coefficients. In weathering profile of the Svetloborsky and Nizhnetagilsky massifs, the average content of precious metals is low; palladium and platinum prevail, in contrast to primary substrate rocks, where the main platinum group metals are platinum and iridium.

Key words: the Svetloborsky massif, the Nizhnetagilsky massif, the Platinum Belt of the Urals, weathering crust, rare earth elements, platinum group elements, gold, silver.