

И.В.ТАЛОВИНА, канд. геол.-минерал. наук, доцент, *i.talovina@gmail.com*
В.Г.ЛАЗАРЕНКОВ, д-р геол.-минерал. наук, профессор, *lazarenkov@mail.ru*
Н.И.ВОРОНЦОВА, канд. геол.-минерал. наук, ассистент, *natvoron@yandex.ru*
С.О.РЫЖКОВА, канд. геол.-минерал. наук, ученый секретарь, *ryzhkova2007@mail.ru*
О.П.МЕЗЕНЦЕВА, аспирант, *mezentseva@yandex.ru*
А.Г.ПИЛЮГИН, студент, *andrew_pilugin@mail.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный университет

I.V.TALOVINA, PhD in geol. & min. sc., associate professor, *i.talovina@gmail.com*
V.G.LAZARENKOV, Dr. in geol. & min. sc., professor, *lazarenkov@mail.ru*
N.I.VORONTSOVA, PhD in geol. & min. sc., assistant lecturer, *natvoron@yandex.ru*
S.O.RYZKOVA, PhD in geol. & min. sc., scientific secretary, *ryzhkova2007@mail.ru*
O.P.MEZENTSEVA, post-graduate student, *mezentseva@yandex.ru*
A.G.PILUGIN, student, *andrew_pilugin@mail.ru*
Saint Petersburg State Mining University

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ БАРЬЕРЫ В НИКЕЛЕВЫХ КОРАХ ВЫВЕТРИВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ БУРУКТАЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

Главным геохимическим барьером в коре выветривания Буруктальского месторождения, обуславливающим резкое уменьшение интенсивности миграции химических элементов, является кислородный окислительный барьер верхней окисно-железной зоны месторождения. Тем не менее, рудные концентрации вещества обнаруживаются чаще на комплексных геохимических барьерах: сорбционно-окислительном, карбонатно-восстановительном и т.д. Каждая разновидность геохимических барьеров обладает способностью концентрировать определенную ассоциацию мигрирующих компонентов, что нашло свое отражение в разных коэффициентах накопления элементов в метасоматитах Буруктальского месторождения. Для элементов с переменной валентностью (Fe, Mn) наиболее эффективными являются окислительные барьеры, а для большинства микроэлементов – сорбционные глинистый, окисно-железный и окисно-марганцевый.

Ключевые слова: Буруктальское месторождение, кора выветривания, геохимические барьеры, содержание никеля, содержание кобальта.

GEOCHEMICAL BARRIERS IN SUPERGENE NICKEL DEPOSIT ON THE EXAMPLE BURUKTAL DEPOSIT (SOUTH URALS)

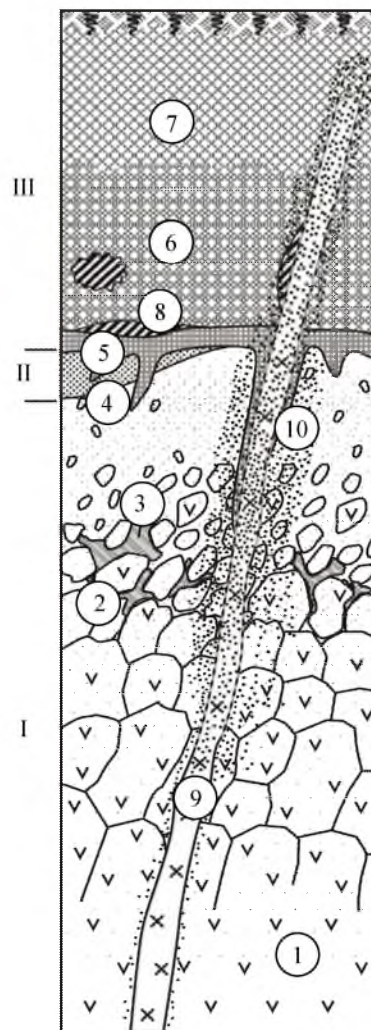
The main geochemical barrier in supergene Buruktal nickel deposit is oxygen oxidized barrier in upper ferrous-oxide zone of the deposit. It makes sharp decrease of chemical element migration. Nevertheless, ore mineral concentrations present oft in complex geochemical barriers: absorbed-oxidized, carbonate-reducing and others. Every type of the geochemical barriers is able to concentrate specific association of migrated elements. That reflected on the different values of coefficients of enrichment in different types of Buruktal metasomatites. Oxidized barrier is more effective for elements with different valence (Fe, Mn), and absorbed clay, ferrous-oxide und manganese-oxide barriers are more effective for the main part of microelements.

Key words: Buruktal deposit, supergene nickel deposit, geochemical barrier, nickel content, cobalt content.

Рудоносные системы никелевых кор выветривания формируются под воздействием различных геохимических факторов, среди которых наиболее принципиальное значение в зоне гипергенеза приобретают геохимические барьеры различного происхождения: механического, физико-химического, гидродинамического, биогеохимического. Детальное изучение геохимических барьеров является одной из основных задач современной геохимии в связи с огромной практической значимостью, так как концентрации отдельных элементов на барьерах часто достигают промышленных величин, либо создают геохимические аномалии в горных породах и природных водах, интерпретация которых имеет большое значение для геохимических поисков рудных месторождений. Рассмотрим роль геохимических барьеров в образовании экзогенной рудообразующей системы никеленосных кор выветривания Урала на примере одного из классических объектов этой формации – Буруктаьского кобальт-никелевого месторождения.

Буруктаьское месторождение расположено на восточном склоне Южного Урала в южной части Зауральского поднятия и относится к смешанному линейно-площадному типу коры выветривания, по К.К.Никитину [9]. Материнскими породами и источником рудных компонентов (никеля и кобальта) при его образовании послужили дуниты и гарцбургиты Буруктаьского офиолитового массива (D_2), который является наиболее крупным в Урало-Тобольском районе [2, 4, 8, 16]. Зональный минерально-геохимический профиль месторождения (см. рисунок) относится к сокращенному серпентин-охристому типу и состоит из развитой оксидно-железной зоны мощностью 1-40 м, под которой располагается маломощная (0-6 м) прерывистая зона нонтронитов и нонтронитизированных серпентинитов, а затем зона выщелоченных серпентинитов мощностью 3-40 м, которая на глубину сменяется дезинтегрированными серпентинитами (3-15 м) и, наконец, неизмененными серпентинитами.

Профиль коры выветривания осложняется присутствием в нем разнообразных по



Сводный вертикальный профиль коры выветривания Буруктаьского никелевого месторождения

1 – серпентинизированные ультрамафиты (перидотиты и дуниты); 2 – карбонатизированные серпентиниты; 3 – лизардитовые руды; 4 – нонтронитовые руды; 5 – кварц-магнетитовые руды; 6 и 7 – кварц-гетитовые руды (структурные и бесструктурные охры соответственно); 8 – оксидно-марганцевые руды; 9 – дайки; 10 – хлоритовые руды; I, II и III – серпентинитовая, нонтронитовая и оксидно-железная зоны соответственно

форме близвертикальных штокообразных либо жильных тел серпентин-хлоритовых метасоматитов, наследующих реликтовую трещиноватость пород Буруктаьского массива. Мощность жил колеблется от 1 до 3-5 м, в раздувах иногда достигает 10-15 м.

В течение многолетнего изучения Буруктаьского месторождения накопился систематический материал, который харак-

Группы химических элементов в главных типах метасоматитов Буруктаьского месторождения

Породы и руды	Группа 1 ($K_H < 1$)	Группа 2 ($K_H = 1 \div 20$)	Группа 3 ($K_H > 20$, редко больше 100)
Оксидно-марганцевые (жильные)	Mg, Si, Ca, P, S, Cr, Cs, Ta, V	Fe, Al, Rb, Ti ($K_H = 9$), Sc, Ni, Co ($K_H = 14$), Sr ($K_H = 4$), Y ($K_H = 18$), Zr ($K_H = 4$), Nb, U, Th, Ce, Yb, Lu, Cu, Zn ($K_H = 5$), Ga ($K_H = 4$), Be	Ba ($K_H = 27$), Mn ($K_H = 20$), As, Sb, PЗЭ (кроме Ce, Yb, Lu), Pb, Mo, W, Sn ($K_H = 108$)
Хлорититовые (жильные)	Mg, Si, Ca, Cr, Nb, Ta	Fe, Al, Mn, Ti, V, Sc, Ni ($K_H = 5$), Co, P, S, Rb, Cs, Ba, Sr, Y, Zr, U, Th, PЗЭ, Cu, Zn, Mo, Ga, Be	As, Sb, Pb, W, Sn
Кварц-гетитовые оксидно-железной зоны	Mg, Si, Ca, Ti, P, Cs, Zr, Nb, Ta	Fe, Al, Mn, V, Sc, Cr, Ni, Co, S, Rb, Ba, Sr, Y, Th, PЗЭ, Cu, Zn, Ga, Be	As, Sb, U ($K_H = 29$), Pb, Mo, W, Sn
Кварц-магнетитовые (черного горизонта)	Mg, Si, Ca, Ti, P, Cs, Zr, Nb, Ta, Th	Fe, Al, Mn, V, Sc, Cr, Ni, Co ($K_H = 11$), S, Ba, Rb, Sr, Y, U, PЗЭ, Cu, Zn, Pb, Mo, Ga, Be ($K_H = 14$)	As ($K_H = 236$), Sb, W ($K_H = 150$), Sn
Нонтронититовые	Mg, Si, Ca, Ti, Cs, Zr, Nb, Ta, Th, Ce	Fe, Al, Mn, V, Sc, Cr, Ni ($K_H = 4,5$), Co, P, S, Sr, Y, Rb, Ba, U, PЗЭ (кроме Ce), Cu, Zn, Ga, Be	As, Sb ($K_H = 1167$), Pb, Mo, W, Sn
Выщелоченные (лизардитовые) серпентиниты	Mg, Al, Ca, P, S, Ti, Mn, Cr, V, Sc, Sr, Cs, Ba, Y, Zr, Nb, Ta, Th, PЗЭ (кроме La), Zn, Cu, Ga	Si, Fe, Ni, Co, Rb, U, La, Be	As, Sb, Pb, Mo, W, Sn
Серпентиниты карбонатизированные	Mg, Al, Mn, Ti, V, Sc, Cr, Co, S, Cs, Ba, Y, Zr, Nb, Ta, Th, PЗЭ, Cu, Ga	Si, Fe, Ca, Ni, P, Rb, Sr, U, Zn, Be	As, Sb, Pb ($K_H = 197$), Mo ($K_H = 52$), W, Sn

теризует главные черты его петрохимии и геохимии элементов группы железа (ЭГЖ) [4, 6, 7, 9, 14, 16]. Однако сведения о содержании других групп элементов-примесей в метасоматитах Буруктаьского месторождения в настоящее время отсутствуют. Для восполнения этого пробела нами был выполнен анализ 105 проб семи главных типов метасоматитов этого месторождения, развитых в разных зонах минерально-геохимического профиля месторождения (см. рисунок):

- объемных метасоматитов – выщелоченных серпентинитов, карбонатизированных серпентинитов, нонтронититов, оксидно-железных метасоматитов «черного» горизонта и оксидно-железных метасоматитов;

- жильных метасоматитов – хлоритовых метасоматитов и оксидно-марганцевых метасоматитов.

Анализы проводились в центральной лаборатории ВСЕГЕИ методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) на приборах «ELAN-6100 DRC» и «Элан-DRC-E» фирмы «Перкин-Элмер» с использованием компьютерной

программы обработки данных TOTAL-QUANT. Проанализированы следующие группы элементов-примесей: элементы группы железа (ЭГЖ), элементы магматических эманаций (ЭМЭ), металлоиды (МД), редкие щелочи (РЩ), щелочные земли (ЩЗ), редкоземельные элементы (РЗЭ) и иттрий, элементы с большим радиусом и зарядом (ЭБР), радиоактивные элементы (РЭ) и металлические элементы (МЭ).

Как по нашим данным, так и по данным [2, 17], содержание элементов группы железа в серпентинизированных гарцбургитах и дунитах Буруктаьского массива практически не отличается от горных пород примитивной мантии («кларки» элементов в ультрамафитовой мантии) [3, 22]. Подобный характер распределения ЭГЖ указывает на тесное родство ультрамафитов Буруктаьского массива с породами примитивной мантии. Это обстоятельство позволяет нам использовать составы примитивной мантии [3, 22] для сравнения содержаний перечисленных групп элементов в метасоматитах Буруктаьского месторождения с содержаниями этих элементов в гарцбургитах мате-

ринских пород Буруктаьского массива, за неимением последних. С их учетом были рассчитаны коэффициенты накопления K_n элементов в метасоматитах Буруктаьского месторождения и выделены три группы элементов (см. таблицу): 1) с коэффициентом накопления меньше единицы, т.е. ниже кларка; 2) с содержанием выше кларка и $K_n = 1 \div 4$; 3) с содержанием выше кларка и с $K_n = 20 \div 115$.

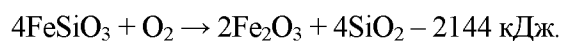
Из анализа коэффициентов накопления химических элементов в метасоматитах Буруктаьского месторождения следует, что в коре выветривания этого месторождения активно мигрировали и мигрируют различные химические компоненты, подчиняясь разным геохимическим факторам. Это выражается, в частности, в том, что максимальные коэффициенты накопления элементов приурочены к разным типам пород и руд. По данным Ю.Ю.Бугельского [1], помимо физико-химических свойств самих элементов, интенсивность их миграции определяется геохимической средой профиля коры выветривания, каждая зона которого характеризуется специфическим составом и гидродинамикой заключенных в нее поровых растворов. Благодаря этому в каждой зоне коры выветривания возникают свои специфические кислотно-щелочные и окислительно-восстановительные условия. По данным И.В.Витовской [18], нижние зоны коры выветривания формируются при слабом водообмене ниже уровня грунтовых вод, при $pH > 7,8$, и концентрациях SiO_2 и MgO более 60 мг/л; зона нонтронитов – в условиях меняющихся обводнения и Eh растворов, свойственных капиллярной кайме; зона охр – только при интенсивной фильтрации растворов выше уровня грунтовых вод, при $pH < 6,6$ и весьма низких активностях SiO_2 и MgO (менее 10 мг/л). В этих условиях появляется возможность для миграции и перераспределения в коре выветривания железа, кремния, магния, алюминия, а вслед за ним и никеля. Количественно охарактеризовать окислительно-восстановительные параметры геохимических барьеров никеленосных кор выветривания Южного Урала позволили

данные работы [13]. Установлено, что в оксидно-железной зоне Eh достигает 570 мВ, в нонтронитовой зоне – 470 мВ, а в зоне выщелоченных серпентинитов всего 270-300 мВ. Основными потенциалзадающими компонентами при этом являются железо и марганец.

Кислотно-щелочные условия создают не только вертикальную зональность, но и геохимические барьеры в коре выветривания: кислый, нейтральный и щелочной. Эти геохимические барьеры выполняют функцию природных «фильтров», сильно снижающих миграционную способность определенных элементов и способствующих их дифференциации и осаждению.

Кислородный окислительный барьер, поскольку никелевые коры выветривания образуются в субаэральных окислительных условиях, является главным геохимическим барьером, обуславливающим резкое уменьшение интенсивности миграции химических элементов [13]. Механизм образования этого барьера описан А.И.Перельманом [10], который считал, что барьер образуется, когда подземные глеевые воды поступают в приповерхностную зону разгрузки, и там, на границе с кислородными водами, происходит окисление и выпадение из растворов химических элементов в виде оксидов и гидроксидов. Химически окислительный барьер заключается в окислении более растворимых восстановленных соединений в менее растворимые окисленные, например, при окислении железистых силикатов с Fe^{2+} возникают продукты разложения с Fe^{3+} .

В первичных ультрамафитах Буруктаьского массива железо и марганец присутствуют в составе главных породообразующих силикатов (оливина и пироксенов) и находятся преимущественно в двухвалентной форме. В коре выветривания на кислородном барьере они переходят в форму Fe^{3+} и Mn^{4+} , теряют миграционную способность и накапливаются в кварц-гетитовых и оксидно-марганцевых метасоматитах верхней оксидно-железной зоны. В результате зеленоватая и черная окраска первичных силикатов сменяется красной и бурой:



Энергия окисления железа велика и структура силикатов распадается в ультрамафитах одной из первых. В качестве конечного продукта реакции выступает гетит.

Таким образом, в зоне охр и в верхней части нонтронитовой зоны устанавливается окислительный (кислородный) геохимический барьер, на котором отлагаются железо и марганец. Изменение окислительных условий вниз по профилю выветривания связано с уменьшением интенсивности влияния кислородного барьера на процессы осаждения оксидов и гидроксидов, в связи с чем зона охр сменяется зоной глинистых минералов, представленных нонтронитами.

В зоне нонтронитовых глин, как было показано выше, преобладают нейтральные значения pH, однако наиболее значительное влияние на поведение химических элементов в этой зоне играет не смена кислотно-щелочных условий, а процессы физической и химической сорбции, т.е. присоединения иона или комплексного соединения коллоидной частицей с использованием энергии поверхностного натяжения или химической реакции. Сорбентами служат различные коллоиды, среди которых в нонтронитовой зоне Буруктаьского месторождения преобладают отрицательно заряженные коллоиды: глинистые минералы, гель кремнекислоты, гидроксиды марганца. Вместе с ними соосаждаются и накапливаются главные рудные компоненты: никель и кобальт.

Сорбционный глинистый барьер в Буруктаьском месторождении обусловлен наличием отрицательного заряда на поверхности глинистых минералов нонтронитовых метасоматитов, интенсивно сорбирующих никель (с самым высоким среди всех изученных метасоматитов коэффициентом накопления) и другие химические элементы (см. таблицу). Благодаря большой площади поверхности индивидов и их высокой сорбционной способности, содержания основных катионов и элементов-примесей в минералах повышаются, вплоть до образования новых минеральных разновидностей [21]. Так, в результате хемосорбции в этой зоне, по нашим данным, образуются такие минералы, как никелевый нонтронит (содержа-

ние NiO 2,29-3,18 %, в среднем 2,53 %), никелевый клинохлор (0,3-7,51 % NiO), никелевый пеннантит (6,11-7,13 % NiO), никелевый лизардит (0,43-1,68 % NiO), другие никельсодержащие силикаты [11].

По данным И.В.Витовской [5], никель в нонтронитовых рудах Урала преимущественно входит в кристаллическую решетку нонтронита в виде изоморфной примеси, замещая магний. Определенная доля никеля накапливается в нонтронитовых метасоматитах также за счет физической сорбции этого элемента рентгеноаморфной железокремниевой фазой, которая постоянно присутствует в минеральных парагенезисах коры выветривания, содержит в нонтронитовой зоне до 20 % валового никеля [5]. Определенной сорбционной емкостью по отношению к никелю обладают хризопразы Буруктаьского месторождения, которые содержат в среднем 2,33 % NiO [11]. Процессами хемосорбции, по-видимому, можно объяснить также высокие (максимальные в рудах Буруктаьского месторождения) концентрации никеля в жильных хлоритовых метасоматитах. По нашим данным, главным пороодообразующим минералом хлоритовых руд является клинохлор, в никелевой разновидности которого среднее содержание NiO составляет 2,28 %.

Сорбционный гидроксидный барьер образуется благодаря тому, что свежесоздаваемые гидроксиды поливалентных элементов, в первую очередь Fe, Mn и Al, являются необычайно эффективными сорбентами [20]. Содержание никеля в гидроксидах железа никелевых месторождений Южного Урала определялось И.И.Эдельштейном [17]. Им было показано, что среднее содержание NiO в гетитах составляет 1,516 % в общих пределах колебаний 0,14-3,96 % NiO. И.И.Эдельштейн полагал, что основной формой вхождения никеля в гетит является гидрат закиси $Ni(OH)_2$. Гетиты никелевых латеритов из различных никелевых месторождений мира изучались В.Шеллманном [23], который показал, что с гетитом ассоциировано 90 % никеля и 25-45 % хрома. Методом рентгеновской спектроскопической абсорбции (XASI) были исследованы никелевые гетиты

(1,8-4,1 мол. % NiO) из месторождения Сье-ра-де-Караджас, Бразилия [19]. Авторы утверждают, что никель замещает железо в решетке гетита, что сопровождается протонным захватом с образованием октаэдра $\text{NiO}_2(\text{OH})_4$ и искажением кристаллической структуры $\alpha\text{-FeOOH}$.

Гетит Буруктала содержит 0,5-1,9 (до 2,5) % NiO, причем скрытокристаллические разновидности этого минерала содержат больше никеля, чем хорошо окристаллизованные, что еще раз подтверждает сорбционное происхождение этих концентраций [12]. Это явление хорошо изучено. Согласно работе [1], основной механизм накопления никеля в коре выветривания – процессы его сорбции гелями, а раскристаллизация гелей ведет к потере никеля, за счет чего содержание этого элемента в рентгеноаморфной фазе всегда в несколько раз выше, чем в кристаллической. Именно сорбционные процессы привели на Буруктальском месторождении к образованию рудных концентраций в оксидно-железной зоне, так как практически единственный рудный минерал ее – никелевый гетит в ассоциации с железистой рентгеноаморфной фазой. Помимо никеля в слабослой среде оксидно-железной зоны гетит накапливает примеси As, Sb, Pb, Mo, W, Cr, Sn и некоторых других элементов (см. таблицу).

Высокой сорбционной способностью обладают также метакolloидные формы марганцевых минералов, с которыми в метасоматитах Буруктальского месторождения, по нашим данным, также связаны высокие содержания никеля (8,40-17,82 % NiO), кобальта (0,89-15,01 % CoO), бария (0-1,56 % BaO), редкоземельных и других элементов. При этом нельзя не отметить, что часть накапливающихся элементов фиксируется в составе минеральных марганцевых фаз: Al – в литофорите, Fe – в якобите и гониерите, Co – в асболане, As – в ярошевичите, Ba – в псиломелане и голландите, Nb – в манганоколумбите, Zn – в халькофаните и вудруфите, Pb – в коронадите. Интересно, что асболаны в разных зонах выветривания в некоторой степени наследуют геохимическую специфику этих

зон. По нашим данным, в щелочной среде нижних горизонтов коры выветривания с ними соосаждаются помимо Ni и Co еще Ba, Sr, Zn, Cu, Pb и др. Асболаны нонтронитовых метасоматитов содержат больше никеля, а асболаны кварц-гетитовых метасоматитов верхней оксидно-железной зоны специализированы, в первую очередь, на кобальт, иногда алюминий, а потом уже никель. Таким образом, оксид-гидроксидные соединения марганца создают в коре выветривания Буруктальского месторождения чрезвычайно контрастный комплексный геохимический барьер – сорбционного и окислительного происхождения.

Восстановительный геохимический барьер, хотя и довольно слабый, наблюдается в выщелоченных лизардитовых серпентинитах нижней зоны Буруктальского месторождения, где происходит восстановление окисленных форм элементов, т.е. процесс противоположный окислению, который протекает в зонах, где отсутствует свободный кислород. В этой зоне коры выветривания увеличивается pH среды и возникает щелочной гидролитический барьер. При этом многие элементы, мигрирующие в виде комплексов (Be^{2+} , Cr^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{3+} , Cu^{2+}), переходят полностью или частично в твердую фазу в виде гидроксидов. Тем не менее, большинство петрогенных элементов и элементов-примесей выносятся из этой зоны месторождения, в том числе рудные никель и кобальт, ионы которых Ni^{2+} и Co^{2+} при pH = 8 могут находиться в растворе. В осажденное состояние их переводят сероводород, фосфорная кислота, карбонаты и арсенаты. Поэтому на щелочном карбонатном барьере карбонатизированных серпентинитов в Буруктальском месторождении наблюдается некоторое увеличение концентраций никеля. Минералогически это проявляется в появлении в выщелоченных серпентинитах и отчасти в зоне дезинтеграции прожилков никелевых силикатов – никелевого лизардита и редко непуита, в кристаллической решетке которых никель изоморфно замещает магний.

Выводы

Главным геохимическим барьером в коре выветривания Буруктаьского месторождения, обуславливающим резкое уменьшение интенсивности миграции химических элементов, является кислородный окислительный барьер верхней окисно-железной зоны месторождения. Тем не менее, рудные концентрации вещества чаще обнаруживаются на комплексных геохимических барьерах: сорбционно-окислительном, карбонатно-восстановительном и т.д. Каждый из геохимических барьеров обладает способностью концентрировать определенную ассоциацию мигрирующих компонентов, на что указывают вариации коэффициентов накопления элементов в разных типах метасоматитов Буруктаьского месторождения. Для элементов с переменной валентностью (Fe, Mn) наиболее эффективными являются окислительные барьеры, а для большинства микроэлементов – сорбционные глинистый, окисно-железный, окисно-марганцевый.

Работа выполнена в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг. (ГК № П737 от 20.05.10) и при поддержке грантов Германской службы академических обменов DAAD по программе «Михаил Ломоносов» (2007 г. № А/07/97635 и 2009 г. № А/09/72762) совместно с грантами Министерства образования и науки РФ (2008 г. № РНП 2.2.2.3.16182 и 2010 г. № РНП 2.2.2.3.9100).

ЛИТЕРАТУРА

1. Бугельский Ю.Ю. Экзогенные рудообразующие системы кор выветривания / Ю.Ю.Бугельский, И.В.Витовская, А.П.Никитина, А.Д.Слукин, В.М.Новиков и др. М., 1990. 365 с.
2. Варлаков А.С. Петрография, петрохимия и геохимия гипербазитов Оренбургского Урала. М., 1978. 239 с.
3. Венке Х. Химия мантии и история аккреции Земли / Х.Венке, Г.Дрейбус // Геохимия архея. М., 1984. С.13-41.
4. Вершинин А.С. Никелевый пояс Урала // Изв. вузов. Горный журнал. 1996. № 8-9. С.22-31.
5. Витовская И.В. Никеленосные коры выветривания Урала / И.В.Витовская, Ю.Ю.Бугельский. М., 1982. 190 с.
6. Григорьева В.М. Генетические типы промышленных месторождений кобальт-никелевых руд коры выветривания / В.М.Григорьева, Г.М.Шепукова // Труды института «Гипроникель». 1969. Вып.39-40. С.5-27.
7. Лазаренков В.Г. Платиновые металлы в гипергенных никелевых месторождениях и перспективы их промышленного извлечения / В.Г.Лазаренков, И.В.Таловина, И.Н.Белоглазов, В.И.Володин. СПб, 2006. 188 с.
8. Михайлов Б.М. Проблемы Fe-Co-Ni месторождения Буруктал, Южный Урал / Б.М.Михайлов, Л.А.Иванов // Прикладная металлогения и недропользование. 2003. № 1. С.5-12.
9. Никитин К.К. Древняя кора выветривания Буруктаьского массива ультраосновных пород // Труды Ин-та геохимии и минералогии АН СССР. 1962. Вып. 69. С.134-157.
10. Перельман А.И. Геохимия коры выветривания // Кора выветривания. М., 1991. Вып.20. С.5-34.
11. Рыжкова С.О. О природе окраски хризопраза Буруктаьского и Сахаринского месторождений гипергенных никелевых руд / С.О.Рыжкова, И.В.Таловина, В.Г.Лазаренков // Современные методы минералогическо-геохимических исследований как основа выявления новых типов руд и технологии их комплексного освоения: Мат. годичного собрания Российского минералог. об-ва. СПб, 2006. С.180-181.
12. Рыжкова С.О. Никеленосные оксиды железа Буруктаьского месторождения, Южный Урал / С.О.Рыжкова, И.В.Таловина, В.Г.Лазаренков, В.Л.Уголков, Н.И.Воронцова // Записки Горного института. СПб, 2009. Т.183. С.101-111.
13. Савко А.Д. Коры выветривания и связанные с ними полезные ископаемые / А.Д.Савко, Ю.Ю.Бугельский, В.М.Новиков, А.Д.Слукин, Л.Т.Шевырев. Воронеж, 2007. 355 с.
14. Таловина И.В. Платиноиды и золото в окисно-силикатных никелевых рудах Буруктаьского и Уфалейского месторождений, Урал / И.В.Таловина, В.Г.Лазаренков, Н.И.Воронцова // Литология и полезные ископаемые. 2003. № 5. С.474-487.
15. Технологическая минералогия гипергенных никелевых руд / Отв. ред. В.И.Ревнивцев. Л., 1988. 274 с.
16. Эдельштейн И.И. Вещественный состав продуктов выветривания на ультраосновных породах Буруктаьского массива // Материалы по геологии и полезным ископаемым Южного Урала. М., 1956. Вып.1. С.38-60.
17. Эдельштейн И.И. Петрология гипербазитов Тоболо-Иргизского района Южного Урала и особенности связанных с ними кор выветривания. М., 1968. 200 с.
18. Экзогенное рудообразование (Al, Ni, Mn) / Отв. ред. И.И.Гинзбург. М., 1987. 249 с.
19. Carvalho-e-Silva M.L., Ramos A.Y., Tolentino A.C.N., Enzweiler J., Netto S.M., Alves M.C.M. Incorporation of Ni into natural goethite: An investigation by X-ray absorption spectroscopy // Amer. Mineral. 2003. Vol.88. P.876-882.
20. Llorca S.M. Metallogeny of supergene cobalt mineralization // Australian Journal of Earth Sciences. 1993. Vol.40. P.377-385.
21. Manceau A., Calas G. Heterogeneous distribution of nickel in hydrous silicates from New Caledonia ore deposits // Amer. Mineral. 2000. Vol.70. P.9-558.
22. Mc. Donough W.F. Constrains of the composition of continental lithospheric mantle // EPSL. 1990. Vol.101. N 1. P.1-18.

23. *Shellmann W.* Behaviour of nickel, cobalt and chromium in ferruginous lateritic nickel ores // Bull. Bureau de recherches géologiques et minières. 1978. Ser.II. N 3. P.275-282.

REFERENCES

1. *Bugelsky J.J., Vitovskaya I.V., Nikitin A.P., Slukin A.D., Novikov V.M. at all.* Supergene ore-forming systems of the weathering. Moscow, 1990. 635 p.
2. *Varlakov A.S.* Petrography, petrochemistry and geochemistry of ultramafic Orenburg Ural. Moscow, 1978. 239 p.
3. *Wenke H., Dreybus G.* Chemistry of the mantle and the history of accretion of the Earth / Geochemistry of the Archean. Moscow, 1984. P.13-41.
4. *Vershinin A.S.* Nickel Belt of the Urals / Ural Mining Review. Transactions of Higher Education Institutions // Mining Journal. 1996. N 8-9. P.22-31.
5. *Vitovskaya I.V., Bugelsky J.J.* Nickelberrien weathering crust of the Urals. Moscow, 1982, 190 p.
6. *Grigor'eva V.M., Sheshukova G.M.* Genetic types of commercial deposits of cobalt-nickel ores of the weathering crust / Proceedings of Institute Gipronickel. Leningrad, 1969. Iss.39-40. P.5-27.
7. *Lazarenkov V.G., Talovina I.V., Beloglazov I.N., Volodin V.I.* Platinum metals in the supergene nickel deposits and prospects for industrial extraction. Saint Petersburg, 2006. 188 p.
8. *Mikhailov B.M., Ivanov L.A.* Problems of the Fe-Co-Ni Buruktal deposit, South Urals // Applied Metallogeny and mineral resources. 2003. N 1. P.5-12.
9. *Nikitin K.K.* Ancient weathering crust Buryktal massiv of ultramafic rocks // Proceedings of Institute of Geochemistry and Mineralogy of Academy of Sciences of USSR. 1962. Iss.69. P.134-157.
10. *Perelman A.I.* Geochemistry of the weathering crust // The weathering crust. Moscow, 1991. Iss.20. P.5-34.
11. *Ryzhkova S.O., Talovina I.V., Lazarenkov V.G.* About of nature of the color chrysoprase Buruktal and Sahara deposits of the supergene nickel ore // Modern methods of mineralogical and geochemical studies as a basis for identifying new types of ores and technologies of their complex

development: Proceedings of the Annual Meeting of the Russian Mineralogical Society. Saint Petersburg, 2006. P.180-181.

12. *Ryzhkova S.O., Talovina I.V., Lazarenkov V.G., Ugolkov V.L., Vorontsova N.I.* Nickelberrien iron oxides of the Buruktal deposit, South Urals // Proceedings of the Mining Institute. Saint Petersburg, 2009. Vol.183. P.101-111.
13. *Savko A.D., Bugelsky J.J., Novikov V.M., Slukin A.D., Shevyrev L.T.* Weathering crust and associated minerals. Voronezh, 2007. 355 p.
14. *Talovina I.V., Lazarenkov V.G., Vorontsova N.I.* Platinum and gold in oxide-silicate nickel ores of the Buruktal and Ufalet deposits, Urals // Lithology and helpful resources. Leningrad, 2003. N 5. P.474-487.
15. Process mineralogy of supergene nickel ores / Executive Editor: V.I.Revniytsev. Leningrad, 1988. 274 p.
16. *Edelstein I.I.* Material composition of weathering products on ultramafic rocks Buruktal massiv // Materials for Geology and Mineral Resources of the Southern Urals, Moscow, 1956. Vol.1. P.38-60.
17. *Edelstein I.I.* Petrology of ultramafic Tobol-Irgiz District of Southern Urals and the features associated weathering crusts. Moscow, 1968. 200 p.
18. Exogenous ore formation (Al, Ni, Mn) / Executive Editor: I.I.Ginzburg. Moscow, 1987. 249 p.
19. *Carvalho-e-Silva M.L., Ramos A.Y., Tolentino A.C.N., Enzweiler J., Netto S.M., Alves M.C.M.* Incorporation of Ni into natural goethite: An investigation by X-ray absorption spectroscopy // Amer. Mineral. 2003. Vol.88. P.876-882.
20. *Llorca S.M.* Metallogeny of supergene cobalt mineralization // Australian Journal of Earth Sciences. 1993. Vol.40. P.377-385.
21. *Manceau A., Calas G.* Heterogeneous distribution of nickel in hydrous silicates from New Caledonia ore deposits // Amer. Mineral. 2000. Vol.70. P.9-558.
22. *Mc. Donough W.F.* Constrains of the composition of continental lithospheric mantle // EPSL. 1990. Vol.101. N 1. P.1-18.
23. *Shellmann W.* Behaviour of nickel, cobalt and chromium in ferruginous lateritic nickel ores // Bull. Bureau de recherches géologiques et minières. 1978. Ser.II. N 3. P.275-282.