

Н.И.ВОРОНЦОВА, канд. геол.-минерал. наук, доцент, natvoron@yandex.ru

И.В.ТАЛОВИНА, канд. геол.-минерал. наук, доцент, i.talovina@gmail.com

В.Г.ЛАЗАРЕНКОВ, д-р геол.-минерал. наук, профессор, lazarenkov@mail.ru

А.М.ГАЙФУТДИНОВА, аспирантка, gayfutdinova@gmail.com

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

М.ТИХОМИРОВА, д-р наук, профессор, tichomir@mineral.tu-freiberg.de

Институт минералогии Фрайбергской горной академии

N.I.VORONTSOVA, PhD in geol. & min. sc., associate professor, natvoron@yandex.ru

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

A.M.GAYFUTDINOVA, post-graduate student, gayfutdinova@gmail.com

National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

M.TICHOMIROVA, Dr. sc., professor, tichomir@mineral.tu-freiberg.de

TU Bergakademie Freiberg Institute of Mineralogy, Freiberg

ИЗОТОПНЫЕ ОТНОШЕНИЯ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ В ПОРОДАХ И РУДАХ САХАРИНСКОГО И УФАЛЕЙСКОГО ГИПЕРГЕННЫХ НИКЕЛЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАЛА

Впервые для гипергенных никелевых месторождений Урала определены изотопные отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. Средние значения отношений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в Сахаринском месторождении (0,70838) выше средних значений для проанализированных пород Уфалейского месторождения (0,70697). В профилях выветривания изученных месторождений отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ увеличиваются от малоизмененных первичных пород нижней серпентинитовой зоны месторождений (0,70583 и 0,70687) к породам окисно-железной зоны, имеющей экзогенное происхождение (0,70917 и 0,71004).

Ключевые слова: гипергенные месторождения никеля, месторождения Уфалейской группы, Сахаринское месторождение, изотопные отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$.

ISOTOPE RATIO $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ IN ROCKS AND ORES OF THE SAKHARA AND UFALEI SUPERGENE NICKEL DEPOSITS IN URALS

Isotope ratio $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ was determined for the first time for the Ufalei and Sakhara supergene nickel deposits. The average obtained $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio in the Sakhara deposit (0,70838) is higher than in the Ufalei deposit (0,70697). In both deposits $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio increases from low-altered serpentinite rocks of the lower part of the deposits (0,70583 and 0,70687) to exogenous iron-oxide rocks of the upper part of the deposits (0,70917 and 0,71004).

Key words: supergene nickel deposits, the Ufalei deposit, the Sakhara deposit, isotope ratio $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$.

Месторождения силикатного никеля расположены в России в Уральском регионе. Вопросы их генезиса являются спорными [6]. Существует две точки зрения на их образование – гипергенная и гипогенная. Полученные нами данные по геохимии, ми-

нералогии, петрографическому составу пород и руд месторождений силикатного никеля, а также особенностям их строения во многом укладываются в эндогенную гипотезу образования руд месторождений Урала [Воронцова, 1999; 4]. Подобные заключения

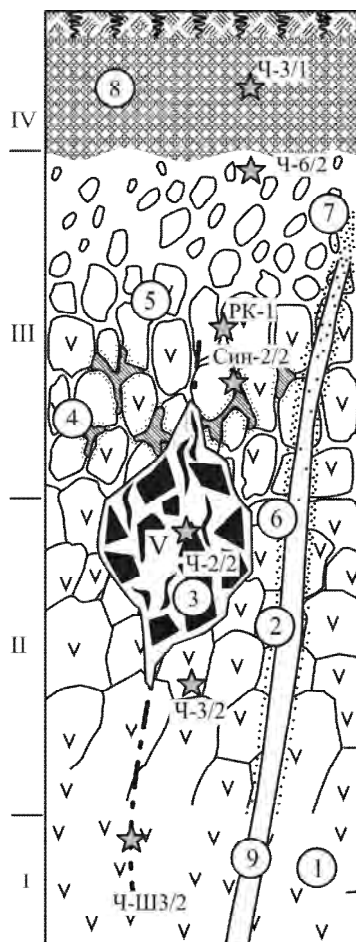


Рис. 1. Вертикальный профиль Уфалейского месторождения

Типы никеленосных горных пород:

- I – серпентинизированные перидотиты и дуниты;
- II – хризотилловые серпентиниты; III – lizardитовые серпентиниты; IV – гетитовые горные породы;
- V – пекораит-хризотил-кварцевые метасоматиты

Минеральные разновидности горных пород:

- 1 – серпентинизированные гарцбургиты и дуниты;
- 2 – тальк-хризотилловые и клинохлор-хризотилловые серпентиниты; 3 – пекораит-хризотил-кварцевые метасоматиты; 4 – непуит-кварц-лizardитовые серпентиниты, тальк-лizardитовые и клинохлор-лizardитовые серпентиниты; 5 – сапонит-лizardитовые серпентиниты; 6 – тальк-клинохлоровые метасоматиты;
- 7 – клинохлор-гетитовые горные породы; 8 – кварц-гетитовые горные породы (структурные и бесструктурные); 9 – дайки кислого, среднего и основного состава. ☆ - схематическое расположение мест отбора проб из разных зон профиля

позволяют предполагать перспективы развития оруденения на глубину, но требуют дальнейшего изучения и уточнения. Для более глубокого анализа генетических особенностей месторождений никелевых руд Уральской провинции – Сахаринского месторождения и месторождений Уфалейской

группы – на базе Института минералогии Фрайбергской горной академии под руководством проф. М.Тихомировой нами были проведены исследования изотопных отношений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, которые могут являться индикаторами генезиса горных пород.

Группа Уфалейских месторождений никелевых руд – Черемшанское, Синарское, Рогожинское и другие, находящихся на севере Челябинской области, локализуется по периферии Уфалейского гипербазитового массива и располагается в пределах Главного Уральского разлома – в зоне меланжа и катаклаза, что определяет характерные черты геологического строения месторождений, разновидностей слагающих их горных пород и руд и генетических процессов, определивших их образование. Геологическое строение месторождения подробно описано в работах [3, 6]. Первичными породами, по которым образовались руды этих месторождений, были ультрамафиты и серпентиниты, а также тектонические брекчии, катаклазиты и милониты по ним, реже – мраморы и карстовые образования по мраморам, серпентинитам и сланцам.

Традиционно строение месторождений Уфалейской группы описывалось в рамках гипергенной модели образования линейных кор выветривания. Однако современное детальное изучение морфологии рудных тел и петрографических характеристик горных пород и руд не позволяют отнести все их разновидности к экзогенным образованиям [2, 6, 7].

На обобщенном профиле коры выветривания месторождений Уфалейской группы (рис.1) серпентинитовые руды представлены, главным образом, хризотилловыми, тальк-хризотилловыми и тальк-хлоритовыми метасоматитами. Оксидно-железные руды залегают среди хризотилловых серпентинитов, где образуют линейные залежи, выклинивающиеся на глубину.

Из профиля выветривания нами было отобрано пять проб из серпентинитовой зоны (две пробы карбонатов, две – никелевых силикатов, одна – марганцевые минералы) и одна проба из оксидно-железной зоны (рис.1). Кроме того, был проанализирован

Результаты изотопного анализа отношений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в горных породах и рудах Уфалейского месторождения

№ п/п	Шифр пробы	Горная порода, минерал	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Sr, г/т
1	Ч-3/1	Кварц-гетитовая горная порода	0,70917	129,3
2	Ч-6/2	Марганцевые минералы (асболан?) в гетит-лизардитовом серпентините	0,70710	417,0
3	Ч-2/2	Никелевый серпентин (пекораит?) в пекораит-хризотил-кварцевом метасоматите	0,70694	62,9
4	Син-2/2	Никелевый серпентин (пекораит?) в пекораит-хризотил-кварцевом метасоматите	0,70687	64,6
5	РК-1	Карбонаты из прожилков в лизардитовом серпентините	0,70693	176,8
6	Ч-3/2	Карбонат из хризотилловых серпентинитов	0,70758	291,6
7	Ч-Ш1	Штубахит	0,70583	8,65

Примечание. Погрешность измерения по данным двух параллельных анализов составляет не более $\pm 0,13\%$.

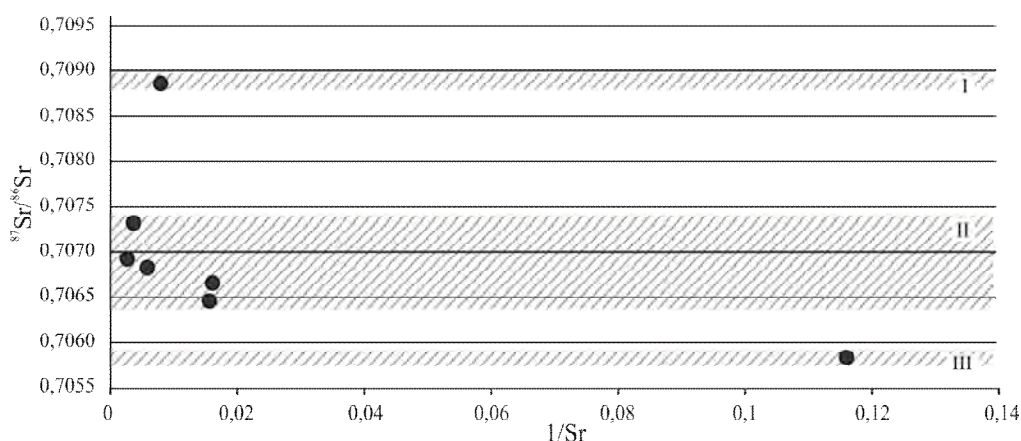


Рис.2. Изотопные соотношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в породах месторождений Уфалейской группы. Значения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ пересчитаны на возраст 400 млн лет

образец штубахита – антигоритизированного гарцбургита, по А.С.Варлакову [1], исходной породы по отношению к рудам из тектонической зоны месторождения. Полученные результаты изотопных анализов приведены в табл.1 и на рис.2.

Полученные данные изотопного анализа распались на три группы (рис.2). Первую группу образуют пробы со значениями отношений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, укладывающимися в линию на уровне около 0,707. Внутри этой группы происходит дифференциация проб по степени концентрации Sr. Максимальной концентрацией этого элемента обладает проба марганцевых минералов из гетит-лизардитовых серпентинитов – 419 г/т, которые накапливают стронций благодаря своим высоким сорбционным свойствам. В поле с низкими значениями содержаний Sr попадают пробы, относящиеся к никелевым силикатам (62,9 и 64,6 г/т) из пекораит-хризотил-кварцевых руд. Минимальным содержанием Sr характеризуется штубахит – 8,65 г/т.

Во вторую группу попадает лишь одна проба со значением $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} > 0,709$ – кварц-гетитовые никеленосные горные породы окисно-железной зоны, экзогенное происхождение которых не вызывает сомнений и подтверждается как положением в профиле коры выветривания, так и петрографическими, минералогическими и геохимическими исследованиями.

То, что все пробы серпентинизированных пород укладываются в линию на уровне $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,707$ говорит об единых источниках стронция для них, причем эти отношения ближе к мантийным, по сравнению с экзогенными кварц-гетитовыми горными породами окисно-железной зоны, имеющими $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,70917$.

В третью группу попадает антигоритизированный гарцбургит – штубахит. Он обладает как минимальным значением отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,70583$, так и минимальным содержанием стронция.

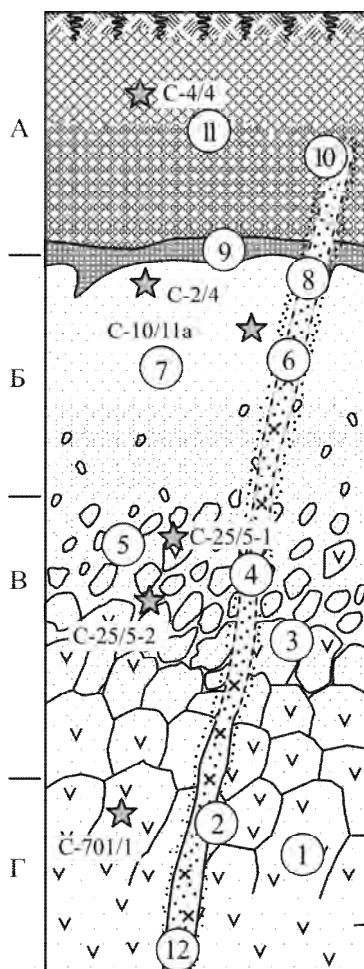


Рис.3. Вертикальный профиль Сахаринского месторождения

Зоны: А – оксидно-железная; Б – нонтронитовая;
В – серпентинитовая; Г – зона дезинтеграции

Минеральные разновидности:

- 1 – серпентинизированные гарцбургиты и дуниты;
- 2 – тальк-хризотилловые и клинохлор-хризотилловые серпентиниты;
- 3 – непуит-кварц-лизардитовые серпентиниты;
- 4 – тальк-лизардитовые и клинохлор-лизардитовые серпентиниты;
- 5 – сапонит-лизардитовые серпентиниты;
- 6 – тальк-клинохлоровые метасоматиты;
- 7 – нонтрониты;
- 8 – вермикулитовые горные породы;
- 9 – асболоан-гетитовые горные породы;
- 10 – клинохлор-гетитовые горные породы;
- 11 – кварц-гетитовые горные породы (структурные и бесструктурные);
- 12 – дайки кислого, среднего и основного состава

По результатам выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

А. Полученные данные по изотопному отношению $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в образцах из рудных зон распались на две группы, что говорит о двух источниках стронция и участии нескольких генетических процессов в формировании никеленосных горных пород месторождений Уфалейской группы.

Б. Кварц-гетитовые горные породы оксидно-железной зоны, основным генетическим процессом формирования которых был экзогенный процесс химического выветривания, имеют $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,70917$.

В. Карбонаты из лизардитовых и хризотилловых серпентинитов, а также пекораит-хризотил-кварцевые метасоматиты имеют $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \approx 0,707$, что отличается от значений в экзогенных породах оксидно-железной зоны.

Г. Наиболее низкими значениями по $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ и по содержанию стронция обладает штурбахит, что свидетельствует о том, что он в меньшей степени подвергся влиянию экзогенных процессов.

Сахаринское месторождение кобальт-никелевых руд находится на Южном Урале в 50 км к юго-востоку от г. Магнитогорска. Оно является сырьевой базой металлургического комбината «Южуралникель», расположенного в Оренбургской области. Субстратом для формирования никелевых руд месторождения послужили дуниты, хромиты и клинопироксениты Сахаринского зонального массива. Этот массив принято относить к массивам Платиноносного пояса Урала [Иванов, 1998]. Возраст их – $\text{O}_3\text{-S}_1$ [8] или O_3 [5].

Месторождение приурочено к площадной коре выветривания полного керолит-нонтронит-охристого профиля. В пределах месторождения наблюдается большое количество даек, главным образом, габброидов, что свидетельствует о том, что Сахаринский массив испытал сильные тектонические напряжения с образованием зон трещиноватости, по которым сформировались хлоритовые и вермикулитовые метасоматиты.

В вертикальном разрезе коры выветривания Сахаринского месторождения снизу вверх выделяются следующие главные рудные зоны (рис.3): серпентинитовая, нонтронитовая, оксидно-железная. Рудные тела представляют собой субгоризонтальные пластообразные и линзовидные залежи с прихотливыми очертаниями мощностью 1-35 м. Они не имеют четких геологических границ, выделяются по результатам опробования и

Результаты изотопного анализа отношений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в горных породах и рудах Сахаринского месторождения

№ п/п	Шифр пробы	Описание образца пробы	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Sr, г/т
1	C-4/4	Кварц-гетитовые породы окисдно-железной зоны	0,71004	145,9
2	C-10/11А	Нонтронитовые руды	0,70876	95,32
3	C-2/4	Нонтронитовые породы ожелезненные	0,70846	60,59
4	C-25/5-1	Серпентинит	0,70854	9,595
5	C-25/5-2	Магнезит "цветная капуста"	0,70784	8,495
6	C-701/1	Серпентинит	0,70662	187,2

Примечание. Погрешность измерения по данным двух параллельных измерений составляет не более $\pm 0,13\%$.

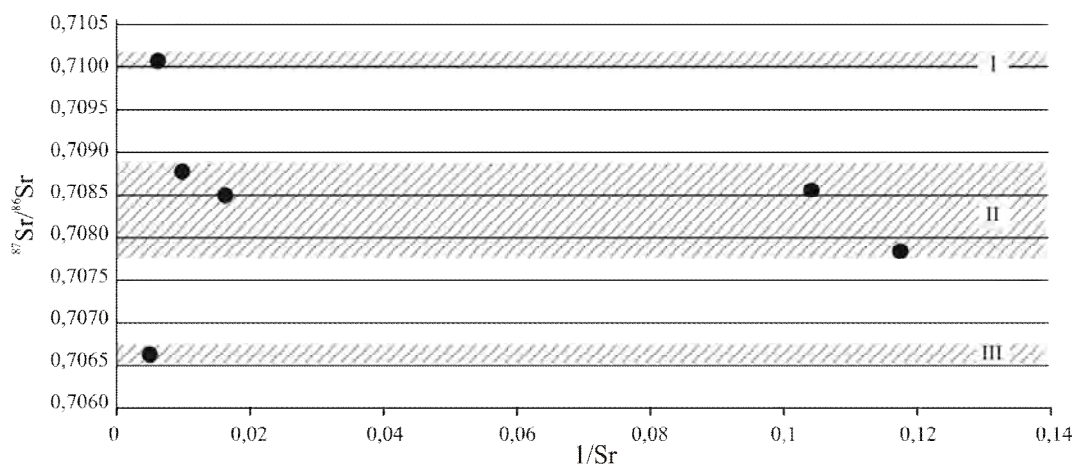


Рис. 4. Изотопные отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в горных породах Сахаринского месторождения. Значения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ пересчитаны на возраст 400 млн лет

приурочены, главным образом, к верхним горизонтам серпентинитовой зоны – нижним горизонтам зоны охр. Рудная залежь сильно разбита на блоки многочисленными разрывными нарушениями и жильными телами.

Главной рудной зоной месторождения является нонтронитовая зона. Руды представлены обохренными нонтронитизированными глинами, нонтронитизированными серпентинитами, нонтронит- и вермикулит-хлоритовыми метасоматитами по первичным серпентинитам Сахаринского массива. Верхние горизонты месторождения сложены преимущественно железистыми рудами, средние – железо-магнезиальными, нижние – магнезиальными. По ослабленным тектоническим зонам брекчирования и трещиноватости руды уходят на глубину. Трещины в практически безрудных дезинтегрированных серпентинитах выполнены гидросиликатами никеля.

Полученные результаты представлены в табл.2 и на рис.4.

Значения отношений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ распались на три группы: в первую – с низким изотопным отношением 0,70662 – попадает проба, представляющая собой выщелоченный серпентинит из зоны дезинтеграции; во вторую попадают пробы серпентинитовой и нонтронитовой рудных зон с изотопными отношениями от 0,70784 до 0,70876; в третью группу с высокими изотопными отношениями 0,71004 – попала проба из кварц-гетитовых пород окисдно-железной зоны.

Таким образом, изотопные отношения в пробах распределились в четком соответствии с размещением их в профиле коры выветривания – максимальные значения соответствуют верхней зоне профиля, минимальные – нижним, наименее измененным породам.

По результатам выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

А. В профиле коры выветривания Сахаринского месторождения изотопные отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ увеличиваются снизу (от малоизмененных пород) вверх (к породам верхних зон коры выветривания, главным в формировании которых является экзогенный процесс).

Б. Наличие группы пород с промежуточными значениями отношений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ говорит о смешении стронция из нескольких источников и соответственно существовании нескольких источников образования руд.

В. Минимальные содержания стронция обнаруживают пробы из серпентинитовой зоны.

Выводы

1. В профилях выветривания изученных месторождений изотопные отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ увеличиваются снизу (от менее измененных пород) вверх (к породам оксидно-железной зоны, главным в формировании которой является экзогенный процесс). Увеличение отношений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в процессе химического выветривания соответствует данным Г.Фора [9].

2. Средние значения отношений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в Сахаринском месторождения (0,70838) выше средних значений для проанализированных пород Уфалейского месторождения (0,70697), что говорит о большем влиянии экзогенных процессов на формирование профиля выветривания Сахаринского месторождения.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг. и при поддержке гранта Германской службы академических обменов DAAD по программе «Михаил Ломоносов» 2010 г. № А/10/72922 совместно с грантом Министерства образования и науки РФ «Развитие потенциала высшей школы (2009-2011)» на 2011 г. № РНП 2.2.2.3.15075.

ЛИТЕРАТУРА

1. Варлаков А.С. Штубахиты – особый тип дунитов в альпийских гипербазитовых массивах // Изв. АН СССР, сер. геол. 1973. № 10. С.37-47.

2. Вершинин А.С. Никелевый пояс Урала. Рудные субформации гипергенных никелевых месторождений Урала и их особенности // Изв. вузов. Горный журнал. 1996. № 8-9. С.5-16.

3. Малахов И.А. Условия формирования зональных массивов Платиноносного пояса Урала и приуроченного к ним платинового оруденения // Мат-лы Уральск. летн. минер. шк. – 99. Екатеринбург: Изд-во УГГГА. 1999. С.101-102.

4. Михайлов Б.М. О генезисе никелевых руд Уфалея (Средний Урал) // Литология и полез. ископаемые. 1997. № 1. С.3-13.

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

6. Перспективы никелевой промышленности Урала в свете изучения структур рудных полей гипергенных никелевых месторождений / Н.И.Воронцова, В.Г.Лазаренков, И.В.Таловина, С.О.Рыжкова, О.П.Мезенцева // Записки Горного института. 2009. Т.183. С.78-87.

7. Петруха Л.М. О генезисе силикатных никелевых руд в карстах / Л.М.Петруха, А.С.Вершинин // ДАН СССР. 1983. Т.268. № 5. С.1195-1198.

8. 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.

9. Фор Г. Изотопы стронция в геологии / Г.Фор, Дж.Пауэлл. М.: Мир, 1974. 214 с.

REFERENCES

1. Varlakov A.S. Shtubakhit – is a special type dunites in alpinotypes ultramafic arrays // Izv. Academy of Sciences of the USSR, 1973. № 10. P.37-47.

2. Vershinin A. Nickel Belt of the Urals. Ural Mining Review. Transactions of Higher Education Institutions // Mining Journal. 1996. № 8-9. P.5-16.

3. Malakhov I.A. Conditions of the formation of zonal arrays Platinum belt of the Urals and dedicated to him platinum mineralization // Mat. of the Ural summer miner. school – 1999. Ekaterinburg: USMGA, 1999. P.101-102.

4. Mikhailov M. About the Genesis of the nickel ores Ufaley deposit (Middle Ural) // Lithology and helpful resources. 1997. № 1. P.3-13.

5. Fershtater G.B., Bea F., Pushkarev E.V., Garutti J., Montero P., Zacarini F. New data on the Geochemistry Ural platinum belt: a contribution to the understanding of petrogenesis // Geochemistry. 1999. № 4. P.352-370.

6. Vorontsova N.I., Lazarenkov V.G., Talovina I.V., Ryzhkova S.D., Mezentseva O.P. Prospects of the Nickel industry of the Urals in the light of the study of the structures of ore fields supergene Nickel deposits // Proceedings of the Mining Institute. 2009. V.183. P.78-87.

7. Petrukha L.M., Vershinin A. About the Genesis of silicate Nickel ores in carst // DAN USSR. 1983. V.268. № 5. P.1195-1198.

8. 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: Nedra, 2006. 188 p.

9. Faure G., Powell J. Isotopes of strontium in Geology. Moscow: Mir, 1974. 214 p.