

На правах рукописи

ТАЛОВИНА Ирина Владимировна



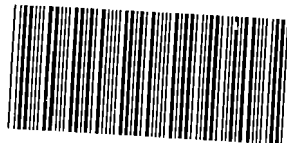
**ГЕОХИМИЯ ГИПЕРГЕННЫХ НИКЕЛЕВЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАЛА**

*Специальность 25.00.09 – Геохимия, геохимические методы
поисков полезных ископаемых*

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
доктора геолого-минералогических наук

- 1 Н О Я 2012

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2012



005054116

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования Национальном минерально-сырьевом университете «Горный».

Научный консультант –

доктор геолого-минералогических наук, профессор

Лазаренков Вадим Григорьевич

Официальные оппоненты:

Додин Давид Абрамович

доктор геолого-минералогических наук, член-корреспондент РАН, ФГУП «ВНИИОкеангеология имени И.С. Грамберга», гл. науч. сотр. отдела твердых полезных ископаемых Арктики

Чернышов Николай Михайлович

доктор геолого-минералогических наук, член-корреспондент РАН, ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет», профессор кафедры минералогии и петрологии

Бугельский Юрий Юрьевич

доктор геолого-минералогических наук, ФГБУН «Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии» РАН, вед. науч. сотр. лаборатории геохимии имени академика А.Е. Ферсмана

Ведущая организация – ФГБУН «Институт геологии и геохимии УрО РАН имени академика А.Н.Заварицкого».

Защита состоится 14 декабря 2012 г. в 16 ч на заседании диссертационного совета Д 212.224.04 при Национальном минерально-сырьевом университете «Горный» по адресу: 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия, д.2, ауд.4312.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Национального минерально-сырьевого университета «Горный».

Автореферат разослан 18 октября 2012 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета
канд. геол.-минерал. наук



ГУЛЬБИН Ю.Л.

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Месторождения гипергенных никелевых руд России находятся в хорошо освоенных горнорудных районах Урала и составляют сырьевую базу развитой в регионе кобальт-никелевой промышленности, на основе которой работают градообразующие Уфалейский и Южно-Уральский металлургические комбинаты, а также Буруктальский и Режский никелевые заводы. Благодаря открытым способам разработки месторождения этого типа характеризуются низкой себестоимостью добычи руды, помимо никеля их руды являются источником для получения кобальта и железа.

В зарубежных странах месторождения этого генетического типа – ведущие и по запасам, и по производству никеля (63 %) и кобальта (58 %). На базе гипергенных никелевых руд сейчас активно строятся новые металлургические заводы в Австралии, Новой Каледонии, на Кубе, в Индонезии, в Самоа-Новой Гвинее, Бразилии, Колумбии, Венесуэле и в других странах-экспортерах и производителях никеля.

В настоящее время никелевая промышленность Урала испытывает острый дефицит никелевого сырья, в значительной мере из-за отсутствия кондиционных никелевых руд, и комбинаты Урала производят никель по ценам, значительно превышающим мировые (Басков, 2012). В этой связи перед геологоразведочной службой России стоит актуальная задача доизучения старых, а также поисков и разведки на Урале новых месторождений гипергенного никеля. Поскольку руды Урала относятся к категории бедных, важной является проблема выявления в них попутных компонентов и комплексного использования руд.

С этой точки зрения представляет практический интерес изучение распределения в гипергенных никелевых месторождениях элементов платиновой группы (ЭПГ), золота и серебра, сведения о повышенных содержаниях которых неоднократно появлялись в отечественной и зарубежной литературе в последние 15 лет (Martin et. al., 1991; Беневольский, 1993; Бандейера и др., 1994; Саханбинский и др., 1994; Auge, Legendre, 1994; Лазаренков и др., 2006). Интерес этот возник в рамках программы «Платина России», исполнителями которой был намечен целый ряд эксплуатирующихся месторождений, в том числе гипергенные никелевые месторождения (Таловина и др., 2012), в которых платиновые металлы присутствуют в виде элементов-примесей и могут в том или ином количестве извлекаться в качестве попутных компонентов (Додин, 2012).

Цель работы состоит в выявлении закономерностей распределения широкого комплекса главных и редких элементов в никеленосных породах гипергенных месторождений Урала и установлении условий их формирования для расширения перспектив освоения и рациональной разработки месторождений.

Задачи исследований:

1. Разработать минералого-геохимическую классификацию никеленосных гипергенных горных пород на основе характеристики их минералого-петрографического состава и анализа распределения главных элементов.

2. Установить главные особенности геохимии процессов формирования гипергенных никелевых месторождений Урала на основе анализа распределения широкого комплекса главных и редких элементов, в том числе благородных металлов и редкоземельных элементов, в выделенных типах никеленосных гипергенных пород.

3. Выявить минералого-геохимические особенности платиноносности гипергенных никелевых месторождений, в том числе с разным формационным типом ультрамафитового субстрата (офиолитовым и зональным).

4. Разработать систему современных требований к составу гипергенных никелевых руд, учитывая возможности их комплексной переработки.

Фактический материал и методы исследования. Автором в период 1994-2011 гг. проводилось комплексное изучение геохимии, минерально-петрографического состава и платиноносности более 15-ти уральских гипергенных никелевых месторождений. В основу работы положен оригинальный каменный материал, собранный в карьерах Бурктульского (I и III участок), Сахаринского, Уфалейских (Черемшанское, Синарское, Рогожинское и другие) и Еловского месторождений в ходе полевых исследований 1995-2011 г.г. Для сравнительного анализа и исследования платиноносности привлекались коллекции гипергенных никелевых руд из Геологического музея ВСЕГЕИ, коллекции образцов руд Аккермановского и Уфалейских месторождений Б.М.Михайлова (ВСЕГЕИ), коллекция образцов руд месторождения Шкляры (Польша), любезно предоставленная сотрудниками Вроцлавского университета, а также отдельные пробы и образцы никелевых руд о-ва Куба.

Минеральные фазы диагностировались оптико-микроскопическим (более 500 шлифов и аншлифов), рентгеноструктурным и термическим методами анализа в сопровождении методов электронной микроскопии.

Извлечение мелкой и тонкой фракции благородных металлов проводилось при помощи центробежного концентратора ЦКПП-120, разработка Е.Д. Кравцова, ОАО «Полиметалл».

Рентгеноструктурные анализы (более 500 определений) выполнялись на рентгеновском порошковом дифрактометре Geigerflex-D/max (Rigaku) (АО «Механобр-Аналит», М.А. Яговкина), на дифрактометрах XRD 3000 TT и URD-6 (Фрайбергская горная академия (ФГА), Германия, д-р Р. Клееберг), на установке ДРОН-УМ1 (Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ), проф. Э.А. Гойло), на дифрактометре XRD-6000 (Научно-образовательный центр (НОЦ) Горного университета, А.В. Масленников, а также на дифрактометре ДРОН-6 (Центральная аналитическая лаборатория (ЦАЛ) ВСЕГЕИ, В.Ф. Сапега).

Комплексный термический анализ (более 300 определений) проводился на установках фирмы NETZSCH: STA 429C (Горный университет, В.Л. Уголков) и STA 429CD+QMS (Институт химии силикатов (ИХС) РАН, В.Л. Уголков); STA 409 C/CD (ФГА, К. Галонска).

Электронно-микроскопические исследования (более 500 определений) проводились на растровом электронном микроскопе (РЭМ) SAM-SCAN-4DV (Радиевый институт (РИ), Ю.Л. Крецер); на РЭМ JEOL JSM 6400 и JXA-8900RL (ФГА, д-р У. Кемпе); на сканирующем электронном микроскопе JEM 5300 (ИГЕМ, г. Москва, Н.В. Трубкин); на РЭМ JEOL JXA 8600S (Горный университет, И.М. Гайдамако).

Породообразующие оксиды (более 1000 определений) определялись традиционным весовым химическим методом анализа (ЦАЛ ВСЕГЕИ, И.В. Реумова, С.Ю. Шмачкова); атомно-абсорбционным методом (ЗАО «Механобр-инжиниринг-аналит», С.Н. Зиминая; НОЦ Горного университета, О.Л. Галанкина); рентген-флюоресцентным методом (ЦАЛ ВСЕГЕИ; ФГА, д-р А. Плессов). В работе использовались также более 10 000 результатов анализов, выполненных силами геологических служб Сахаринского и Буруктальского рудников, комбинатов «Южуралникель» и «Уфалейникель», Магнитогорской КГРП, института «Гипроникель», а также данные, предоставленные Б.М. Михайловым (ВСЕГЕИ), и другие.

Цветные и тяжелые металлы (более 500 определений), такие как Cu, Ni, V, Zn, Pb, Co, Cr, Be, Mn, Ti и другие, определялись: методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой на приборе «Оптим-4300 DV» (ЦАЛ ВСЕГЕИ, В.А. Шишлов, В.Л. Кудряшов, Л.И. Завитаева); атомно-абсорбционным методом (ЗАО «Механобр-инжиниринг-аналит», С.Н. Зиминая; НОЦ Горного универ-

ситета, О.Л. Галанкина); методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP MS, ФГА, д-р А. Плесов).

Редкоземельные элементы, тугоплавкие металлы Ta, Y, U, Th, Hf, Ru, Sr (более 500 определений) определялись методом ICP MS на приборе «Элан-6100 DRC» (ЦАЛ ВСЕГЕИ, В.А. Шишлов).

Элементы платиновой группы (более 500 определений) определялись пробирно(Pb)-атомно-абсорбционным методом анализа для определения Pt, Pd, Rh и Au, пробирно(Pb)-гравиметрическим методом для определения Ag, пробирно(Pb)-эмиссионно-спектральным методом для определения Ir и Ru, кинетическим методом для определения Os (ЗАО «Механобр-инжиниринг-аналит», Л.А. Ушинская, Д.Н. Строганов; пробирно-атомно-абсорбционным методом для определения ЭПГ и золота (ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург, И.И. Неустроева); методом спектрального эмиссионного сцинтилляционного экспресс-анализа (Институт геохимии СО РАН, г. Иркутск, А.С. Мехоношин).

Защищаемые положения:

1. Гипергенные никелевые месторождения Урала сложены четырьмя ведущими типами никеленосных горных пород – хризотиловыми и лизардитовыми серпентинитами, нонтронитовыми и гетитовыми породами и их главными разновидностями. Кроме того, в их составе присутствуют второстепенные разновидности - кварц-магнетитовые породы Буруктальского, вермикулитовые породы Сахаринского, пекораит-хризотил-кварцевые породы Уфалейских месторождений и шамозит-гетитовые, миллерит-бриндлейит-шамозитовые и шамозит-лизардитовые породы Еловского месторождения.

2. В процессе формирования гипергенных никелевых месторождений Урала происходит дифференцированное концентрирование элементов-примесей в направлении от хризотиловых и лизардитовых серпентинитов нижней зоны к нонтронитовым и гетитовым породам верхней зоны месторождений с тенденцией к последовательному увеличению содержаний элементов группы железа (V, Cr, Mn, Co, Ni) с коэффициентами накопления (Кн) 1-15, элементов платиновой группы с Кн 1-40, а также редкоземельных элементов с Кн 10-100 и выше.

3. Присутствие в никеленосных породах гипергенных месторождений Урала элементов-примесей (As, Sb, Pb, Mo, W, Sn, а по отдельным месторождениям Cu, Zn, Be) с аномально высокими коэффициентами накопления 10-100 и более связано с контактово-метасоматическим воздействием гранитоидных магм на ультрамафитовый субстрат месторождений. Эта генетическая особенность отличает уральские месторо-

ждения от гипергенных никелевых месторождений, образованных по земной коре океанического типа.

4. В ходе гипергенного процесса рутений-осмий-иридиевая специализация офиолитовых массивов и платиновая специализация зональных массивов Урала меняется на платино-палладиевую специализацию в никеленосных гипергенных породах с увеличением содержания ЭПГ до $n \cdot 10^{-1}$ - $n \cdot 10^{-2}$ г/т. Минералогическими признаками благородных металлов являются впервые выделенные в никеленосных породах гипергенных месторождений минеральные фазы самородной платины и палладия, в том числе медистого, висмутотеллуридов платины и палладия, самородного высокопробного золота, золото-серебряных соединений и йодистого серебра.

Научная новизна:

1. Впервые для гипергенных никелевых месторождений Урала, наряду с рассмотрением особенностей распределения главных элементов никеленосных пород, выявлены закономерности распределения широкого круга редких элементов. Установлено, что главной особенностью процесса формирования гипергенных никелевых месторождений является тенденция к накоплению при переходе от нижних к верхним горизонтам гипергенного профиля значительного числа химических элементов, в том числе элементов группы железа, платиновых металлов и редкоземельных элементов.

2. Впервые получена информация о содержании и характере распределения элементов платиновой группы, золота и серебра в породах разных зон гипергенных месторождений, установлены индивидуальные геохимические особенности накопления платины и палладия в профиле месторождений и выявлены горизонты платинометалльного обогащения.

3. Уточнён минеральный состав гипергенных никеленосных пород уральских месторождений, названия минералов приведены в соответствии с современными требованиями Международной минералогической ассоциации. Впервые выявлены и охарактеризованы в породах месторождений никелевые серпентины (никелевый лизардит, пекораит, карриопилит, баумит), никелевые хлориты (никелевый клинохлор, кобальт-никель-марганцевый клинохлор, нимит, шамозит, пеннантит, бриндлейит), никелевый тальк, никелевый вермикулит, около 20 минералов марганца и другие минеральные фазы.

4. Впервые обнаружены, выделены и описаны минеральные фазы платины и палладия в корах выветривания уральских месторождений.

5. Впервые для гипергенных никелевых месторождений Урала разработана минералого-геохимическая классификация никеленосных гипергенных пород.

Практическая значимость работы состоит в следующем:

- показано, что никеленосные породы гипергенных никелевых месторождений Урала содержат благородные металлы в количестве $n \cdot 10^1$ - $n \cdot 10^{-2}$ г/т, что позволяет рассматривать их как нетрадиционный источник платиновых металлов, а также золота и серебра;

- разработаны геохимические и минералого-петрографические критерии гипергенных никелевых руд различного вещественного состава, в том числе для извлечения возможных попутных компонентов - платиновых металлов, золота и серебра, хрома и марганца;

- обоснована целесообразность выделения и учета установленных минералого-геохимических типов никеленосных пород в процессе разведки и отработки месторождений, что направлено на оптимизацию технологии переработки и использование некондиционных и бедных никелевых руд;

- показаны перспективы глубоких горизонтов месторождений на никелевое оруденение, а также возможность обнаружения новых промышленных объектов гипергенного никеля на участках перекрытия серпентинитового меланжа платформенным чехлом.

Личный вклад соискателя: проведение полевых работ в карьерах месторождений Уральской гипергенно-никеленосной провинции в период 1995-2011 г.г., разработка методики комплексного минералого-геохимического изучения вещественного состава гипергенных пород, основная часть экспериментального материала получена непосредственно соискателем, обработка результатов комплексного термического и рентгеноструктурного анализа выполнена соискателем совместно с к.х.н. В.Л.Угольниковым, д-ром К.Галонска, М.А. Яговкиной, д-ром Р.Клебергом. Все геохимические данные обработаны автором, им выполнены научный анализ и интерпретация полученных результатов.

Достоверность защищаемых положений, выводов и рекомендаций определяется использованием аналитических данных, полученных по сертифицированным методикам в аккредитованных лабораториях, статистической представительностью выборок геохимических данных, корректным применением методов математической обработки информации, непротиворечивостью полученных геологических и геохимических данных, подтверждением прогнозных выводов результатами геологических исследований в карьерах месторождений.

Апробация работы. Результаты работы докладывались на многочисленных конференциях, в том числе на Международном форуме горняка и металлурга (ФГА, Германия, 2012-09, 2007, 2006), в Краковской Горной Академии (Польша, 2006), в университетах г. Лаппеенранта (2007) и г. Лахти (Финляндия, 2006), на Международных научных конференциях «Чтения памяти А.Н.Заварицкого» (Екатеринбург, ИГГ УрО РАН, 2008, 2006), годичной сессии московского отделения РМО (Москва, 2007), Международных совещаниях по геологии россыпей и месторождений кор выветривания (Пермь, 2005; Дубна, 1997), Международных симпозиумах «Минерально-сырьевые ресурсы стран СНГ» (Санкт-Петербург, 2000, 1999, 1997), «Проблемы комплексного использования руд» и «Крупные и уникальные месторождения редких и благородных металлов» (Санкт-Петербург, 1996), Летней Уральской минералогической школе (Екатеринбург, 1996, 1997), VI Уральском петрографическом совещании (Екатеринбург, 1997) и других.

Результаты работы докладывались на заседаниях Координационного научно-методического совета программы «Платина России». Основные положения работы обсуждались на заседаниях кафедр минералогии, кристаллографии и петрографии, геологии месторождений полезных ископаемых Горного университета в 1997-2012 г.г.

Результаты работы вошли в отчеты по хозяйственным работам «Разработать методику прогнозирования и оценки гипергенных руд никеля в условиях рыночной экономики» 2000 г., «Содержание и оценка ресурсов элементов платиновой группы в никеленосных корах выветривания Буруктальского месторождения кобальт-никелевых руд» по договору с КПП Оренбургской области (2001 г.), «Прогнозные ресурсы платиновых металлов в гипергенных никелевых рудах Урала» по гранту Министерства образования РФ (2003 г.) и «Изучение платиноносности никелевых месторождений Челябинской области» по договору с Правительством Челябинской области (2005 г.).

Работы были поддержаны грантами и именными стипендиями Минобрнауки России (1996, 1997, 2000, 2002, 2006), в том числе ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (2010 г.), грантов Германской службы академических обменов DAAD (2007, 2009 г.) и другими.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 77 работ, из них 4 монографии и 16 работ в изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки России.

Реализация результатов исследования: Разработанные автором методики имеют прикладное значение, могут применяться на практике в организациях, проводящих геологическое изучение и разведку гипергенных никелевых месторождений Урала. Положения и выводы диссертации могут использоваться органами государственного недропользования при управлении государственным фондом недр.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, пяти глав и заключения, содержит 255 стр. текста, 63 табл., 70 рис. Список литературы включает 343 наименования, 10 источников – фондовые.

Благодарности. Автор глубоко признателен своему учителю – научному консультанту, проф. В.Г. Лазаренкову, который много лет способствовал формированию научного мировоззрения автора. Искренняя благодарность коллективу кафедры исторической и динамической геологии Горного университета за поддержку и предоставленную возможность совмещать работу над диссертацией с преподаванием в университете. Автор благодарит также проректора по научной работе Горного университета проф. В.Л. Трушко и директора НОЦ проф. М.А. Пашкевич за содействие в проведении аналитических исследований. В течение нескольких лет автор пользовалась консультациями и поддержкой зарубежных коллег – д-ра У. Кемпе, проф., д-ра М. Тихомировой, проф., д-ра Г. Хайде, д-ра Р. Клееберга, (ФГА, Германия). Особую благодарность автор выражает сотрудникам ОАО «Комбинат Южуралникель» В.П. Холодову, ЗАО «Комбинат Уфалейникель» В.И. Володину, главному геологу Сахаринского рудника С.Н. Шафранскому, начальнику комитета Природных ресурсов Оренбургской области В.А. Руденко за помощь в сборе диссертационных материалов и эталонных коллекций образцов, а также к.г.-м.н. А.П. Харлашину за совместные полевые исследования и плодотворные дискуссии. Большое спасибо за творческую поддержку и помощь в работе д.г.-м.н. А.Г. Мочалову, к.г.-м.н. В.И. Алексееву, к.т.н. В.Л. Уголку, к.г.-м.н. А.П. Казаку и моим дорогим коллегам – к.г.-м.н. Н.И. Воронцовой, к.г.-м.н. О.П. Мезенцевой, ст. преп. Л.С. Стокрацкой, асп. А.Г. Пилюгину, без которых эта работа не была бы завершена.

Основное содержание работы

Гипергенные никелевые месторождения России, образование которых связано с древней корой выветривания ультраосновных пород, были обнаружены впервые на Урале и описаны еще в 1891 году А.П. Карпинским. Большая их часть была открыта в 20-30-е годы прошлого столетия благодаря работам А.А. Глазковского (Уфалейская группа месторождений), Д.Г. Ульянова, Б.П. Кротова, (Орско-Халиловские и Аккермановское месторождения), А.Л. Яницкого (Елизаветинское месторождение), И.И. Гинзбурга, М.Н. Годлевского, Г.С. Грицаенко и других. В настоящее время на территории России выделены три гипергенно-никеленосные провинции: Уральская, Кузнецко-Салаирская и Североонежская (Михайлов, 1986) и из них единственной промышленной является Уральская провинция.

Основной сырьевой базой Уральской гипергенно-никеленосной провинции являются месторождения низкокачественных элювиальных руд (0,7-1,0 % Ni), приуроченных к крупным гипербазитовым массивам Южного, Среднего и Северного Урала (рис. 1). Основная часть месторождений приурочена к массивам Офиолитового (Хромитоносного) пояса и другим офиолитовым поясам Урала (Уфалейское, Буруктальское, Еловское, Аккермановское и другие месторождения), отдельные месторождения развиты по зональным массивам уральско-аляскинского типа (Сахаринское, Елизаветинское).

В работе рассмотрены геохимические особенности и основные черты зонального геологического строения четырех главных гипергенных никелевых месторождений Урала - Буруктальского, Сахаринского, Уфалейского и Еловского. Каждый из этих объектов является классическим примером месторождений гипергенного никеля на Урале и может служить эталоном определенного типа гипергенного никелевого рудообразования в месторождениях Уральской провинции.

Буруктальское месторождение кобальт-никелевых руд находится на востоке Оренбургской области (рис. 1) и по классификации А.С. Вершинина (1993) относится к керолит-охристому типу. По Б.М. Михайлову (2003) оно соответствует Fe-Co-Ni типу с заметным содержанием кобальта. Месторождение изучалось И.И. Эдельштейном (1968), К.К. Никитиным (1962), В.М. Григорьевой и Г.М. Шешуковой (1969), В.Г. Лазаренковым и И.В. Таловиной (1999). Материнскими породами и источником никеля и кобальта при образовании Бурукталь-

ского месторождения послужили дуниты и гарцбургиты Буруктальского офиолитового массива среднедевонского возраста.

Сахаринское месторождение кобальт-никелевых руд находится на Южном Урале в 50 км к юго-востоку от г. Магнитогорска (рис. 1) и описано К.Ф. Самариной, Г.Н. Бобылевым, К.Г. Бородиной (1980), А.С. Вершининым (1993), В.Г. Лазаренковым (2001) и И.В. Таловиной (1999). По А.С.Вершинину (1993) Сахаринское месторождение является типичным представителем керолит-феррисапонит-нонтронитового типа никелевых месторождений коры выветривания и развито по дунит-верлит-клинопироксенитовому субстрату Сахаринского массива (D₂₋₃) уральско-аляскинского типа.

Уфалейская группа месторождений никелевых руд (Черемшанское, Чусовское, Кротовское, Северное, Черноозерское, Синарское, Рогожинское) расположена на севере Челябинской области (рис. 1) и является крупнейшей рудной провинцией, снабжавшей сырьем никелевый комбинат «Уфалейникель». В настоящее время многие месторождения этой группы полностью отработаны или законсервированы. Месторождение изучалось К.Г.Бородиной (1980), А.С. Вершининым (1996), Б.М. Михайловым (1997) и относится к месторождениям коры выветривания линейного типа. Наиболее мощное развитие гипергенные никелевые руды получили на Черемшанском участке, где оруденение в отдельных участках опускается на глубину более 400 м (Михайлов, 2000). Первичными породами для них послужили дуниты и гарцбургиты Уфалейского офиолитового массива (O₂₋₃).

Еловское месторождение является самым крупным никелевым объектом на Урале и находится на Северном Урале в Серовском районе Свердловской области (рис. 1). Оно принадлежит Серовской группе месторождений, в состав которой входят еще Устейское, Катасьминское, Вагранское и другие месторождения. По генетической классификации В.М.Григорьевой (1969) Серовская группа месторождений относится к числу осадочно-инфильтрационных образований. Основными потребителями никелевых руд Еловского месторождения в настоящее время являются Уфалейский никелевый комбинат и Режский никелевый завод. Еловское месторождение образовалось в результате преобразования ультрамафитов Кольского (Серовского) дунит-гарцбургитового массива (O₁₋₂).

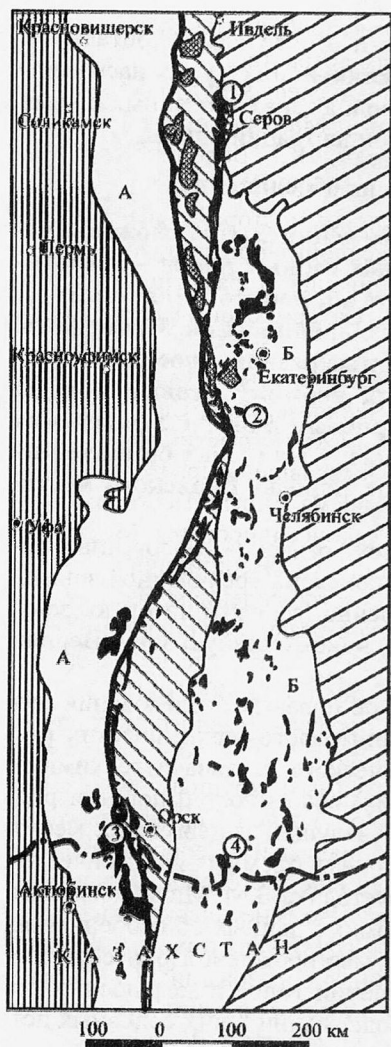


Рис. 1. Схема тектонического строения Урала (Геология и..., 2011)

Мегазоны: 3-Западная (Западно-Уральская), Ц-Центральная (Тагило-Магнитогорская), В-Восточная. 1-чехол Восточно-Европейской платформы; 2-мезокайнозойский чехол Западно-Сибирской платформы; 3-Тагило-Магнитогорская мегазона океанических и островодужных палеозойских комплексов; 4-альпинотипные массивы; 5-массивы Платиноносного пояса; 6-Главный Уральский разлом; 7-границы мегазон.

Цифрами обозначены: 1-4-альпинотипные массивы офиолитовых поясов Урала: 1-Кольский, Еловское месторождение; 2-Уфалейский, Черемшанское месторождение; 3-Хабарнинский, Аккермановское месторождение; 4-Буруктальский офиолитовый массив, Буруктальское месторождение. 5-6 – зональные массивы Платиноносного пояса Урала: 5 - Сахаринский, Сахаринское месторождение, 6 –Уктусский, Елизаветинское месторождение.

Проведенное изучение структур их рудных полей позволяет утверждать, что месторождения имеют полихронный и полигенный характер, для них характерна мощная тектоническая и гидротермальная проработка палеозойского субстрата (Воронцова и др., 2010). Это выражается в том, что материнские ультраосновные породы месторождений испытали деформации сжатия, сдвига и скола с перемещением от-

дельных частей друг относительно друга и относительно контактов с вмещающими породами, отдельные участки в них густо насыщены дайками основных, средних и кислых пород, а также связанных с ними метасоматитов и содержат повышенные концентрации никеля.

Защищаемые положения и их обоснование

1. Гипергенные никелевые месторождения Урала сложены четырьмя ведущими типами никеленосных горных пород – хризотилловыми и лизардитовыми серпентинитами, нонтронитовыми и гетитовыми породами и их главными разновидностями. Кроме того, в их составе присутствуют второстепенные разновидности - кварц-магнетитовые породы Буруктальского, вермикулитовые породы Сахаринского, некорант-хризотил-кварцевые породы Уфалейских месторождений и шамозит-гетитовые, миллерит-бриндлейит-шамозитовые и шамозит-лизардитовые породы Еловского месторождения.

В основе геологического строения всех уральских гипергенных никелевых месторождений лежит генеральная схема трехчленной зональности, включающей нижнюю, существенно серпентинитовую зону, среднюю нонтронитовую и верхнюю оксидно-железную зону (Вершинин, 1993).

По результатам обобщения материалов полевых исследований (составления опорных литологических и минералого-геохимических разрезов, изучения минералого-петрографического состава и геохимических (в первую очередь петрохимических) особенностей пород и руд) были составлены обобщенные профили ведущих гипергенных месторождений Урала, представленные затем на изообъемных геохимических диаграммах (рис. 2-5), построенных по методике Б.М. Михайлова, описанной в работе А.И. Додатко (2004). Помимо данных об особенностях минерально-геохимической зональности месторождений они содержат информацию о количественном соотношении типов никеленосных пород в гипергенном профиле, а также о содержании в них основных петрогенных оксидов.

На основании детального изучения гипергенных профилей месторождений была разработана классификационная схема никеленосных горных пород, представленная в таблице 1. Схема построена с учетом последних требований ММА к номенклатуре никелевых и других силикатов коры выветривания, и в ней отсутствуют многие названия минералов, привычные для отечественных геологов. Например, термины

«гарниерит» и «керолит» («ревдинскит», «никелевая земля» и др.), широко используемые в литературе по гипергенным никелевым месторождениям, в настоящее время из минералогических справочников исключены (Семенов, 1991), поскольку по современным рентгенофазовым данным они представляют собой смеси нескольких минеральных фаз. Состав гарниеритов уральских месторождений описан в работе И.В. Таловиной с соавторами (2000), при этом мы пользовались классификацией никелевых силикатов, предложенной Д. Бриндли специально для гипергенных месторождений (Brindley, Maksimovich, 1978).

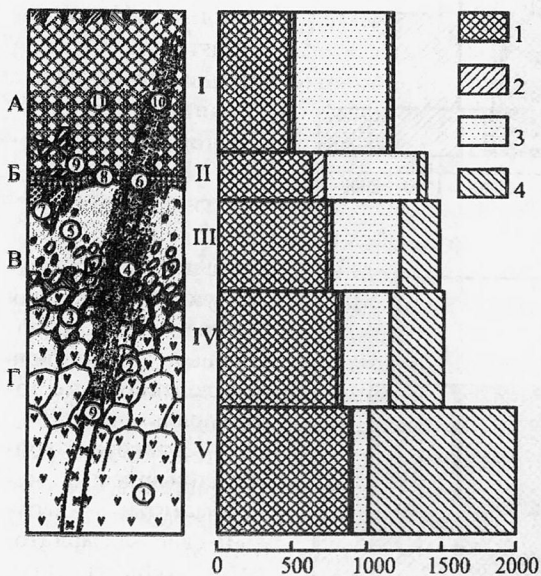


Рис. 2. Геохимическая изобъемная диаграмма и обобщенный профиль Бурукталского месторождения.

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

Типы никеленосных горных пород: I-гетитовые породы; II-нонтрониты; III-лизардитовые серпентиниты; IV-хризотилитовые серпентиниты; V-серпентинизированные перидотиты и дуниты.

Оксиды, кг/м³: 1-SiO₂, 2-Al₂O₃, 3-Fe₂O₃, 4-MgO.

Минеральные разновидности: 1-серпентинизированные гарцбургиты и дуниты; 2-талк-хризотилитовые и клинохлор-хризотилитовые серпентиниты; 3-непуит-кварц-лизардитовые серпентиниты; 4-талк-лизардитовые и клинохлор-лизардитовые серпентиниты; 5-сапонит-лизардитовые серпентиниты; 6-талк-клинохлоритовые метасоматиты; 7-нонтрониты; 8-кварц-магнетитовые породы; 9-асболян-гетитовые породы; 10-клинохлор-гетитовые породы; 11-кварц-гетитовые породы; 12-дайки кислого, среднего и основного состава.

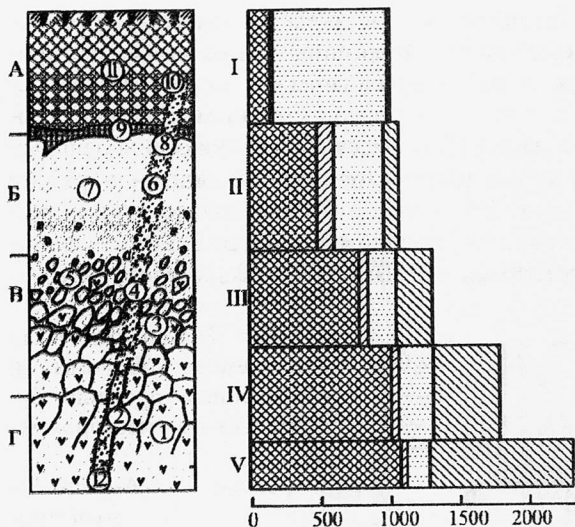


Рис. 3. Геохимическая изобъемная диаграмма и обобщенный профиль Сахаринского месторождения.

8-вермикулитовые породы.

Прочие усл. обозн. см. рис. 2.

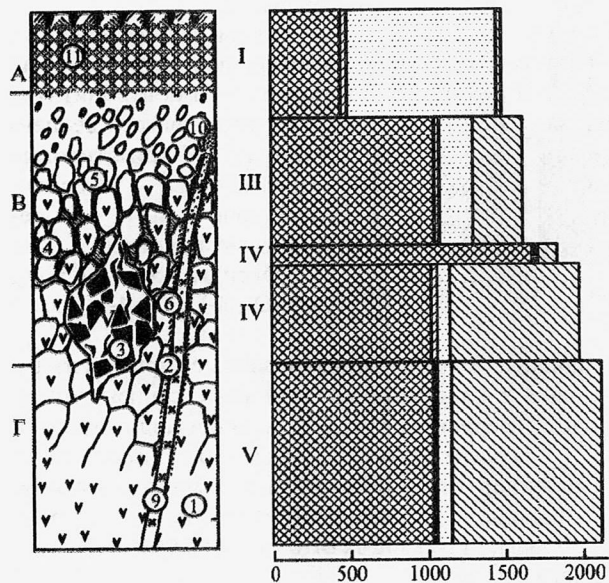


Рис. 4. Геохимическая изобъемная диаграмма и обобщенный профиль Уфалейского месторождения.

3-пекораит-хризотил-кварцевые метасоматиты; 4-непутит-кварц-лизардитовые серпентиниты, тальк-лизардитовые и клинохлор-лизардитовые серпентиниты. IVa-пекораит-хризотил-кварцевые метасоматиты.

Прочие усл. обозн. см. рис. 2.

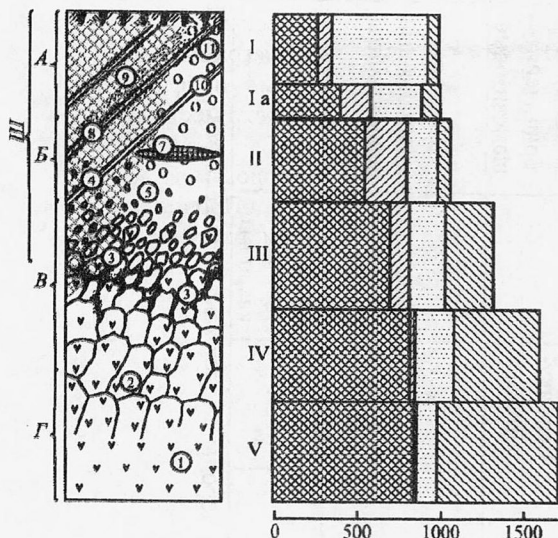


Рис. 5. Геохимическая изобъемная диаграмма и обобщенный профиль Еловского месторождения
 Ш—зона шамозитизации (заштриховано).

Ia—шамозит-гетитовые породы; II—миллерит-бриндлейит-шамозитовые породы;

3—непуит-кварц-лизардитовые, тальк-лизардитовые и клинохлор-лизардитовые серпентиниты; 4—шамозит-лизардитовые серпентиниты;

8—миллерит-бриндлейит-шамозитовые породы; 9—шамозит-гетитовые породы. Прочие усл. обозн. см. рис. 2.

В классификации суммированы выделенные типы никеленосных горных пород эксплуатирующихся гипергенных месторождений Уральской провинции, которые объединены в четыре *ведущих* типа: хризотил-овые серпентиниты, лизардитовые серпентиниты, нонтронититы и гетитовые породы. Хризотил-овый, лизардитовый и гетитовый типы встречаются повсеместно и в большом объеме, а нонтронитовый тип менее распространен и встречается на месторождениях Кемпирсайской группы, в меньшей степени на Сахаринском месторождении.

В каждом типе никеленосных пород нами выделяются минеральные разновидности: *главные*, т.е. характерные для всех без исключения месторождений Урала, и *второстепенные*, индивидуальные для конкретных месторождений. К последним относятся кварц-магнетитовые никеленосные породы «черного» горизонта Буруктальского месторождения, вермикулитовые приконтактные и околодайковые метасоматиты Сахаринского месторождения, пекораит-хризотил-кварцевые брекчии глубоких горизонтов Уфалейских месторождений и шамозитовые горные породы Еловского месторождения, состав которых сильно варьирует в зависимости от зоны коры выветривания, на которую накладывался эпигенетический процесс шамозитизации (таблица 1).

Таблица 1. Классификационная схема типов никеленосных горных пород гипергенных никелевых месторождений Урала

Зона выветривания	Типы никеленосных пород	Минеральные разновидности					
		Главные	Второстепенные			Еловское	
			Бурук-талское	Сахаринское	Черемшанское		
Окисдно-железная	Гетитовые горные породы	Кварц-гетитовые	Кварц-магнетитовые				Шамозит-гетитовые
		Клинохлор-гетитовые					
		Асблан-гетитовые					
Нонтронитовая	Нонтронититы	Нонтронитовые		Вермикулитовые			Миллерит-бриндлейит-шамозитовые
		Тальк-клинохлоровые					
		Сапонит-лизардитовые					
Серпентинитовая	Лизардитовые серпентиниты	Клинохлор-лизардитовые					Шамозит-лизардитовые серпентиниты
		Тальк-лизардитовые					
		Непутит-кварц-лизардитовые					
	Хризотилитовые серпентиниты	Клинохлор-хризотилитовые					Шамозит-лизардитовые серпентиниты
		Тальк-хризотилитовые					

Примечание. Под никеленосными породами понимаются породы с содержанием никеля от 0,5 вес. % и выше.

Из таблицы 1 и рисунков 2-5 следует, что единый промышленный тип гипергенных никелевых месторождений представлен на Урале гетерогенными типами никеленосных горных пород и руд, как в минерально-геохимическом, так и в структурно-текстурном отношении. Возникновение главных минеральных разновидностей горных пород связано с общим ходом процесса выветривания уральских месторождений, тогда как появление второстепенных разновидностей связано еще и с особенностями субстрата, а также с наложенными эпигенетическими процессами, в частности, на Еловском месторождении.

Серпентинитовая зона гипергенных месторождений Урала состоит из собственно серпентинитовой зоны и зоны дезинтегрированных серпентинитов, которая, несмотря на слабую степень химического выветривания, также часто включает крупные проявления никеленосных горных пород. В серпентинитовой зоне выделяются два ведущих типа никеленосных пород (таблица 1) - хризотилитовые и лизардитовые серпентиниты.

Хризотилитовые серпентиниты локализуются в верхней части зоны дезинтеграции и нижней части серпентинитовой зоны уральских месторождений (рис. 2-5) и залегают, как правило, в зонах брекчирования и трещиноватости среди безрудных хризотилитовых, хризотилит-антигоритовых серпентинитов субстрата месторождений. Породы представляют собой, в основном, рудные брекчии, обломки которых сложены малоизмененными хризотилитовыми серпентинитами, а прожилковая минерализация несет никелевое оруденение. Главным породообразующим минералом в них является хризотил 2Osc_1 (65-90 вес. %), в более затронутых выветриванием участках появляется также лизардит 1T (10-15 %), а в прожилках по серпентинитам широко развиты никелевые тальк (5-35, до 60 вес.%), клинохлор Pb (5-35 вес.%), пекораит (10-15 вес. %) и кварц (15-40 вес.%). В этом типе по преобладанию того или иного рудного минерала выделяется две главных и одна второстепенная минеральные разновидности, а именно (таблица 1): *тальк-хризотилитовые, клинохлор-хризотилитовые и пекораит-хризотилит-кварцевые серпентиниты* (гарниерит-кварцевые руды по Б.М.Михайлову, 1997). Подробное описание главных породообразующих и рудных минералов хризотилитовых серпентинитов приводится в публикациях И.В.Таловиной (2011), С.О.Рыжковой (2010), Н.И.Воронцовой (1999) и других (Технологическая..., 1988).

Лизардитовые серпентиниты развиты в верхней части серпентинитовой зоны Уральских месторождений (рис. 2-5) и залегают, как пра-

вило, в виде плащеобразных субгоризонтальных залежей мощностью около 50 м с неровной подошвой, карманы и углубления которой фиксируют тектонические нарушения субстрата месторождений. Они представляют собой землисто-щебенчатый, древесный материал зеленого и желто-серого, бурого цвета с обломками массивных хризотилитовых или лизардитовых серпентинитов. Породы сложены на 35-90 вес.% никелевым лизардитом 1Т, сапонитом (10-45 вес.%), иногда гетитом (5-20, до 45 вес.%). По преобладанию рудного минерала в них можно выделить четыре главных и одну второстепенную минеральную разновидность (таблица 1): *непуит-кварц-лизардитовые серпентиниты, тальк-лизардитовые серпентиниты, клинохлор-лизардитовые серпентиниты, сапонит-лизардитовые серпентиниты, шамозит-лизардитовые серпентиниты*. Первые три разновидности серпентинитов образуют тесную ассоциацию пород инфильтрационного происхождения с многочисленными прожилками и включениями ярко-зеленых никелевых минералов – никелевого лизардита (10-35, до 60 вес.%), непуита (15-30 вес.%), никелевых талька (10-35 вес.%) и клинохлора 11b (10-50 вес.%). *Сапонит-лизардитовые серпентиниты* (10-45 вес.% сапонита), напротив, имеют достаточно однородное строение, слагают основную массу рудных залежей и представлены рыхлыми желтовато-зеленовато-серыми серпентинитами диффузионного происхождения. *Шамозит-лизардитовые серпентиниты* являются наиболее редким типом пород серпентинитовой зоны месторождений и в промышленном количестве встречены только на Еловском месторождении. Породы имеют черно-зеленый, зеленовато-бурый цвет, обусловленный присутствием черно-зеленого железистого хлорита шамозита (25-35 вес.%), содержание которого постепенно уменьшается с глубиной, а также бриндлейита (5-15 вес.%), в нормативном составе которого содержится 37.31 вес.% NiO. Главные породообразующие и рудные минералы никеленосных лизардитовых серпентинитов уральских месторождений детально описаны в работах В.Г. Лазаренкова (2002), И.В. Таловиной (1997), а также в более ранних трудах (Технологическая..., 1988).

Нонтронитовые породы слагают среднюю часть профиля уральских никелевых месторождений (рис. 2-5) и полноценным развитием пользуются только на Сахаринском месторождении, реже на отдельных участках Буруктальского и Еловского месторождений. Залегают они субгоризонтально в виде плащеобразных залежей мощностью 1-25 м, или маломощных (до 1 м) линз и прослоев. Они представлены рыхлыми образованиями светло- до темно-зеленого или шоколадно-коричневого

цвета: сыпучими или пластичными нонтронитовыми глинами. В нонтронитовых породах можно выделить две главные и две второстепенные минеральные разновидности (таблица 1, рис. 2-5): *нонтронитовые породы, тальк-клинохлоровые породы, вермикулитовые породы, миллерит-бриндлейит-шамозитовые породы.*

Собственно нонтронитовые породы содержат 35-80 вес. % нонтронита, 10-20 вес. % никелевого клинохлора, 5-15 вес. % никелевого талька, иногда до 25 вес. % вермикулита, до 25 вес. % гетита, до 20 вес. % кварца, а также сапонит, иногда магнетит (до 10 вес.%) и минералы марганца. Эти породы образуются диффузионным путем в условиях полного профиля коры выветривания. *Тальк-клинохлоровые породы* (тальк 10-20, клинохлор 25-55, нонтронит 15-45 вес.%) слагают столбообразные и жильные рудные тела до 10-15 м в диаметре, а также менее мощные контактовые придайковые оторочки в Буруктальском, Сахаринском и Еловском месторождениях. Структура пород мелко-тонкочешуйчатая, до скрытокристаллической, текстура брекчиевидная, пятнистая, реже массивная. *Вермикулитовые породы* (вермикулит 45-85, до 100 вес.%) псевдоморфно развиваются по клинохлоровым и флогопит-клинохлоровым метасоматитам жильного комплекса первичных пород. *Миллерит-бриндлейит-шамозитовые породы* встречены только на Еловском месторождении и представляют собой измененные инфльтрационными процессами охры, нонтронититы и лизардитовые серпентиниты. Глубина проникновения их вниз по разрезу коры выветривания изменяется от 0,5 до 30 м. Породы сложены, в основном, шамозитом Pb (10-45 вес.%), клинохлором Pb (5-15 вес.%), бриндлейитом (5-25 вес.%), тальком (до 20 вес.%), кварцем (5-10 вес.%) и миллеритом (до 7 вес.%), реже встречаются нимит Pb и пеннантит Pb.

Гетитовые горные породы широко распространены на всех месторождениях Уральской провинции и слагают верхнюю часть профиля гипергенных никелевых месторождений (рис. 2-5). Залегают они, в целом, субгоризонтально в виде плащеобразных залежей мощностью 1-25 м до 50 м или маломощных (до 5 м) «слепых» прослоев и линз среди лизардитовых серпентинитов. На участках линейно-трещинной коры выветривания отдельные вертикальные залежи гетитовых горных пород проникают на значительную глубину (до 100-150 м), где залегают среди лизардитовых или хризотилловых серпентинитов.

Породы на 50-95 вес. % состоят из гетита, в них постоянно присутствуют кварц и гетит-халцедоновые образования в количестве до 25 вес. % с примесью марганцевых минералов (асболан, псиломелан,

тодорокит, бёрнессит, пирохроит и многие другие (Рыжкова и др., 2010)), а также магнетита, хромшпинелида, гематита, маггемита, клинохлора Pb, шамозита, монтмориллонита, нонтронита, других минералов. По преобладанию рудного минерала в никеленосных гетитовых горных породах уральских месторождений можно выделить три главные и две второстепенные минеральные разновидности (таблица 1): *кварц-гетитовые горные породы, клинохлор-гетитовые горные породы, асболан-гетитовые горные породы, кварц-магнетитовые горные породы, шамозит-гетитовые горные породы.*

Кварц-гетитовые породы особенно широко развиты на Буруктальском и Сахаринском месторождениях Урала. Они содержат 75-85 вес.% гетита, 15 вес. % кварца, имеют буро-коричневый цвет и развиты по трещинам и продуктам изменения жильных пород. Форма залегания этих пород близвертикальная, сложная гнездо- и жилообразная.

Асболан-гетитовые породы имеют инфильтрационное метасоматическое происхождение и слагают жильные, гнездовидные, гроздьевидные, реже линзообразные рудные тела небольшой мощности в нижней части оксидно-железной зоны. Марганцевые минералы (10-15, до 25 вес.%) выполняют в составе этих рудных тел систему тонких прожилков, слагают гнезда и натечные колломорфные образования неправильной формы, образуют сажистые скопления и пропитывают основную массу породы, окрашивая ее в черный и иссиня-черный цвет. Они часто ассоциируют с гетитовыми, кварц-опал-халцедоновыми, хлоритовыми прожилками (клинохлоровыми на Сахаринском и пеннантит-шамозитовыми на Еловском месторождении), образуя горные породы очень сложного минерального состава. По нашим данным марганцевые минералы этих пород представлены, в основном, асболаном с примесью большого количества других марганцевых фаз, около 20 из которых нам удалось установить (Рыжкова и др., 2010), существенно расширив список марганцевых минералов гипергенных месторождений Урала.

Кварц-магнетитовые породы выделены нами в составе «черного» горизонта Буруктальского месторождения как второстепенная минеральная разновидность гетитового типа пород. Они отмечены также на месторождениях Кемпирсайской группы и крайне редко в мелких проявлениях встречаются на Сахаринском месторождении. Приурочены они к нижней части оксидно-железной зоны месторождений и слагают пластообразные залежи мощностью 1-10 м со сложной морфологией подошвы. Их отличает мелко-тонкодисперсная структура с размером зёрен 0,05-3 мм, а также черный или темно-коричневый цвет. В их со-

ставе содержится 25-35 вес.% кварца и до 45-50 вес.% никелевого магнетита, гетит (до 10 вес.%), никелевый клинохлор, минералы марганца.

Шамозит-гетитовые породы имеют промышленное значение только на Еловском месторождении и залегают в виде плащеобразной залежи с проникновением эпигенетической шамозитовой минерализации по зонам трещиноватости и по дайкам глубоко в породы нижележащих серпентинитовых зон месторождения. Это черно-коричневые, зеленовато-бурые тонкозернистые, тонкочешуйчатые горные породы пятнистой или массивной текстуры. В их составе содержится 45-60 вес.% гетита, 35-40 вес.% шамозита, кварц, никелевый клинохлор, сапонит и другие минералы.

2. В процессе формирования гипергенных никелевых месторождений Урала происходит дифференцированное концентрирование элементов-примесей в направлении от хризотилowych и лизардитовых серпентинитов нижней зоны к нонтронитовым и гетитовым породам верхней зоны месторождений с тенденцией к последовательному увеличению содержания элементов группы железа (V, Cr, Mn, Co, Ni) с коэффициентами накопления (Кн) 1-15, элементов платиновой группы с Кн 1-40, а также редкоземельных элементов с Кн 10-100 и выше.

Геохимические особенности пород и руд уральских гипергенных никелевых месторождений изучены крайне недостаточно. В течение многолетнего исследования накопился значительный аналитический материал, характеризующий основные черты распределения главных элементов и элементов группы железа (ЭГЖ) в никеленосных породах месторождений. Сведения о них мы находим в работах К.К.Никитина (1970), И.И.Эдельштейна (1968), Л.К.Красильникова (1969), В.М.Григорьевой с соавторами (1959, 1969), А.С.Варлакова (1978), А.С.Вершинина (1984), И.А.Малахова (1993), Б.М.Михайлова (1981, 2004), Л.Н.Овчинникова (1998). Распределение элементов платиновой группы (ЭПГ) уральских месторождений было проанализировано в работах В.Г.Лазаренкова с соавторами (2002, 2006) и И.В.Таловиной с соавторами (2003, 2005). Сведения о содержаниях других групп элементов - примесей в рудах и околорудных породах месторождений в настоящее время либо отсутствуют, либо крайне незначительны.

В диссертационной работе автором используется классификационная схема описания химических элементов, адаптированная для решения задач геохимического исследования гипергенных месторождений (таблица 2).

В результате проведенных геохимических исследований было выявлено, что элементы группы железа, платиновой группы и редкоземельные элементы (ЭГЖ, ЭПГ, РЗЭ) проявляют тенденцию к последовательному накоплению при переходе от нижних к верхним частям гипергенного профиля с разной степенью накопления.

Элементы группы железа. Закономерности распределения ЭГЖ в гипергенном профиле уральских месторождений показаны на рисунке 6 на типичном примере Сахаринского месторождения. Для сравнения содержаний элементов-примесей, в том числе ЭГЖ, в никеленосных породах месторождений с содержаниями этих элементов в гарцбургитах первичных массивов, за неимением данных по последним, использовались данные по составу офиолитов Урала, приведенные в работе Г.Б. Ферштатера с соавторами (1998). На их основе были рассчитаны коэффициенты накопления (K_n), представленные в таблице 3 (K_n рассчитаны как отношение среднего содержания элемента в гипергенной породе к содержанию его в типичных образцах гарцбургитов Урала).

Данные рис. 6 и таблицы 3 показывают, что все проанализированные нами ЭГЖ (V, Cr, Mn, Co, Ni) накапливаются по всему профилю коры выветривания, особенно в верхних его частях, с разными, в основном низкими, не превышающими 20, коэффициентами накопления. Наиболее высокими K_n из всех рассмотренных ЭГЖ характеризуются никель и кобальт, несколько меньшими - марганец и хром и самыми низкими - ванадий (таблица 3). Таким образом, распределение ЭГЖ по зонам коры выветривания и от месторождения к месторождению носит дифференцированный характер. Максимальным обогащением ЭГЖ характеризуются нижние горизонты оксидно-железной зоны – кварцмагнетитовые породы «черного горизонта» Сахаринского и Буруктальского месторождений, а также гетит-шамозитовые породы Еловского месторождения; минимальные содержания ЭГЖ характерны для хризотилowych серпентинитов.

Элементы платиновой группы. Тенденция к накоплению платиновых металлов к верхним частям гипергенного профиля уральских месторождений показана на рисунке 7 на примере поведения платины, палладия и суммы ЭПГ в месторождениях с офиолитовым и зональным типом ультрамафитового субстрата. Резкий минимум содержаний в нонтронититах апоофиолитовых месторождений связан со спорадическим и слабым развитием нонтронитовой зоны в этих месторождениях.

Таблица 2. Классификационная схема описания химических элементов в гипергенных никелевых месторождениях

Химические элементы		Группа	Компоненты
Петрогенные элементы	Петрогенные элементы	Группа петрогенных элементов	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , FeO, MgO, MnO, Cr ₂ O ₃ , TiO ₂ , NiO, CoO, CaO, Na ₂ O, K ₂ O
	Летучие компоненты	Группа летучих компонентов	P ₂ O ₅ , CO ₂ , S
Элементы-примеси	Транзитные элементы	Элементы группы железа	V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni
		Группа транзитных элементов	Cu, Zn, Pb, Mo, Ga, W, Sn, Be, As, Sb
		Элементы платиновой группы	Pt, Pd, Rh, Os, Ir, Ru, а также Au и Ag
	Крупноионные литофилы	Группа крупноионных литофилов	Cs, Rb, Ba, Sr
	Высокозарядные элементы	Группа высокозарядных элементов	Sc, Y, Th, U, Pb, Zr, Hf, Ti, Nb, Ta
		Группа редкоземельных элементов	Легкие La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu Тяжелые Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu

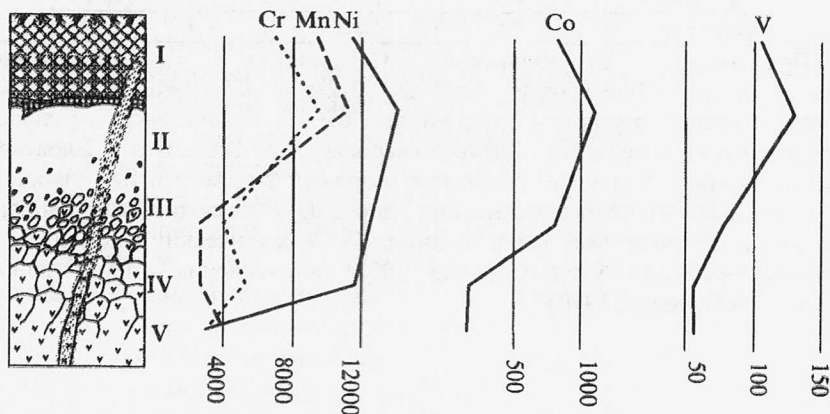


Рис. 6. Увеличение среднего содержания ЭГЖ (г/т) снизу вверх в гипергенном профиле Сахаринского месторождения. Усл обозн. см. рис. 2.

Таблица 3. Коэффициенты накопления элементов группы железа в никеленосных породах гипергенных никелевых месторождений

ЭГЖ	Месторождение	1	2	3	4	5	6	7
V	Буруктаьское	2,8	2,7	2,2	2,0	1,7	-	0,6
	Сахаринское	3,0	3,5	2,1	1,5	1,6	-	
	Уфалейское	3,2	-	-	3,9	3,5	1,4	
	Еловское	5,9	6,5	3,8	1,8	1,0	-	
Cr	Буруктаьское	2,8	4,1	3,1	1,3	0,6	-	0,7
	Сахаринское	3,5	4,8	2,1	2,7	1,4	-	
	Уфалейское	2,3	-	-	1,3	1,3	0,2	
	Еловское	5,4	4,2	1,5	2,6	2,4	-	
Mn	Буруктаьское	4,9	5,4	5,0	1,2	1,2	-	0,4
	Сахаринское	15,4	17,9	4,3	3,9	6,3	-	
	Уфалейское	5,6	-	-	8,1	5,8	1,5	
	Еловское	9,0	5,3	1,5	4,3	5,4	-	
Co	Буруктаьское	8,5	12,7	4,8	1,6	0,9	-	0,9
	Сахаринское	8,6	11,2	8,4	1,5	1,2	-	
	Уфалейское	3,1	-	-	6,2	3,3	0,7	
	Еловское	9,7	6,6	3,8	3,0	3,1	-	
Ni	Буруктаьское	5,3	5,5	5,7	5,4	1,6	-	0,9
	Сахаринское	5,6	6,9	6,4	5,4	1,5	-	
	Уфалейское	5,4	-	-	5,9	1,5	14,7	
	Еловское	5,0	6,2	5,2	6,5	3,2	-	

Примечание. Буруктаьское, Сахаринское и Уфалейское месторождения: 1-гетитовые породы; 2-кварц-магнетитовые породы; 3-нонтронитовые породы; 4-лизардитовые серпентиниты; 5-хризотилловые серпентиниты; 6-пекораит-хризотил-кварцевые метасоматиты. Еловское месторождение: 1-шамозит-гетитовые породы; 2-шамозитовые породы; 3-миллерит-бриндлейит-шамозитовые породы; 4-лизардитовые серпентиниты; 5-хризотилловые серпентиниты. 7-Кн химических элементов в гарцбургитах Урала (Ферштатер и др., 1998) по отношению к примитивной мантии (McDonough, 1990).

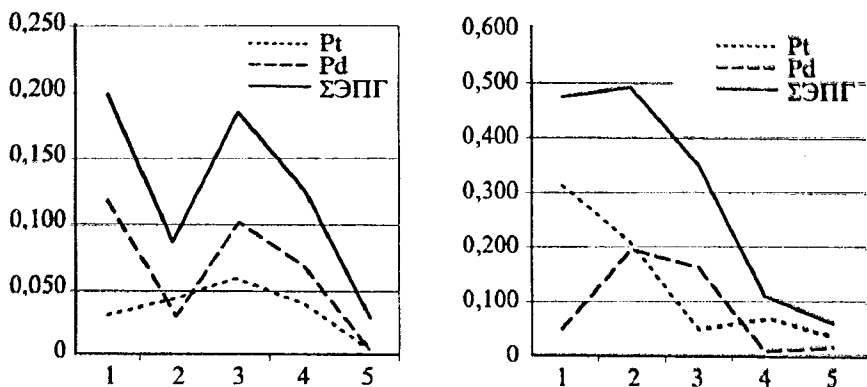


Рис. 7. Среднее содержание платины, палладия и суммы ЭПГ в никеленосных породах гипергенных месторождений с офиолитовым (слева) и зональным (справа) типом субстрата, г/т. 1 – гетитовые породы, 2 – нонтронитовые породы, 3 – лизардитовые серпентиниты, 4 – хризотилловые серпентиниты, 5 – гарцбургиты (для офиолитового) и дуниты (для зонального) субстрата месторождений (Лазаренков и др., 2001).

Коэффициенты накопления платиновых металлов и золота в гипергенных никелевых месторождениях, сформировавшихся по дунит-гарцбургитовому субстрату офиолитовых массивов, представлены в таблице 4, а в месторождениях, развитых по дунит-клинопироксенитовому субстрату зональных массивов, в таблице 5. Они рассчитаны как отношение среднего содержания химического элемента в гипергенной породе к среднему содержанию его в гарцбургитах офиолитовых и дунитах зональных массивов Урала (Лазаренков и др., 2001).

Таблица 4. Коэффициенты накопления платиновых металлов и золота в никеленосных гипергенных породах месторождений, сформировавшихся по дунит-гарцбургитовому субстрату офиолитовых массивов.

Тип горных пород	Pt	Pd	Rh	Os	Ir	Ru	ΣЭПГ	Au
Гетитовые	4,8	19,3	5,2	3,0	4,6	4,5	6,6	29,4
Нонтрониты	6,7	5,1	7,2	2,1	5,9	0,2	2,9	1,8
Лизардитовые	9,3	16,7	18,1	2,0	3,2	1,8	6,3	17,3
Хризотилловые	6,3	11,1	22,2	-	-	-	4,3	7,0

Таблица 5. Коэффициенты накопления платиновых металлов и золота в никеленосных гипергенных породах месторождений, сформировавшихся по дунит-клинопироксенитовому субстрату зональных массивов.

Тип горных пород	Pt	Pd	Rh	Os	Ru	Σ ЭПГ	Au
Гетитовые	8,1	2,9	3,5	8,9	38,9	7,7	53,8
Нонтронититы	5,3	10,7	5,0	10,9	21,6	7,9	30,8
Лизардитовые	1,3	8,9	10,1	30,8	22,4	5,7	30,8
Хризотилитовые	1,8	0,4	1,3	2,4	9,5	1,9	30,8

Из рис. 7, а также таблиц 4 и 5 следует, что платиновые металлы накапливаются в гипергенном профиле месторождений с низкими (1-10) и средними (10-39) коэффициентами накопления, а золото с Кн 10-54. Наиболее высокие содержания и Кн характерны для гетитовых пород и переходных к ним нонтронититов верхней части нонтронитовой зоны.

Редкоземельные элементы. Графики нормализованных к мантийному гарцбургиту содержаний РЗЭ в никеленосных горных породах Буруктальского и Еловского месторождений представлены на рисунке 8, а коэффициенты накопления в таблицах 6-8. Красным цветом в таблицах отмечены значения $Кн > 1000$, оранжевым – $Кн > 100$, коричневым – $Кн 10-100$, зеленым – $Кн 1-10$, серым – $Кн < 1$.

В таблицах 6 и 8 Кн редких земель рассчитаны относительно типичного уральского гарцбургита Хабарнинского массива (Ферштатер и др., 1998), а в таблице 7 – относительно примитивной мантии (McDonough, 1990). При сравнении данных таблиц 6 и 7 хорошо заметна разница в величинах Кн РЗЭ, полученных по данным двух авторов, при значительном превосходстве по величине Кн, рассчитанных по отношению к уральскому гарцбургиту. Эта разница объясняется, вероятно, низким содержанием РЗЭ в уральских офиолитах по сравнению со средним составом гранатовых лерцолитов (McDonough, 1990). Тем не менее, общая тенденция к накоплению редких земель к верхним горизонтам гипергенного профиля прослеживается и на графиках рисунка 8, и в таблицах 6-8 очень отчетливо. РЗЭ накапливаются при переходе от нижних к верхним зонам гипергенного профиля, во всех месторождениях, демонстрируя сходный характер распределения. Они характеризуются низкими содержаниями, но средними (Кн 10-100) и высокими (Кн 100-1000 и более) коэффициентами накопления в гипергенных никелевых месторождениях Урала.

таблица 6. Коэффициенты накопления редкоземельных элементов в ни-
 еленосных породах Буруктальского месторождения по отношению к
 ипичному гарцбургиту Урала (Ферштатер и др., 1998)

РЗЭ	1	2	3	4	5	6	7	8	9
La	2810,0	12100,0	5866,7	3720,0	1780,0	997,0	263,0	92,0	260,0
Ce	2123,3	966,7	893,3	1136,7	576,7	41,0	21,3	17,3	209,7
Pr	896,0	2980,0	1455,7	1040,0	347,0	326,0	53,0	15,0	56,0
Nd	1126,7	4000,0	1914,4	1280,0	463,3	410,0	71,7	18,7	89,0
Sm	906,0	2130,0	1069,3	801,0	277,0	329,0	35,0	8,1	47,0
Eu	199,0	478,0	233,7	172,0	51,0	85,0	6,7	1,3	16,0
Gd	378,5	1030,0	509,7	383,5	115,5	155,5	22,0	7,0	30,0
Tb	108,0	267,0	140,7	112,0	43,0	54,0	6,5	1,2	7,0
Dy	144,5	327,5	178,3	150,8	56,5	85,0	7,5	1,9	12,8
Ho	109,0	270,0	144,0	113,0	49,0	70,0	8,1	2,5	12,0
Er	73,0	165,3	90,9	74,0	33,5	43,8	4,0	2,2	7,5
Tm	45,0	85,0	50,0	42,0	23,0	22,0	2,8	1,4	3,8
Yb	39,0	66,3	39,9	33,4	20,0	20,1	1,7	1,1	3,7
Lu	44,0	69,0	41,3	34,0	21,0	22,0	2,3	0,9	4,3

римечание. 1-кварц-гётитовые, 2-асболан-гетитовые, 3-клинохлор-
 иттовые, 4-кварц-магнетитовые, 5-гальк-клинохлоровые, 6-нонтронитовые
 роды, 7-лизардитовые серпентиниты, 8-хризотилловые серпентиниты. 9-Кн
 имических элементов в гарцбургитах Урала (Ферштатер и др., 1998) по от-
 ношению к примитивной мантии (McDonough, 1990).

таблица 7. Коэффициенты накопления редкоземельных элементов в ни-
 еленосных породах Буруктальского месторождения по отношению к
 имитивной мантии (McDonough, 1990).

РЗЭ	1	2	3	4	5	6	7	8
La	10,8	46,5	22,6	14,3	6,8	3,8	1,0	0,4
Ce	10,1	4,6	4,3	5,4	2,8	0,2	0,1	0,1
Pr	16,0	53,2	26,0	18,6	6,2	5,8	0,9	0,3
Nd	12,7	44,9	21,5	14,4	5,2	4,6	0,8	0,2
Sm	19,3	45,3	22,8	17,0	5,9	7,0	0,7	0,2
Eu	12,4	29,9	14,6	10,8	3,2	5,3	0,4	0,1
Gd	12,6	34,3	17,0	12,8	3,9	5,2	0,7	0,2
Tb	15,4	38,1	20,1	16,0	6,1	7,7	0,9	0,2
Dy	11,3	25,7	14,0	11,8	4,4	6,7	0,6	0,1
Ho	9,1	22,5	12,0	9,4	4,1	5,8	0,7	0,2
Er	9,7	22,0	12,1	9,9	4,5	5,8	0,5	0,3
Tm	11,8	22,4	13,2	11,1	6,1	5,8	0,7	0,4
Yb	10,5	17,8	10,7	9,0	5,4	5,4	0,5	0,3
Lu	10,2	16,0	9,6	7,9	4,9	5,1	0,5	0,2

римечание. Усл. обозн. см. табл. 6.

Таблица 8. Коэффициенты накопления редкоземельных элементов в никеленосных породах Еловского месторождения

РЗЭ	1	2	3	4	5	6
La	1092,6	1618,5	496,0	306,2	182,2	260,0
Ce	321,5	538,5	117,6	149,8	39,2	209,7
Pr	359,7	542,8	132,0	65,4	46,0	56,0
Nd	571,1	861,7	191,2	95,2	68,4	89,0
Sm	415,0	624,0	124,7	61,1	38,9	47,0
Eu	124,2	188,8	39,7	20,3	12,8	16,0
Gd	196,1	291,7	70,5	32,3	19,9	30,0
Tb	65,4	96,9	24,3	11,3	6,6	7,0
Dy	99,2	154,0	41,8	18,2	9,9	12,8
Ho	87,6	140,3	41,7	18,1	9,1	12,0
Er	64,1	104,6	32,6	13,8	6,9	7,5
Tm	35,8	59,8	20,7	8,1	3,9	3,8
Yb	34,0	55,0	15,9	8,0	3,5	3,7
Lu	36,7	62,8	19,7	10,1	4,7	4,3

Примечание. 1-шамозит-гетитовые породы; 2-шамозитовые породы; 3-миллерит-бриндлейит-шамозитовые породы; 4-лизардитовые серпентиниты; 5-хризотилловые серпентиниты; 6- Кн химических элементов в гарцбургитах Урала (Ферштатер и др., 1998) по отношению к примитивной мантии (McDonough, 1990).

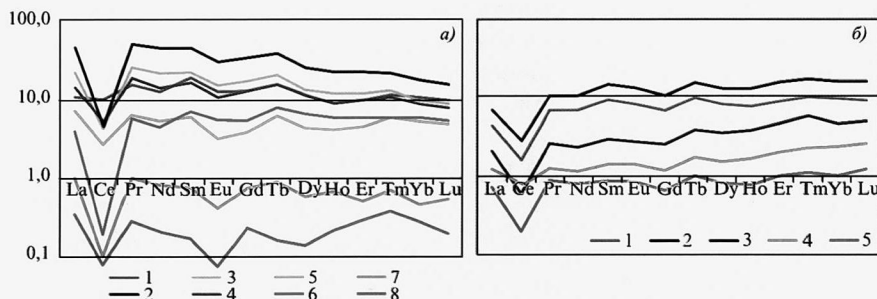


Рис. 8. График нормализованных к мантийному гарцбургиту содержания РЗЭ в гипергенных никеленосных породах Буруктальского (а) и Еловского (б) месторождений. Усл. обозн.: для Буруктальского месторождения см. табл. 6 и для Еловского табл. 8.

3. Присутствие в никеленосных породах гипергенных месторождений Урала элементов-примесей (As, Sb, Pb, Mo, W, Sn, а по отдельным месторождениям Cu, Zn, Be) с аномально высокими коэффициентами накопления 10-100 и более связано с контактово-метасоматическим воздействием гранитоидных магм на ультрамафитовый субстрат месторождений. Эта генетическая особенность отличает уральские месторождения от гипергенных никелевых месторождений, образованных по земной коре океанического типа.

Проведенными исследованиями в гипергенных никеленосных породах Урала обнаружена группа транзитных элементов (As, Sb, Pb, Mo, W, Sn, Cu, Zn, Be), обладающих в целом низкими содержаниями ($n \cdot 10^1 - n \cdot 10^{-1}$ г/т), но аномально высокими коэффициентами накопления (таблица 9). Кн этих элементов рассчитаны как отношение среднего содержания элемента в гипергенной породе к содержанию его в первичных ультрамафитах – наименее измененных гарцбургитах Буруктальского, Уфалейского и Кольского массивов и дунитах Сахаринского массива.

Перечисленные элементы относятся к группе некогерентных, они нетипичны для ультрамафитового субстрата уральских месторождений (Ферштатер и др., 1998; McDonough, 1990) и их появление в составе гипергенных пород требует своего объяснения.

Приведенный набор элементов соответствует в геохимическом отношении комплексам гранитоидных формаций Урала, металлогеническая эволюция которых (Геология и..., 2011) происходила в направлении от островодужных и окраинно-континентальных гранитоидов D-C₁ возраста с Cu, Zn, Pb, As, Sb, Au, Ag, Ti, V специализацией к орогенно-коллизийным гранитоидам C₃-P₁ возраста с Au, W, Mo, Be специализацией и далее к наиболее поздним редкометальным гранитам повышенной щелочности и калиевости, характерным для P₂-T₁ этапа тектоно-магматической активизации Урала (W, Mo, Sn, Be, Nb, Ta, U, Th, F, PЗЭ).

Внедрение этих комплексов сопровождалось многочисленными инъекциями габбро-диорит-гранитоидных магм во вмещающие горные породы, в том числе в дуниты и гарцбургиты массивов, первичных для никеленосных кор выветривания (Воронцова, Таловина, 2009). Дайки и жилы оказывали свое влияние на ультрамафиты с образованием контактово-метасоматических зон и оторочек хлоритовых, тальковых, тальк-карбонатных, тремолит-актинолитовых, серпентинитовых метасоматитов – приразломных, околотрещинных и приконтактовых. В результате

довольно однородный дунит-гарцбургитовый субстрат месторождений претерпевал существенные изменения вещественного состава и становился гетерогенным метасоматит-ультрамафитовым. В процессе флюидно-контактового воздействия из гранитоидов и их жильных дериватов в ультрамафитовый субстрат привносились транзитные элементы Cu, Zn, Pb, Mo, Ga, W, Sn, Be, As и Sb. Они особенно характерны для минеральных разновидностей никеленосных горных пород, образованных по гидротермально-метасоматическим образованиям: клинохлор- и асболоан-гетитовым, тальк-клинохлоровым породам, клинохлор-тальк-непуитовым и другим разновидностям серпентинитов.

Таблица 9. Коэффициенты накопления транзитных элементов в никеленосных породах уральских гипергенных никелевых месторождений

ТЭ	Месторождение	1	2	3	4	5	6	7
As	Буруктальское	41,9	70,3	60,0	9,0	24,0		3,4
	Еловское	19,0	20,4	13,9	23,8	17,7		1,3
Sb	Буруктальское	81,1	80,8	123,0	12,2	9,2		9,5
	Еловское	14,4	9,2	10,4	26,0	9,6		6,4
Cu	Буруктальское	6,4	3,1	3,6	1,3	1,1		0,6
	Сахаринское	1,7	2,2	1,7	1,6	1,3		2,9
	Уфалейское	2,9	-	-	5,6	1,2	4,9	1,5
	Еловское	27,4	14,3	14,1	2,5	1,3		0,5
Zn	Буруктальское	2,4	3,0	2,7	0,8	1,4		1,3
	Сахаринское	4,0	6,6	11,9	1,3	1,2		1,2
	Уфалейское	2,3	0,9	-	1,5	1,2	1,1	1,0
	Еловское	3,5	3,1	2,9	5,2	1,6		1,5
Pb	Буруктальское	55,1	7,8	62,8	12,7	97,5		2,0
	Еловское	34,1	28,3	17,0	4,6	1,1		2,6
Mo	Буруктальское	14,8	10,4	14,6	13,9	36,6		1,4
	Еловское	24,1	16,0	12,2	52,1	35,3		1,4
Ga	Буруктальское	6,1	4,8	3,0	1,7	1,0		0,4
	Сахаринское	1,0	1,1	1,3	2,5	1,6		0,9
	Уфалейское	2,0	-	-	2,9	1,2	2,0	1,4
	Еловское	2,4	4,3	4,9	2,5	1,1		0,9
W	Буруктальское	297,1	308,6	288,6	108,6	102,9		0,5
	Еловское	181,3	143,8	93,8	168,8	93,8		0,4
Sn	Буруктальское	122,8	120,8	115,8	112,5	114,8		0,7
	Еловское	10,6	17,8	35,6	11,7	10,0		0,3
Be	Буруктальское	1,9	3,5	1,9	1,1	1,2		3,9
	Еловское	2,3	3,1	4,5	0,4	0,8		1,7

Примечание. Усл. обозн. см. табл. 3.

Процессы метасоматоза в субстрате ультрамафитов, протекавшие под влиянием «гранитизации», оказывали воздействие на перераспределение в нем никеля, кобальта и других когерентных элементов, вызывая вынос их из одних участков субстрата и привнос в другие, повышая их рудоносность. В результате, образовавшиеся контактовые метасоматиты аккумулировали как выщелоченные при метасоматозе местные (ЭГЖ и другие когерентные элементы, в т.ч. Ni и Co), так и элементы, привнесенные гидротермальными растворами, формируя геохимические аномалии различных элементов. Примечательно, что именно к подобным участкам рудных залежей приурочены повышенные концентрации никеля.

Следует отметить, что девон-каменноугольный процесс «гранитизации» ультрамафитовых массивов Урала существенно отличал их «догипергенную» предисторию от истории развития ультраосновных массивов, к примеру, Новой Каледонии, а также других островных стран современного тропического пояса Земли, где в рамках океанической коры гранитный магматизм проявлен слабо, либо отсутствует, а сами массивы значительно более молодые, чем уральские.

Таким образом, группа некогерентных ультрамафитам транзитных элементов характерна для металлогении девон-каменноугольных гранитоидных комплексов Урала, а ее образование связано с контактово-метасоматическим воздействием гранитоидных магм на ультрамафитовый субстрат месторождений, что свидетельствует о существенном влиянии гидротермального фактора на процесс подготовки субстрата и, в конечном итоге, на формирование и рудоносность месторождений.

4. В ходе гипергенного процесса рутений-осмий-иридиевая специализация офиолитовых массивов и платиновая специализация зональных массивов Урала меняется на платино-палладиевую специализацию в никеленосных гипергенных породах с увеличением содержания ЭПГ до $n \cdot 10^{-1}$ - $n \cdot 10^{-2}$ г/т. Минералогическими признаками благородных металлов являются впервые выделенные в никеленосных породах гипергенных месторождений минеральные фазы самородной платины и палладия, в том числе медистого, висмутотеллуридов платины и палладия, самородного высокопробного золота, золото-серебряных соединений и йодистого серебра.

Элементы платиновой группы Ru, Rh, Pd, Os, Ir и Pt являются типичными когерентными элементами ультраосновных пород и обладают в них наиболее высокими кларками концентрации.

Подавляющее большинство гипергенных никелевых месторождений Урала сформировались на крупных дунит-гарцбургитовых массивах Офиолитового пояса Урала (Серовское, Уфалейское, Кемпирсайское, Буруктаьское, Аккермановское, Айдырлинские и ряд других), из зарубежных месторождений это месторождения Новой Каледонии, Кубы, Индонезии, Бразилии и других стран. Нами был проведен анализ средних содержаний ЭПГ в ультрамафитах Буруктаьского, Уфалейского, Восточно-Тагильского и других корообразующих офиолитовых массивов (Lazarenkov, Talovina, 2001), который показал, что они были низкими и близкими к среднему уровню содержания их в количественно преобладающих гарцбургитах (Σ ЭПГ=33,5 мг/т), а в хромититах – высокими (439,0 мг/т), при характере распределения (Os+Ir+Ru) >> (Pt+Pd+Rh). В целом, для массивов этого формационного типа характерна рутений-иридий-осмиевая платинометальная специализация (Lazarenkov, Talovina, 2001; Золоев и др., 2001).

Круг гипергенных никелевых месторождений, образовавшихся на дунитах и клинопироксенитах зональных массивов уральско-аляскинского типа, весьма ограничен. Тем не менее, и на массивах этого формационного типа известны никельсодержащие латеритные коры, эксплуатирующиеся на никель и кобальт (Сахаринское месторождение, Урал), железо и кобальт (Елизаветинское месторождение, Урал), а также платину (Юбдо, Эфиопия; Файфилд, Австралия). Коренные породы зональных массивов отличаются хорошо выраженной платиновой геохимической специализацией при низком и убывающем содержании других ЭПГ в ряду Pt >> (Ru > Os > Pd > Ir > Au). (Золоев и др., 2001; Лазаренков и др., 2006).

Общий анализ полученных данных по геохимии ЭПГ в гипергенных никелевых месторождениях Урала позволяет сделать следующие выводы.

1. Средние содержания ЭПГ в гипергенных никеленосных породах уральских месторождений составляют $n \cdot 10^{-1}$ - $n \cdot 10^{-2}$ г/т (рис. 7) и зависят от нескольких факторов, главным из которых является формационный. Месторождения, образовавшихся по ультрамафитам зональных массивов, содержат ЭПГ в среднем в количестве 0,1-0,6 г/т, что несколько выше, чем в их аналогах, сформировавшихся по породам офиолитовых массивов (0,06-0,4 г/т). Причина этого явления кроется, в том числе, в первично более высоких содержаниях платиновых металлов в ультрамафитах зональных массивов по сравнению с офиолитовыми.

2. Сумма средних содержаний Pt+Pd в гипергенных никелевых месторождениях преобладает над суммой средних содержаний редких платиноидов Ru+Os+Ir, т.е. гипергенные породы имеют ярко выраженную платино-палладиевую специализацию (при количественно доминирующем палладию), что резко отличается от рутений-осмий-иридиевой специализации офиолитовых массивов и платиновой специализации зональных массивов Урала. Это свидетельствует о перераспределении и миграции платиновых металлов в гипергенном профиле месторождений с преимущественным накоплением палладия по отношению к другим элементам платиновой группы.

3. Средние содержания ЭПГ в окисдно-железной и нонtronитовой зонах разных месторождений (0,06-0,6 г/т) выше их средних содержаний в гипергенных серпентинитах (0,08-0,4 г/т).

Изменение платинометальной (Ru+Os+Ir и Pt) специализации ультрамафитов в процессе гипергенеза и резкое ее отличие от платинометальной специализации никеленосных гипергенных пород (Pt-Pd) подтверждается также сменой минеральных ассоциаций МПГ в никеленосных породах по сравнению с первичными ультрамафитами.

В месторождениях Уральской гипергенной никелевой провинции нами впервые были обнаружены и описаны минералы платиновой группы (Лазаренков, Таловина, 2001), представленные самородной платиной Pt₁₀₀, палладистой платиной Pd_{33.7}Pt_{63.0} и самородным палладием Cu_{1.2}Pd_{98.6}, т.е. членами ряда Pt-Pd с примесью Bi, Sb и Sn. Тонкодисперсная самородная платина в виде новообразований округлой неправильной формы обнаружена, главным образом, в окисдно-железной зоне месторождений, ее важной особенностью является довольно чистый платиновый состав и мелкий размер зерен (от долей до 120 мкм). Минералы палладия присутствуют в достаточно большом количестве в виде мелких зерен размером 3-5 мкм, обладающих коллоидным строением.

Золото в уральских гипергенных никелевых месторождениях присутствует в виде микрофаз самородного золота размером 5-15 мкм, реже крупнее – 21-160 мкм. Их состав соответствует высокопробному золоту Au_{94.83}Ag_{4.87}Cu_{0.62} с примесями серебра (2,94-9,4 %) и реже небольшого количества меди, никеля, кобальта. В рудах Буруктальского месторождения обнаружены специфические фазы йодистого серебра с примесью серы, железа, кремния и алюминия.

Таким образом, минералы платиновой группы в никеленосных гипергенных горных породах, образовавшихся по ультрамафитам как

офиолитовых, так и зональных массивов Урала представлены, в основном, самородными соединениями – платиной и палладием, что отражает платинометальную геохимическую специализацию гипергенных месторождений (Pt-Pd).

Заключение

В настоящей работе впервые для гипергенных никелевых месторождений проведен всесторонний анализ закономерностей распределения комплекса химических элементов: петрогенных, а также широкого круга элементов-примесей, в том числе элементов платиновой группы и редкоземельных элементов. Анализ проведен на основе разработанной автором минералого-геохимической классификации никеленосных гипергенных пород уральских месторождений и показал, что они содержат благородные металлы в количестве $n \cdot 10^1 - n \cdot 10^{-2}$ г/т и являются новым нетрадиционным источником платино-палладиевого сырья, золота и серебра. В целом никеленосные породы демонстрируют высокую способность к накоплению многих элементов-примесей с большими величинами коэффициентов накопления. Тем не менее, гипергенные никелевые руды Урала относятся к категории бедных, и поэтому важной является проблема их комплексной переработки с одновременным извлечением, кроме никеля, также кобальта, железа, платиновых металлов, золота и серебра. Появление современных технологий делает актуальным вопрос и о подсчете ресурсов элементов платиновой группы, золота и серебра в рудах гипергенных месторождений.

Список основных публикаций по теме диссертации Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК

Минобрнауки России:

1. Мезенцева О.П., Таловина И.В. Величина $\delta^{34}\text{S}$ в миллерите и генезис шамозитовых никелевых руд Еловского месторождения, Северный Урал // Записки Горного института. 2011. Т. 189. С. 58-61.
2. Пилюгин А.Г., Таловина И.В., Воронцова Н.И., Рыжкова С.О., Мезенцева О.П. Характер распределения редкоземельных элементов в рудах Еловского и Буруктальского гипергенных никелевых месторождений // Записки Горного института. 2011. Т. 196. С. 31-35.
3. Мезенцева О.П., Таловина И.В. Распределение групп элементов-примесей по типам метасоматитов и руд на Еловском никелевом месторождении. // Записки Горного института. 2011. Т. 189. С. 54-57.
4. Мезенцева О.П., Таловина И.В., Лазаренков В.Г., Воронцова Н.И. Ряд подвижности-инертности химических элементов при формировании

- богатых лизардит-непуитовых руд Еловского гипергенного никелевого месторождения (Северный Урал) // Записки Горного института. 2011. Т. 184. С. 91-95.
5. *Таловина И.В., Лазаренков В.Г., Воронцова Н.И., Рыжкова С.О., Мезенцева О.П. и др.* Геохимические барьеры в никелевых корах выветривания на примере Буруктальского месторождения, Южный Урал // Записки Горного института. 2011. Т. 184. С. 112-119.
 6. *Таловина И.В., Лазаренков В.Г., Кетре У., Рыжкова С.О., Уголков В.Л. и др.* Никелевые хлориты оксидно-силикатных никелевых месторождений Урала // Литология и полезные ископаемые. 2011. №3. С. 324-334.
 7. *Таловина И.В., Лазаренков В.Г., Кемпе У., Воронцова Н.И., Мезенцева О.П. и др.* Никелевые серпентины серии лизардит-непуит и карнопилит в гипергенных никелевых месторождениях Урала // Записки РМО. 2010. №4. С. 83-99.
 8. *Рыжкова С. О., Лазаренков В.Г., Таловина И.В.* Асболан Буруктальского гипергенного никелевого месторождения (Южный Урал) // Известия Вузов. / Геология и разведка. 2010. № 3. С. 75-78.
 9. *Рыжкова С.О., Таловина И.В., Лазаренков, Уголков В.Л., Воронцова Н.И.* Никеленосные оксиды железа Буруктальского месторождения, Южный Урал // Записки Горного института. 2009. Т. 183. С. 101-111.
 10. *Воронцова Н.И., Таловина И.В., Лазаренков В.Г., Рыжкова С.О., Мезенцева О.П.* Перспективы никелевой промышленности Урала в свете изучения структур рудных полей гипергенных никелевых месторождений // Записки Горного института. 2009. Т. 183. С. 78-87.
 11. *Таловина И.В., Лазаренков В.Г., Рыжкова С.О., Уголков В.Л., Воронцова Н.И.* / Гарниерит гипергенных никелевых месторождений Урала // Литология и полезные ископаемые. 2008. № 6. С. 650-658.
 12. *Лазаренков В.Г., Тихомиров И.Н., Жидков А.Я., Таловина И.В.* Платиновые металлы и золото в гипергенных никелевых рудах месторождений Моа и Никаро // Литология и полезные ископаемые. 2005. № 6. С. 600-608.
 13. *Таловина И.В., Лазаренков В.Г., Воронцова Н.И.* Платиноиды и золото в оксидно-силикатных никелевых рудах Уфалейского и Буруктальского месторождений, Урал // Литология и полезные ископаемые. 2003. № 3. С. 321-334.
 14. *Таловина И.В., Лазаренков В.Г.* Распределение и генезис платиноидов в никелевых рудах Сахаринского и Елизаветинского место-

- рождений, Урал // Литология и полезные ископаемые. 2001. № 2. С. 134-141.
15. *Lazarenkov V.G., Talovina I.V.* Concentrations of Platinum-Group Elements in Chromitites // *Geochemistry International*. 2001. Vol. 39. Suppl. 2. P. 5194-5202.
16. *Таловина И.В., Лазаренков В.Г.* Распределение и генезис платиноидов в никелевых рудах Сахаринского и Елизаветинского месторождений, Урал // Литология и полезные ископаемые. 2001. № 2. С. 116-123.

Монографии:

17. *Таловина И.В.* Геохимия уральских оксидно-силикатных никелевых месторождений. СПб.: Изд-во Национального минерально-сырьевого университета «Горный», 2012. 270 с.
18. *Лазаренков В.Г., Таловина И.В., Белоглазов И.Н., Володин В.И.* Платиновые металлы в гипергенных никелевых месторождениях и перспективы их промышленного извлечения. СПб.: Недра, 2006. 188 с.
19. *Лазаренков В.Г., Петров С.В., Таловина И.В.* Месторождения платиновых металлов. СПб.: «Недра», 2002. 298 с.
20. *Лазаренков В.Г., Таловина И.В.* Геохимия элементов платиновой группы. СПб.: Изд-во «Галарт», 2001. 266 с.

Статьи и материалы конференций:

21. *Воронцова Н.И., Тихомирова М., Таловина И.В.* Первые данные об изотопном отношении $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в породах никеленосной коры выветривания группы Уфалейских месторождений, Урал // *Металлогения древних и современных океанов - 2012*. Гидротермальные поля и руды. Миасс: ИМин УрО РАН, 2012. С. 128-131.
22. *Лазаренков В.Г., Таловина В.Г., Воронцова Н.И.* Платиноиды, золото и серебро в гипергенных никелевых месторождениях / Платина России. Красноярск. 2011. Т. 7. С. 379-394.
23. *Таловина И.В., Лазаренков В.Г., Kempe U., Tichomirowa M.* Величина $\delta^{34}\text{S}$ в миллерите и генезис шамозитовых никелевых руд Еловского месторождения, Северный Урал // *Сб. научного семинара стипендиатов программ Германской службы академических обменов DAAD «Михаил Ломоносов II»*. М. 2011. С. 180-183.
24. *Vorontsova N.I., Talovina I.V., Lazarenkov V.G., Pilugin A.G.* Content and distribution of rare earth elements in nickel deposits in Urals. Freiberg – St. Petersburg interdisziplinäres Kolloquium junger Wissen-

- schafthler. Technische Universität Bergakademie Freiberg, 2011. P. 35-39.
25. Лазаренков В.Г., Таловина В.Г., Воронцова Н.И., Рыжкова С.О., Мезенцева О.П. и др. Роль геохимических, минералогических и сорбционных барьеров в локализации ЭПГ, золота и серебра в Буруктальском гипергенном никелевом месторождении, Южный Урал // Материалы XIV Международного совещания «Россыпи и месторождения кор выветривания». Новосибирск. Изд-во «Дельфин», 2010. С. 365-367.
26. Рыжкова С.О., Таловина И.В., Лазаренков В.Г. Никелевые хлориты Буруктальского месторождения, Южный Урал // Горный журнал. 2010. № 4, С. 12-15.
27. Рыжкова С.О., Лазаренков В.Г., Таловина И.В., Воронцова Н.И., Мезенцева О.П., Пилюгин А.Г. Отрицательная цериевая и европиевая аномалии в гипергенных метасоматитах и рудах Буруктальского никелевого месторождения, Южный Урал // Материалы XI Съезда РМО «Современная минералогия: от теории к практике». СПб, 2010. С.117-119.
28. Talovina I.V., Lazarenkov V.G., Vorontsova N.I. Chemistry and properties of serpentines in lizardite-nepouite series in supergene nickel deposits, Urals // Challenges and Solutions in Mineral Industry. Freiburger Forschungsforum. 60. Berg- und Hüttenmännischen Tag. Technische Universität Bergakademie Freiberg, 2009. P. 45-49.
29. Таловина И.В., Лазаренков В.Г., Рыжкова С.О., Уголков В.Л., Воронцова Н.И. Перспективы ресурсной базы никелевой промышленности Урала // Горный журнал. 2008. № 11. С. 23-28.
30. Talovina I.V., Lazarenkov V.G., Ugolkov V.L. Modern experimental study of supergene and hydrothermal part of polyphase «garnierite» considering increasing of nickel reserves in the Uralian supergene province // New developments in Geoscience, Geoengineering, Metallurgy and Mining Economics. Technische Universität Bergakademie Freiberg. 2007. P 6-9.
31. Таловина И.В., Лазаренков В.Г., Уголков В.Л. Современная минералогия оксидно-силикатных никелевых руд и ее влияние на технологию эксплуатации гипергенных месторождений. // Труды I Всероссийского симпозиума «Минералогия и геохимия ландшафта горно-рудных территорий» и VII Всероссийских чтений памяти акад. А.Е.Ферсмана «Современное минералообразование». Дополнительный выпуск. Чита. 2006. 23 с.

32. Лазаренков В.Г., Таловина И.В., Рыжкова С.О. Формационный анализ платинометальных минерализаций офиолитовых, зональных и расслоенных массивов // Материалы междунаучной конференции (XII Чтения памяти А.Н. Заварицкого) «Офиолиты: геология, петрология, металлогения и геодинамика». Екатеринбург. Институт геологии и геохимии УрО РАН. 2006. Стр. 274-276.
33. Лазаренков В.Г., Грейвер Т.Н., Таловина И.В. Роль современных технологий в оценке ресурсов платиновых металлов в гипергенных кобальт-никелевых рудах Урала // Платина России. Т. 5 М.: Геоинформцентр, 2004. С. 43-49.
34. Лазаренков В.Г., Таловина И.В. О влиянии формационной принадлежности ультрамафитов на платинометальную специализацию никелевых руд кор выветривания Урала // Тезисы семинара «Платина в геологических формациях Сибири». Красноярск. 2001. С. 162.
35. Lazarenkov V.G., Vorontsova N.I., Talovina I.V. Geological model of serpentinization processes. Their role in Re-Distribution of Platinum-Group Elements in Ultramafites // Capricious Earth: Models and Modeling of geologic processes and objects. Athens-St.Petersburg: Theophrastus Publication, 2000. P. 22-29.
36. Лазаренков В.Г. Таловина И.В. Причины неоднородности распределения элементов платиновой группы в кобальт-никелевых рудах кор выветривания Урала // Тез. сов. «Рудоносные коры выветривания». М. 2000. Стр. 112-113.
37. Таловина И.В., Лазаренков В.Г., Воронцова Н.И. Никелевые коры выветривания – новый высокоперспективный тип платиносодержащего сырья (на примере никелевых руд Сахаринского и Елизаветинского месторождений, Урал) // Платина России. 1999. Т. III. Кн. 2. Стр. 313-318.

РИЦ Горного университета. 08.10.2012. З.702 Т.100 экз.
199:06 Санкт-Петербург, 21-я линия, д.2