



**AN INTERREG-TACIS PROJECT:
STRATEGIC MINERAL RESOURCES OF LAPLAND
- BASE FOR THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT
OF THE NORTH**

Project publication, volume I

**ПРОЕКТ ИНТЕРРЕГ-ТАСИС:
СТРАТЕГИЧЕСКИЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ
РЕСУРСЫ ЛАПЛАНДИИ – ОСНОВА
УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ СЕВЕРА**

Сборник материалов проекта, выпуск I

Edited by Felix Mitrofanov, Markku Iljina & Dmitry Zhirov

Редакторы сборника: Феликс П. Митрофанов, Маркку Ильина
и Дмитрий В. Жиров

Apatity, 2008

Апатиты, 2008

UDC 553.491.8(470.21)

An Interreg-Tacis Project: Strategic Mineral Resources of Lapland - Base for the Sustainable Development of the North. / Project publication, volume I. – Apatity: KSC RAS. 2008. – 105 p.

The volume presents records of the International conference "International cooperation and experience exchange in the field of geological research and PGE deposit exploration in the north Fennoscandia" organized within the framework of the International Collaboration Project of KOLARCTIC INTERREG III A North - TACIS N KA-0197 entitled as "Strategic mineral resources as a basis of sustainable development of the North" (Russia – Finland – Sweden). The issues of geological exploration, prospecting and development of PGE deposits in trans-border regions of the northern Fennoscandian Shield are discussed. First geological and economical records of new resource areas discovered on the Kola Peninsula are published in the volume. A special emphasis has been put on the aspects of merging resources, experience, knowledge and technological (laboratory) capabilities of leading research, academic and industrial institutions of Lapland (Finland, Sweden, and Russia), as well as on the training of highly qualified staff through attracting young researchers and students to the investigation within the framework of the international project.

The proceedings of the volume are of interest for geologists of different expertise, mining engineers, economists and students of earth sciences.

The volume is prepared and published under the support of KOLARCTIC INTERREG III A North – TACIS N KA-0197 grant «Strategic mineral resources as a basis of sustainable development of the North» (EU), grant N 04-11/78-2 of by-financing of international cooperation provided by the Government of Murmansk region, and scientific school headed by the academician RAS Felix Mitrofanov, SC N 1413.2006.5.

Edited by Felix Mitrofanov¹, Markku Iljina² & Dmitry Zhironov¹.

Papers and graphics are translated from English into Russian and vice versa by Alexandra Rybnikova¹.

¹ Geological Institute of KSC RAS, Apatity

² Geological Survey of Finland (GTK), North Office, Rovaniemi

УДК 553.491.8(470.21)

Интеррег-Тасис проект: Стратегические минеральные ресурсы лапландии – основа устойчивого развития Севера. / Сборник материалов проекта, выпуск I. / Коллектив авторов. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. 2008. – 105 p.

В сборнике представлены материалы Международной конференции "Международное сотрудничество и обмен опытом в геологическом изучении и разведке платиноометалльных месторождений северной части Фенноскандинавии", организованного в рамках проекта международного сотрудничества KOLARCTIC ИНТЕРРЕГ III A North - ТАСИС № КА-0197 «Стратегические минеральные ресурсы – основа устойчивого развития Севера» (Россия – Финляндия – Швеция). Обсуждаются проблемы геологических поисков, разведки и освоения месторождений металлов платиновой группы (МПГ) в трансграничных районах северной части Фенноскандинавского щита. Впервые опубликованы геологические и экономические материалы по новым сырьевым объектам Кольского региона. Особое внимание уделено аспектам интеграции ресурсов, опыта, знания и технологических (лабораторных) возможностей ведущих научных, образовательных и производственных геологических организаций Лапландии (Финляндии, Швеции и России), а также подготовке высококвалифицированных кадров за счет привлечения молодых специалистов и студентов к выполнению работ в рамках международного проекта.

Материалы сборника будут полезны для широкого круга геологов, горняков, экономистов и студентов геологических специальностей.

Сборник подготовлен и издан при поддержке гранта KOLARCTIC ИНТЕРРЕГ III A North - ТАСИС № КА-0197 «Стратегические минеральные ресурсы – основа устойчивого развития Севера» (ЕЭС), гранта № 04-11/78-2 софинансирования международного сотрудничества, предоставленного Правительством Мурманской области, и научной школы академика РАН Ф.П.Митрофанова № НШ-1413.2006.5.

Редакторы сборника: Феликс П. Митрофанов¹, Маркку Ильина и Дмитрий В. Жиров¹

Перевод статей и графики с английского на русский и/или с русского на английский осуществлен Александрой С. Рыбниковой¹

¹ Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты

² Геологическая Служба Финляндии, Северный офис, Рованиеми

© Authors, 2008

© Авторы, 2008



INTERREG IIIA NORTH

INTERNATIONAL PROJECT KOLARCTIC INTERREG III A NORTH - TACIS ENTITLED AS THE STRATEGIC MINERAL RESOURCES OF LAPLAND – BASE FOR THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE NORTH

The project belongs to the Interreg Kolarctic Neighbourhood and Tacis Programmes.

Международный проект KOLARCTIC INTERREG III A North - TACIS

"СТРАТЕГИЧЕСКИЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ – ОСНОВА УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ СЕВЕРА"

Проект осуществляется в рамках программ добрососедства Интеррег Коларктик и Тасис.

The project partners include:

- Geological Survey of Finland, the lead partner;
- Geological Institute of Kola Science Centre of Russian Academy of Science, Russia;
- University of Oulu, Finland;
- Luleå Technical University, Sweden.
- Joint Stock Company "PANA", Russia;
- Geovista AB, Sweden;
- Murmansk State Technical University, Apatity Branch, Russia.

Партнерами проекта являются:

- Геологическая Служба Финляндии, головной/ведущий партнер проекта;
- Геологический институт Кольского научного центра РАН, Россия, основной российский партнер;
- Университет Оулу, Финляндия;
- Технический университет Лулио, Швеция.
- ОАО "Пана", Россия;
- АО "Геовиста", Швеция.
- Апатитский филиал МГТУ, Россия.

Key persons of project:

- Markku Iljina Ph.D., project leader;
- Prof. Felix Mitrofanov, academician, Scientific adviser, Russian leader;
- Dmitry Zhiron, Russian coordinator;
- Tamara Bayanova DSc., chief isotope geologist;
- Alexei Korchagin Ph.D., mineral resources geologist;
- Profs Tuomo Alapieti † / Eero Hanski, University of Oulu representatives;
- Prof. Lennart Widenfalk, Swedish coordinator;
- Alexandra Rybnikova, translator & interpreter.

Ключевые персоны проекта:

- Маркку Ильина, д.н., руководитель проекта;
- Проф. Феликс Митрофанов, академик РАН, научный руководитель российских партнеров;
- Дмитрий Жиров, российский координатор;
- Тамара Баянова, д.г.-м.н., зав. лаборатории изотопной геохронологии;
- Алексей Корчагин, к.г.-м.н., зав. лаборатории платинометалльного рудогенеза;
- Проф. Туомо Алапиети † / Еуро Хански, представители Университета г. Оулу;
- Проф. Леннарт Виденфолк, шведский координатор;
- Александра Рыбникова, переводчик

† Tuomo Alapieti passed away on August 6th, 2007

† Туомо Алапиети скончался 6^{-го} августа 2007 г.

CONTENTS / ОГЛАВЛЕНИЕ:

NAME / НАЗВАНИЕ	Page Стр.
Mr. Markku Iljina, Ph.D., Senior geologist, Dsc., GTK (Geological Survey of Finland), Project Manager Маркку Ильина, доктор наук, старший геолог, Геологическая Служба Финляндии, Менеджер Проекта	
<i>"The Project of the neighbourhood Programm Kolarctic/Interreg III A "Strategic mineral resources of Lapland – base for the sustainable development of the North". The PGE prospecting and survey in Lapland (Northern Finland)"</i>	7
<i>"Проект международного сотрудничества "Стратегические минеральные ресурсы – основа устойчивого развития Севера". Роль платинометалльного направления в геологических исследованиях Лапландии (Северная Финляндия)"</i>	7
Mr. Felix Mitrofanov, academician of RAS, Dsc., professor, Scientific adviser of Project (Russian team) Феликс П. Митрофанов, академик РАН, д.г.-м.н., проф., Советник РАН, Научный руководитель российской группы Проекта	
<i>"The correlation of the composition and ore-forming stages in the Early Proterozoic mafic-ultramafic layered intrusions of Finland and Kola Peninsula (Russia)"</i>	13
<i>"Корреляция состава и рудообразующих этапов в Раннепротерозойских базит-гипербазитовых расслоенных интрузий Финляндии и Кольского Полуострова (Россия)"</i>	13
Mr. Dmitry Zhiron, Chief of innovation department of GI KSC RAS, Coordinator of Russian team of Project Дмитрий В. Жиров, начальник отдела инноваций Геологического института КНЦ РАН, российский координатор Проекта	
<i>"Production & market of PGE: status and trends"</i>	18
<i>"Производство и рынок МПГ: состояние и перспективы"</i>	18
Mrs. Tamara Bayanova, Dsc., Branch manager of GI KSC RAS, Mr. Felix Mitrofanov academician of RAS, Dsc., professor Тамара Б. Баянова, д.г.-м.н., зав. лаб. Геологического института КНЦ РАН Феликс П. Митрофанов, академик РАН, д.г.-м.н., проф., Советник РАН	
<i>"Geochronology of the PGE-bearing intrusions located in the N-E part of the Baltic Shield"</i>	31
<i>"Геохронология платинометалльных интрузий северо-восточной части Балтийского щита"</i>	31
Mr. Alexey Korchagin, Dsc., Executive Director of JSC "Pana", Mr. Felix Mitrofanov, academician of RAS, Dsc., professor, Scientific adviser of Project (Russian team) Алексей У. Корчагин, к.г.-м.н., директор ОАО "Пана", Феликс П. Митрофанов, академик РАН, д.г.-м.н., проф., консультант РАН, Научный руководитель российской группы Проекта	
<i>"Deposites of PGE of the Western part of Fodorovo-Pana Tundra (Fedorovo and Malaya Pana): status and development prospects"</i>	43

NAME / НАЗВАНИЕ	Page Стр.
"Месторождения МПГ западной части Федорово-Панских тундр (Федорово и Малая Пана): состояние и перспективы освоения"	43
Mr. Mark Ward, Executive Director, Mr. Arkady Kalinin, Dsc., Chief geology department, Mr. Douglas McLaughlin, Project manager Mr. Oleg V. Kazanov, MSc., Project geologist Mr. Vladimir Voytekhovich, Senior geologist, - " Kola mining-geological company Ltd."	
Марк Уорд, генеральный директор, Аркадий А. Калинин, к.г.-м.н., главный геолог, Даглас Маклухлин, менеджер проекта Олег В. Казанов, геолог, Владимир Войтехович, ведущий геолог, - ООО "Кольская горно-геологическая компания"	
"Kola Mining Geological Company LTD (KMGC) - Prospecting for PGE in the East Pansky Layered Massif "	53
" ООО «Кольская Горно-Геологическая Компания» - поиски МПГ в Восточной части Панских тундр "	53
Mr. Oleg V. Kazanov, MSc., Project geologist Mr. Arkady Kalinin, Dsc., Chief geology department	
Олег В. Казанов, геолог, Аркадий А. Калинин, к.г.-м.н., главный геолог	
"The structure and Structure and PGE Mineralization of the East Pansky Layered Massif"	57
"Геологическое строение и платинометальная минерализация Восточно-Панского массива"	57
Pavel. V. Pripachkin, PhD, Expert of Project Tat'yana V. Rundkvist, PhD, laboratory of PGE-forming processes (Geological Institute, Kola Science Centre RAS, Apatity)	
"PGE-bearing objects in a W–E trending branch of the Monchegorsk Mafic Layered Complex (MMLC): geology and levels of PGE-mineralization"	69
"Платинометалльные объекты субширотной ветви Мончеплутона"	69
Mr. Vladimir N. Ivanchenko, Senior geologist of LLC "Pechengageologiya" Mr. Pavel S. Davydov, Chief geology department of LLC "Pechengageologiya" Mr. Vladimir A. Dedeev, Researcher of LTIS JSC "Institut Gipronickel" Mr. Vladimir V.Knauf, General Director of CC "Nati"	
Павел. С. Давыдов, главный геолог ООО"Печенгагеология" Владимир Н. Иванченко, ведущий геолог ООО «Печенгагеология» Владимир А. Дедеев, научный сотрудник ЛТИС АО "Институт Гипроникель" Владимир В. Кнауф, генеральный директор ЗАО "Нати"	
Major features of the Vuruchuaivench (Vurechuaivench) deposit geological structure	83
Основные черты геологического строения месторождения Вуручуайвенч	83
Vladimir V.Knauf, General Director of CC "Nati" Pavel S. Davydov, Chief geology department of LLC "Pechengageologiya" Vladimir N. Ivanchenko, Senior geologist of LLC "Pechengageologiya"	
Владимир В. Кнауф, генеральный директор ЗАО "Нати" Павел. С. Давыдов, главный геолог ООО"Печенгагеология"	

NAME / НАЗВАНИЕ	Page Стр.
Владимир Н. Иванченко, ведущий геолог ООО «Печенгагеология»	
<i>The platinum group elements (PGE) and gold mineralization on Vuruchuaivench prospecting area</i>	89
<i>Благороднометальная (БМ) минерализация на поисковой площади Вуручуайвенч</i>	89
Yuriy N. Neradovskyi, leading researcher, Geological Institute KSC RAS	
Юрий Н.Нерадовский, ведущий научный сотрудник, Геологический институт КНЦ РАН	
<i>Platinum minerals in the chromite ores of the sopcheozero deposit (Kola Peninsula)</i>	99
<i>Платиновые минералы в хромитовых рудах Сопчеозерского месторождения (Кольский п-в)</i>	99

New joint project funded by the EU and Russia,

January 2007 – January 2009:

Новый совместный проект, финансируемый Евросоюзом и Россией,

Январь 2007 – Январь 2009:

THE STRATEGIC MINERAL RESOURCES OF LAPLAND – A BASE FOR THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE NORTH

СТРАТЕГИЧЕСКИЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ЛАПЛАНДИИ – ОСНОВА УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ СЕВЕРА

Markku Iljina
Project Manager

Geological Survey of Finland
P.O. Box 77
96101 Rovaniemi
markku.iljina@gtk.fi

Маркку Ильина,
Руководитель международного проекта

Геологическая Служба Финляндии
П.О. Бокс 77
96101 Рованиеми
markku.iljina@gtk.fi

1. Background

The mining industry has been chosen as one of the key pillars for social and economic development by the regional development authorities of northern Finland, Sweden and NW Russia. This prioritization led to the establishment of the project described here. The project partners include:

- Geological Survey of Finland, the lead partner;
- Geological Institute of Kola Science Centre of Russian Academy of Science, Russia;
- University of Oulu, Finland;
- Luleå Technical University, Sweden.

The private sector and other contributors are:

- Joint Stock Company “PANA”, Russia;
- Geovista AB, Sweden;
- Murmansk State Technical University, Apatity Branch, Russia.

The project belongs to the Interreg Kolarctic Neighbourhood and Tacis Programmes. The project budget is approximately EUR 490,000, and the principal financiers are:

- EU through the Regional Council of Lapland (Finland);
- EU through the Delegation of the European Commission to Russia;
- State Provincial Office of Lapland (Finland),
- Norrbotten County (regional authority, Sweden);
- Russian government;
- Murmansk Oblast.

This publication summarizes the first seminar of the project, held in Apatity, Russia in August 2007.

1.1. Geological background

The majority of the world's identified resources of

1. Общая информация

В понимании руководства регионов северной Финляндии, Швеции и Северо-запада России горная отрасль является определяющей для социально-экономического развития этих территорий. Этот приоритет был ключевым при планировании и организации описанного ниже проекта. Партнерами проекта являются:

- Геологическая Служба Финляндии, головной/ведущий партнер проекта;
- Геологический институт Кольского научного центра РАН, Россия, основной российский партнер;
- Университет Оулу, Финляндия;
- Технический университет Лулио, Швеция.

Частные компании и другие участники проекта:

- ОАО "Пана", Россия;
- АО "Геовиста", Швеция.
- Апатитский филиал МГТУ, Россия.

Проект осуществляется в рамках программ добрососедства Интеррег Коларктик и Тасис. Бюджет проекта составляет примерно 490 000 Евро и формируется за счет следующих источников финансирования:

- субсидия ЕС через Региональный Союз Лапландии (Финляндия);
- субсидия ЕС через Представительство Европейской Комиссии в России;
- Правительство провинции Лапландия, (Финляндия);
- Правительство Графства Норботтен, Швеция;
- Правительство РФ;
- Правительство Мурманской области.

Эта публикация подготовлена по результатам первого семинара проекта, состоявшегося в г. Апатиты в августе 2007г.

1.1. Геологические предпосылки

Важнейшие доказанные мировые ресурсы никеля, меди,

nickel, copper, platinum, chrome, vanadium and titanium are hosted by mafic and ultramafic rocks (MUR). They occur as basal accumulations or stratiform horizons of chromite, platinum and Fe-Ti-V oxides in layered intrusions; as stratiform layers and strata-bound disseminations of Fe-Ni-Cu-Pt sulphides in lava channels and in magma conduits and feeder sills; and as podiform accumulations of chromite in ophiolitic settings.

платиноидов, хрома, ванадия и титана связаны с массивами мафит-ультрамафитов. Они залегают как базальные или стратиформные горизонты хромитов, платиноидов и Fe-Ti-V оксидных руд в расслоенных интрузиях; как стратиформные слои и стратифицированные вкрапленные руды Fe-Ni-Cu-Pt сульфидов в лавовых и магмоподводящих каналах и фидерных силлах; и как линзовидные скопления хромитов в офиолитовых комплексах.

Platinum-Group Element exploration projects in the Fennoscandian Shield

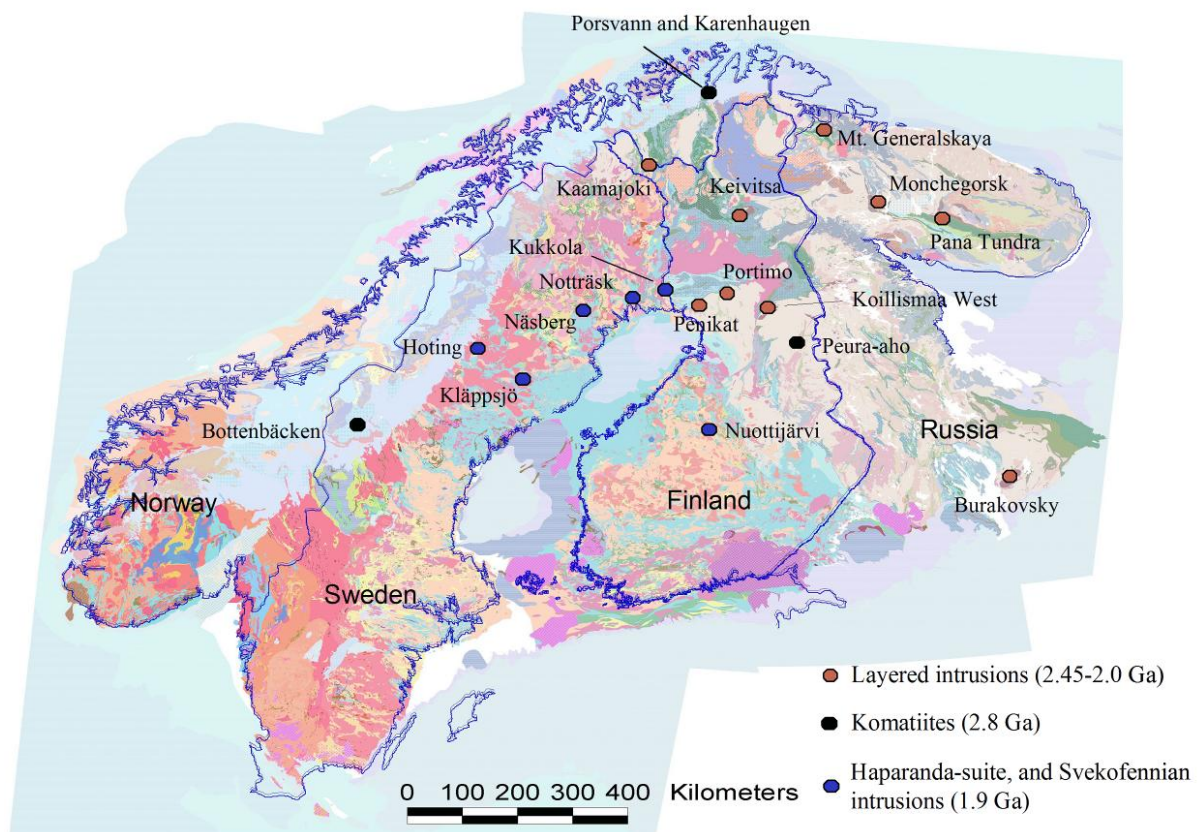


Fig. 1. Location of some recent and still active Platinum-Group Element exploration projects.

Рис. 1. Местоположение некоторых платинометалльных проектов, выполненных недавно или находящихся в активной стадии.

Mafic and ultramafic rocks (MUR) are common in northern Finland, Sweden and NW Russia. The northern European (including NW Russia) MUR province has proven to have great potential for Ni-Cu-PGE sulphide (Fig.1) and Cr- and Fe-Ti-V oxide mineral deposits. Examples of well-known economically viable deposits of these types are Pechenga and Monchegorsk in Russia, and the MUR occurrences in Kemi, Suhanko and Mustavaara, Finland. Pechenga, Monchegorsk, Fedorova-Pana, Penikat, Koillismaa, Kevitsa, and Suhanko represent renowned primary sources or reserves for nickel, copper and platinum, while Kemi and Mustavaara contain huge chrome, vanadium and titanium resources. The recently documented discovery of the Vurechuaivench platinum reef in a small satellite body of the Monchegorsk Pluton is also clear evidence that new

Мафит-ультрамафиты (МУМ) широко распространены в северных районах Финляндии, Швеции и СЗ России. Североевропейская (включая СЗ России) провинция МУМ считается весьма перспективной на месторождения Cr, Ni-Cu-Pt сульфидов (Рис 1) и Fe-Ti-V оксидных руд. Примерами хорошо известных экономически эффективных месторождений таких типов являются Печенга и Мончегорск (Россия), Кемь, Суханко и Муставаара (Финляндия). Печенга, Мончегорск, Федорово-Панские Тундры, Пеникат, Койллисмаа, Кейвица и Суханко представляют собой известные во всем мире первичные источники никеля, меди и платины, в то время как Кемь и Муставаара содержат огромные запасы хрома, ванадия и титана. Недавно открытый в небольшом второстепенном теле Мончегорского плутона платинометалльный риф – месторождение Вуречуайвенч - также наглядно демонстрирует, что новые месторождения еще могут быть обнаружены в давно

deposits can still be found in these ‘old fellows’.

Research and exploration into other MUR occurrences has, however, been insufficient, and this provides scant background data for the discovery of further exploitable resources. The research and exploration of a few major mining companies has focused on a restricted number of MUR occurrences, and little is known about MUR occurrences elsewhere.

1.2. Current exploitation of mineral resources

The northwestern part of the Russia is a major metal producing area, with both metal producing mines and metal factories. However, many of these metal resources are close to exhausted, and new resources are needed to maintain local industry. Further exploration for mineral resources is in the hands of large, national companies, and local small to medium size exploration and mining organizations lack financing and geological background information. The Exploration Toolkit described here would lower the threshold for starting new businesses in mining and exploration.

1.3. Geological research

Geological education and MUR research has been concentrated at the Geological Survey of Finland (GTK), the Kola Science Centre in Apatity, Russia, the Technical University of Luleå, Sweden, and the University of Oulu, Finland. Much of the research has been performed in joint projects between the mining companies and research institutions mentioned here. This cooperative work has also produced a number of academic dissertations. In the past, scientific collaboration between Finland and the Soviet Union was facilitated by a framework programme, which enabled frequent cross-border visits for both Finnish and Russian geologists. This framework programme ended with the dissolution of the USSR. There was a particular need for a more established form of geological collaboration between the three applicant countries.

2. Project Objectives – Exploration Toolkit

2.1. Geological

The aim is an Exploration Toolkit that would provide integrated collection of the geological attributes of MUR

As mentioned above, the metal potential of the mafic-ultramafic rocks (MUR) is sufficiently known, but little is known about why one MUR occurrence has more potential to contain mineral

освоенных районах.

Поиски и разведка в других районах распространения МУМ частично выполнены, но недостаточно, и это обуславливает скудность исходной информации для открытия новых активных запасов. Проводимые крупными горными компаниями поиски и разведка сконцентрированы на узком круге известных объектов, в то же время МУМ других районов изучены недостаточно.

1.2. Современное состояние разработки минерального сырья

СЗ России является важнейшим продуцентом многих металлов, включая рудники и металлургические фабрики. Однако многие сырьевые источники близки к исчерпанию, и для функционирования региональной горной промышленности необходимы новые ресурсы. Разведка новых объектов осуществляется преимущественно крупными национальными компаниями, в то время как региональные малые и средние разведочные и горнорудные организации испытывают недостаток финансов и исходной геологической информации. Поисковые геологические методы и инструментарий, описанные здесь, могли бы снизить порог и барьеры для вхождения новых компаний в горный бизнес и геологоразведочное дело.

1.3. Geological research

Геологическое образование и исследования МУМ сконцентрировано в Геологической Службе Финляндии (ГСФ), Кольском Научном Центре (включая АФ МГТУ) в Апатитах (Россия), Техническом Университете Лулео (Швеция) и в Университете Оулу (Финляндия). Большая часть исследований выполняется в рамках совместных проектов между горными компаниями и указанными выше исследовательскими центрами. Такая совместная работа также отражена в многочисленных научных диссертациях. В прошлом научное сотрудничество между Финляндией и Советским Союзом поддерживалось особой программой, которая позволила финским и русским геологам осуществлять частые трансграничные визиты. Эта программа была прекращена после распада СССР. С тех пор существовала настоятельная потребность укрепить геологическое сотрудничество между тремя указанными странами.

2. Цели проекта – геологоразведочный инструментарий

2.1. Геологические

Целью является геологоразведочный инструментарий, который бы позволил получить интегрированную совокупность геологических признаков МУМ.

Как уже отмечалось выше, рудный потенциал мафит-ультрамафитов (МУМ) хорошо известен, однако мало изучены аспекты того, почему некоторые из проявлений МУМ более перспективны на обнаружение

deposits than others. Collation of geological features related to various MUR types is not available. It is known from other parts of the world, such as Canada and Australia, that certain features indicate that a given MUR occurrence may have higher potential for certain metals. The geological attributes in concern include chemical main and trace element composition, mineral composition, age, isotope ratios/composition, geotectonic location, petrophysical properties, surrounding rock types, size, and 3D shape.

2.2. Exploration

The aim is to tailor the Exploration Toolkit to the resources and needs of small and medium sized exploration and mining companies and other interested parties in the target area.

Metal exploration in Russia is typically engaged in by major nation-wide players. Small and medium size players lack the money, geological background information and affordable means to start exploration. The Exploration Toolkit will help build effective exploration programmes and thus gain investors' attention. Tested exploration guidelines, leading to better target selections, reduce the need for heavy exploration methods such as excavation and drilling, thus protecting the environment from unnecessary disturbances.

2.3. Geological research and education

The aim is to exchange know-how and to establish a network of EU and Russian players within the exploration and mining industry.

The geological collaboration between Finland, Sweden and Russia lacks an established umbrella-type framework programme. The collaboration between academia and the industry also needs enhancing. For small and medium size industry, networking between the companies, research organizations and academia is of the utmost importance. Seminars and joint fieldwork would gather all the stakeholders at a common table and thus direct the networking automatically. This would also provide educational possibilities for the universities.

3. Operations for attaining the targets

3.1. Geological

In order to reach the goal, a great deal of time would have to be devoted to collecting the available geological attribute data from the Murmansk area. The data collection area will also include northern

месторождений, чем другие. Сопоставление геологических особенностей, связанных с различными типами МУМ, еще не проводилось. Для ряда стран, таких как Канада и Австралия, известны некоторые признаки, которые указывают, что отдельные МУМ могут представлять интерес на определенные металлы. Такие геологические признаки включают химический состав главных и редких элементов, минеральный состав, возраст, изотопные отношения/изотопный состав, геотектоническое положение, петрофизические свойства, типы окружающих пород, размер и трехмерная форма.

2.2. Геологоразведочные

Целью является приспособление геологоразведочного инструментария для нужд малых и средних геологических и горных компаний, а также других заинтересованных сторон в программных регионах.

Разведка на металлы в России проводится в основном игроками национального уровня. Малые и средние предприятия не имеют достаточно финансов, геологической исходной информации и благоприятных возможностей для начала разведки. Геологоразведочный инструментарий позволит создать привлекательные геологические программы, и, таким образом, привлечь внимание инвесторов. Обоснованные поисково-разведочные рекомендации, т.е. выбор наиболее подходящих объектов, сокращает использование ресурсоемких методов разведки, таких как горные выработки и бурение, защищая тем самым природу от нежелательного отрицательного воздействия.

2.3. Геологические исследования и образование

Цель – обмен технологиями и построение взаимодействия между компаниями ЕС и России в разведочной и горнорудной отрасли.

Для развития геологических связей между Финляндией, Швецией и Россией не хватает устоявшейся программы «зонтичного типа». Кроме того, сотрудничество между научным сообществом и промышленностью требует совершенствования. Для малой и средней промышленности совместная работа между компаниями, исследовательскими институтами и образовательными учреждениями представляет максимальное значение. Семинары и совместные полевые работы могли бы объединить эти организации за круглым столом и автоматически привести к сотрудничеству. Такое сотрудничество также предоставляет университетам возможности в сфере образования.

3. Меры для достижения целей

3.1. Геологических

Для того, чтобы достигнуть этой цели, большая часть рабочего времени должна уделяться сбору доступных геологических данных в Мурманской области. Регион сбора информации включает также северную Швецию и

Sweden and Finland. Collection of data will focus on the selected geological rock type (MUR), with emphasis on the selected metals.

Test areas selected include both recognized occurrences and new targets, where new samples will be collected. These test areas in NW Russia are tentatively the following: the Monchegorsk layered intrusion, the Fedorova-Pana Tundra layered intrusions, and the Pados Tundra layered intrusion.

3.2. Exploration, research, education and networking

In order to compile the geological attribute databank – the Exploration Toolkit – there must be cohesive collaboration between researchers. The production of new data requires common office meetings and fieldwork periods in the chosen test areas. The study and analyses of the collected raw material can be conducted in the form of academic dissertations at the universities and as research work in the research institutes. Seminar meetings are planned to bring together a wider audience, including industry representatives. Seminars are to be held immediately before or after the fieldwork sessions.

Researchers' meetings (office meetings)
Rovaniemi, Finland, project kick off meeting, May 2007
Rovaniemi, Finland, review of interim results, November 2007
Seminars and fieldwork
Russia, 2007, seminar and fieldwork,
Sweden, 2007, seminar and fieldwork,
Russia, 2008, seminar and fieldwork,
Finland, 2008, fieldwork and
Finland, January 2009, final seminar and project wrap up

4. Expected results

4.1. Geological results

The principal geological results will be geological attribute data compilations of the selected type areas. The project will also provide extensive new analytical data.

4.2. Results in exploration and economic development

The data compilations and grade-tonnage databases of the selected commodity (mainly platinum) will provide an affordable, easily accessible tool for small and medium size mining and exploration companies to start business or enhance their present performance. Diversified (by size and ownership) mining and exploration players will also have a

Финляндию. Сбор данных будет сфокусирован на выбранном геологическом типе пород (МУМ) с акцентом на заданные металлы.

Полигоны исследований включают как уже известные проявления, так и новые объекты, в которых будут отбираться новые пробы. На северо-западе российской территории выбраны следующие объекты исследований: расслоенные интрузии и комплексы Мончегорского района, Федорово-Панских Тундр и Падос Тундра.

3.2. Разведочных, исследовательских, образовательных и организационных

Чтобы составить базу геологических данных – "Разведочный инструментарий" – должно осуществляться тесное сотрудничество между исследователями. Для получения новых данных потребуются общие офисные совещания и полевые работы на выбранных исследовательских полигонах. Исследование и анализы собранного материала могут быть оформлены в научные диссертации в университетах и в виде исследовательской работы в научных центрах. Семинары планируются для объединения более широкого круга лиц, представляющих также и промышленный сектор, и будут проводиться непосредственно до или после полевых работ.

Исследовательские совещания (офисные)
Рованиemi, Финляндия, 2007, организационное совещание, май 2007;
Рованиemi, Финляндия, 2008, обзор промежуточных результатов, ноябрь 2008.
Семинары и полевые работы
Россия, 2007, семинар и полевые работы;
Швеция, 2007, семинар и полевые работы;
Россия, 2008, семинар и полевые работы;
Финляндия, 2008, полевые работы и
Финляндия, Январь 2008, финальный семинар и завершение работ по проекту

4. Ожидаемые результаты

4.1. Геологические результаты

Основными геологическими результатами станут компиляции геологических данных по выбранным районам исследований. Проект также предоставит возможность получения большого количества новых аналитических данных.

4.2. Результаты в разведке и экономическом развитии

Результаты сбора и обобщения данных, а также база данных "размер – содержания" месторождений выбранных видов минерального сырья (главным образом платиноидов) предоставят легкодоступный инструментарий для малых и средних горных и разведочных компаний, позволяющий начать бизнес или увеличить современные возможности. Различные (по

positive impact on the economic and social development of the target areas.

4.3. Results in geological research and education

The project will be based on joint fieldwork and seminars. It will provide university teachers with an umbrella framework for the education of students. The project will also restore the formal relationship between the economic geologists active in the target area.

Rovaniemi, March 25th, 2008

размеру и собственности) горнорудные и геологоразведочные компании смогут положительно влиять на социально-экономическое развитие указанных районов.

4.3. Результаты геологического исследования и образовательного процесса

Проект планируется выполнить на основе проведения совместных полевых работ и семинаров. Преподавателям университетов будет предоставлено взаимодействие зонтичного типа для обучения студентов. Проект также нацелен на восстановление официального сотрудничества между экономическими геологами в программной зоне.

Рованиеми, 25 марта 2008 г.

THE CORRELATION OF THE COMPOSITION AND ORE-FORMING STAGES IN THE EARLY PROTEROZOIC MAFIC-ULTRAMAFIC LAYERED INTRUSIONS OF FINLAND AND KOLA PENINSULA (RUSSIA)

КОРРЕЛЯЦИЯ СОСТАВОВ И РУДООБРАЗУЮЩИХ ЭТАПОВ В РАССЛОЕННЫХ МАФИТ-УЛЬТРАМАФИТОВЫХ ИНТРУЗИВНЫХ СЕРИЯХ РАННЕГО ПРОТЕРОЗОЯ ФИНЛЯНДИИ И КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА РОССИИ

Felix P. Mitrofanov
Scientific adviser

Geological Institute,
Kola Science Centre, RAS
Apatity, 184209, Fersman str. 14
E-mail: felix@geoksc.apatity.ru

Феликс П. Митрофанов,
Научный руководитель

Геологический институт
КНЦ РАН
Апатиты, 184209, ул. Ферсмана 14
E-mail: felix@geoksc.apatity.ru

The Early Proterozoic ore-bearing mafic-ultramafic layered intrusions and volcanic rocks form the East-Scandinavian Paleoproterozoic Large Igneous Province (EScLIP) with a total area of more than 200000 km². The province is now known for its large-scale deposits of Cr, Cu, Ni, Co, Ti, V and Pd, Pt, which are referred to as products of plume magmatism.

The intrusions make up two extensive belts: the Fenno-Karelian belt (FKB) and Kola belt (KB) (Fig. 1).

The industrial mineralization of the both belts is similar, but the interesting point here is to correlate the composition of the ore-bearing layered series and ore-forming stages in these two belts.

M. Iljina and E. Hanski [Iljina, Hanski, 2005] demonstrated that the Finnish layered rock series had been derived from at least three parental magmas (Fig. 2). The Kemi and Tornio intrusions formed from higher-Cr magma, the Suhanko and Konttijarvi intrusions - from lower-Cr magma, and the Penikat and Narkaus intrusions – from the both magma types, correspondingly from their lower and upper parts. The third magma type with low Cr and high TiO₂ is established in the magnetite gabbro of the Koillismaa Complex.

I have correlated different characteristics and metal potential of the layered series in Finland and on the Kola Peninsula. Cr-bearing Kemi intrusion is similar to the Sopchezero Cr-deposit. The rocks of the Fedorov block of early magmatic pulse are similar to the lower higher-Cr part of the Penikat intrusion. The industrial PGE-Cu-Ni ore of the Taxitic Zone (TZ) of the basal Fedorov deposit (Fig. 3) is associated with next lower-Cr magmatic pulse, which was the main to form major parts of the Pana and Monchegorsk massifs and the upper part of the Penikat intrusion. Mafic units of the layered series enriched in titanium and iron, or so called magnetite gabbro, are interpreted in different ways. In the Koillismaa Complex, this rock is considered to be resulted from

Раннепротерозойские рудоносные расслоенные интрузивы мафит-ультрамафитового состава вместе с когенетическими вулканитами составляют Восточно-Скандинавскую палеопротерозойскую обширную изверженную провинцию (EScLIP) общей площадью более 200000 км². Сейчас в этой провинции плюмового магматизма найдены крупные месторождения Cr, Cu, Ni, Co, Ti, V и Pd, Pt, Rh (+Au) [Митрофанов, 2005].

Интрузивы формируют два протяжных пояса - Фенно-Карельский (FKB) и Кольский (KB), рудная промышленная минерализация в которых одинаковая (Рис. 1). Какова же в этих поясах корреляция: составов рудоносных расслоенных серий и образующих этапов?

М.Ильина и Э.Хански [Iljina, Hanski, 2005] показали, что в финских интрузивах расслоенные серии пород образовались не менее чем из трех родоначальных магм (Рис. 2). Интрузии Кемпи и Торнио формировались из высоко хромистой магмы, Суханко и Конттиярви - из низко хромистой магмы, Пеникат и Наркауз - из обеих этих магм, образуя, соответственно, нижние и верхние части интрузивов. Третий тип магмы - низко хромистый и высоко титанистый - установлен в магнетитовом габбро интрузива Койллисмаа.

Можно сравнить (по разным характеристикам) составы пород расслоенных серий и их металлоносность в Финляндии и на Кольском полуострове. Кемпи интрузив с крупным хромитовым месторождением коррелируется с Сопчеозерским массивом и хромитовым месторождением. Породы Федорова массива Федорово-Панского интрузива - ранний магматический пульс (Рис. 3) - сходны с нижней высокохромистой частью интрузива Пеникат. Промышленные Pd- Pt-Cu-Ni руды такситовой зоны (TZ) базального месторождения Федорова связаны со следующим [Schissel et al., 2002], низкохромистым магматическим пульсом. Этот пульс был главным, и он сформировал основные части Панского и Мончегорского массивов и верхнюю часть интрузии Пеникат. Базитовые члены расслоенных серий, обогащенные Ti и Fe, так называемые "магнетитовые габбро", имеют разную интерпретацию. В интрузиве Койллисмаа они считаются продуктами третьего типа

the third magma type, while in the Pana massif magnetite gabbro is referred to as syngenetic to the mafic rocks of the second magma type [Латыпов, Чистякова, 2000].

In the end, the most complicated challenge is connected to the origin of the low-sulphide PGE reefs. I suppose that in the Pana and Vurechuaivench massifs, the reefs were produced from an injection of late anorthositic melts enriched in fluid components.

магм [Iljina&Hanski, 2005]. В Панском массиве их обычно рассматривают как сингенетические образования с базитами второго типа магм [Латыпов, Чистякова, 2000].

Самым сложным является вопрос о генезисе малосульфидных PGE-риффов. Сейчас можно только сказать, что формирование массивов Панского и Вуручайвенч, вероятно, было связано с инъекцией наиболее поздних анортозитовых расплавов,

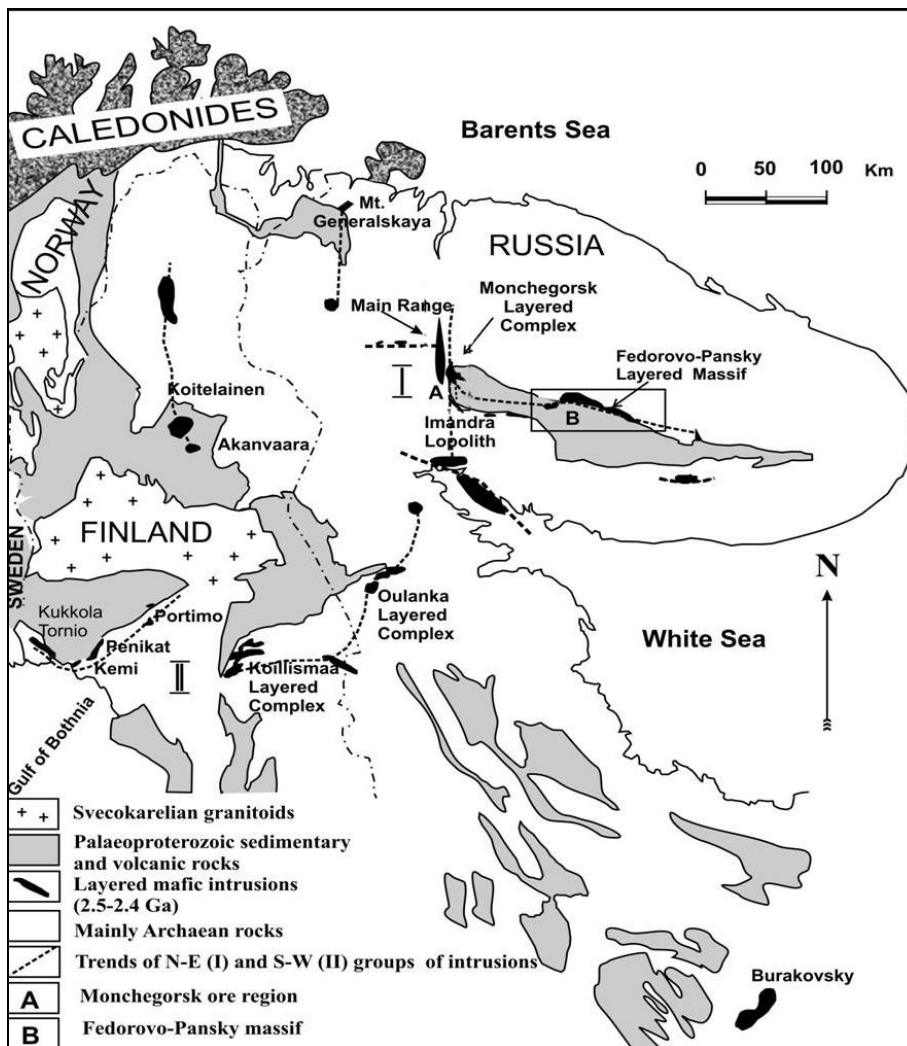


Fig.1. Generalized geological map of the north-eastern part of the Baltic Shield and the location of Early Proterozoic mafic layered intrusions.

Рис. 1. Схематичная геологическая карта северо-восточной части Балтийского щита и месторасположение Раннепротерозойских основных расслоенных интрузий.

The geological investigations both in Finland and in Russia show that the ore-bearing layered intrusions formed at the very beginning of the Early Proterozoic time, that is referred to as Sumian according to the Russian stratigraphy. However, there is a notable difference in more detailed U-Pb and Sm-Nd isotope dating of the layered series in the Fenno-Karelian and Kola Belts.

Over a dozen of isotope ages for the Finnish and Karelian complexes have favoured the researches to infer that "the thick layered series of the FKB intrusions even derived from different magma types had formed in a short period of time over which the

обогащенных флюидными компонентами (третий или четвертый? тип магмы).

Геологические исследования в Финляндии и в России показывают, что рудоносные расслоенные интрузивы образовались в самом начале раннего протерозоя. Тем не менее, имеется значительная разница в более детальном датировании U/Pb и Sm/Nd изотопными методами пород расслоенных серий в Фенно-Карельском и в Кольском поясах.

Более десятка изотопных дат в Финляндии и в Карелии позволили исследователям сделать вывод, что мощные расслоенные серии пород в этом поясе, образованные различными типами магм, были сформированы в

2.44-2.43 Ga intrusions were emplaced" [Ијина, Hanski, 2005].

короткий период интрузии и кристаллизации 2440 - 2430 млн лет назад [Ијина and Hanski, 2005].

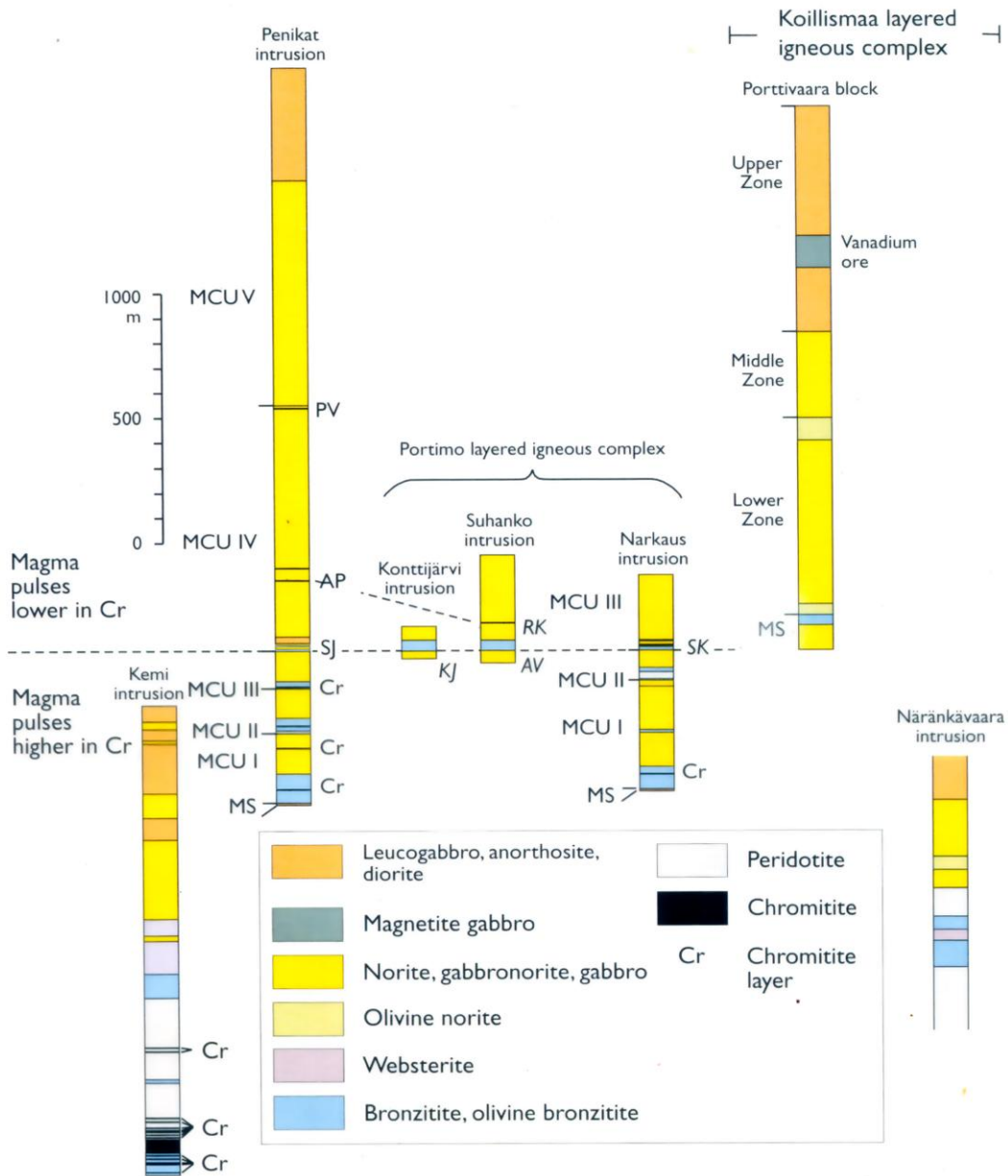


Fig.2. Simplified stratigraphic columns of layered intrusions in the Tornio-Narankavaara belt and their correlation based on magma types (modified after Lahtinen et. al., 1989). Also shown are occurrences of the principal PGE reefs (S-Sompjarvi, AP-Ala-Penikka, PV-Paasivaara, SK-Siika-Kama, RK-Rytikangas), marginal series PGM-sulfide mineral deposits (K-Kontijarvi, AV-Ahmavaara), chromitite layers (Cr), and vanadium ore. MCU-megacyclic unit. MS-marginal series.

Рис. 2. Упрощенные стратиграфические колонки расслоенных интрузий пояса Торнио-Наранкаваара и их корреляция по типам магмы (с изменениями по Lahtinen et. al., 1989). Также показано расположение основных МПГ рифов (S-Сомпуярви, AP-Ала-Пеникка, PV-Паасиваара, SK-Сиика-Кама, RK-Ритикангас), маргинальные серии МПГ-сульфидных месторождений (K-Контиярви, AV-Ахмаваара), хромитовых горизонтов (Cr), и ванадиевых руд. MCU-мегацикл. MS-маргинальная серия.

The same of even greater amount of isotope ages obtained for the different rocks of the KB layered intrusions [Баянова, 2004; и др.] and reiterated at the isotope laboratories of the world [e.g. Amelin et al., 1995] demonstrates an older age of these layered series including those ore-bearing. The rocks of the first magma type have the age of 2526-2516±6 Ma,

Сравнимое и даже большее количество изотопных датировок на Кольском полуострове [Баянова, 2004 и др.], сделанных для разных пород интрузивов и неоднократно повторенных в разных изотопных лабораториях Мира [Amelin et al., 1995 и др.], определяют более древний возраст сравниваемых расслоенных серий интрузивных пород, включая

those of the second magma type (main magmatic pulse) – 2497-2485±9 Ma, and anorthositic injections with PGE - reefs took place 2460±20 Ma.

The magma of the first type was chromite-bearing (Sopcheozero deposit) or barren, that of the second type contained Co-Cu-Ni-PGE (basal Fedorov deposit main Monchegorsk deposits), and that of the third type produced Pt-Pd mineralization (low-sulphide

рудоносные. Безрудные или хромитформирующие породы первого типа магм имеют возраст 2526 - 2516±6 млн лет, породы второго типа (главный магматический пульс-фаза с PGE- Cu-Ni оруденением в месторождениях Федоровой тундры и Мончегорска) - 2497 - 2485±9 млн лет, анортозитовые инъекции с малосульфидными PGE-рифами - 2460 ± 20 млн лет (малосульфидные рифы месторождений Паны, Вуречуайвенч и г. Генеральская).

PGE IN FEDOROV PANSKY LAYERED INTRUSION, KOLA PENINSULA

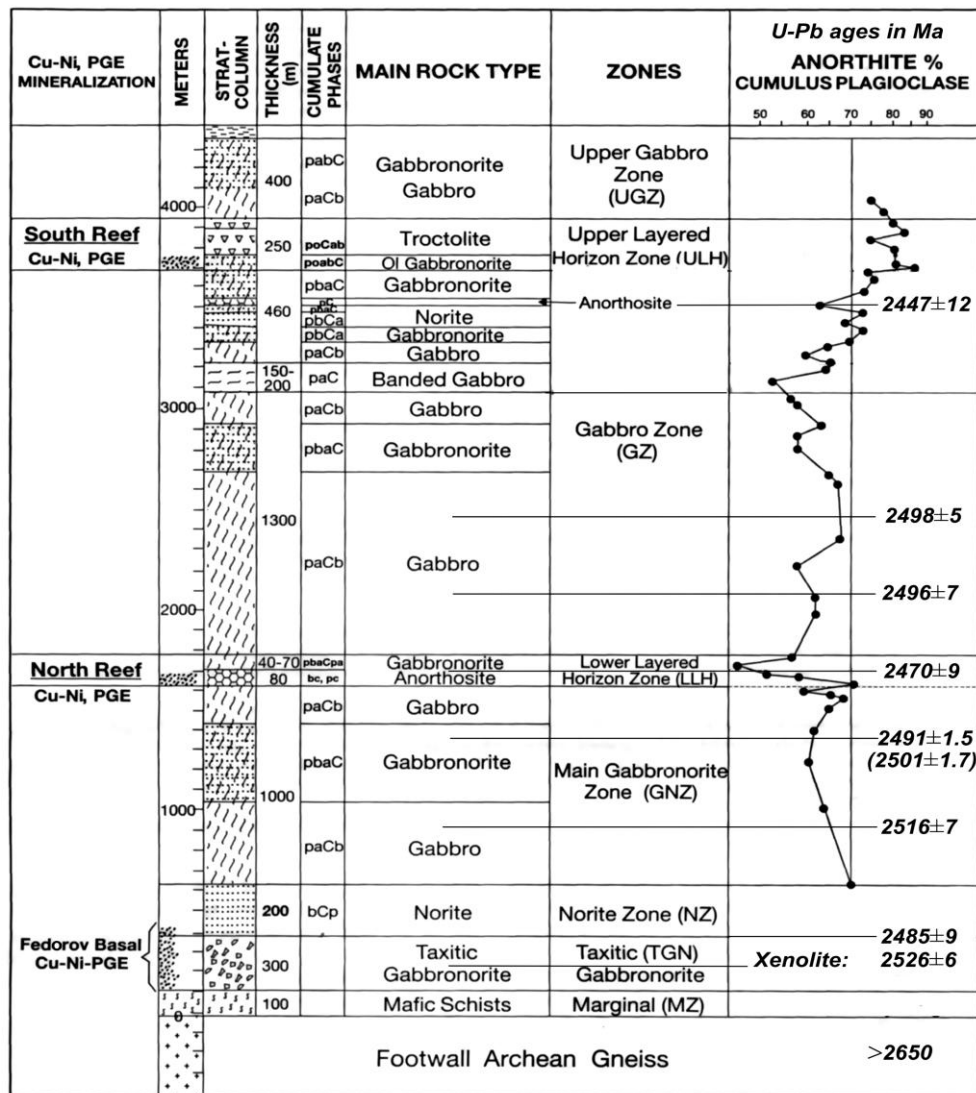


Fig. 3. Composite stratigraphic section of the Fedorov Pansky intrusion with Cu-Ni-PGE mineralization, major rock types, cumulate mineral terminology, cumulus plagioclase mineral analyses after Dokuchaeva (1994) and U-Pb ages in Ma. The cumulate mineral terminology used in this paper is that of cumulate phase minerals in small letters, in order of volume percent, preceding the capital C for cumulate, with postcumulate mineral phases following. Major mineral abbreviations are: a – augite, b – bronzite, c – chromite, o – olivine, p – plagioclase. Modified after Schissel et al., 2002.

Рис. 3. Сводный стратиграфический разрез Федорово-Панской интрузии с Cu-Ni-PGE минерализацией, главными разновидностями пород, терминологией минералов кумулата и минералогическими анализами кумулузного плагиоклаза по Докучаевой (1994), а также U-Pb возрастными фазами в млн. л. Терминология минералов кумулата используется в настоящей диаграмме в следующем значении: минералы фаз кумулата обозначены малыми буквами и расположены в порядке, соответствующем процентному содержанию минерала, перед заглавной буквой C. А минералы фаз посткумулата расположены после. Главные минералы обозначены: a – авгит, b – бронзит, c – хромит, o – оливин, p – плагиоклаз. С изменениями по Schissel et al., 2002.

reefs of the Pana deposit and Vurechuaivench and Mt. General'skaya deposits).

Внутри Кольского пояса синхронными с интрузиями Фенно-Карельского пояса могут быть только

Within the Kola Belt, synchronous to the FKB intrusions are only the Imandra massif and small-scale intrusive bodies of the Ostrovsky massif type. Their age is determined to be 2437 ± 7 and 2445 ± 11 Ma. The Imandra massif bears the prospects of chromite and V-Ti ores.

To conclude:

The layered intrusions and their parental magmas, including those ore-bearing, of the both belts are similar. It is notable that the melts of the all magmatic pulses show isotope and geochemical affinity that consists in uniform negative values of ϵNd from -1 to -2.5 indicating that the rocks of the all series formed from a mantle magma enriched with lithophile elements.

The metallogeny of the industrial deposits is also alike in the both belts.

According to the available isotope-geochronological data, the emplacement of the similar rocks and ores in the Kola and Fenno-Karelian belts of layered mafic-ultramafic intrusions was evidently asynchronous, i.e. it initiated with a difference of about 80-60 million years. The both belts may be derived from a single extensive long-acting mantle plume.

Work was supported by the Program Interreg - TACIS, by the priority program of basic researches of RAS and by the grant of the RFBR № 07-05-00956a.

Имандровский лополит и малые интрузивные тела типа Островского массивов. Возраст слагающих их пород определен в 2437 ± 7 и 2445 ± 11 млн лет. С породами Имандровского лополита связаны рудопоявления хромитов и V-Ti руд.

Заключение

Расслоенные интрузивные серии и их родоначальные магмы, в том числе промышленно рудоносные, обоих поясов очень сходные. Особо отметим изотопно-геохимическое сродство расплавов всех магматических пульсов, проявленное в одинаковых малых отрицательных величинах $\epsilon Nd \approx 1-2,5$, свидетельствующее о формировании всех серий пород из обогащенной литофильными элементами мантийной магмы.

По имеющимся в настоящее время изотопно-геохронологическим данным формирование сходных пород и руд в Кольском и Фенно-Карельском поясах расслоенных мафит-ультрамафитовых интрузивов было, по-видимому, асинхронным, отличающимся по началу формирования приблизительно на 80 - 60 млн лет. Оба пояса являются, возможно, лучами единого обширного длительно развивающегося мантийного плюма.

Работа подготовлена при организационной и финансовой поддержке Международной программы Interreg - TACIS, приоритетной программы фундаментальных исследований ОНЗ РАН, гранта РФФИ 07-05-00956 а.

Literature / Литература

1. Баянова Т.Б. (2004). Возраст реперных геологических комплексов Кольского региона и длительность процессов магматизма. С.-Петербург, Наука, 174 с.
2. Латыпов Р.М., Чистякова С.Ю. (2000). Механизм дифференциации Западно-Панской расслоенной интрузии. Апатиты, Изд. КНЦ РАН, 315 с.
3. Митрофанов Ф.П. (2005). Новые виды минерального сырья Кольской провинции: открытия и перспективы. В "Смирновский сборник - 2005", Москва, с. 39-53.
4. Amelin Yu.V., Heaman L.M., Semenov V.S. (1995). U-Pb geochronology of layered mafic intrusions in the eastern Baltic Shield. *Precambrian Research*, 75, p. 31-46.
5. Pijina, Hanski. (2005). Layered mafic intrusions in the Tornio-Narankavaara belt. In: Lehtinen M., Nurmi P.A., Ramo O.T. (Eds.), *Precambrian Geology of Finland*. Amsterdam, p. 101-138.
6. Mitrofanov F.P., Korchagin A.U., Dudkin K.O., Rundkvist T.V. (2005). Fedorovo-Pana layered mafic intrusion (Kola Peninsula): Approaches, methods, criteria for prospecting PGEs. In: *Exploration for platinum-group elements deposits*. Oulu, Finland, 35, p. 343-358.
7. Schissel D., Tsvetkov A.A., Mitrofanov F.P., Korchagin A.U. (2002). Basal Platinum-Group Element Mineralization in the Fedorov Pansky Layered Mafic Intrusion, Kola Peninsula, Russia. *Econ.geol.*, 97, 1657-1677.

PRODUCTION & MARKET OF PGE: STATUS AND TRENDS ПРОИЗВОДСТВО И РЫНОК МПГ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Dmitry Zhiron, Chief of innovation
department of GI KSC RAS,
Coordinator of Russian team of Project

Geological Institute,
Kola Science Centre, RAS
Apatity, 184209, Fersman str. 14
E-mail: zhiron@geoksc.apatity.ru

Дмитрий В. Жиров, начальник
отдела инноваций ГИ КНЦ РАН,
российский координатор Проекта

Геологический институт
КНЦ РАН
Апатиты, 184209, ул. Ферсмана 14
E-mail: zhiron@geoksc.apatity.ru

Searching for platinum-group elements has been the foreground in the geological and prospecting area. Since the close of the XXth century, however, the interest and activity in this area has been greatly increasing also in the Murmansk region, Karelia and adjacent territory of Finland. The interest reflects fair trends of the PGM market growth, that are, in turn, promoted by the key role of platinum-group metals in environmental studies, power engineering, synthesis of simple and complex organic compounds. Modern life together with technological advance seems impossible without such substances. If it is remembered that palladium and platinum are considered to be essential and irreplaceable engineering materials for the new hydrogen-based power engineering, their role becomes invaluable.

Due to the unique physicochemical properties, in the beginning of the XXst century, platinum-group metals came into increasing use as HI-TECH materials in diversified areas of application that cover a wide range of industries, including car-making, chemical, pharmaceutical, glass-making, and information technologies (Fig. 1-3).

Each sector valuable in terms of demand has been studied and analyzed in respect of such specific features as metal capacity, factor of demand coverage at the expense of secondary resources, demand growth rates, possible replacement by alternative materials and technologies etc. (Fig. 4-12). Based on the obtained results, a general forecast of the consumption market growth has been drawn up for the medium-term planning time-frame. The main conclusions made are as follows:

- the majority of the PGM-oriented branches of industry show favorable prospects for evolution and sustainable trends of consumption to further increase;
- several areas of PGM application, e.g. glass-making industry, autocatalysts, hydrogen power engineering etc., can be regarded as having no substitutes for PGMs in the medium-term prospect / of forecasting time-frame;
- metal capacity of most of PGM-consuming industries has not yet been filled up and shows considerable provision to grow;
- recycling (recurrent metal conversion) tends to

Платинометалльное направление во все времена являлось приоритетом для геологоразведочной отрасли, однако в конце XX века - в начале XXI века интерес и активность в данном секторе многократно возросли, в том числе в Мурманской области и Республике Карелия, а также на территории сопредельных районов Финляндии. Этот интерес отражает объективные тенденции развития рынка металлов платиновой группы (МПГ), которые в свою очередь обусловлены первостепенной ролью платиноидов в экологии, энергетике, эффективном синтезе простых и сложных органических и комплексных соединений. Без этих веществ современная жизнь немислима, а технический прогресс невозможен. Если же учесть, что палладий и платина рассматриваются в качестве ключевых и практически безальтернативных конструкционных материалов для новой водородной энергетики, то их роль становится неопределимой.

Благодаря уникальным физико-химическим свойствам МПГ к началу XXI века стали одними из самых востребованных HI-TECH материалов, области применения которых весьма диверсифицированы и охватывают очень широкий спектр отраслей, включая автомобильную, химическую, медицинскую и стекольную промышленность, а также разнообразные IT технологии (Рис. 1-3).

Каждый из весомых в общей структуре спроса секторов был изучен и проанализирован индивидуально в отношении таких специфичных черт и параметров, как металлоемкость, коэффициент покрытия спроса за счет вторичных ресурсов, темпы роста спроса, возможность вытеснения альтернативными материалами и технологиями и т.п. (Рис. 4-12). На основе полученных результатов был составлен общий прогноз развития рынка потребления на среднесрочный горизонт планирования. Основные выводы следующие:

- большинство отраслей, ориентированных на использование платиноидов, имеют благоприятные перспективы развития и устойчивые тенденции роста потребления;
- ряд областей применения МПГ, например: стекольная промышленность, автокатализаторы, водородная энергетика и др., - могут считаться безальтернативными в среднесрочной перспективе;
- металлоемкость большинства отраслей - основных потребителей еще не насыщена и имеет существенные

increasingly develop, but it supplies covers, for the time being, only up to 15% of the market needs, and in the near future cannot compete in the volume of supply with the producers of primary metals;
 - some new and non-traditional areas of PGM application, such as hydrogen power engineering,

резервы роста;
 - рециклинг (вторичная переработка отходов) развивается ускоренными темпами, но восполняет пока не более 15% потребностей рынка и на среднесрочную перспективу не сможет конкурировать по объемам поставок с производителями первичных металлов;



Fig. 1. General applications (with rounded consumption) of Platinum Group Elements at beginning of XXI century.

Рис. 1. Основные области применения (с округленным объемом потребления в тройских унциях) элементов платиновой группы в начале XXI века.

СТРУКТУРА ПОТРЕБЛЕНИЯ ПЛАТИНЫ, 2004

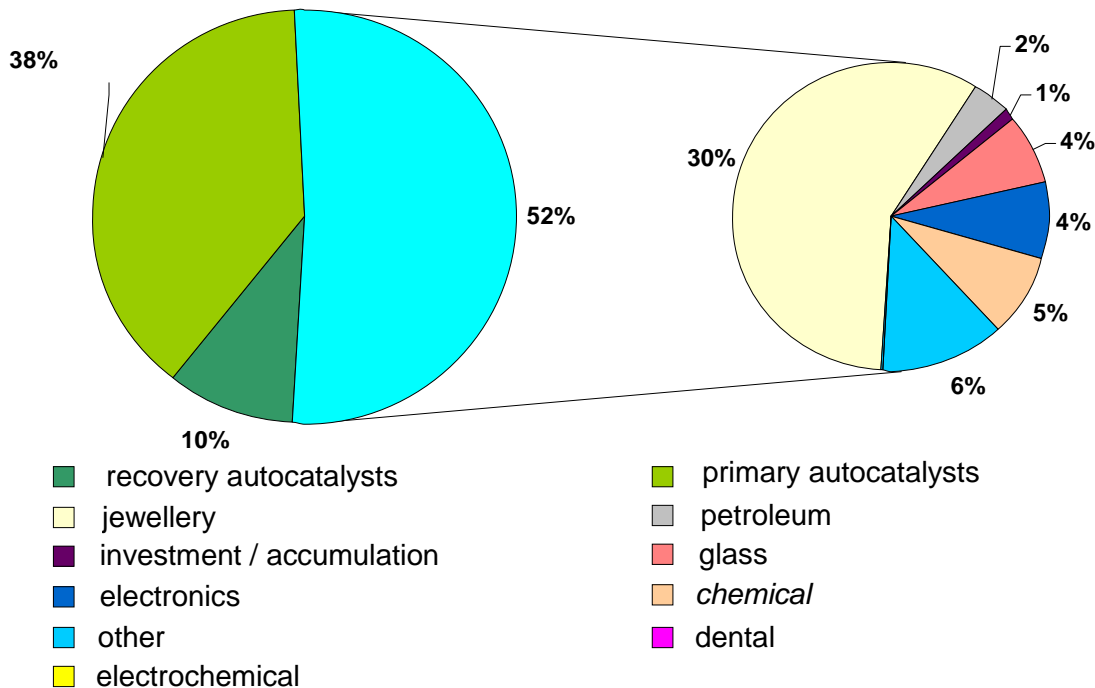


Fig. 2. Structure of Pt consumption over 2004 (using data of Johnson Matthey company)

Рис. 2. Структура потребления платины в 2004 г. (на основе данных компании Джонсон Матти)

certain information technologies etc., most likely

- ряд новых и нетрадиционных применений, таких как

will essentially force the growth of PGM consumption in the medium-term prospect.

водородная энергетика, некоторые IT технологии и др., вероятнее всего, в среднесрочной перспективе существенно ускорят рост потребления МПГ.

СТРУКТУРА ПОТРЕБЛЕНИЯ ПАЛЛАДИЯ,

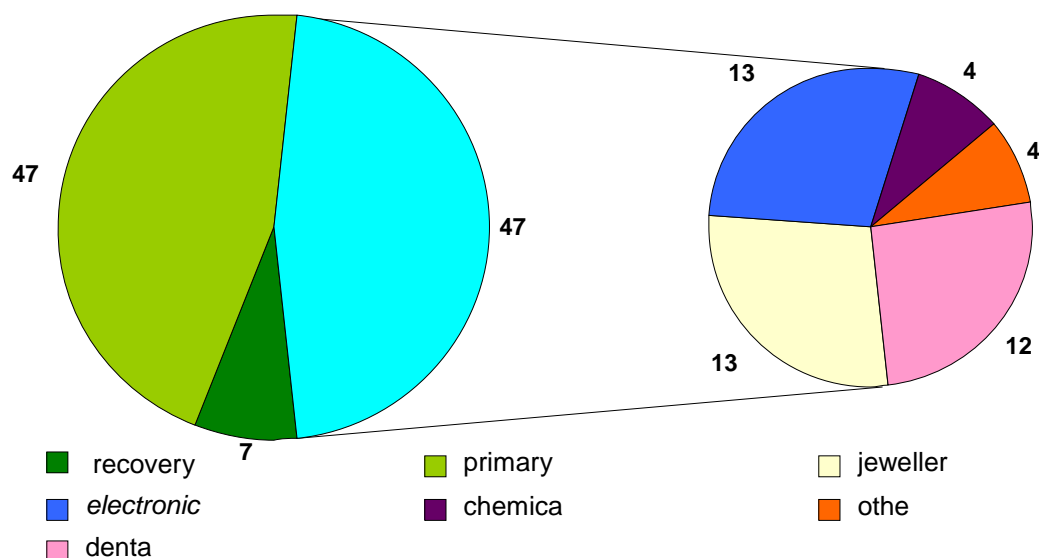


Fig. 3. Structure of Pd consumption over 2004 (using data of Johnson Matthey company)

Рис. 3. Структура потребления палладия в 2004 г. (на основе данных компании Джонсон Маттхи)

The scenario of the PGM market development is thus rather favourable in the medium-term prospect. The general demand will annually increase by 5-10 %, gradually accelerating up to 10-15% in proportion to the strength of changing into hydrogen energy (Fig. 13-15). Against a background of this process, individual industries will develop fast (up to 20% per year), redistributing the total consumption pattern in their own favour. Most probable annual demand by the year 2015 will have slightly exceeded 700 tons, and by 2020 will have approached a value of 900 tons (Fig. 16). The scenario is based on the key forecast provision on the significant consumption growth, starting from 2010-2012, with arriving at peak values towards 2030-2035, related to the automobile industry and sector of compact energy sources switched to PGM-based fuel cells. As the amount of cars using new kinds of fuel increases, there will be no need to produce filter-neutralizers. This will cause gradual redistribution of demand and cumulative metal in auto industry in favour of hydrogen power technology. Keen demand of the new sector may be reflected on other PGM-consuming industries. The market regulation is expected to take place when hydrogen-based economics has matured, i.e. towards 2030-2035 (Fig. 17). By that time the cumulative metal capacity in this sector will have optimized, and the industrial turnover will significantly be dominated by secondary metals (at the level of at least 50 %). It is important to equilibrate demand and supply. The cumulative world's PGM resources are reported by the U.S. Geological Survey at over

Таким образом, сценарий развития рынка платиноидов на средне-долгосрочный горизонт весьма благоприятный. Общий спрос будет возрастать с ежегодными приростами в 5-10 %, постепенно убыстряясь вплоть до 10-15% соразмерно активности перехода к водородной энергетике (Рис. 13-15). На фоне этого процесса отдельные отрасли будут развиваться ускоренными темпами (до 20% в год), перераспределяя общую структуру потребления в свою пользу. Наиболее вероятный ежегодный объем спроса к 2015 г. будет незначительно превышать 700 т, а к 2020 г приблизится к 900 (Рис. 16). В основу этого сценария положено ключевое прогнозное положение о существенном росте потребностей, начиная с 2010-2012 гг., с выходом на пиковые значения к 2030-2035 гг. в связи с переходом автомобильной промышленности и сектора компактных источников энергии на топливные элементы (ТЭ) на базе платиноидов. По мере увеличения доли автомобилей на новых видах топлива отпадет необходимость в фильтрах-нейтрализаторах, что обусловит постепенное перераспределение спроса и зафиксированного в отрасли металла в сторону технологий водородной энергетике. Повышенный спрос нового сектора может отразиться и на других потребляющих МПГ индустриях. Стабилизация рынка ожидается при переходе водородной экономики к зрелой фазе не ранее чем в 2030-2035 гг. (Рис. 17). К этому времени кумулятивная металлоемкость этого сектора достигнет оптимального уровня, а в отраслевом обороте значительную роль будет играть вторичный металл (не менее 50 %). Важной проблемой является сбалансированность спроса и предложения. Совокупная цифра мировых запасов платиноидов, по мнению Геологической службы США, составляет более 100 тыс. т, что позволяет обеспечить

100.000 tons that allows providing sustainable development of all PGM-consuming industries for several tens of years onward. The great part of the resources and mines is concentrated in 3-4 regions: in South Africa (the Bushveld and the great Dike Complexes), in the north of Eastern Siberia (Norilsk Cu-Ni deposits) and within the Stillwater Layered Complex (USA).

устойчивое развитие всех зависимых от этого вида минерального сырья рынков на несколько десятков лет вперед. При этом львиная доля сырьевой базы, ресурсов и рудников сконцентрированы всего в 3-4 районах: в Южной Африке (комплекс Бушвелд и Великая Дайка), на севере Восточной Сибири (группа Норильских медно-никелевых месторождений) и в расслоенном массиве Стиллиуотер (США).

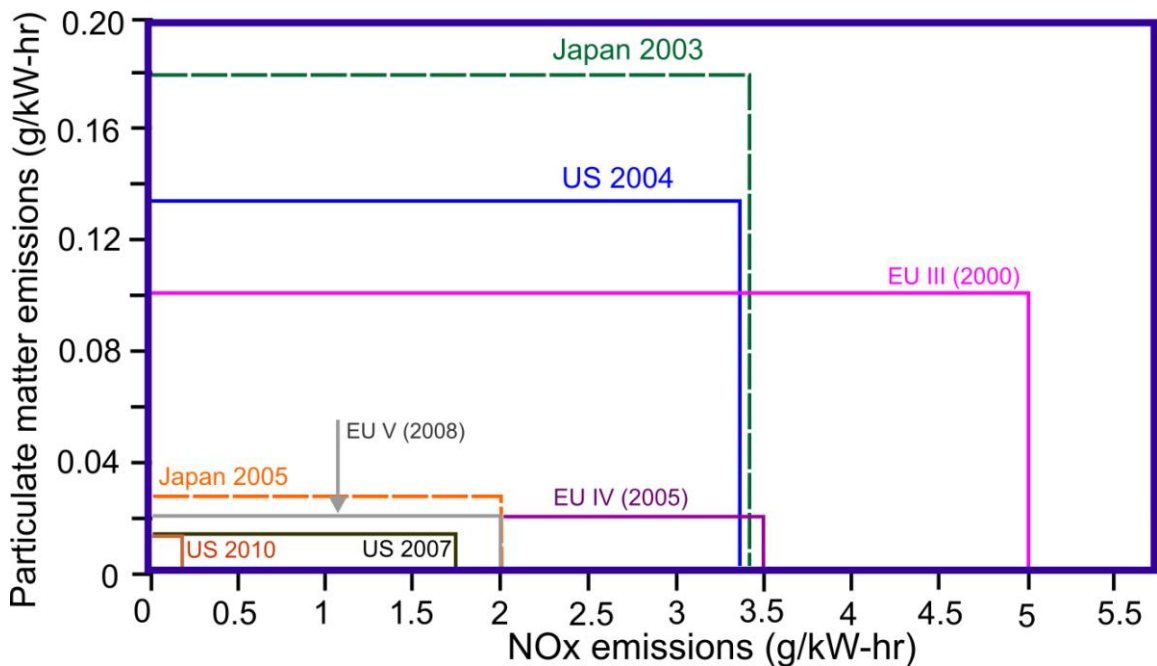
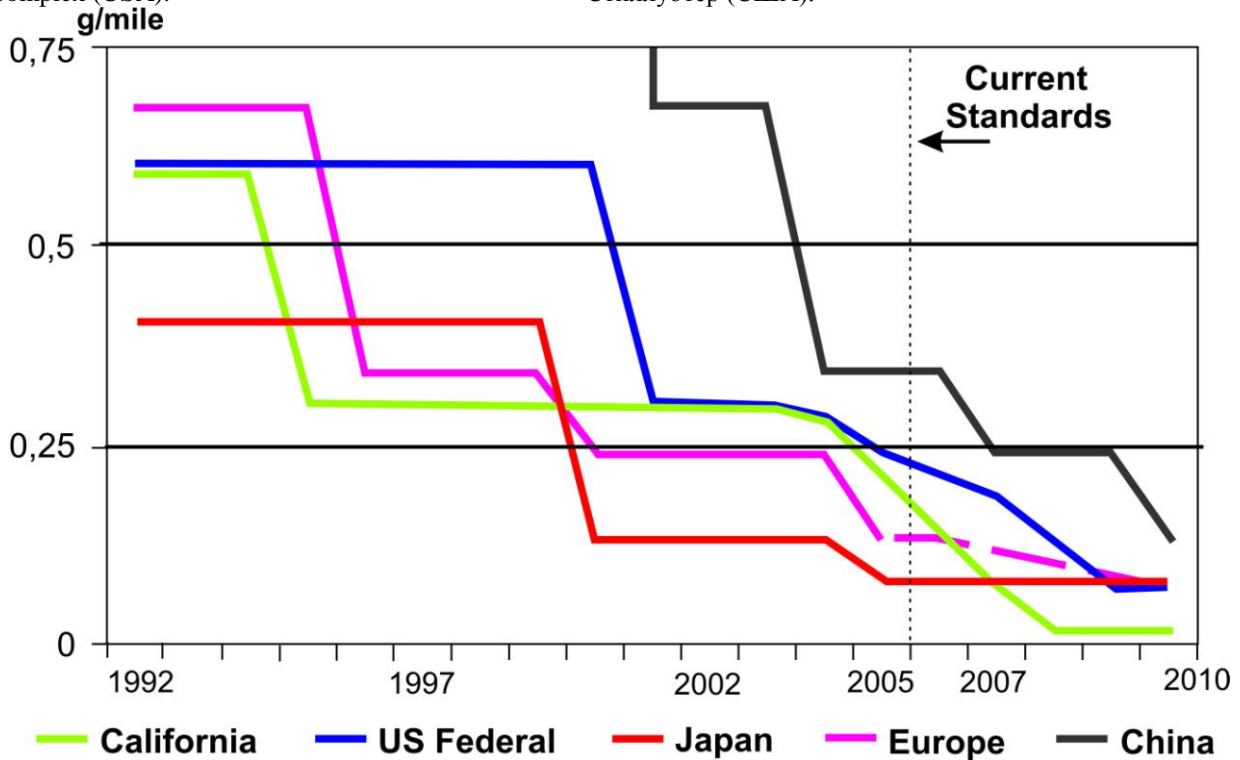


Fig. 4. Status and trends of ecological legislations with respect to emission of internal-combustion engine, after Johnson Matthey annual report – 2006.

Рис. 4. Состояние и тенденции изменения экологического законодательства эмиссии автомобильных двигателей, по материалам годового отчета Johnson Matthey, 2006.

In general, geological resources of the above-mentioned metallogenic provinces are abundant to

В целом геологические ресурсы вышеприведенных металлогенических провинций огромны и могут

support global needs for tens of years onward. However, the extension of industrial output of the PGM supplying regions has come up to the limit of their technological capabilities and ecological and economic capacity. There are besides some global and local reasons that complicate the development of the mineral resources and hamper sustainable evolution of the PGM market. The major reasons are the following:

1) The production of primary metal is owned by a number of companies (Anglo American Platinum, Norilsk Nickel together with Stillwater Mining Company, Implats and Lonmin PLC) that provide about 95 % of the world's platinum output and 87 % palladium. The PGM market strongly depends on the mode of behaviour of any above-mentioned company, and even a rumour circulating around these companies can shatter the market's strength.

обеспечить общемировые потребности на десятки лет вперед, однако наращивание промышленных мощностей вплотную приблизилось к потолку технологических возможностей и эколого-хозяйственной емкости этих территорий. Кроме того, есть ряд факторов и причин, как общесистемного, так и локального характера, осложняющих освоение минерально-сырьевой базы и устойчивое развитие платинометалльного рынка. Основными из них являются следующие:

1) Производство первичного металла излишне сконцентрировано, как географически, так по признаку собственности, т.е. несет все черты олигополистического рынка. Несколько крупнейших продуцентов (Anglo American Platinum, Норильский Никель вместе с Stillwater Mining Company, Implats и Lonmin PLC) обеспечивают около 95 % мирового производства платины и 87 % палладия. Действия / бездействия любого из таких игроков или даже слухи о них слишком сильно влияют на рынок, иногда чрезмерно перегревая его.

Auto catalysts / Фильтры-нейтрализаторы

Annual world capacity of vehicle production is about 63-64 million. It needs 250-260 t of PGE, including Pt ~ 120 t, Pd ~ 115 t and Rh ~20t. Unit consumption is 1,5-8 g per new automobile and 5-30 g per new truck.

Ежегодный мировой объем выпуска - 63-64 млн. автомашин в год, расход платиноидов 250-260 т, в т.ч.: Pt ~ 120 т + Pd ~ 115 т + Rh ~ 20 т; удельный расход при изготовлении 1 легкового автомобиля 1,5-8 г, грузовика - 5-30 г

Recycling: 64 000 000 units/year x 6 g/unit x K (= 0,5)

About 160-200 t of PGE annually is available for recycling but actually uses only ~50 t.

Рециклинг: 64 000 000 ед./год x 6 г/ед. x K (= 0,5)

Ежегодно доступно = 160-200 т, перерабатывается только ~50 т.

Cumulative metal capacity of market have to amount not less 3300-3700 t.

Кумулятивная металлоемкость не менее 3300-3700 т

Fig. 5. General indices and trends of market sector "auto catalysts".

2) The PGM production is not elasticity in the short-time prospect. Firstly, average content of valuable elements in the active mines is about 3-4 ppm. This implies that, in order to produce four tons of platinum-group metals at through extraction of 0.85 at best, it is necessary to mine out and process about 1200 -1300 thousand tons of ore that together with overburden means handling of about 4-6 million tons of rock. To provide current world's consumption (400 tons), it is necessary to handle and eliminate at least 2000 million tons of rock. The major portion of palladium is produced as a by-

Рис. 5. Основные показатели и тренды развития сектора рынка "фильтры-нейтрализаторы".

2) Производство МПГ не является эластичным в краткосреднесрочной перспективе. Во-первых, среднее содержание полезных компонентов в эксплуатирующихся месторождениях составляет около 3-4 г. Соответственно для добычи 4 т платиноидов при коэффициенте сквозного извлечения в лучшем случае 0,85 необходимо извлечь и переработать около 1200 - 1300 тыс. т руды, что с учетом вскрыши предусматривает перемещение 4-6 млн. т горной массы в год. Для обеспечения текущего среднего мирового потребления (400 т) необходимо вовлечь в оборот и элиминировать не менее 2000 млн. т скальных пород. Кроме того, большая

product when mining out Cu-Ni deposits. It impedes the extension of palladium output.

3) Financial and other resource demand, long-time development of new industrial capacities. Typical geological and mining conditions of PGM deposits allow building a mine with a maximum planned production level. For example, a small-scale mine (not more than 1 million tons of ore per year) is to be erected within 3-5 years at the investment into mining and capital construction of 50 million USD and more; a medium mine (1-10 million tons of ore) is to be erected within 4-5 years at the level of investment of more than 200 million USD; and a large-scale mine (up to 20-25 million tons of ore) is to be build within 5-7 years and more at the level of investment of more than 500 million USD. The construction of underground mines is more expensive both in terms of time and investments.

4) The factors of unstable economic and political systems of the republic of South Africa, a world's largest PGM supplier, emerged in consequence of the politics of historically disadvantaged South Africans (HDSAs) applied since 2002.

часть палладия производится как попутный компонент (бипродукт) из медно-никелевых месторождений, что делает затруднительным наращивание производства этого металла.

3) Капиталоемкость, ресурсоемкость и инертность ввода мощностей. Типичные геологические и горнотехнические условия месторождений МПГ позволяют построить рудник с выходом на максимальный проектный уровень добычи и обогащения: малый карьер (мощность по руде не более 1 млн. т./год) 3-5 лет при объеме инвестиций в горнокапитальное строительство от 50 млн. USD; средний карьер (1-10 млн. т.) – не менее 4-5 лет, инвестиции - от 200 млн. USD; крупный карьер (до 20-25 млн. т.) 5-7 и более лет, инвестиции – от 500 млн. USD. Для подземных рудников сроки и капитальные вложения существенно возрастают.

4) Факторы нестабильности экономической и политической системы ЮАР – главной мировой сырьевой базы МПГ, проявившиеся вследствие реализации, начиная с 2002 г., политики "компенсации исторически понесенного ущерба коренного населения Южной Африки - historically disadvantaged South Africans (HDSAs).

Catalysts for oil refinery and petrochemistry Катализаторы для нефтепереработки и нефтехимии

• Total annual consumption of oil refinery and petrochemistry is estimated above 25 t (Pd ~ 10t, Pt -10,4t, Rh – 1,4t, Ru -2,9t, Ir -0,9t).

Химическая промышленность и нефтехимия в совокупности потребляют более 25 т PGE (Pd ~ 10 т, Pt -10,4 т, Rh – 1,4 т, Ru -2,9 т, Ir -0,9 т).

• Recycling is insignificant: $n \times 100 \text{ kg} \div 1.5 \text{ t}$.

Объем производства вторичных металлов незначителен и составляет от нескольких сотен килограмм – до 1,5 т в год.

• Cumulative metal capacity of market makes up 220-250 t of PGE with providing the saturation rate of this market sector approximately 100%.

Кумулятивная емкость рынка оценивается в 220-250 т платиноидов, при этом его степень насыщения близка к 100 %.

Fig. 6. General indices and trends of market sector "catalysts for oil refinery and petrochemistry".

Together these reasons may initiate growing PGM shortage (up to several tons per year) and consequently inflate prices for platinum-group metals. This should be regarded as an unsettling factor for the market. Steep prices will stimulate overheating and, possibly, even collapse of the market and crisis of the PGM-consuming industries. We think that the sustainable development of the mining industry requires, in the medium-term prospect, an acceptable price corridor of 300-550

Рис. 6. Основные показатели и тренды развития сектора "катализаторы для нефтепереработки и нефтехимии".

В совокупности все тенденции могут инициировать рост дефицита (до нескольких десятков тонн в год) и соответственно цен платиноидов, что должно рассматриваться как дестабилизирующий рыночный фактор. Чрезмерно высокие цены будут способствовать перегреву, даже, возможно, обвалу рынка и кризису потребляющих отраслей. По нашему мнению, на среднесрочную перспективу для устойчивого развития добывающей отрасли необходим приемлемый коридор цен для палладия 300-550 USD/oz и для платины 1000-

USD/oz and 1000-1800 USD/oz for palladium and platinum, respectively. In this relation, development of new stock regions becomes particularly relevant. One of the most promising regions is the eastern Fennoscandian Shield, including Murmansk region, Finland and Karelia, where several large-scale deposits and a number of minor prospects have already been discovered. These are the Fedorovo, Malaya and Eastern Pana, Vurechuaivench deposits etc. in Murmansk region, Penikat, Keuvitsa, Portimo deposits etc. in Finland, and the Burakovsky-Aganozero massif in Karelia.

In Murmansk region, the Fedorovo deposit is planned to be mined out, where one of the projects provides for the construction of metallurgical plant in addition to the mining works. The operations are to be started in 2009-2010. This may promote the development of the other deposits in the region and stimulate searching for new prospects. According to our predictive estimate, Murmansk region has all necessary background to produce 20-25 tons of platinum-group metals per year and more. On the scale of adjacent regions, the estimate may be increased two to three times. This is rather convincing to stabilize the whole PGM market.

1800 USD/oz. В этой связи особенно актуальным становится вопрос освоения новых сырьевых регионов. Одним из наиболее перспективных таких регионов является восточная часть Фенноскандинавского щита, включая Мурманскую область, Финляндию и Карелию, где уже обнаружены и разведаны несколько крупных объектов и множество мелких. В Мурманской области, прежде всего, следует отметить месторождения и проявления Федорово, Малая и Восточная Пана, Вуречуайвенч и др., в Финляндии – Penikat, Keuvitsa, Portimo и др., а для Карелии можно упомянуть Бураковско-Аганозерский массив.

Переломным моментом для региона может стать начало освоения месторождения Федорово (планируемые сроки начала реализации проекта 2009-2010 гг.), один из вариантов проекта которого предусматривает помимо горного производства строительство металлургической фабрики. Такой подход может дать мощный импульс развитию всех месторождений региона и стимулировать поиск новых сырьевых объектов. По нашей прогнозной оценке, только в Мурманской области есть все необходимые предпосылки для организации производства 20-25 т и более МПГ в год. В масштабе сопредельных регионов цифры могут возрасти в 2-3 раза. Это весьма весомый уровень, чтобы стать стабилизирующим фактором для всего рынка платиноидов.

Catalysts for conversion of nitric oxides Катализаторы для азотной промышленности

• **The irretrievable loss of precious metals under conversion of nitric oxides is evaluated at 90-100 mg per 1 t obtained nitric acid, including Pt+Rh 30-50 mg in typical constructions and 50-60 mg/t and 20-25mg/t correspondingly for best design.**

Удельные невозвратные потери драгметаллов составляют в среднем 90-100 мг на 1 т азотной кислоты, включая 30-50 мг Pt + Rh, а в наиболее передовых системах - 50-60 мг/т и 20-25 мг/т соответственно [Гущин и др., 2006].

• **Cumulative metal capacity of market makes up 75-80 t of PGE, the saturation rate of this market sector comes near 95-100%. Annual consumption is evaluated 6-7,5 t mainly expending them for compensation of irretrievable losses.**

Общая металлоемкость отрасли оценивается в 75-80 т при насыщении близком к 95-100%; ежегодное потребление – 6-7,5 т, большая часть из которых компенсирует потери.

Fig. 7. General indices and trends of market sector "catalysts for conversion of nitric oxides".

Рис. 7. Основные показатели и тренды развития сектора "катализаторы для азотной промышленности".

Jeweller's art&industry Ювелирная промышленность

• Owing to accumulative motivation of consumers the jeweller business became one of the most metal-consuming branches. Only for last 20 years (1987-2006) in this sector were involved about 1500 t of PGE, including Pt - more than 1220 t and Pd - 230 t [Market ..., 2006; Platinum ..., 2006], and for the period, beginning from the middle of XX century - not less than 2500 t from which could be accumulated up to 1800-1900 t.

Благодаря накопительной мотивации потребителей ювелирное дело является одной из наиболее металлоемких отраслей. Только за 20 последних лет (1987-2006 гг.) в сектор привлечено около 1500 т PGE, в том числе Pt – более 1220 т и Pd – 230 т [Market ..., 2006; Платина ..., 2006], а за период, начиная, с середины XX века - не менее 2500 т, из которых могло быть аккумулировано до 1800-1900 т.

• Branch forecasts are very favorable for short- & long-run: annual consumption will be within 85-100 t.

Прогнозы для отрасли на среднесрочную перспективу благоприятные: ежегодное суммарное потребление первичных металлов будет находиться в пределах 85-110 т.

Fig. 8. General indices and trends of market sector "jeweller's art&industry".

Рис. 8. Основные показатели и тренды развития сектора "ювелирная промышленность".

Glass industry / Стекольная промышленность

• About 12500 bushings operates now. This amount will be increased up to 15000 at 2010 year. Discharge intensity fluctuates within 4-5 kg/unit on average and up to 11-13 kg/unit for most efficient plants.

• В настоящее время эксплуатируется около 12500 бушингов, к 2010 г. их число составит не менее 15000. Средний удельный расход PGE на 1 бушинг составляет сегодня около 4 кг, а у наиболее производительных систем – до 11-13 кг [МкКормик, 2005].

• Discharge intensity of PGE for producing 1 t of glass makes up 5-10 g or 3-4% of total weight during operation life (10-12 months on average).

Удельный расход PGE составляет 5-10 г/т стекла или до 3-4 % от массы СПА в течение среднего срока службы в 10-12 месяцев [Сивков, 2005; МкКормик, 2005; Ма Фукан, 2005].

• Cumulative metal capacity of market is estimated about 50-55 t of PGE. About 60% from them covers irretrievable losses of industry. Annual consumption is 11-12 t.

• Кумулятивная металлоемкость на стекольной промышленности оценивается в 50-55 т., примерно 60% которых компенсирует невозвратные потери. Ежегодное потребление – 11-12 т.

Fig. 9. General indices and trends of market sector "glass industry".

Рис. 9. Основные показатели и тренды развития сектора "стекольная промышленность".

Electronics & electrical engineering Электроника и электротехника

- Total annual consumption fluctuates within 55-80 t. Forecast for medium-term planning time-frame is 55-65 t/year.

- Ежегодная потребность колеблется в пределах 55-80 т. Прогноз на среднесрочный горизонт планирования – 55-65 т/год.

- Recycling is insignificant, share of recycled metal covers only 5-7% from total industry consumption but will quickly rise. Legislation of EU imputes for all producers of electronics the liability to take into account the costs of recycling in the price of production.

Доля вторичных металлов составляет не более 5-7 % от общего объема потребления. Этот объем должен значительно возрасти, так как законодательство EU вменяет производителям электронной техники, начиная с 2005-2006 гг., обязательства учитывать расходы на утилизацию их продукцию.

- Cumulative metal capacity of market makes up 280-350 t of PGE

Общая металлоемкость отрасли оценивается в 280-350 т.

Fig. 10. General indices and trends of market sector "electronics & electrical engineering".

Рис. 10. Основные показатели и тренды развития сектора "электроника и электротехника".

Medicine and stomatology / Медицина и стоматология

- It is considered, that most of stomatological manufactures are preserved for ever. Therefore irretrievable loss of PGE is about 80-90%.

- Считается, что зубопротезные изделия консервируются навсегда, поэтому невозвратные потери можно принять близкими к 90-100%.

- It has been fixed not less than 700 t of Pd and 30-40 t of Pt only for last 20 years.

- В отрасли только за последние 20 лет было зафиксировано не менее 700 т Pd и 30-40 т Pt.

- The demand for medium-term planning time-frame will around 25-30 t/year with short-time rises up to 35-40t/year.

- На среднесрочную перспективу ожидается средний – высокий спрос с колебаниями 25-30 т/г с непродолжительными всплесками до 35-40 т/г.

Laboratory & technical products Лабораторная посуда и технические изделия

- Total annual consumption fluctuates within from 1-2 up to 8-10 t/year.

- Потребление варьирует от 1-2 т/год до 8-10 т/год.

- Cumulative metal capacity of market is estimated about 150-200 t.

- Общая металлоемкость сектора исчисляется не менее 150-200 тонн.

Fig. 11. General indices and trends of market sectors "medicine and dental" & "laboratory & technical products".

Рис. 11. Основные показатели и тренды развития секторов "медицина и стоматология" и "лабораторная посуда и технические изделия".

Hydrogen energy Водородная энергетика

- The forecast for the period of transformation of economy allows to estimate the annual consumptions from 20-30 т at the initial stages, up to 300-350 т and more in an active phase of reorganization (not less than 50 % from the common demand).

- Прогноз на период трансформирования экономики позволяет дать приближенную оценку ежегодных потребностей (дополнительно к существующему уровню) от 20-30 т на начальных этапах, до 300-350 т и более в активной фазе перестройки (не менее 50% от общего спроса).

- Cumulative metal capacity of market will reach about 8000-9000 t at 2030-2040 years (saturation level).

- Кумулятивная металлоемкость водородной энергетике в целом оценивается примерно в 8000-9000 т на уровень насыщения в 2030-2040 гг.

Fig. 12. General indices and trends of market sector "hydrogen energy".

Рис. 12. Основные показатели и тренды развития сектора "водородная энергетика".

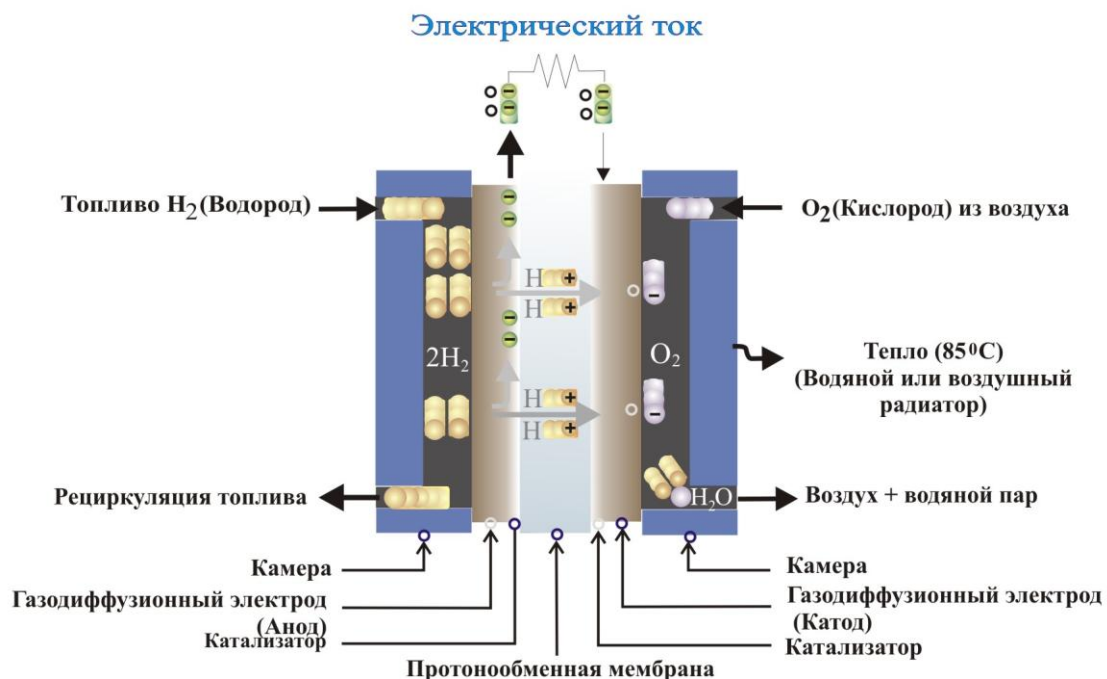


Схема твердополимерного (протонообменного) топливного элемента

Fig. 13. The schematic diagram of fuel cell [Месяц, Прохоров, 2004].

Рис. 13. Принципиальная схема функционирования топливного элемента [Месяц, Прохоров, 2004].

Hydrogen energy Водородная энергетика

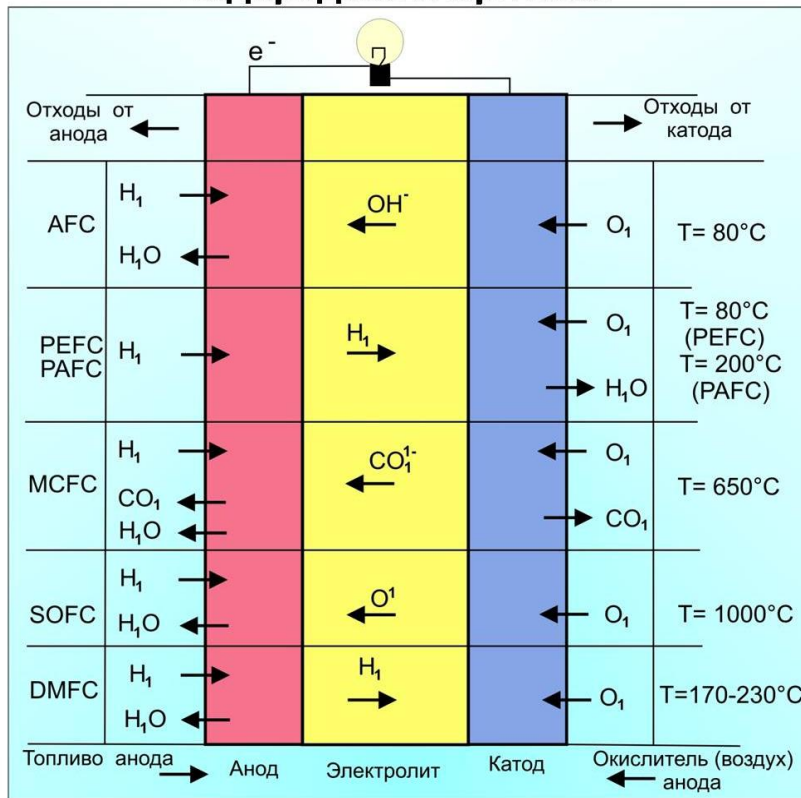


Fig. 14. Electrochemical reactions in various types of fuel cells.

Рис. 14. Электрохимические реакции в различных типах топливных элементах.



PEM — Топливный элемент с протонообменной мембраной (Proton Exchange Membrane Fuel Cell);
 AFC — Щелочной топливный элемент (Alkaline Fuel Cells);
 DMFC — Топливный элемент прямого окисления метанола (Direct Methanol Fuel Cell);
 PAFC — Топливный элемент на фосфорной кислоте (Direct Methanol Fuel Cell);
 MCFC — Топливный элемент на расплаве карбоната (Molten Carbonate Fuel Cell);
 SOFC — Топливный элемент на твердом окисле (Solid Oxide Fuel Cell).

Fig. 15. General types of fuel cells and their practical applications [Водородная ..., 2003].

Рис. 15. Основные типы топливных элементов и области их практического применения [Водородная ..., 2003].

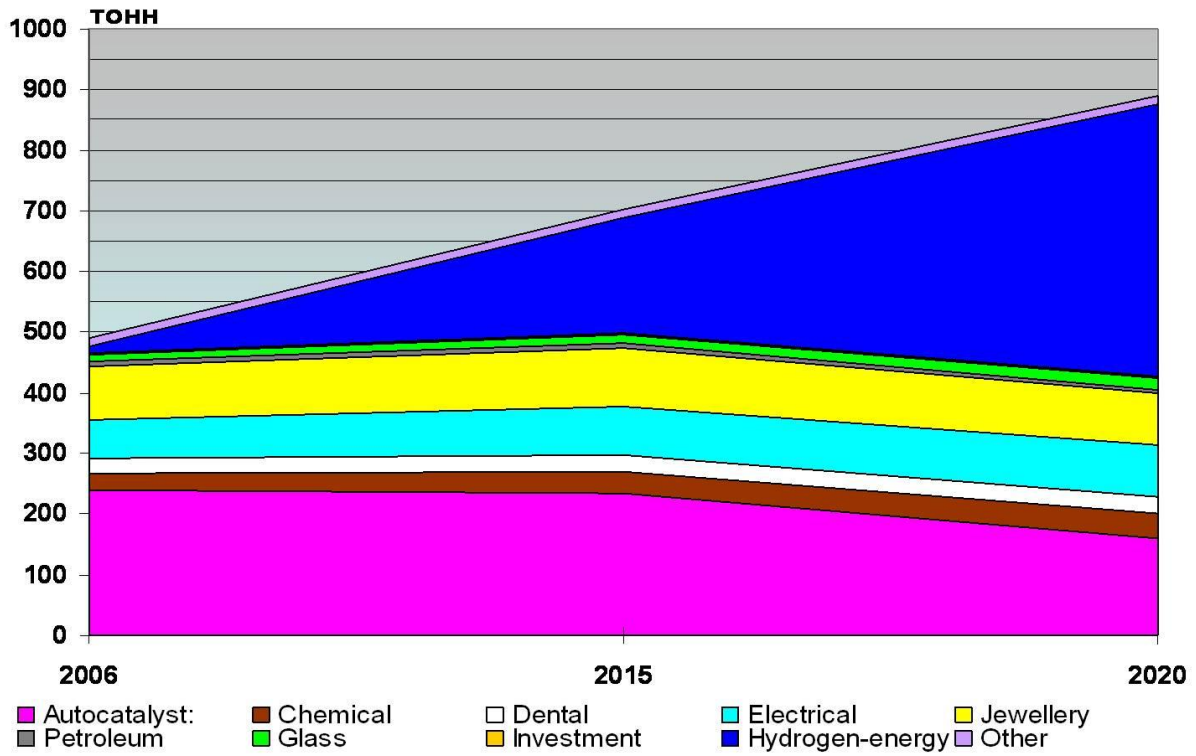


Fig. 16. The forecast of PGE consumption by branches. Рис. 16. Прогноз потребления МПГ основными отраслями.

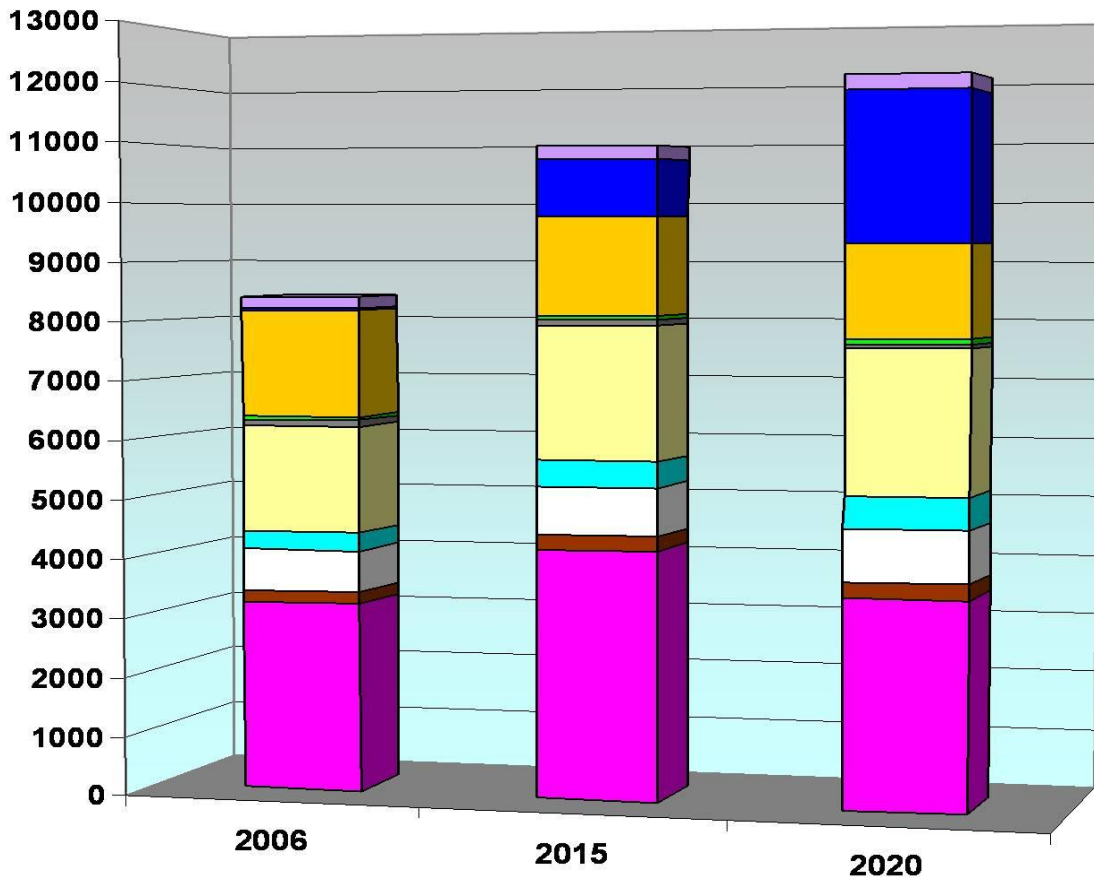


Fig. 17. The forecast of change of branch cumulative metal consumption. Рис. 17. Прогноз изменения отраслевой кумулятивной металлоемкости.

Literature & Sources / Литература и источники

1. Шумовский С.А. Политика правительства ЮАР в платинодобывающей промышленности. // Документы и материалы 7-ой Межд.конференции "Российский рынок драгоценных металлов и камней (РДМК-2004)", Москва 3-4 ноября 2004 г. - М.: Типография ООО "Гарт", 2004б. – С. 357-361.
2. Месяц Г.А., Прохоров М.Д. Водородная энергетика и топливные элементы. // Вестник Российской академии наук, 2004, том 74, № 7, с. 579-597.
3. 43. Перспективы и проблемы развития водородной энергетики и топливных элементов. Презентация 2005 г. / Вебсайт компании ОАО "ГМК Норильский никель", 2005: <http://www.nornickel.ru/>
4. Водородная энергетика и топливные элементы. Взгляд в будущее. / Заключительный отчет экспертной группы. EUR 20719 RU. Европейская комиссия. 2003. <http://www.ioffe.rssi.ru/FuelCells/FC-final.pdf>
5. 110. Johnson Matthey: Annual reports and analytical surveys for the 2004-2007 years. / website of company Johnson Matthey: <http://www.matthey.com/media/mediapresentations.htm>
6. The PGM Database (База данных по свойствам МПГ), website 2005-2007 гг.: <http://www.platinummetalsreview.com/jmpgm/index.jsp>
7. Palladium: history, sources, properties, uses and news, website: <http://www.stillwaterpalladium.com/>

GEOCHRONOLOGY OF THE PGE-BEARING INTRUSIONS LOCATED IN THE N-E PART OF THE BALTIC SHIELD

ГЕОХРОНОЛОГИЯ ПЛАТИНОМЕТАЛЛЬНЫХ ИНТРУЗИЙ СЕВЕРО- ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО ЩИТА

Mrs. Tamara Bayanova,
Dsc., Branch manager
(geochronology and isotope
geochemistry laboratory)

Тамара Б. Баянова,
д.г.-м.н., зав лабораторией
геохронологии изотопной
геохимии

Felix P. Mitrofanov
Scientific adviser

Феликс П. Митрофанов,
Научный руководитель

Geological Institute,
Kola Science Centre, RAS
Apatity, 184209, Fersman str. 14
E-mail: tamara@geoksc.apatity.ru
felix@geoksc.apatity.ru

Геологический институт
КНЦ РАН
Апатиты, 184209, ул. Ферсмана 14
E-mail: tamara@geoksc.apatity.ru
felix@geoksc.apatity.ru

There are two 300-500-km long belts of Palaeoproterozoic layered intrusions: the Northern (Kola) Belt and the Southern (Fenno-Karelian) Belt on the Baltic (Fennoscandian) Shield. New U-Pb (TIMS) ages and radiogenic isotopic (Nd-Sr-He) data have been determined for mafic-ultramafic Cu-Ni-Ti-Cr and PGE-bearing layered intrusions of the Kola Belt. U-Pb ages on zircon and baddeleyite for gabbro-norite and anorthosite from the Fedorovo-Pansky, Monchepluton and Main Ridge (Monchetundra and Chunutundra), Mt. Generalskaya intrusions and gabbro-norite and dykes from the Imandra lopolith of the Kola Belt define a time interval of more than 130 million years, from ca. 2.52 Ga to 2.39 Ga. There have been defined at least four intrusive phases: three PGE-bearing, and one barren. This spread of ages is wider than that for intrusions of the Fenno-Karelian Belt which clusters at 2.44 Ga. Nd isotopic values for the Northern Belt range from -1.1 to -2.4, implying an enriched mantle "EM-1 type" reservoir for these layered intrusions. Initial Sr isotopic data for the intrusions are radiogenic relative to bulk mantle, with ISr values from 0.703 to 0.704. Geochemical data and 4He/3He isotopic ratios of the minerals reflect the predominant contribution from a mantle source and influence of crustal processes during emplacement. The geological and geochronological data indicate that in the eastern part of the Baltic Shield, mafic intrusive magmatism was active over a protracted period, related to plume magmatism associated with continental breakup that included the Superior and Wyoming provinces.

В пределах Балтийского (Фенноскандинавского) щита располагаются два пояса Палеопротерозойских расслоенных интрузий протяженностью 300-500 км: Северный (Кольский) пояс и Южный (Фенно-Карельский) пояс. Новые возрастные U-Pb (TIMS) и изотопные характеристики (Nd-Sr-He) были получены для ультраосновных-основных расслоенных интрузий Кольского региона перспективных, на Cu-Ni-Ti-Cr и PGE оруденение. U-Pb возрасты по циркону и бадделеиту из габброноритов и анортозитов интрузий Федорово-Панского массива, Мончеплутона, г. Генеральской и Главного Хребта (Мончетундра и Чунатундра), а также из габброноритов и даек Имандровского лополита определяют интервал формирования базитового магматизма Кольского пояса более 130 млн. лет, от 2,52 млрд. лет до 2,39 млрд.лет. На основании возрастного интервала данных выделяется четыре интрузивные фазы основного магматизма Кольского пояса: три рудогенные в отношении металлов платиновой группы (МПГ) и одна безрудная. Интервал формирования расслоенных МПГ содержащих интрузий Кольского пояса шире, чем известный для массивов Фенно-Карельского пояса, который в целом соответствует возрасту 2,44 млрд.лет. Значения ϵ_{Nd} по породам для интрузий Северного Пояса находятся в интервале от -1,1 до -2,4, а первичные отношения стронция (ISr) соответствуют величинам от 0,703 до 0,704, на основании которого предполагается происхождение расслоенных интрузий Кольского пояса из обогащенного мантийного резервуара типа "EM-1". Изотопно-геохимические характеристики величин He_4/He_3 для пород и минералов, выделенных из интрузий Северного Кольского пояса, отражают процессы коровой контаминации при внедрении базитовой магмы из глубинных резервуаров. Геолого-геохимические и геохронологические данные для интрузий Балтийского (Фенноскандинавского щита) отражают длительный мафический плюмовый магматизм, который был широко проявлен на многих континентах мира (Канадский щит-провинции Сьюпериор и Вайоминг) и привел к распаду древнего суперконтинента в Палеопротерозое.

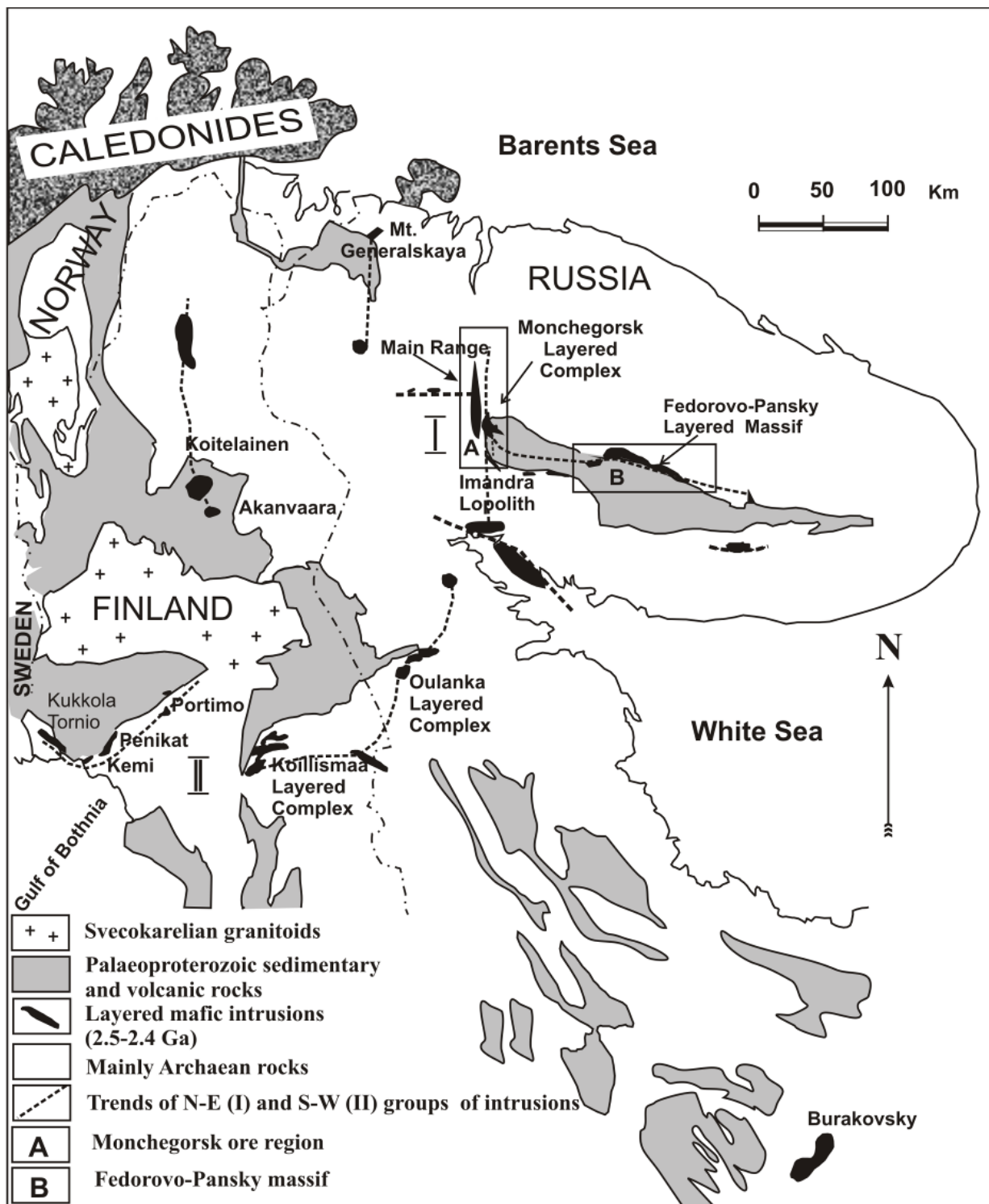
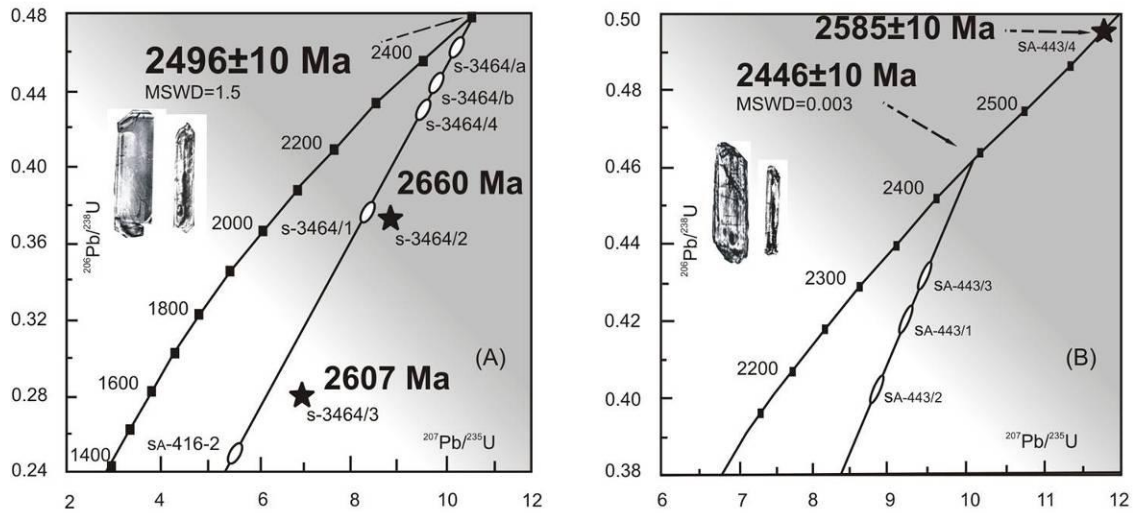


Fig. 1. Generalized geological map of the north-eastern part of the Baltic Shield and the location of Early Proterozoic mafic layered intrusions.

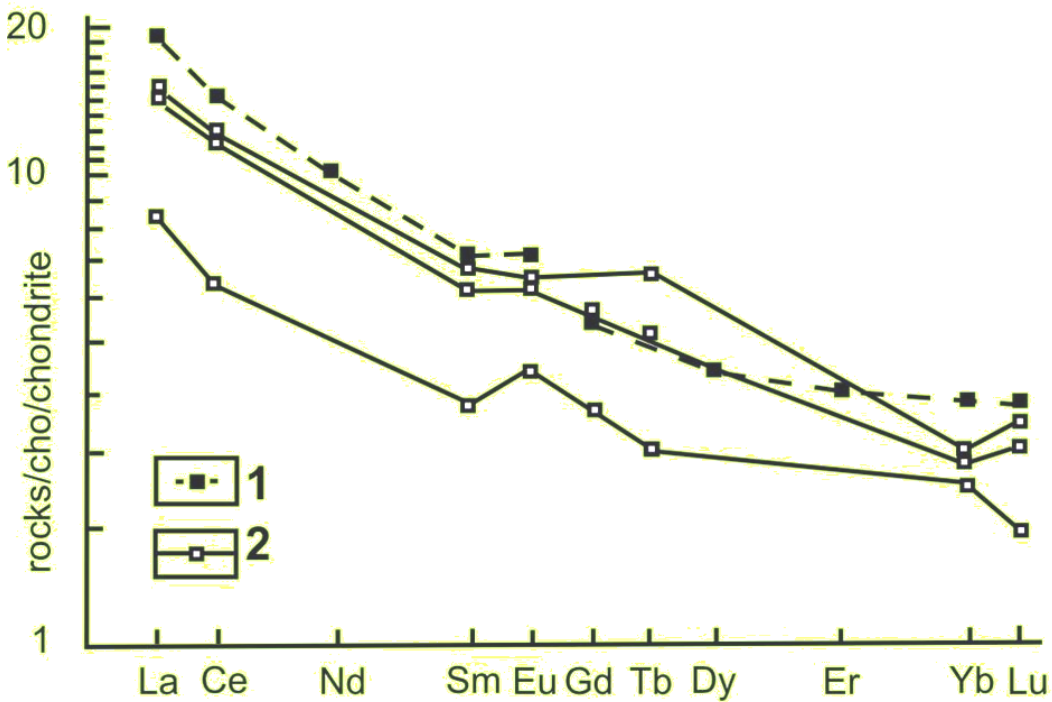
Рис. 1. Схематичная геологическая карта северо-восточной части Балтийского щита и месторасположение раннепротерозойских основных расслоенных интрузий.



U-Pb concordia diagram for zircons from gabbro-norite (A) and from anorthosite (B)
 Microphotographs and REM photos of magmatic zircons (100-150 μm) from gabbro norite (A) and zircons (100 μm) from anorthosite (B)

Fig. 2. U-Pb ages on zircon from gabbro-norite and from anorthosite of Mt. Generalskaya.

Рис. 2. U-Pb возраста по цирконам из габброноритов и анортозитов массива "г. Генеральская".



Chondrite-normalized REE patterns for gabbro-norite

1- isotope dilution; 2 - neutron activation.

Fig. 3. Chondrite-normalized REE patterns for gabbro-norite, Mt. Generalskaya.

Рис. 3. График распределения REE для габброноритов г. Генеральская.

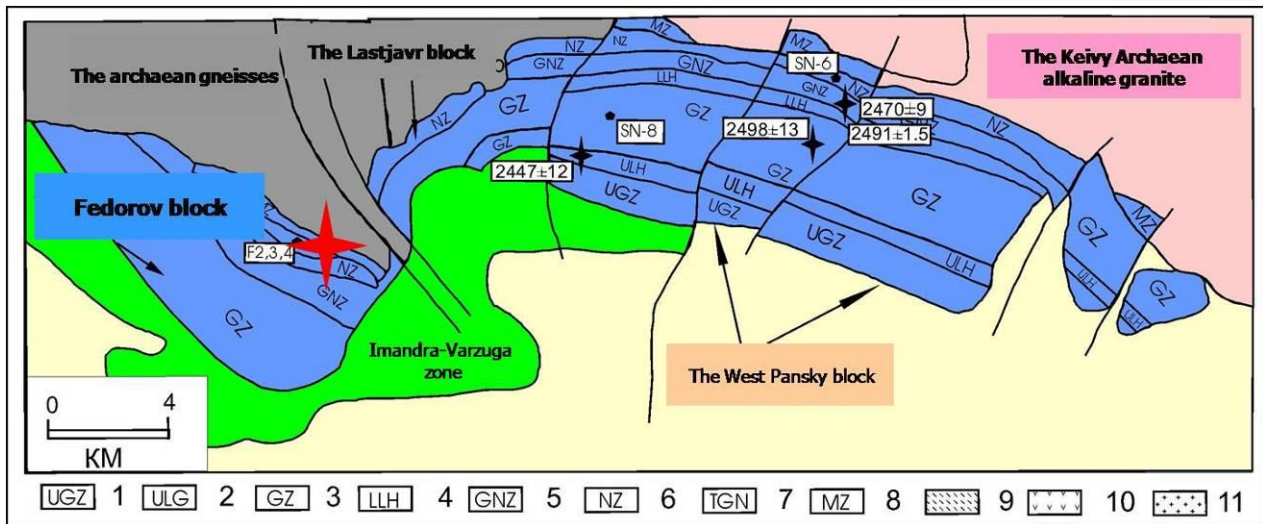


Fig. 4. Geological map of the Proterozoic Fedorovo Pansky layered intrusion after Schissel et al, 2002.

Рис. 4. Геологическая схема Федорово-Панской Протерозойской расслоенной интрузии по Schissel et al, 2002.

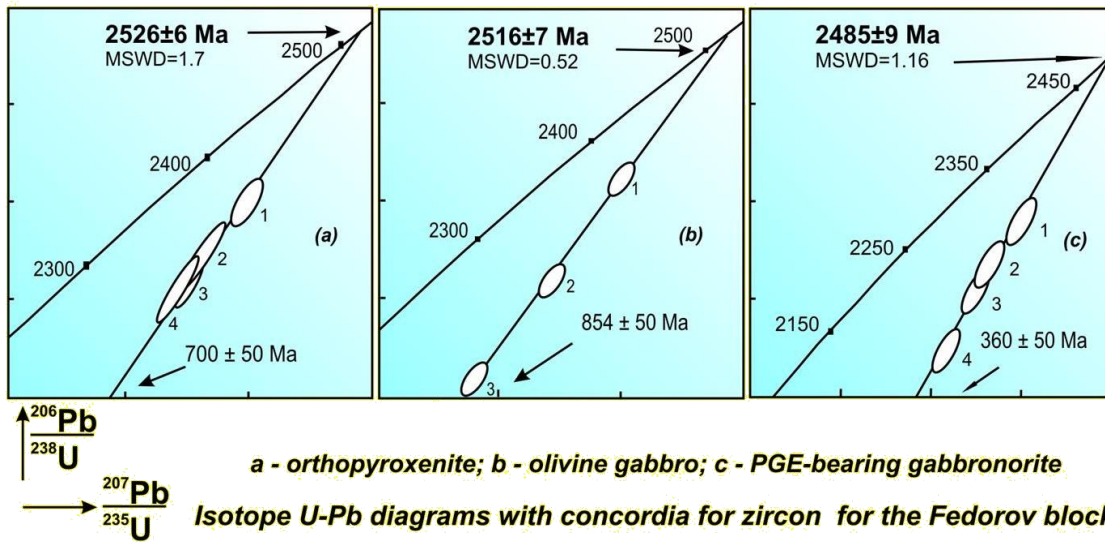


Fig. 5. Isotope U-Pb diagrams with concordia for zircons from barren phase rocks of Fedorovo block.

Рис. 5. Изотопные U-Pb диаграммы для цирконов из пород безрудной фазы Федоровского блока.

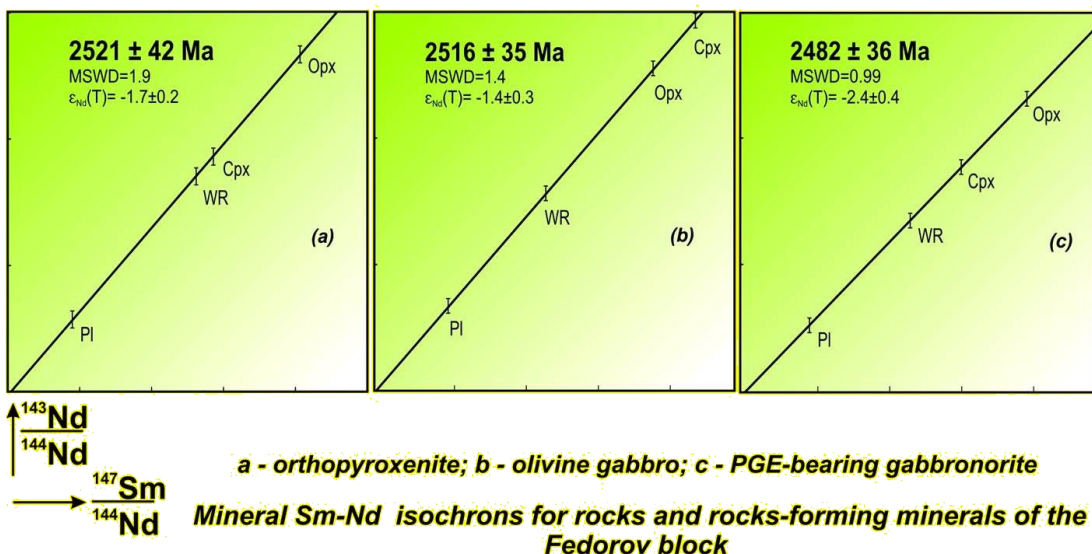


Fig. 6. Mineral Sm-Nd isochrones for rocks and rocks-forming minerals from barren phase of Fedorovo blok.

Рис. 6. Изотопные Sm-Nd изохроны для пород и породообразующих минералов для Федорово блока.

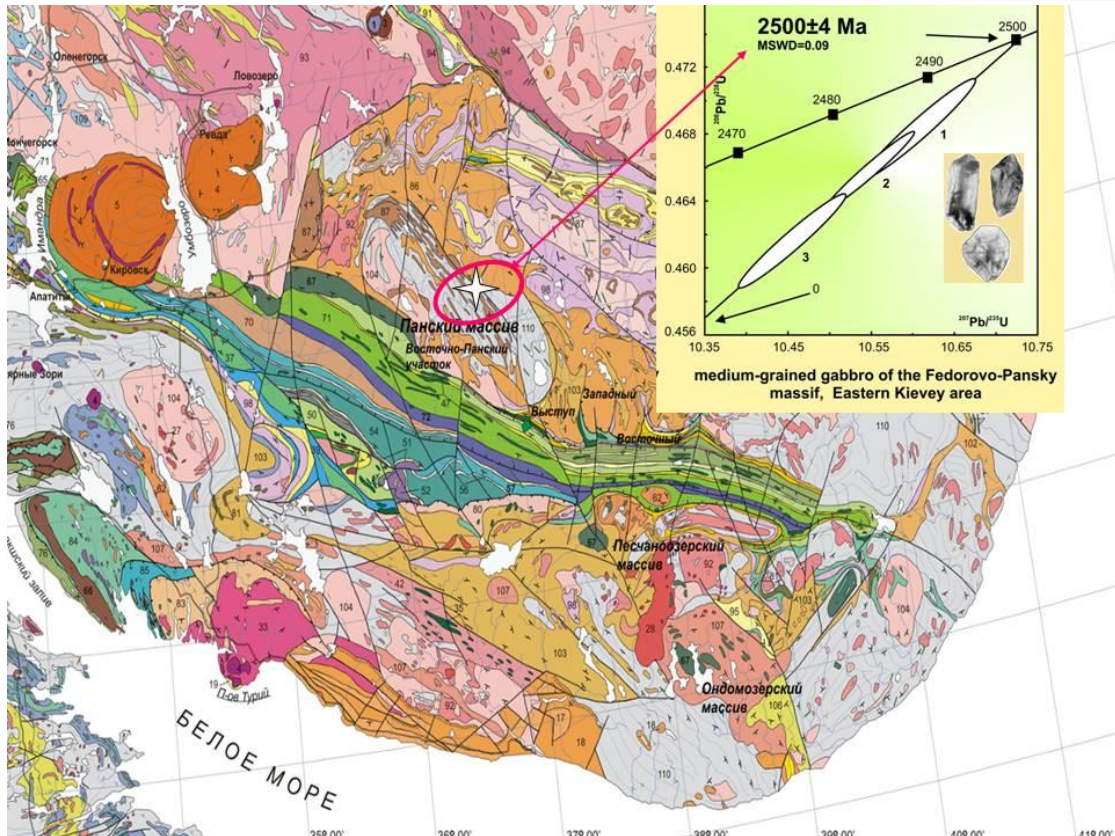


Fig. 7. Isotope U-Pb diagram with concordia for zircons from medium-grained gabbro of the Fedorovo-Pansky massif, Eastern Kievev area.

Рис. 7. U-Pb диаграмма с конкордией для цирконов из среднезернистого габбро участка Киевей Федорово-Панского массива.

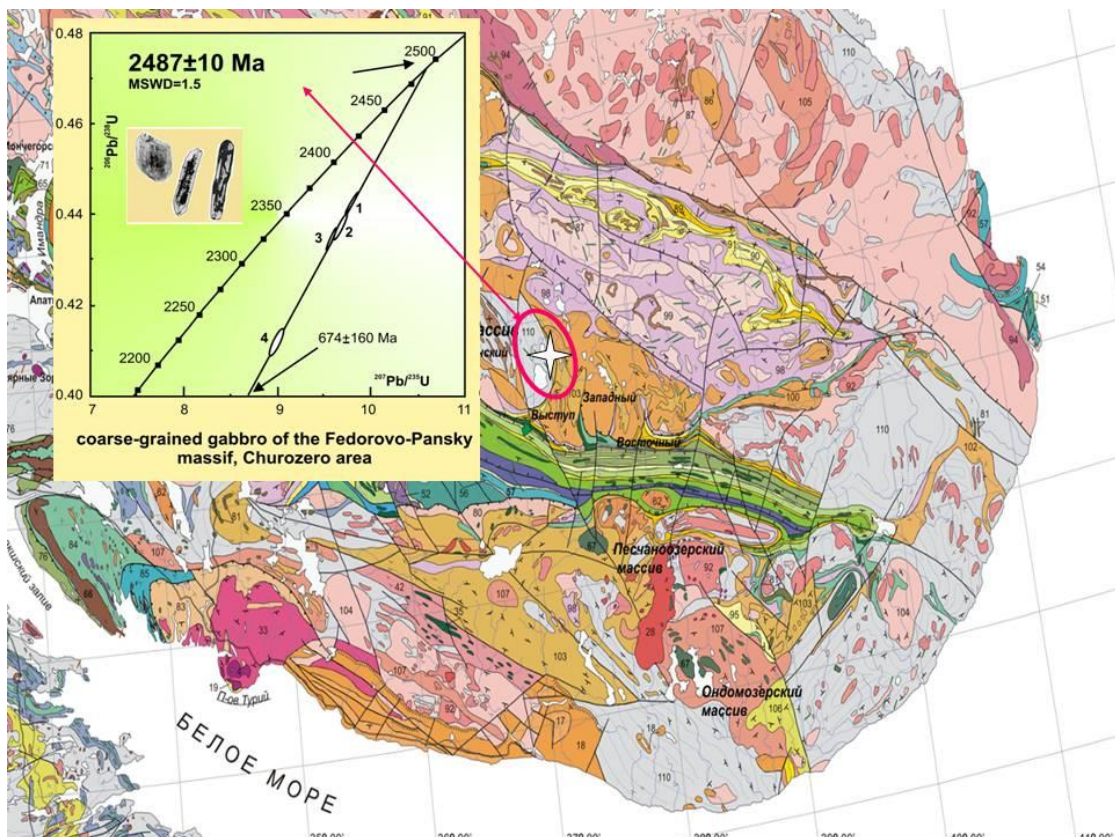


Fig. 8. Isotope U-Pb diagram with concordia for zircons from coarse-grained gabbro of the Fedorovo-Pansky massif, Churozero area.

Рис. 8. U-Pb диаграмма с конкордией для цирконов из крупнозернистого габбро участка Чурозеро Федорово-Панского массива.

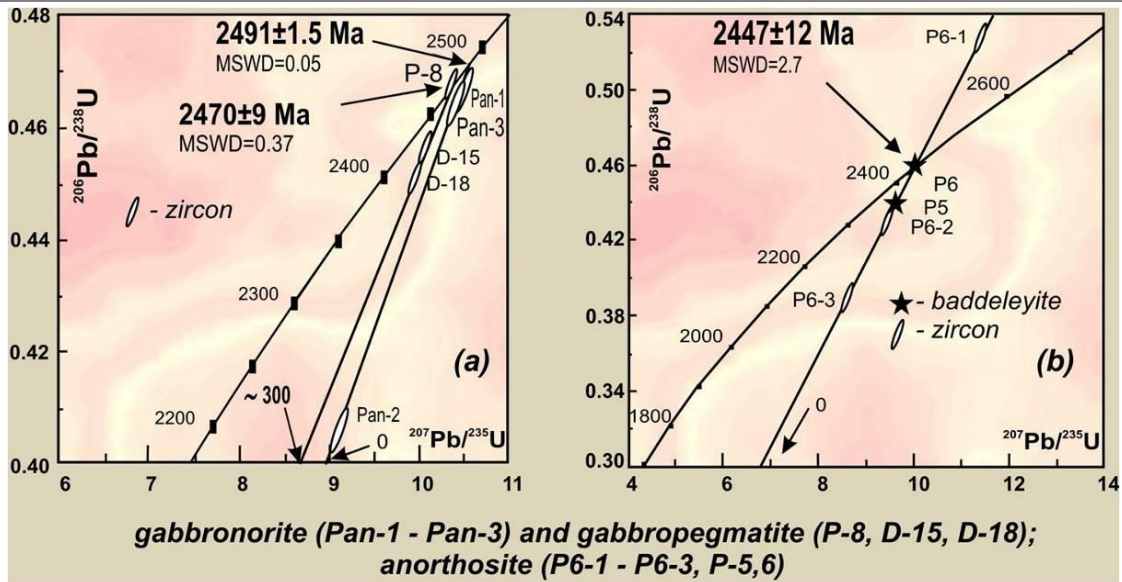


Fig. 9. Isotope U-Pb diagrams for zircons and baddeleyites from gabbronorite, gabbropegmatite and anorthosite of Fedorovo-Pansky massif.

Рис. 9. Изотопные U-Pb диаграммы для цирконов и бадделейтов из габброноритов, габбро-пегматитов и анортозитов Федорово-Панского массива.

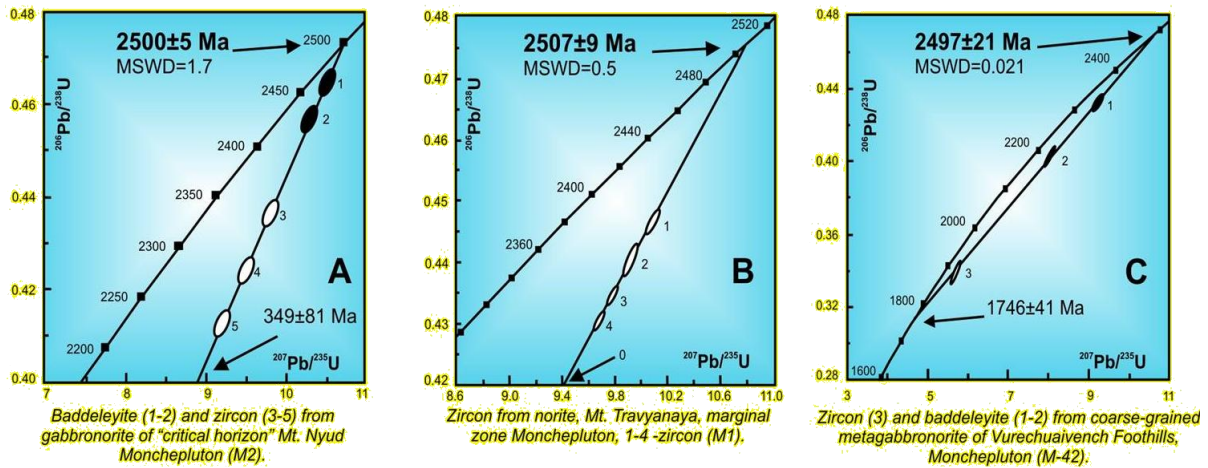


Fig. 10. Isotope U-Pb diagrams for zircons and baddeleyites from rocks of Monchepluton.

Рис. 10. Изотопные U-Pb диаграммы для цирконов и бадделейтов из пород Мончеплутона.

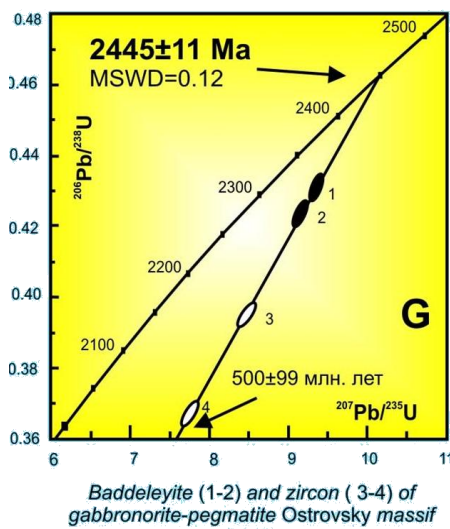


Fig. 11. Isotope U-Pb diagram for zircons and baddeleyites from gabbronorite-pegmatite Ostrovsky massif.

Рис. 11. Изотопная U-Pb диаграмм для цирконов и бадделейтов из габброноритов-пегматитов Островского массива.

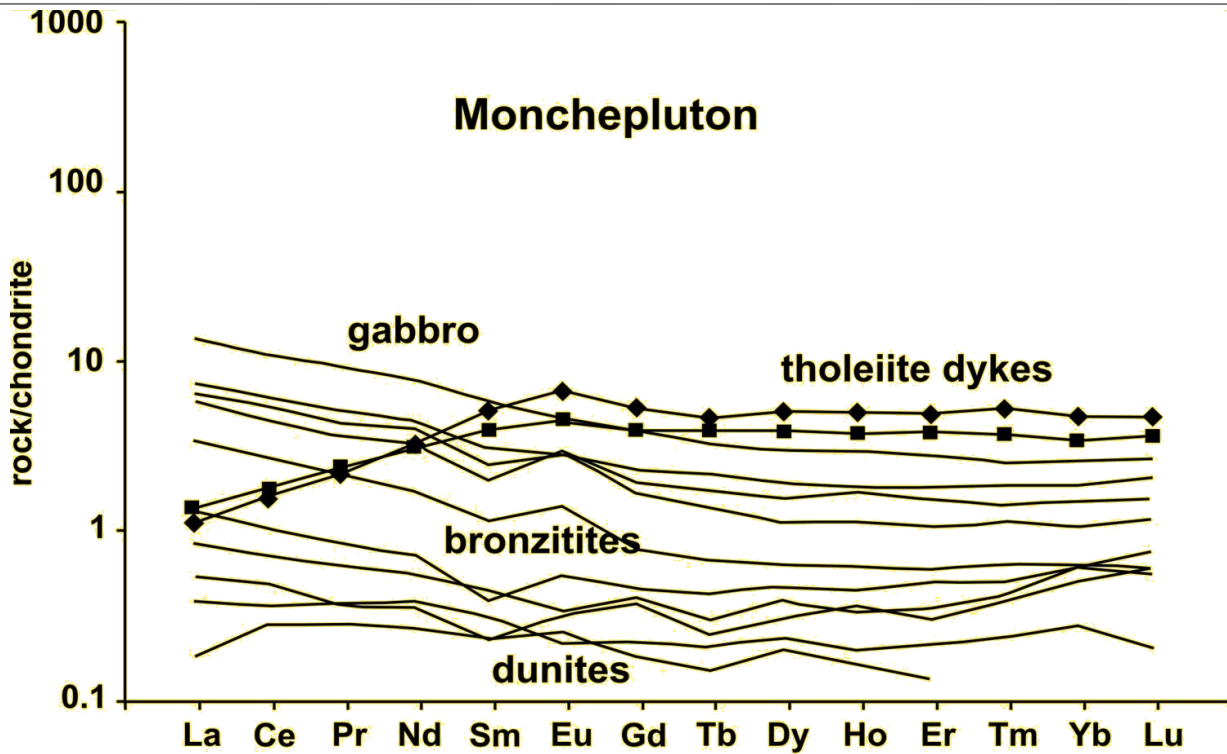
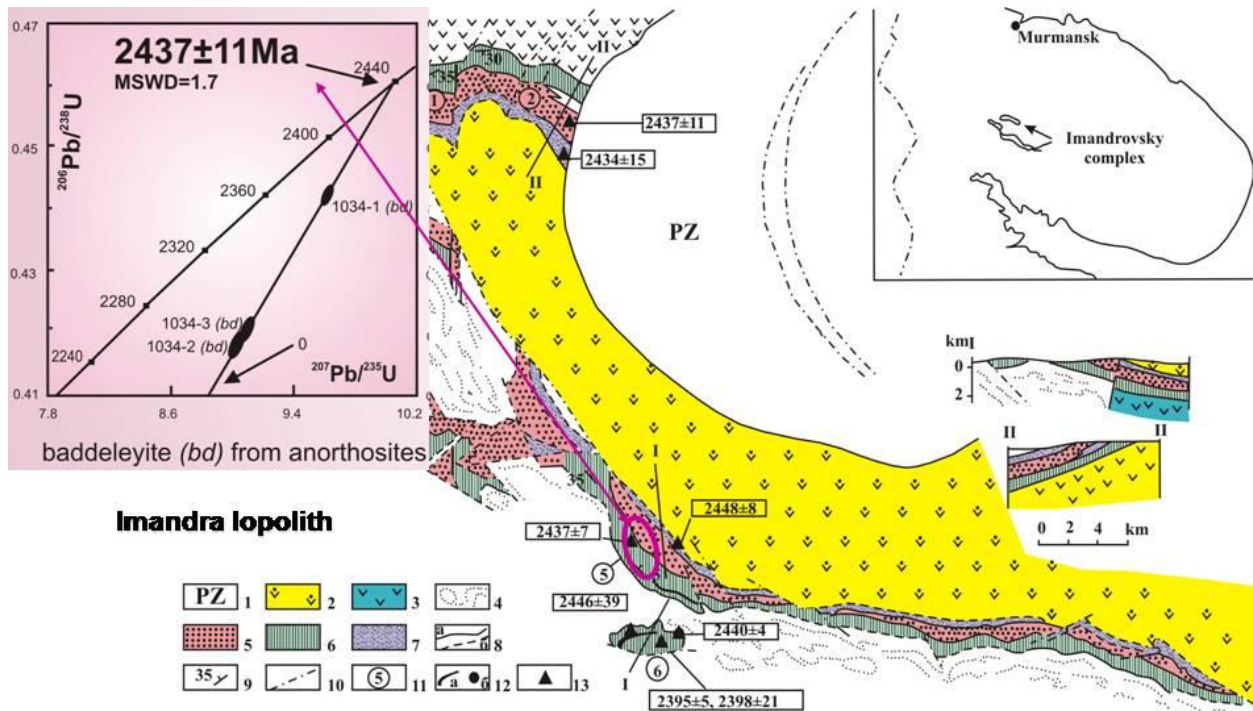


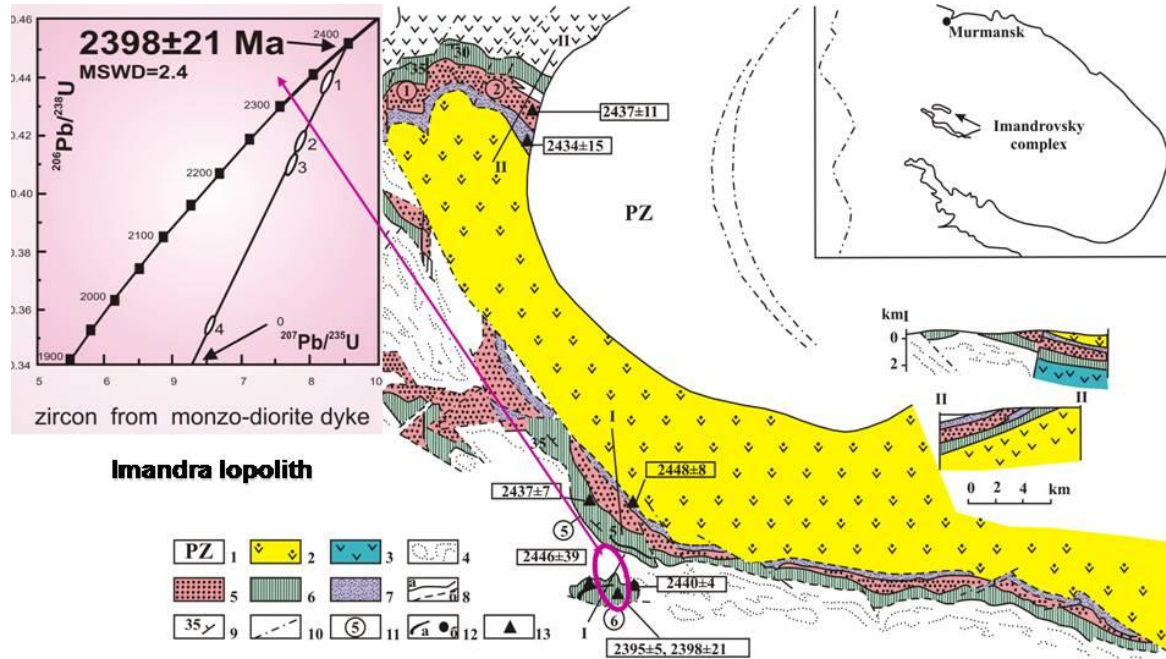
Fig. 12. Distribution REE in the rocks of Monchepluton . Рис. 12. График распределения REE для пород Мончеплутона.



Geological map of the Imandra lopolith compiled on the basis of the 1:50000 geological map by Sholokhnev (1992) using data from (Imandra-Varzuga..., 1982; Galimzyanova, 2002). 1 nepheline syenite. Early Proterozoic volcanic and terrigenous rocks: 2 Varzuga Series; 3 Strel'nyaya Series; 4 Archean rocks including non-differentiated varieties; 5 - anorthosite, ferrogabbro of the near-roof zone; 6 near-bottom and main gabbro-norite zones; 7 - granophyre; 8 boundaries: established (a), assumed (b); 9 layering; 10 tectonic dislocations; 11 - massifs: Monchepoluostrov (1), Prikhibinie (2), Mt. Yagel'naya (3), Devich'ya-Mayavr (4), Umbarechka (5), Bol'shaya Varaka (6); 12 pegmatitic rocks: olivine gabbro-norite (a), gabbro-diorite-pegmatite (b), 13 samplings sites.

Fig. 13. Isotope U-Pb diagram for baddeleyites from anortosite of Imandra lopolith.

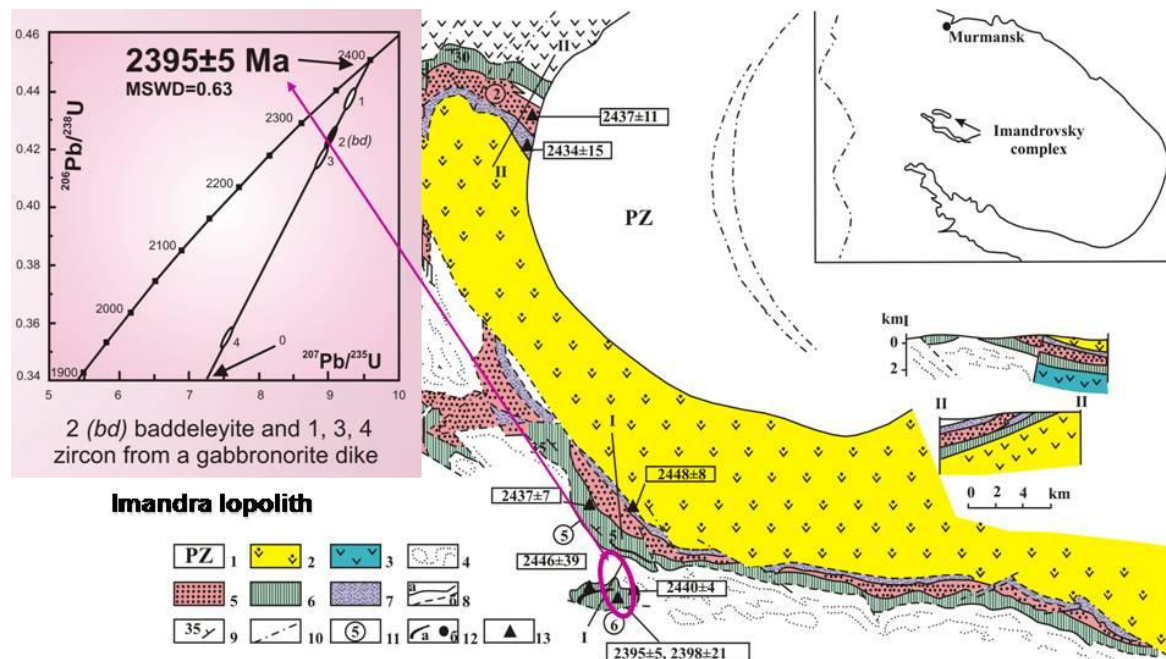
Рис. 13. U-Pb диаграмма с конкордией для бадделеита из анортозитов Иmandровского лополита.



Geological map of the Imandra lopolith compiled on the basis of the 1:50000 geological map by Sholokhnev (1992) using data from (Imandra-Varzuga..., 1982; Galimzyanova, 2002). 1 nepheline syenite. Early Proterozoic volcanic and terrigenous rocks: 2 Varzuga Series; 3 Strel'nya Series; 4 Archean rocks including non-differentiated varieties; 5 - anorthosite, ferrogabbro of the near-roof zone; 6 near-bottom and main gabbronorite zones; 7 - granophyre; 8 boundaries: established (a), assumed (b); 9 layering; 10 tectonic dislocations; 11 - massifs: Monchepoluostrov (1), Prikhibinie (2), Mt. Yagel'naya (3), Devich'ya-Mayavr (4), Umbarechka (5), Bol'shaya Varaka (6); 12 pegmatitic rocks: olivine gabbronorite (a), gabbro-diorite-pegmatite (b), 13 samplings sites.

Fig. 14. Isotope U-Pb diagram for zircons from monzo-diorite dyke, Imandra lopolith.

Рис. 14. U-Pb диаграмма с конкордией для циркона из монцо-диоритовой дайки Иmandровского лополита.



Geological map of the Imandra lopolith compiled on the basis of the 1:50000 geological map by Sholokhnev (1992) using data from (Imandra-Varzuga..., 1982; Galimzyanova, 2002). 1 nepheline syenite. Early Proterozoic volcanic and terrigenous rocks: 2 Varzuga Series; 3 Strel'nya Series; 4 Archean rocks including non-differentiated varieties; 5 - anorthosite, ferrogabbro of the near-roof zone; 6 near-bottom and main gabbronorite zones; 7 - granophyre; 8 boundaries: established (a), assumed (b); 9 layering; 10 tectonic dislocations; 11 - massifs: Monchepoluostrov (1), Prikhibinie (2), Mt. Yagel'naya (3), Devich'ya-Mayavr (4), Umbarechka (5), Bol'shaya Varaka (6); 12 pegmatitic rocks: olivine gabbronorite (a), gabbro-diorite-pegmatite (b), 13 samplings sites.

Fig. 15. Isotope U-Pb diagram with concordia for baddeleyite (2) and zircons (1,3-4) from gabbronorite dike, Imandra lopolith.

Рис. 15. U-Pb диаграмма с конкордией для бадделеита (2) и циркона (1,3-4) из дайки габброноритов Иmandровского лополита.

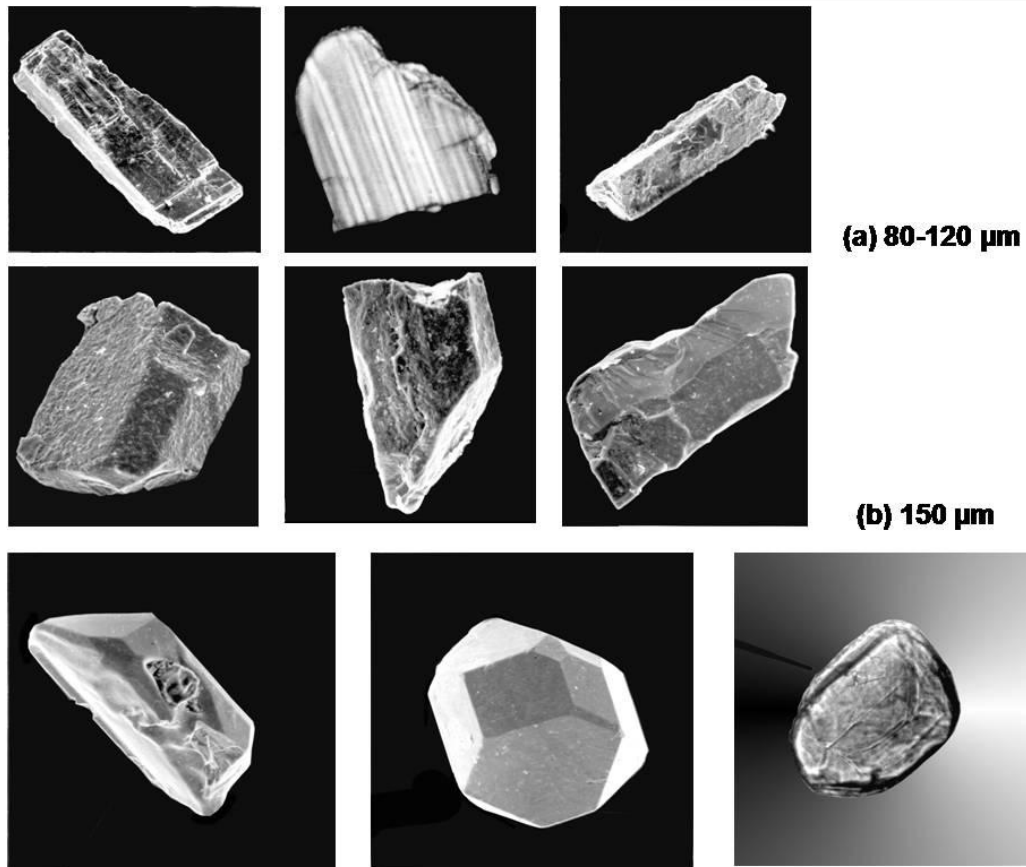


Fig. 16. Morphology of baddeleyite (a) and zircon (b) grains from rocks of the Imandra lopolith.

Рис. 16. Морфология зерен бадделеита (a) и циркона (b) из пород Имандровского лополита.

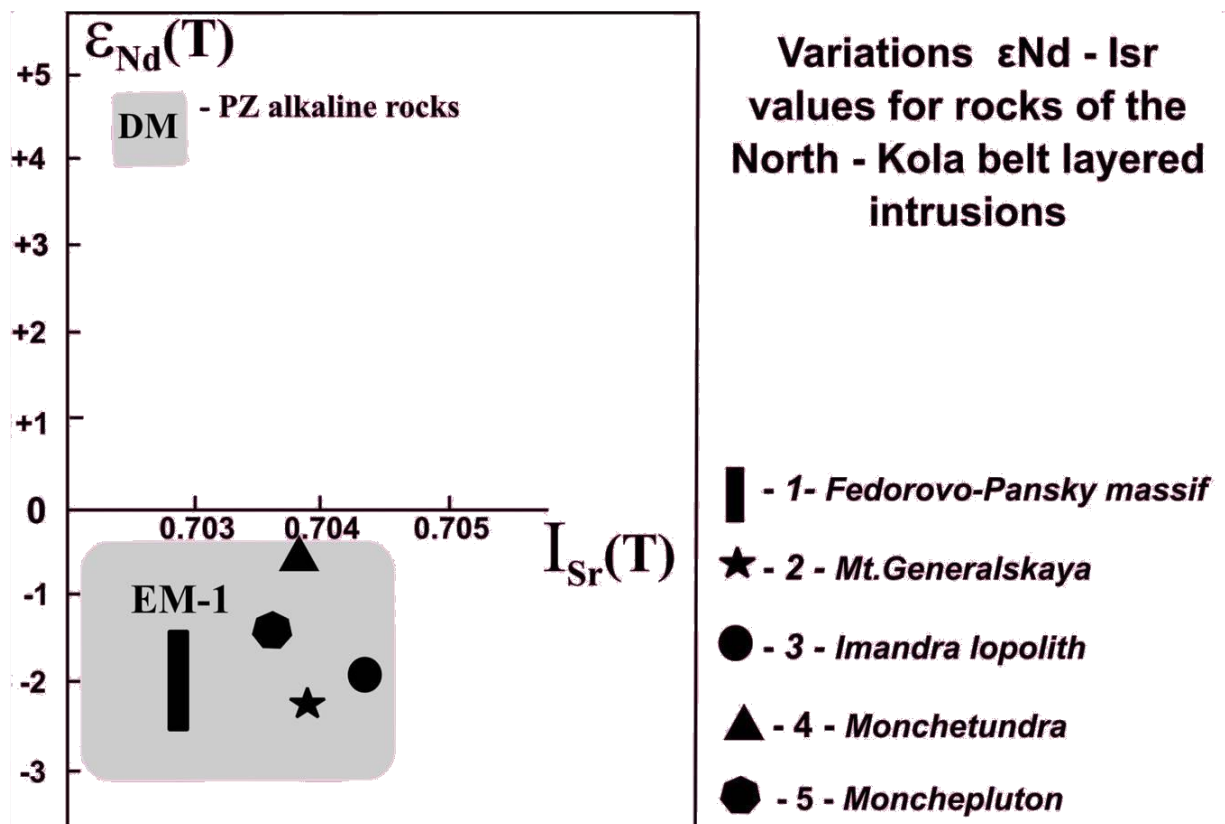


Fig. 17. Variations ϵ_{Nd} - I_{Sr} values for rocks of the North – Kola belt layered intrusions.

Рис. 17. Распределение значений ϵ_{Nd} и I_{Sr} в породах расслоенных интрузий Северного Кольского пояса.

N hole/depth	Rock, mineral	$^4\text{He} \times 10^{-6}$ sm ³ STP/g concentration	$^4\text{He}/^3\text{He}$ $\times 10^6$	mantle % contribution**
Fedorovo-Pansky massif				
hole, Кн-16/6	<i>Amphibole</i>	81	9.1	0.11
hole, Ма-14/1	<i>Orthopyroxene</i>	9.9	12.8	0.08
outcrop, № 9	<i>Ilmenite</i>	43.9	16.5	0.06
Monchepluton (Mt. Sopcha)				
hole, 995/315	<i>Olivinite, rock</i>	17	6.25	0.16
hole, 995/315	<i>Olivine</i>	25	5.88	0.17
hole, 995/315	<i>Orthopyroxene</i>	31	6.25	0.16
hole, 995/315	<i>Plagioclase</i>	47	5.56	0.18
hole, 995/315	<i>Magnetite</i>	132	4.35	0.23
Main Range (Monchetundra)				
hole, 765/905,9	<i>Clinopyroxene</i>	163	4.76	0.21
hole, 765/905,9	<i>Orthopyroxene</i>	21	4.76	0.21
hole, 765/985,3	<i>Amphibole</i>	97	4.76	0.21
hole, 765/985,3	<i>Clinopyroxene</i>	115	5	0.20
Dunite block of Monchepluton				
hole, 904/102	<i>Dunite, rock</i>	218	1.47	0.68
hole, 904/102	<i>Olivine</i>	115	1.35	0.74
hole, 1651/244,9	<i>Chromitite, ore</i>	56	1.43	0.70
hole, C-1651/373,5*	<i>Dunite-Bronzite</i>	28	0.83	1.20
hole, C-1622/7*	<i>Chromitite, ore</i>	2.8	0.69	1.44

Fig. 18. Isotope $^4\text{He}/^3\text{He}$ ratios for rocks, rock-forming and accessory mineral from Proterozoic Pt-bearing layered intrusions (crushing, melting and step wise heating methods).

Рис. 18. Отношения величины $^4\text{He}/^3\text{He}$ для пород, породообразующих и акцессорных минералов из Протерозойских платиноносных расслоенных интрузий (дробление, плавление и метод ступенчатого нагревания).

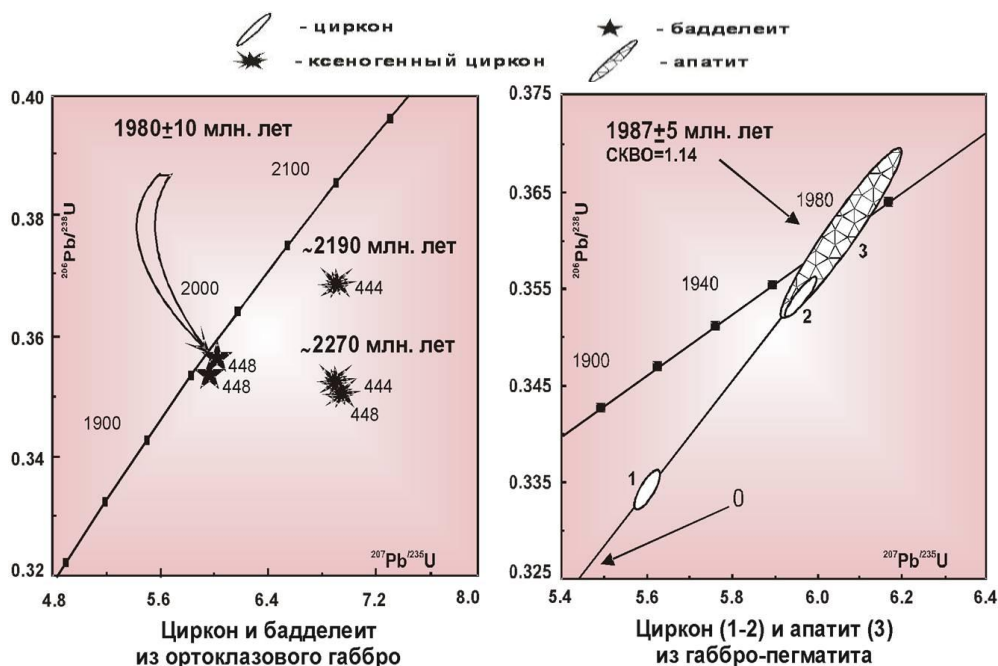


Fig. 19. Isotope U-Pb diagrams with concordia for rocks (orthoclase gabbro – left, gabbro-pegmatite – right) of Zhdanovskoe deposit, Pechenga.

Рис. 19. Изотопные U-Pb диаграммы с конкордией для пород Ждановского месторождения Печенги

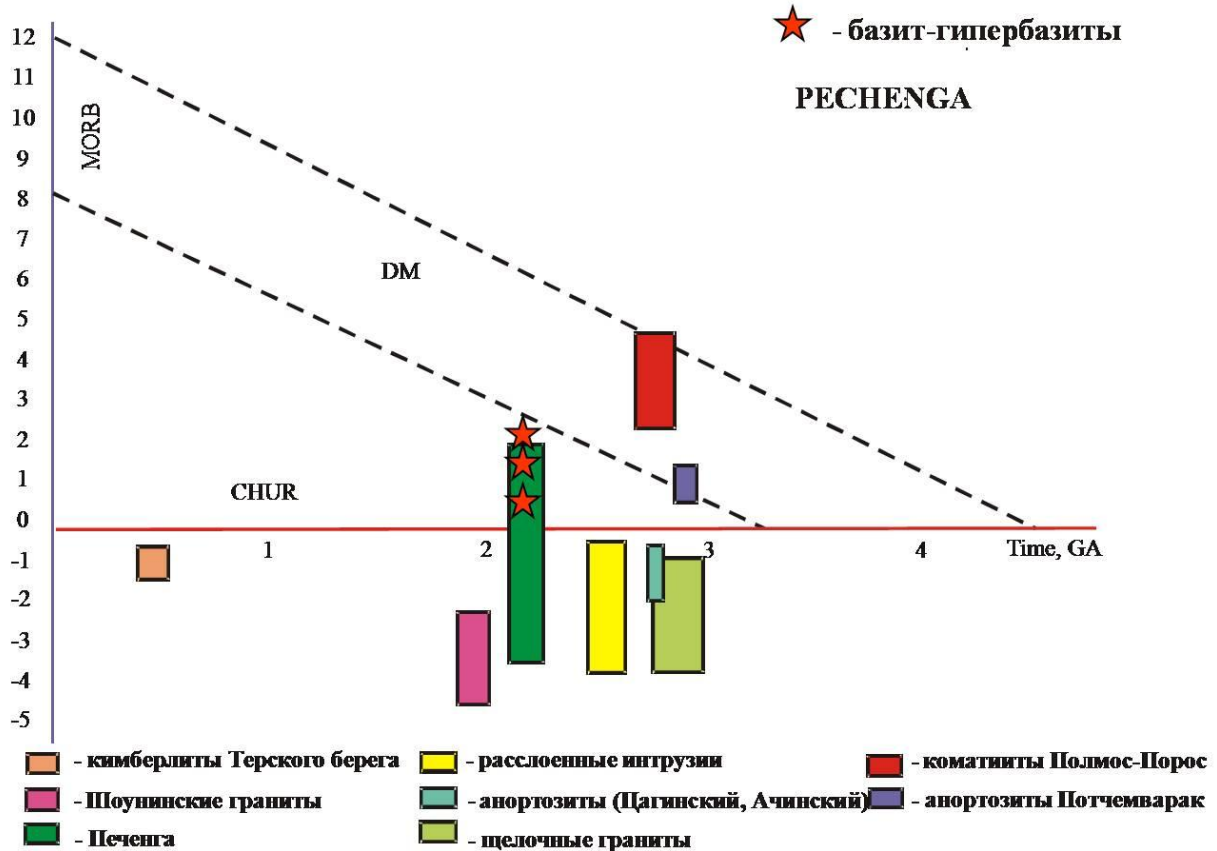


Fig. 20. Variations ϵNd values for rocks of the Kola region (from left to right columns): kimberlite of Tersky Shore; granite of Shuoni (Pechenga); Pechenga rocks; layered intrusions; anorthosites (Tsaga, Acha); alkaline granites; komatiites of Polmos-Poros, anorthosite of Potchemvarak

Рис. 20. Вариации ϵNd для пород Кольского региона (см. подрисуночные подписи).

CONCLUSIONS / ВЫВОДЫ

- ❖ The large layered intrusions of the Baltic Shield were derived from intraplate enriched mantle reservoir EM-1, ϵNd from -0.6 to -2.5 and Isr from -0.703-0.704
- ❖ Источником крупных расслоенных интрузий Балтийского щита является внутриплитный обогащенный мантийный резервуар EM-1 со значениями ϵNd от -0,6 до -2,5 и Isr от -0,703 до -0,704.
- ❖ Total duration of the multiphase magmatic processes is within the interval of 2526-2395 Ma, i.e., about 130 Ma.
- ❖ Общая продолжительность мультифазных магматических процессов достигала около 130 млн. лет, т.е. в интервале 2526-2395 млн. лет. назад.
- ❖ The earliest barren phase in Fedorova-Pansky massif orthopyroxenite and olivine gabbros formed in 2526 Ma
 - main basal PGE gabbro-norite phase crystallized between 2501-2485 Ma ago;
 - second phase with PGE reef formed in 2470±9 Ma ago and related with gabbro-pegmatite;
 - the final PGE reef belongs to anorthosite in the Fedorova-Pansky massif with age 2447±12 Ma.
- ❖ Самая ранняя безрудная фаза Федорово-Панского массива: ортопироксенит и оливиновое габбро образовались 2526 млн. лет
 - основная базальная платинометальная габброноритовая фаза кристаллизовалась в период 2501-2485 млн. лет назад;
 - вторая фаза с платинометальным рифом, связанная с габбро-пегматитами, образовалась 2470±9 млн. лет назад;
 - последний платинометальный риф ассоциирует с анортозитом Федорово-Панского массива с возрастом 2447±12 млн. лет.

Fig. 21. Conclusions.

Рис. 21. Основные выводы.

❖ In the Monchepluton and Imandra lopolith the geochronological results have revealed a complex formation sequence of the igneous rocks of Monchegorsk Co-Cu-Ni layered complex. Earliest rock types formed in the Monchepluton are mafic rocks of Mt. Travyanaya with U-Pb ages of 2507 ± 9 Ma, for Nyud terrace 2500 ± 5 Ma.

- Isotope U-Pb age on baddeleyite and zircon from the gabbro-pegmatite of the Ostrovskaya intrusion of 2445 ± 11 Ma is quite similar to the age of 2.45-2.40 Ga (Vogel et al., 1998) for the Southern belt intrusions (Kovdozero, Olanga and Finnish groups).

❖ В Мончеплутоне и Имандровском лополите результаты геохронологических исследований указывают на сложную последовательность формирования магматических пород Мончегорского Co-Cu-Ni расслоенного комплекса. Самые ранние типы пород Мончеплутона – основные породы г. Травяная с U-Pb возрастaми: 2507 ± 9 млн. лет и 2500 ± 5 млн. лет для террасы г. Нюд.

- U-Pb изотопный возраст по бадделеиту и циркону из габбро-пегматитов Островской интрузии: 2445 ± 11 млн. лет близок периоду 2,45-2,40 млрд. лет (Vogel et al., 1998) формирования интрузий Южного пояса (Ковдозеро, Оланга и Финская группа).

❖ Dike series of the Imandra lopolith with a crystallization age of 2398-2395 Ma.

❖ Дайковые серии Имандровского лополита имеют возраст кристаллизации 2398-2395 млн. лет.

❖ Older phase in the northern Baltic Shield which for the Monchepluton (2507-2495 Ma) contain Co-Cu-Ni, Pd-Pt and Cr mineralization of economic importance.

❖ Более древняя фаза северной части Балтийского щита, относящаяся к Мончеплутону (2507-2495 млн. лет), содержит промышленную Co-Cu-Ni, платинометальную и хромовую минерализацию.

❖ The Fedorovo-Pansky massif with intermediate age (2501-2447 Ma) has commercial PGE Pt-Pd and poor Cu-Ni mineralization, and the youngest intrusion Imandra lopolith (2445-2395 Ma) – Cr and V-Ti mineralization.

❖ Федорово-Панский массив со средним возрастом (2501-2447 млн. лет) содержит экономическую малосульфидную платинометальную минерализацию, а самая молодая интрузия Имандровский лополит (2445-2395 млн. лет) – Cr и V-Ti минерализацию.

Fig. 21. Conclusions (continuation).

Рис. 21. Основные выводы (продолжение).

PGE DEPOSITS OF WESTERN PART OF FEDOROVO-PANA TUNDRA (FEDOROVO AND MALAYA PANA): STATUS AND DEVELOPMENT PROSPECTS

МЕСТОРОЖДЕНИЯ МПГ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ФЕДОРОВО-ПАНСКИХ ТУНДР (ФЕДОРОВО И МАЛАЯ ПАНА): СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ

Alexey U. Korchagin,
PhD, director of JSC "PANA"
Branch manager (PGE laboratory)

Алексей У. Корчагин,
к.г.-м.н., директор АО "Пана",
зав лаборатории МПГ

Felix P. Mitrofanov
Scientific adviser

Феликс П. Митрофанов,
Научный руководитель Проекта

Geological Institute,
Kola Science Centre, RAS
Apatity, 184209, Fersman str. 14
E-mail: bayanova@geoksc.apatity.ru
felix@geoksc.apatity.ru

Геологический институт
КНЦ РАН
Апатиты, 184209, ул. Ферсмана 14
E-mail: bayanova@geoksc.apatity.ru
felix@geoksc.apatity.ru

Fedorova-Pana intrusion is located in a renowned mining-district of the Central Kola Peninsula of NW-Russia. Fedorova – Pana belongs to group of Early Proterozoic layered intrusions which occur over a wide area within the northeastern Fennoscandian Shield. The intrusions were emplaced during a period of global rifting and intense igneous activity and underwent regional metamorphism and deformation during multi-stage Proterozoic orogenesises.

Nearly all of these layered intrusion are mineralized and host Cr, Fe-Ti-V, Cu-Ni and PGE mineral deposits which originate both from magmatic and hydrothermal processes (e.g. Penikat, Monchegorsk, Koillismaa).

The Fedorova – Pana intrusion has a surface exposure of ca. 250 km² with a strike extent of 80 km (SE-NW) subparallel to the regional structure, and a horizontal width ranging from 0.5 – 6 km.

Magmatic layering dips southwesterly with 30-50° which has been explored to a depth of 600 m but the extent to the south is unknown. The northern boundary forms a tectonic contact to the Archean country gneisses of the Central Kola Block whereas to the south the massif is overthrust by volcanogenic sedimentary sequences of the Imandra-Varzuga rift.

The Fedorova Pana intrusion is subdivided into three blocks: Fedorova, Mala Pana and Eastern Pana. Blocks differ in lithology, structural style, localization of mineralization, and geophysical expression suggesting they originated from three different magma chambers.

Like in other layered intrusions the magmatic stratigraphy of the Fedorova-Pana intrusion is based on analysis of cumulate assemblages which define the several principal zones with PGE-mineralization.

Федорово-Панская интрузия расположена в знаменитом горнорудном районе Центральной части Кольского полуострова, СЗФО РФ. Она относится к группе Раннепротерозойских расслоенных интрузий, которые распространены на значительной площади северо-востока Фенноскандинавского щита. Интрузия сформирована в период глобального рифтогенеза и магматической активизации и подверглась изменению за счет регионального метаморфизма и многостадийных деформаций Протерозойского орогенеза.

Почти все эти расслоенные интрузии содержат Cr, Fe-Ti-V, Cu-Ni и МПГ месторождения, образование которых шло с участием, как магматических, так и гидротермальных процессов (например, Пеникат, Мончегорск, Коллисмаа).

Выходы на поверхность Федорово-Панской интрузии занимают площадь около 250 км² с протяженностью (ЮВ-СЗ) 80 км субпараллельно региональной структуре, а горизонтальная мощность варьирует от 0,5 до 6 км.

Магматическая расслоенность имеет падение 30-50 ° на юго-запад. Глубина разведочного бурения достигла глубины 600 м, однако далее по падению к югу объекты не изучены. Северная граница имеет тектонический контакт с Архейскими гнейсами Центрально-Кольского блока и щелочными гранитоидами, тогда как с юга массив перекрыт с надвигом вулканогенно-осадочными образованиями Имандра-Варзугской рифтогенной структуры.

Федорово-Панская интрузия подразделяется на 3 блока: Федорова, Малая (Западная) Пана и Восточная Пана. Блоки различаются петрографически, особенностям строения и рудных тел, а также геофизическим параметрам, что позволяет предполагать их образование из трех различных магматических камер. Подобно другим расслоенным интрузиям магматическая стратифицированность Федорово-Панской интрузии основывается на анализе ассоциаций кумулатов, которые определяют несколько принципиальных зон с МПГ минерализацией.



Fig. 1. Generalized geological map of principal PGE projects localized within Early Proterozoic mafic layered intrusions of Kola region.

Рис. 1. Схематичная геологическая карта основных МПГ проектов в пределах Раннепротерозойских основных расслоенных интрузий Кольского региона.

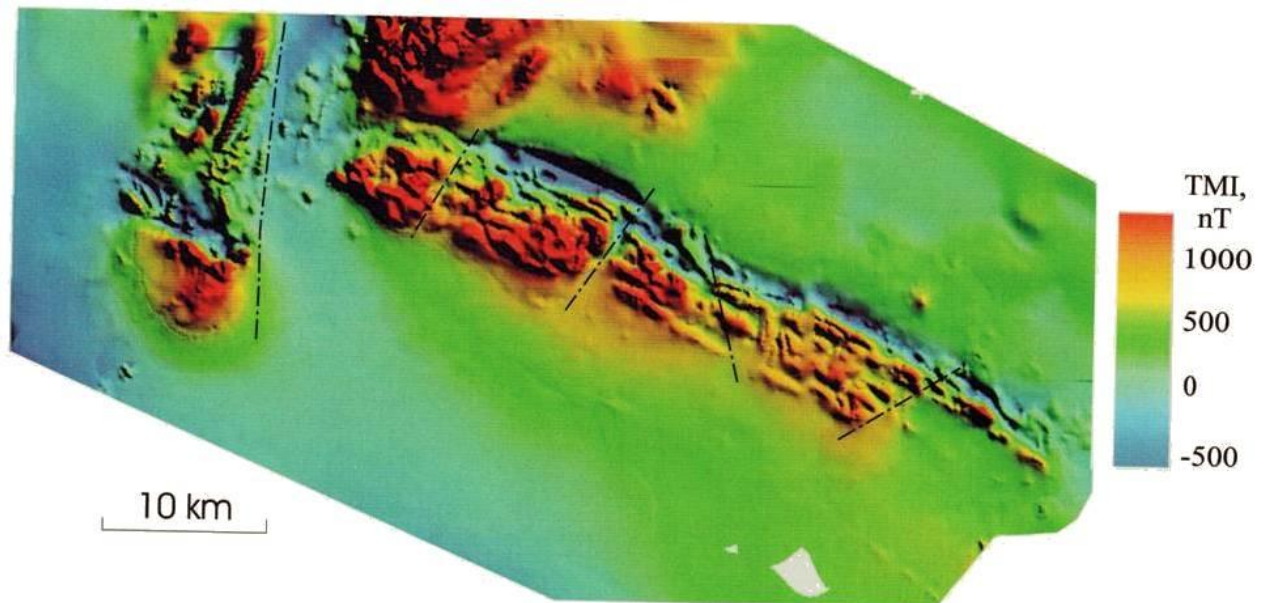


Fig. 2. Aeromagnetic map of Fodorovo-Pana intrusion .

Рис. 2. Аэромагнитная карта Федорово-Панского интрузива.

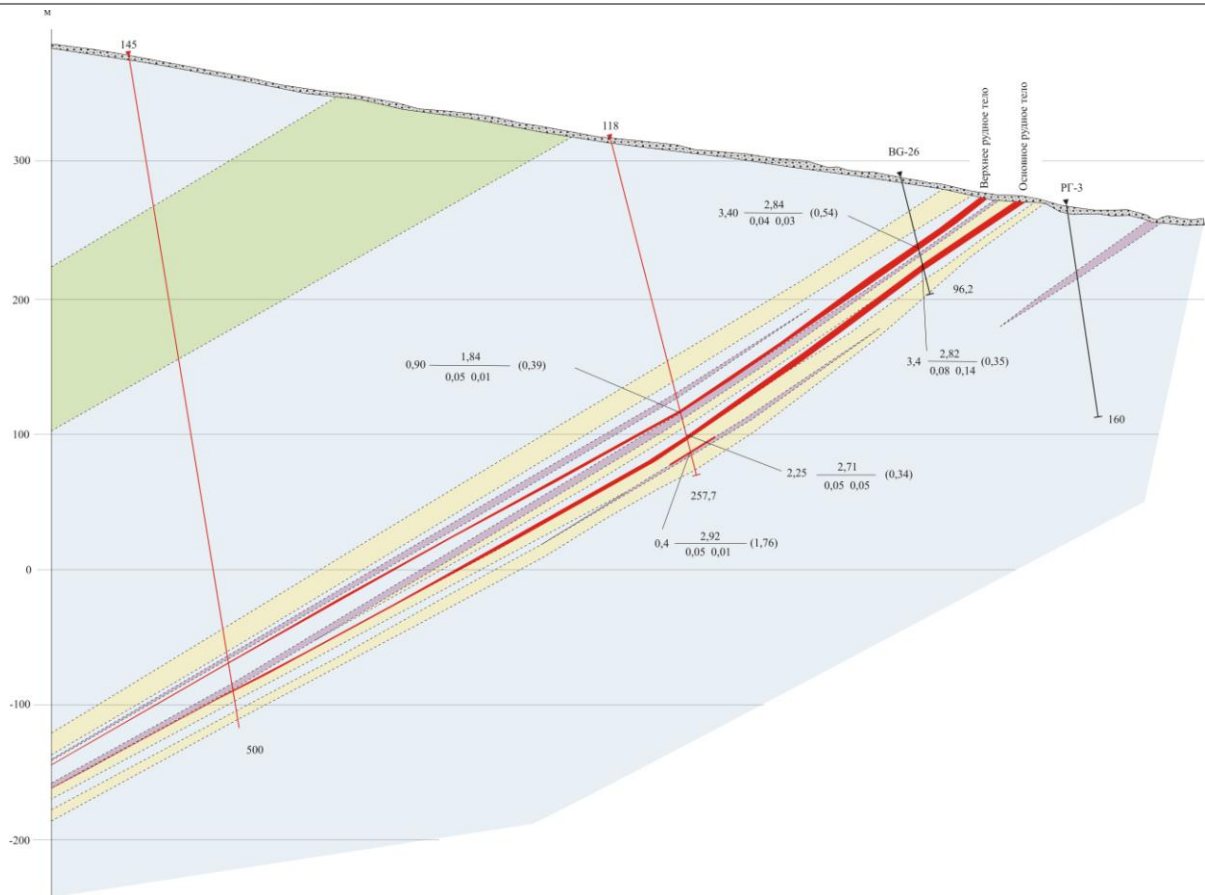


Fig. 5. Geological cross section of Malaya Pana deposit, profile 65.

Рис. 5. Геологический разрез месторождения Малая Пана по профилю 65

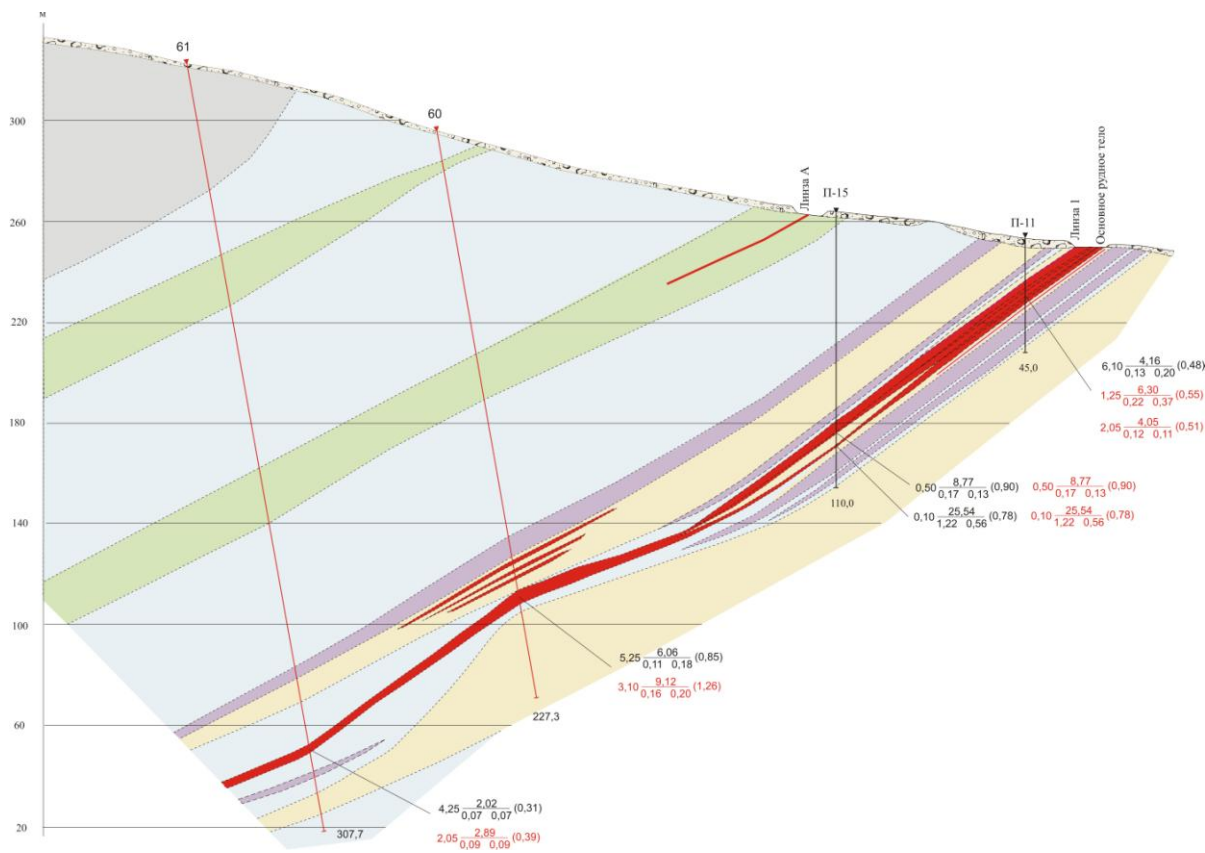


Fig. 6. Geological cross section of Malaya Pana deposit, profile 103.

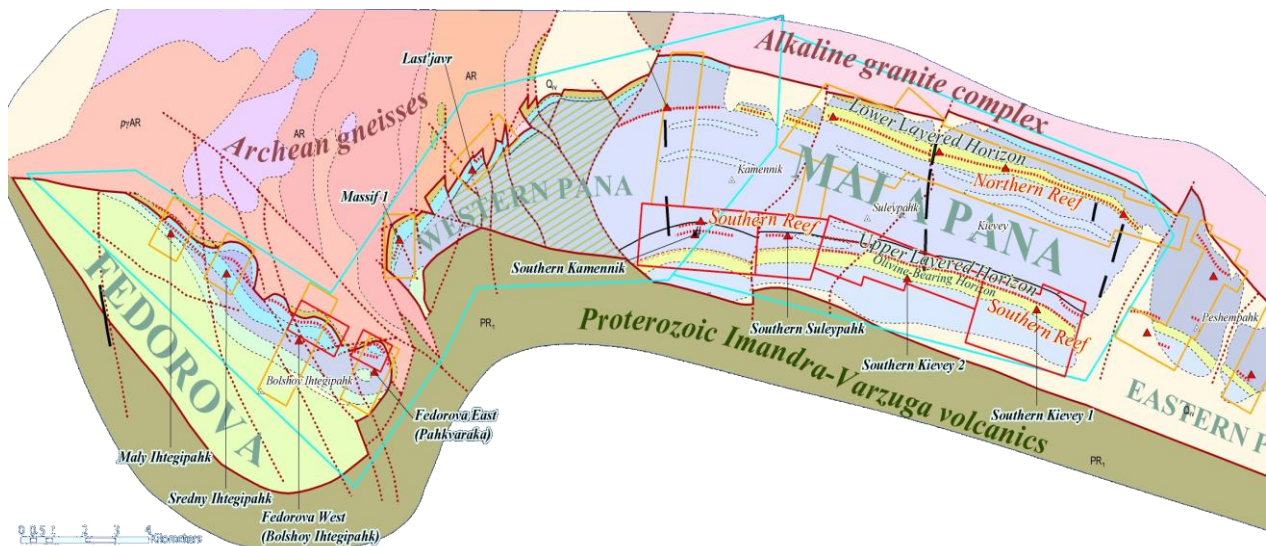
Рис. 6. Геологический разрез месторождения Малая Пана по профилю 103.

The Northern PGE Reef of the Pana massif Северный платиноносный риф Панского массива

- ❖ The Northern Reef is an extensive body of ordinary PGE-bearing ore with Cu-Ni sulphides. It is similar to such world-known complexes as the Merensky Reef (Bushveld), J-M Reef (Stillwater), Main sulphide zone (Great Dike), and SK Reef (Narkaus).
- ❖ Северный риф относится к типу протяженных залежей рядовых руд платиновых металлов с сульфидной Cu-Ni минерализацией. Его мировыми аналогами являются: риф Меренского (Бушвелд); J-M риф (Стиллуотер); Главная сульфидная зона (Великая Дайка); SK риф (Наркус).
- ❖ The estimation of ore and metals resources and reserves in the Northern Reef was made for the date of January 1st, 2003. The ore reserves equal 40 mln. tons @ average Pt+Pd+Au = 4 ppm.
- ❖ Оценка запасов и ресурсов руды и металлов по Северному рифу выполнена по состоянию на 1.01.2003 г. Запасы руды составляют 40 млн.т, среднее содержание Pt+Pd+Au 4 г/т.
- ❖ The exploration carried out in 2005-2006 extended the ore reserves of the eastern part of the Reef. The reserves of platinum-group metals in terms of C₁+C₂ industrial category were expanded 2.7 times @ average Pt+Pd+Au = 4.2 ppm.
- ❖ В результате разведочных работ 2005-2006 гг. в восточной части Северного рифа запасы руды возросли. При этом запасы платиновых металлов промышленных категорий C₁+C₂ увеличились в 2,7 раза при среднем содержании Pt+Pd+Au в руде 4,2 г/т.
- ❖ The costs of the prospecting and exploration works in 2005-2006 were \$2,800,000.
- ❖ Затраты на геологоразведочные работы в 2005-2006 годах составили 2,8 млн. долларов США.

Fig. 7. Exploration results.

Рис. 7. Результаты разведки месторождения.



- ❑ Strike 80 km
- ❑ Northern contact is structural with Archean gneisses
- ❑ Southern contact is overthrust by volcano- sedimentary sequence of Imandra-Varzuga rift
- ❑ S-shaped flexural bend interpreted as a transfer fault related to rifting
- ❑ Three lithostructural units differ in composition, cumulate assemblages and mineralization style- interpreted as three different magma chambers

Fig. 8. Main features of geological structure of the Fedorovo-Pana intrusion.

Рис. 8. Особенности геологического строения Федорово-Панской интрузии.

Period 2001 to 2006

- During 2001-2006 **38,000m** drilled (167 holes) and outlined a resource of ~5 Moz of Pd (plus significant Pt, Au, Ni, Cu) in the Fedorova West and East deposits.
- В течение 2001-2006 гг. было пробурено 167 скважин около 38 000 погонных метров, а также выявлены ресурсы ~5 млн. тройских унций Pd (плюс значительные количества Pt, Au, Ni, Cu) в Западной и Восточной части месторождения Федорова
- Bulk sample flotation test and comminution test work (Apatity, GOI)– Fedorova West.
- Проведены испытания дробления и флотационного обогащения технологической пробы (Апатиты, ГоИ КНЦ РАН) – Федорова Западное
- Submission to GKZ (State Reserve Committee) Fedorova West
- Материалы подсчета запасов по Федорова Западное представлены в ГКЗ
- Project presentation to the Regional Government
- Проект представлен региональному Правительству.

Fig. 9. Exploration results of Fedorova deposit for period 2001-2006.

Рис. 9. Результаты разведки месторождения Федорова за период 2001-2006 гг.

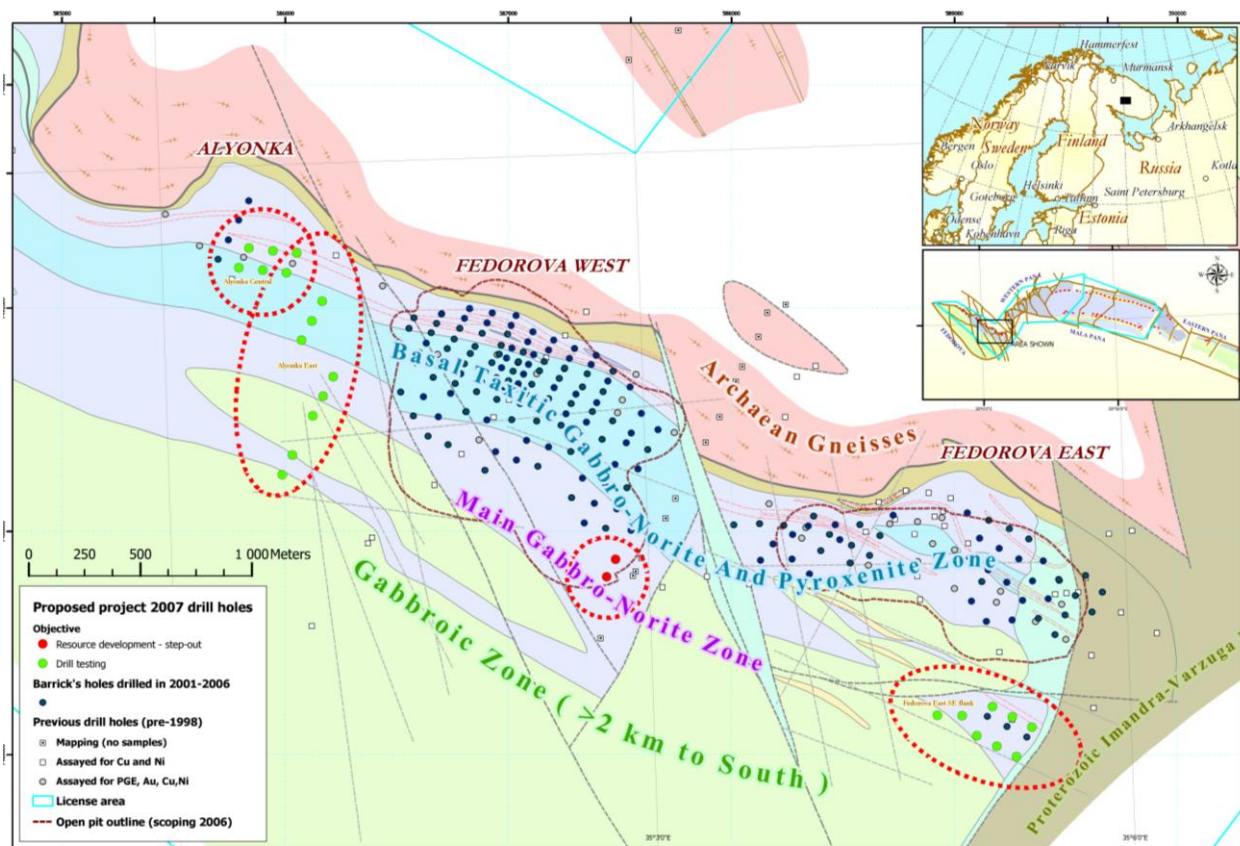


Fig. 10. Drilling programme of 2007, Fedorova deposit.

Рис. 10. Программа бурения 2007 г., месторождение Федорова.

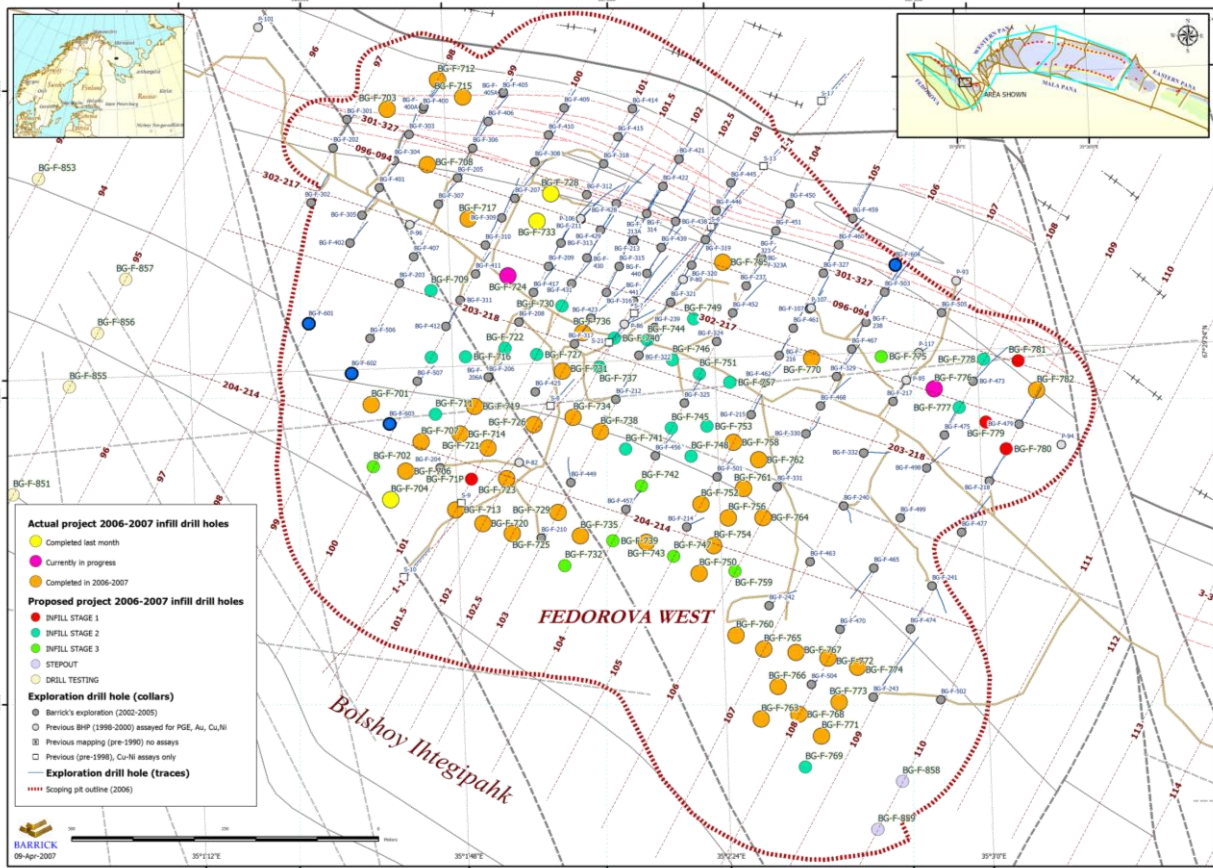


Fig. 11. Fedorova West infill drilling progress on III-th quarter of 2007.

Рис. 11. Фактическое выполнение буровых работ на участке Федорова Западная по состоянию III квартала 2007 г.

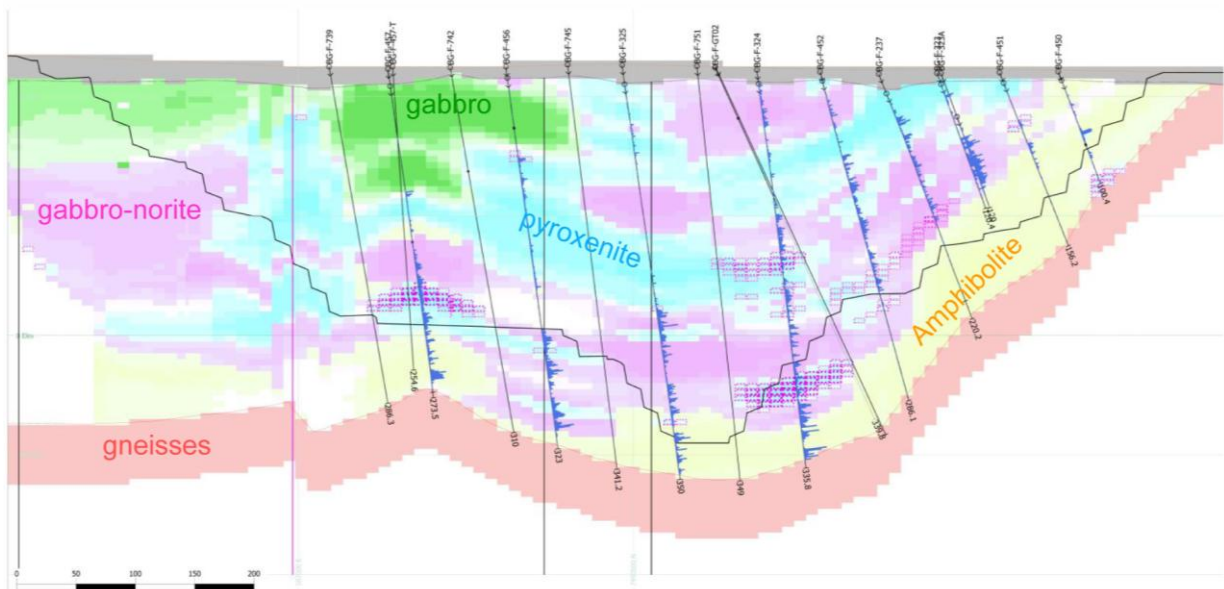


Fig. 12. Example of geological cross section of Fedorova West deposit.

Рис. 12. Пример геологического разреза участка Федорова Западная.

MINERALIZATION FACTORS

- ❖ • Disseminated PGE sulphides occur mainly in the lower section of the Fedorova block and predominate in the taxitic-gabbro-norite and norite zones.
- ❖ Рассеянные МПГ-содержащие сульфиды приурочены, главным образом, к нижней части Федорова блока и преобладают в такситовых габбро-норитовых и норитовых зонах.
- ❖ • Sulphides also occur at the base of the gabbro-norite zone and in the marginal zone at the base of the intrusion; relative proportions of precious metals are $Pd > Pt > Au > Rh$
- ❖ Сульфиды также располагаются в основании габбро-норитовой зоны и в маргинальной зоне в основании интрузии; относительная представительность благородных металлов ранжируется в следующем виде $Pd > Pt > Au > Rh$
- ❖ • PGE sulphide mineralization is not confined to discrete reefs but rather occurs as wide zones of disseminated sulphides of variable concentrations
- ❖ Минерализация МПГ в сульфидах не ограничена границами рифов а скорее представлена как широкая зона рассеянных в различных концентрациях сульфидов.

Fig. 13. Mineralization features of Fedorova deposit.

Рис. 13. Особенности минерализации месторождения Федорова.

COMPLETED / ВЫПОЛНЕНО (конец 2007 г.):

- ❖ INFILL DRILLING - 168 holes, 41,184m.
- ❖ РАЗВЕДОЧНОЕ БУРЕНИЕ – 168 скважин, 41 184 погонных метров.
- ❖ METALLURGY - 13 holes, 2,613m.
- ❖ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОПРОБОВАНИЕ – 13 скважин, 2 613 пог.м.
- ❖ GEOTECHNICAL - 12 holes, 2,855m.
- ❖ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ (ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ) ИЗЫСКАНИЯ - 12 скважин, 2 855 погонных метров.
- ❖

IN PROGRESS / В СТАДИИ ВЫПОЛНЕНИЯ (конец 2007 г.):

- ❖ STEPOUT AND DRILL TESTING (19 holes, 4,868m completed to date, ~1,600m to go).
- ❖ ЗАКОНТУРНОЕ ПОИСКОВОЕ БУРЕНИЕ (19 скважин, 4 868 пог. м. пробурены и ~ 1600 м запланированы, в стадии выполнения).
- ❖ HYDROGEOLOGY (4 holes, 987m completed to date, ~1,000m to go).
- ❖ ГИДРОГЕОЛОГИЯ (4 скважины, 987 пог. м. пробурены, ~1 000 выполняются).
- ❖ FOUNDATION DRILLING (20 holes, 210m completed to date, 400m to go).
- ❖ БУРЕНИЕ ПРИКОНТУРНЫХ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ И ПОРОД (20 скважин, 210 пог. м. пройдено, 400 м. в стадии выполнения).

Fig. 14. Main geological results for Fedorova deposit at the end of 2007.

Рис. 14. Основные геологические результаты по месторождению Федорова на конец 2007 г.

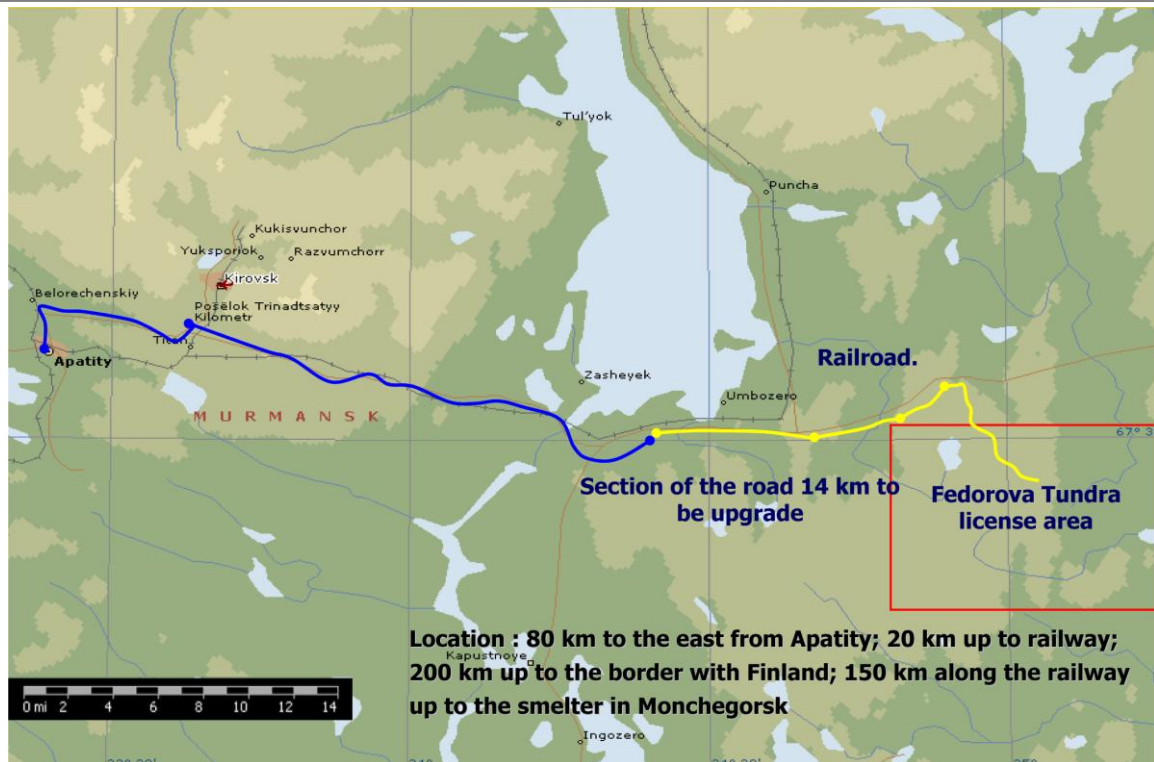


Fig. 15. Geographic location and logistic conditions of the Fedorova deposit.

Рис. 15. Географо-экономическое положение месторождения Федорова.

- Two open pits (Fedorovo West & East):
 - 154,000 tpd, 5 phase mine plan.
 - Mine life 18 years with one year pre-production.
- Два карьера (Федорова Западная и Восточная):
 - 192 000 тонн/сутки, 5-ти фазный план развития.
 - Срок эксплуатации 18 лет с 1 годом подготовительных работ.
- 28,500 tpd flotation plant:
 - Ni/Cu Pd/Pt/Au concentrate with 6.7% Cu/Ni, 98 ppm PGE concentrate grade
- 28 500 тонн/сутки – производительность флотационной фабрики
 - Производство Ni/Cu Pd/Pt/Au с 6.7% Cu/Ni, 98 ppm МПГ.
- 230M m3 tailing storage facilities.
- Хвостохранилище на 230 млн. м³.
- 839M tonnes waste rock storage facilities.
- Отвалы емкостью 839 млн. тонн.
- 90M tonnes low grade ore storage facilities
- Склад некондиционных и низкосортных руд на 90 млн. тонн.
- Pre-feasibility Study: two open pits (300m and 150 m) with about 10 mln tones of ore annual production.
- Выполнено предварительное ТЭО: два карьера (300 и 150 м глубиной) с производительностью 10 млн. тонн в год по руде.
- Feasibility Study (by Barrick Gold): to be completed in October 2008.
- ТЭО проекта будет выполнено компанией Баррик Голд к октябрю 2008 г.
- Mining start up in early 2012.
- Планируемый срок начала эксплуатации – начало 2012 г.

Fig. 16. Project Fedorova deposit - plan for development .

Рис. 16. План развития месторождения Федорова.

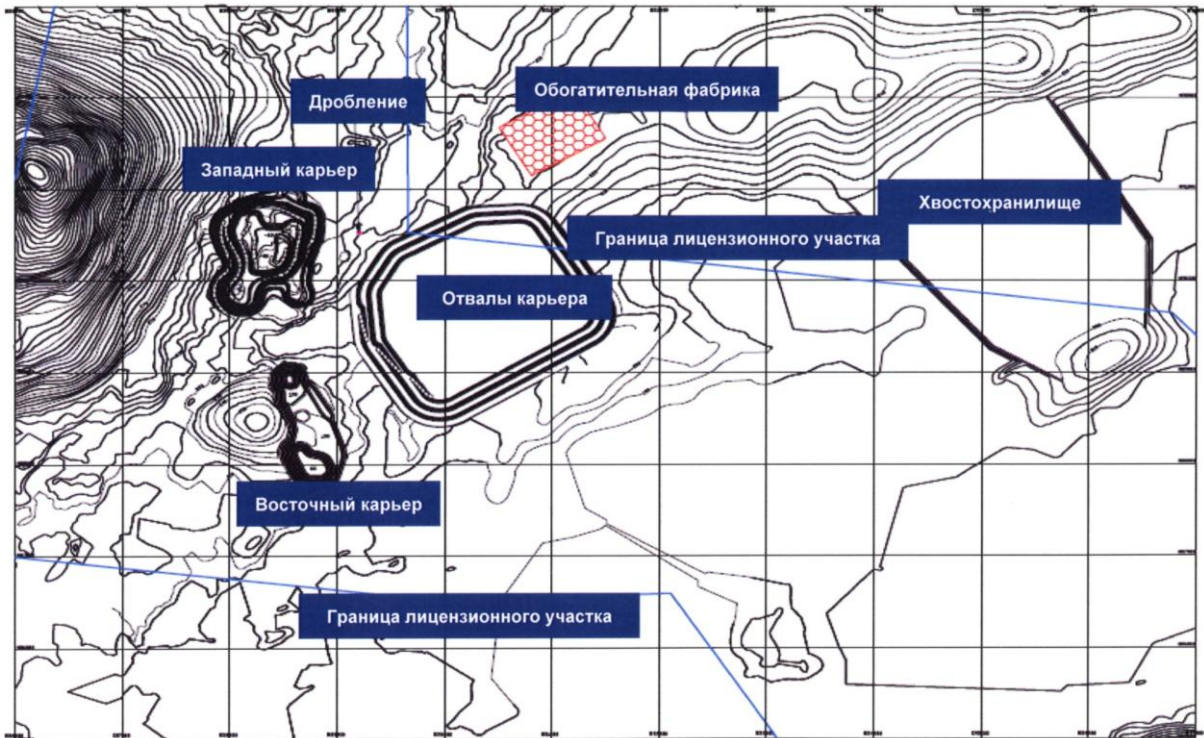


Fig. 17. Possible variant of Fedorova mine infrastructure.

Рис. 17. Один из вариантов размещения инфраструктуры рудника.

**KOLA MINING GEOLOGICAL COMPANY LTD (KMGC) - PROSPECTING FOR
PGE IN THE EASTERN PART OF PANSKY TUNDRA AREA**
**ООО «КОЛЬСКАЯ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КОМПАНИЯ» -
ПОИСКИ МПГ В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ПАНСКИХ ТУНДР**

Mark Ward, Executive Director,
Douglas McLaughlin, Project manager,
Arkady Kalinin, Chief geology department
Oleg V. Kazanov, MSc., Project geologist
Vladimir Voitekhovich, Senior geologist,

Марк Уорд, генеральный директор,
Даглас Маклукхлин, менеджер проекта,
Аркадий Калинин, главный геолог,
Олег В. Казанов, геолог,
Владимир Войтехович, ведущий геолог,

Kola mining-geological company Ltd.
184209 Apatity, Dzerzhinskogo, 35, office 428
Phone/Fax: (+781555)67848
E-mail: arkbema@com.mels.ru
geogilc@com.mels.ru

ООО "Кольская горно-геологическая компания"
184209, Апатиты, ул.Дзержинского, 35, офис 428
Тел./Факс: (+781555)67848
E-mail: arkbema@com.mels.ru
geogilc@com.mels.ru



Fig.1. General information about Kola mining-geological company Ltd.

Рис. 1.Общая информация о компании ООО "Кольская горно-геологическая компания".

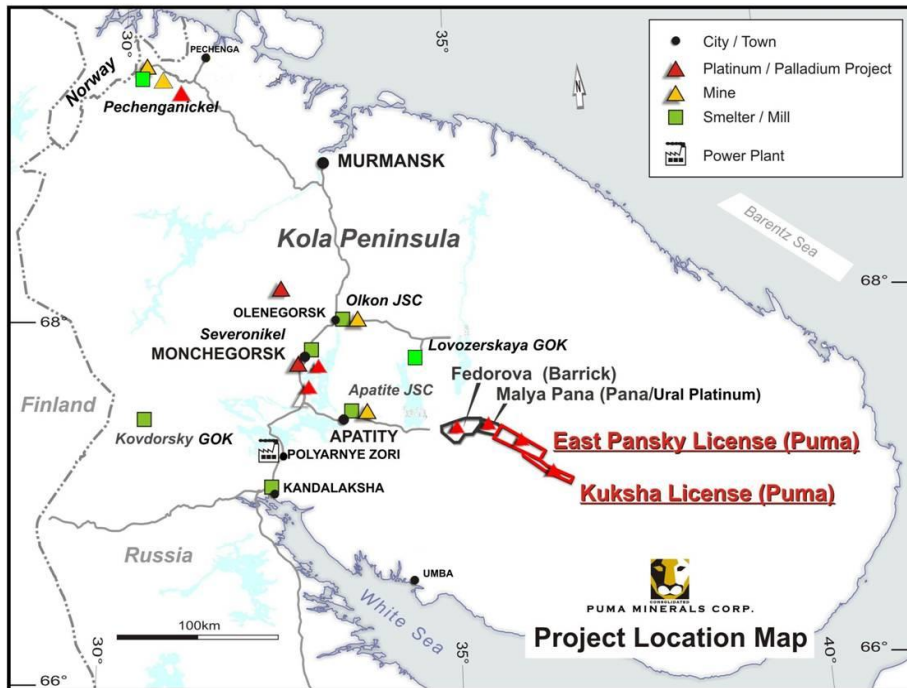


Fig. 2. KMGC license areas are situated in the central part of the Kola Peninsula 100 km east from Apatity and Kirovsk, 160 km away from Severonickel smelter, and 40 km from the nearest power line and railway station. 2 KMGC licenses cover the eastern part of the Fedorova-Pansky mafic – ultramafic layered intrusion and its extension to the east up to the head of Varzuga river.

Рис. 2. Лицензионные участки КГГК располагаются в центральной части Кольского полуострова в 100 км восточнее г. Апатиты и г. Кировск, на удалении 160 км от металлургического комбината Североникель и в 40 км от ближайшей линии электропередач и железной дороги. Две лицензии КГГК занимают восточную часть Федорово-Панской расслоенной интрузии мафит-ультрамафитов и протягиваются к востоку вплоть до истоков реки Варзуга.

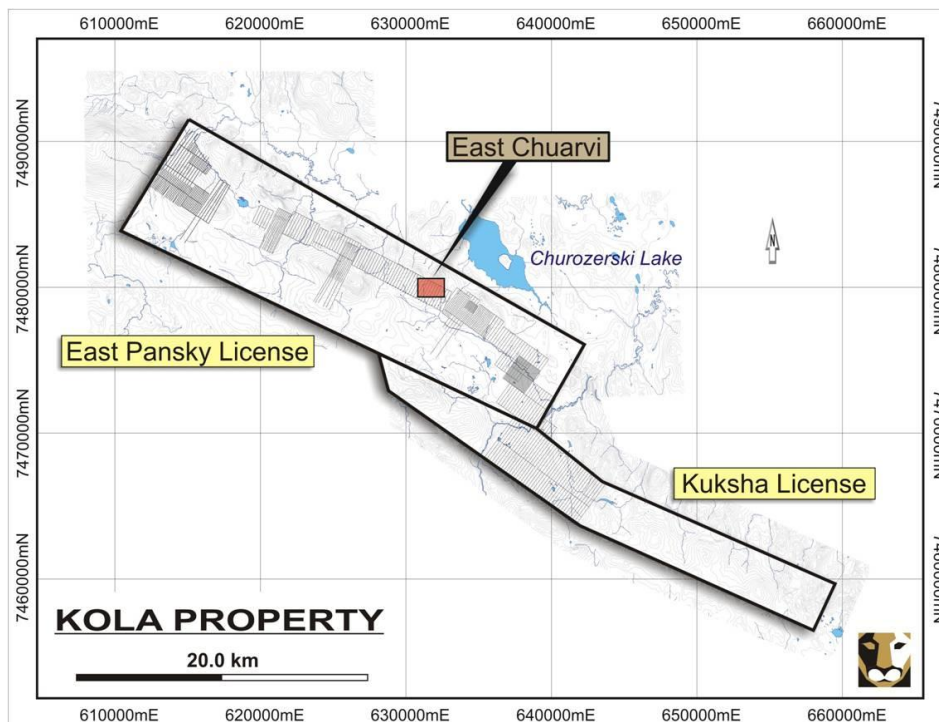


Fig. 3. KMGC started geological study of the area in 2002. There was built a grid with 200 m spacing, in the detailed areas with 100 and 50 m spacing. The grid was used to carry out geophysical (magnetic survey and IP) and geochemical survey (till sampling). Geological mapping was executed using the same grid, but with study of areas 100 m wide left and right from the profile lines.

Рис. 3. КГГК начала геологическое изучение в 2002 г с разбивкой основной сети с шагом 200 м и детальными участками с сетью 100 и 50 м. По этой сети выполнено геофизическое (магнитная съемка и ВП) и геохимическое изучение площади (до опробования). Геологическая съемка базировалась на этой же сети, но с расширением зоны изучения на 100 м влево - вправо от линии профиля.

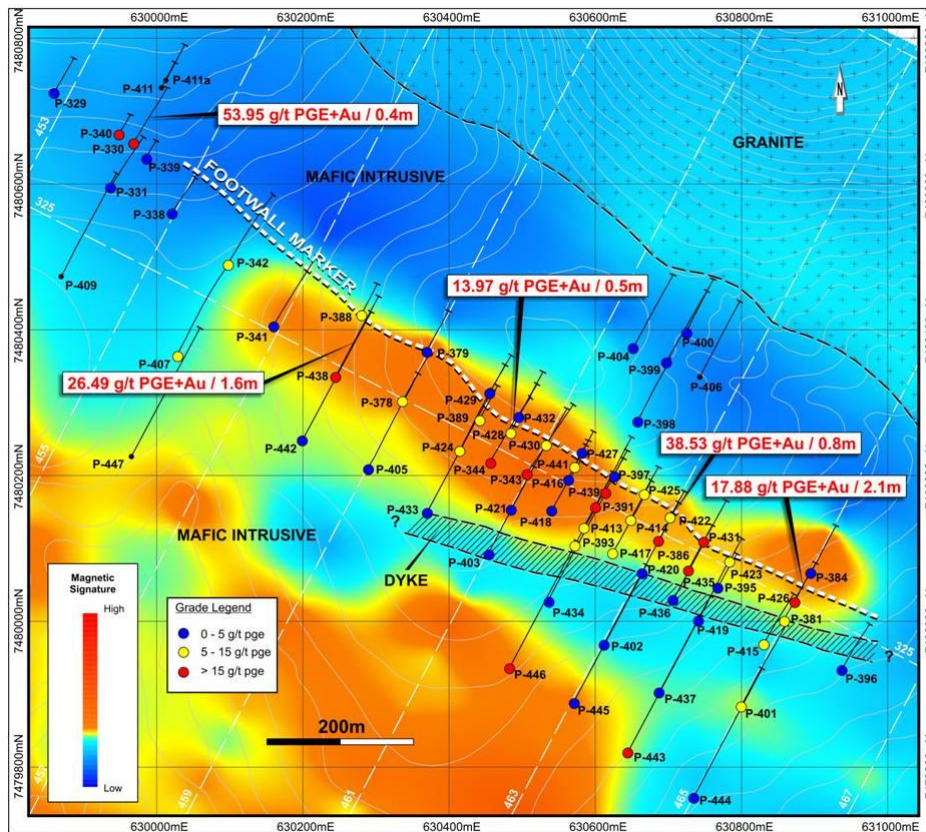


Fig. 4. Magnetic survey appeared the most useful auxiliary method of exploration. It helped to define some of geological boundaries, to trace fault zones and dyke bodies. IP method was proved to be non-effective under conditions of the East Pansky massif. Geochemical survey – till sampling – produced hard-to-interpret data and showed numerous false anomalies connected with sulfide pyrite-pirrotite (without PGM) mineralization.

Рис. 4. Магнитная съемка оказалась наиболее полезным вспомогательным разведочным методом. Она помогла определить некоторые геологические границы, локализовать зоны разломов и дайки. Метод ВП показал себя неэффективным в условиях Восточно-Панского массива. Геохимическая съемка (до опробования) дала трудно интерпретируемые данные и выявила многочисленные ложные аномалии, обусловленные пирит-пирротитовой минерализацией (без МПГ).



Fig.5. License area is poorly outcropped. Auxiliary methods and geological mapping were not very informative under these conditions, and the main information about PGE mineralization was received with drilling. More than 200 diamond drill holes (DDH) were drilled in the area, average depth of DDH was 150 meters, the deepest – more than 500 m.



Рис. 5. Лицензионные участки обнажены плохо. Вспомогательные методы и геофизика оказались мало информативными в этих условиях, и основные данные о МПГ минерализации были получены за счет бурения. Более 200 скважин алмазного бурения со средней глубиной 150 м и максимальной – 500 м были пробурены на лицензионных участках.

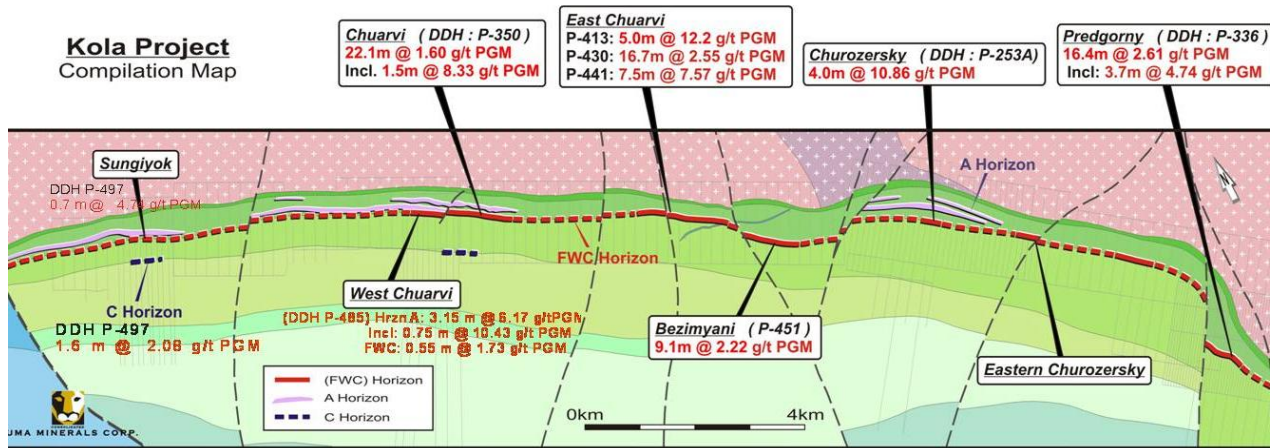


Fig. 6. Three levels with PGE mineralization were defined in the area, which were called A, B, and C horizons. All these mineralized horizons coincide with boundaries between units of magmatic layering of the massif. The lowermost horizon A is connected with the boundary between Lower Marginal Zone and Gabbronorite Zone (GNZ). Horizon B follows the boundary between two sub-units (GNZ1 and GNZ2) of the Gabbronorite zone, this boundary got name FWC (Footwall Contact). Horizon C traces the boundary between Gabbronorite and Gabbro zones. Three levels of PGE mineralization differ in Pt/Pd ratio.

A number of PGE occurrences (Sungiyok, West Chuarvi, Chuarvi, Bezimyani, Churozersky, Predgorny) and one PGE deposit East Chuarvi were found in the East Pansky massif, these occurrences are connected mainly with horizons A and B.

Рис. 6. В разрезе были выявлены три уровня МПГ минерализации, которые получили название А, В, and С горизонты. Все эти горизонты совпадают с границами магматически стратифицированных подразделений. Нижний горизонт А связан с границей между Нижней Маргинальной (краевой) Зоной и Зоной Габброноритов (GNZ). Горизонт В соответствует границе двух подзон (GNZ1 и GNZ2) Габброноритовой зоны и получил название FWC (Footwall Contact). Горизонт С трассирует границу между Габброноритовой и Габбровой зонами. Эти слои МПГ минерализации различаются по Pt/Pd соотношению. В Восточно-Панском массиве было обнаружено значительное количество проявлений (Сангийок, Западное Чуарвы, Чуарвы, Безымянный, Чурозерский, Предгорный) и одно МПГ месторождение – Восточное Чуарвы. Все проявления связаны с горизонтами А и В.

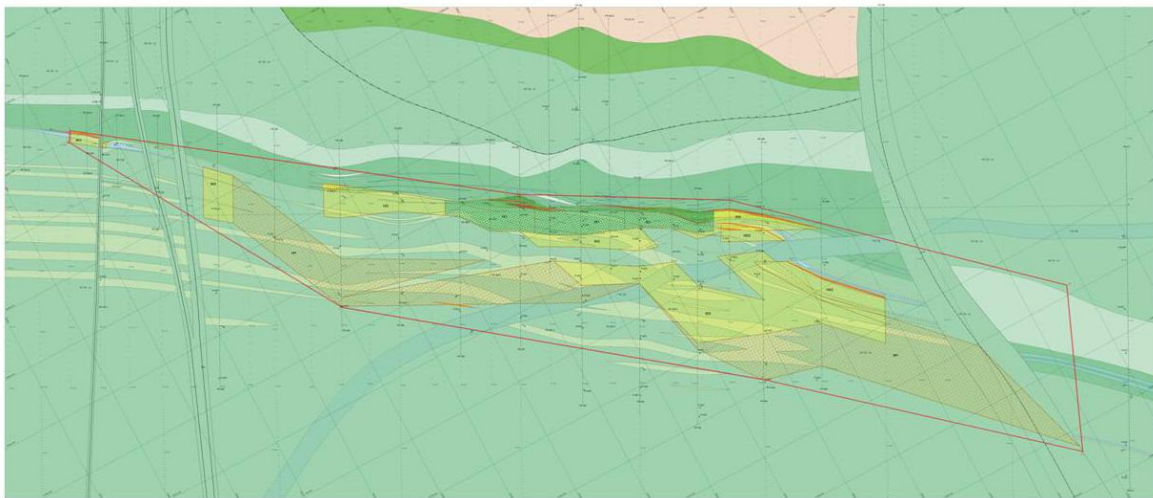


Fig. 7. East Chuarvi Pt-Pd deposit was found and estimated by KMGC in 2004-2006. The main ore body of the deposit is controlled by FWC (horizon B). Mineralization was traced down to 350 m depth and 900 m along the strike, in the east the deposit is restricted by fault zone. Thickness of the mineralized body is changeable, the thickest intersection is 16 m. In the central part the deposit is cut by gabbrodolerite dyke, which significantly complicates its geological structure. Reserves of the East Chuarvi deposit were estimated according to C1+C2 category, and resources of its flanks and deep horizons - according to P1 category. Ore reserves (C1+C2) are 1 102 800 tons with average content PGE+Au 7.89 g/t, including Pt 2.43 g/t, Pd 5.17 g/t, Au 0.29 g/t for cut-off grade Pt-equivalent 0.8 g/t.

Рис. 7. Pt-Pd месторождение Восточное Чуарвы было открыто и оценено КГГК в период 2004-2006 гг. Основное рудное тело связано с FWC (горизонтом В). Минерализация прослежена на 350 м в глубину и 900 м по простиранию; на востоке месторождение ограничено зоной разлома. Мощность рудного тела изменчива; максимальное значение составляет 16 м. В центральной части месторождение пересечено дайкой габбродолеритов, что существенно осложняет его геологическое строение. Запасы Восточное Чуарвы были оценены по категории C1+C2, а ресурсы на флангах и на глубину – по категории P1. Запасы руды (C1+C2) составляют 1 102 800 т со средним содержанием суммы PGE+Au 7,89 г/т, включая Pt 2,43 ррт, Pd 5,17 ррт, Au 0,29 ррт при бортовом содержании в Pt-эквиваленте 0,8 г/т.

THE STRUCTURE AND PGE MINERALIZATION OF THE EAST PANSKY LAYERED MASSIF

СТРОЕНИЕ И МПГ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ВОСТОЧНО-ПАНСКОГО РАССЛОЕННОГО МАССИВА

Oleg V. Kazanov, MSc., Project geologist
Arkady Kalinin, Chief geology department

Олег В. Казанов, геолог проекта,
Аркадий А. Калинин, главный геолог,

Kola mining-geological company Ltd.
184209 Apatity, Dzerzhinskogo, 35, office 428
Phone/Fax: (+781555)67848
E-mail: arkbema@com.mels.ru
geogilc@com.mels.ru

ООО "Кольская горно-геологическая компания"
184209, Апатиты, ул.Дзержинского, 35, офис 428
Тел./Факс: (+781555)67848
E-mail: arkbema@com.mels.ru
geogilc@com.mels.ru

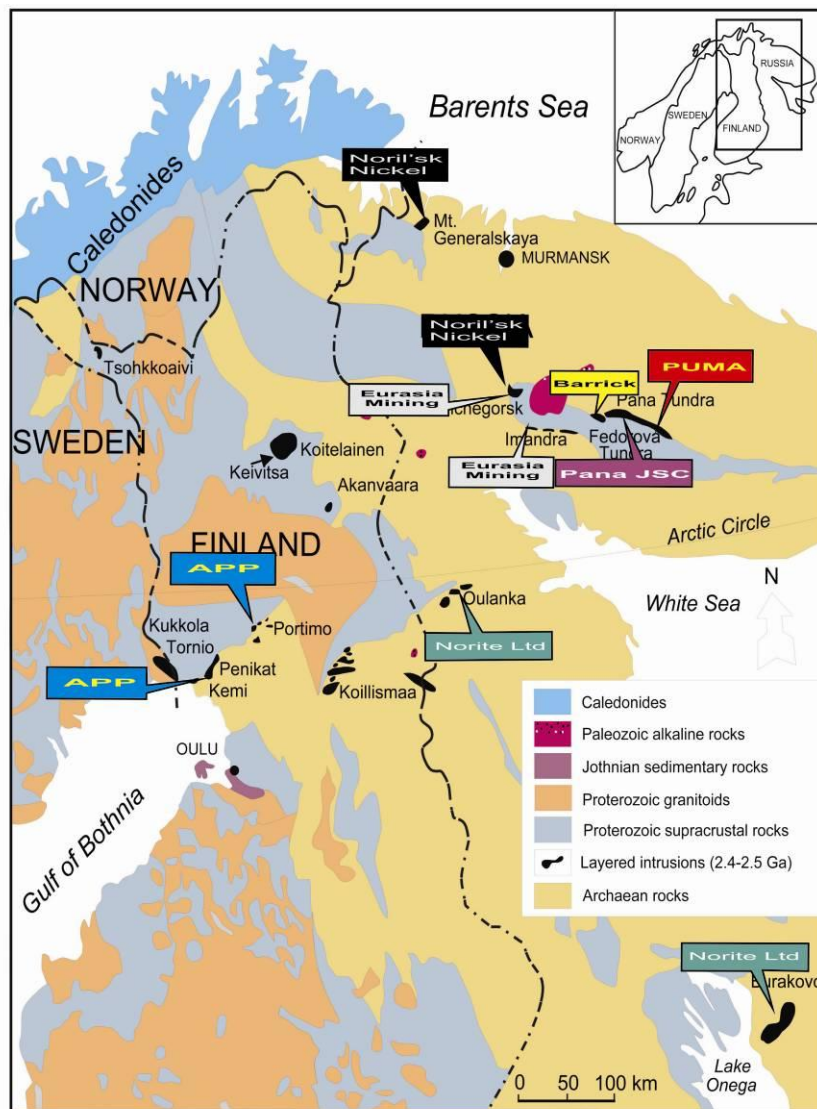


Fig. 1. PGM-bearing Early Proterozoic layered intrusions are the subject of intensive exploration works. At least 12 PGM projects are being performed at the moment in Fennoscandia. The East Pansky area is located in the central part of the Kola Peninsula and confined to the northern edge of the Imandra – Varzuga rift zone. The geological background of the slide was taken from the web-site of the Geological Survey of Finland.

Рис. 1. Перспективные на МПГ раннепротерозойские расслоенные интрузии являются объектом интенсивных ГРП. Минимум 12 МПГ проектов осуществляются в настоящее время в Фенноскандинавии. В.-Панский массив расположен в центральной части Кольского полуострова и ограничивается с севера Имандра-Варзугский рифтогенный пояс. Геологическая ситуация на слайде приведена с использованием материалов сайта Геологической службы Финляндии.

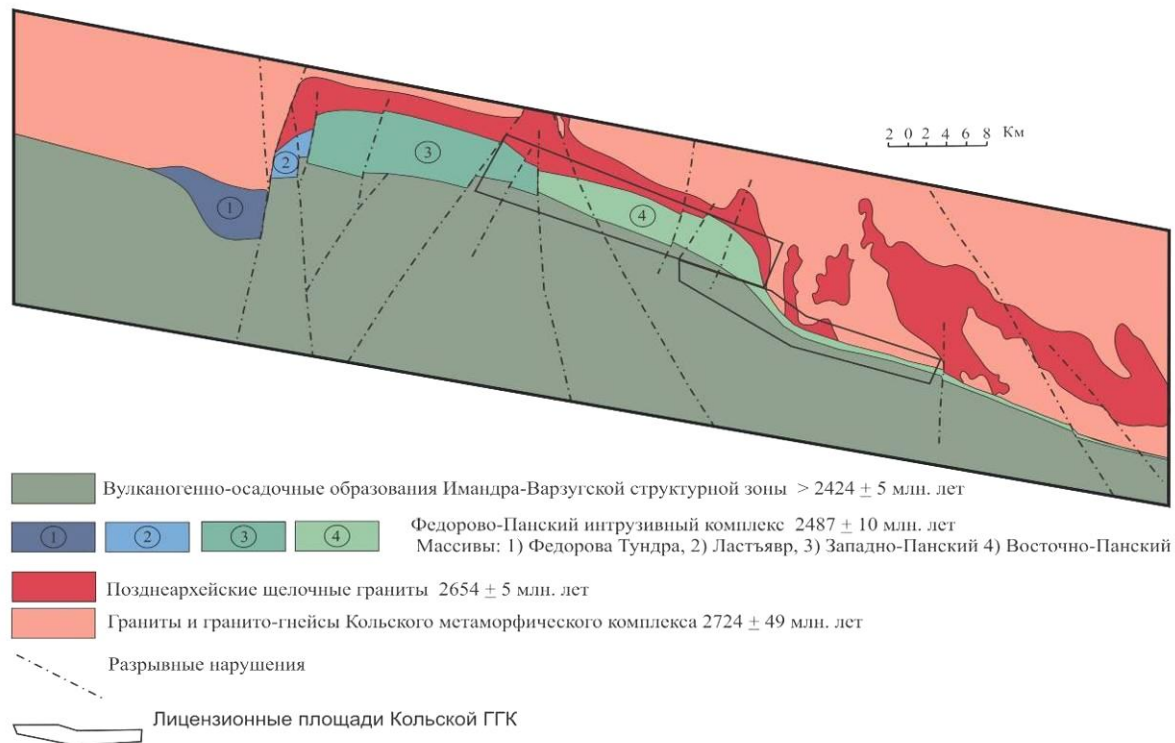


Fig. 2. The East Pansky massif is the easternmost one of 4 mafic massifs of Fedorova – Pansky intrusive complex. (1- Fedorova Tundra massif; 2 – Last'yavr massif; 3 – West Pansky massif; 4 – East Pansky massif). The complex cuts Archean gneisses and alkaline granites (pink and red correspondingly) and in turn is overlain by mafic volcanites of the Imandra – Varzuga zone (dark green).

Рис. 2. Восточно-Панский массив – самый восточный из 4-х базитовых массивов Федорова-Панской интрузии (1- Федорова Тундра, 2 Ластъявр, Западно-Панский и Восточно-Панский массивы). Комплекс прорывает архейские гнейсы и щелочные граниты (розовый и красный цвет соответственно) и в свою очередь перекрывается основными вулканитами зоны Имандра-Варзуга (темно-зеленый).

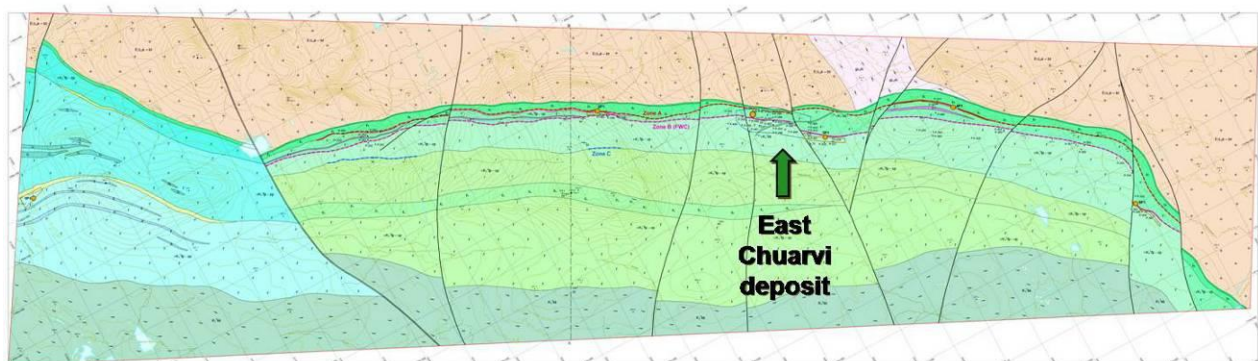


Fig. 3. The East Pansky massif (the right part of the picture) is subdivided into 4 principal units listed from the footwall (north) to the top (south): Marginal Zone (MZ), Gabbro-norite Zone 1 (GNZ1) and Gabbro-norite Zone 2 (GNZ2) (gradations of blue) and Gabbro Zone (GZ) (subzones of the Gabbro Zone are shown by gradations of green). Three stratigraphically controlled PGM-bearing levels were identified at the boundaries of units.

Рис. 3. Восточно-Панский массив (правая часть рисунка) состоит из 4-х главных подразделений, перечисленных от основания (север) к верхней части (юг): Маргинальная (краевая) Зона (MZ), Габброноритовая Зона 1 (GNZ1), Габброноритовая Зона 2 (GNZ2) (оттенки синего) и Зона Габбро (GZ) (2 подзоны показаны в градациях зеленого). Три "стратиграфически" контролируемых слоя с МПГ минерализацией были прослежены по границам подразделений.

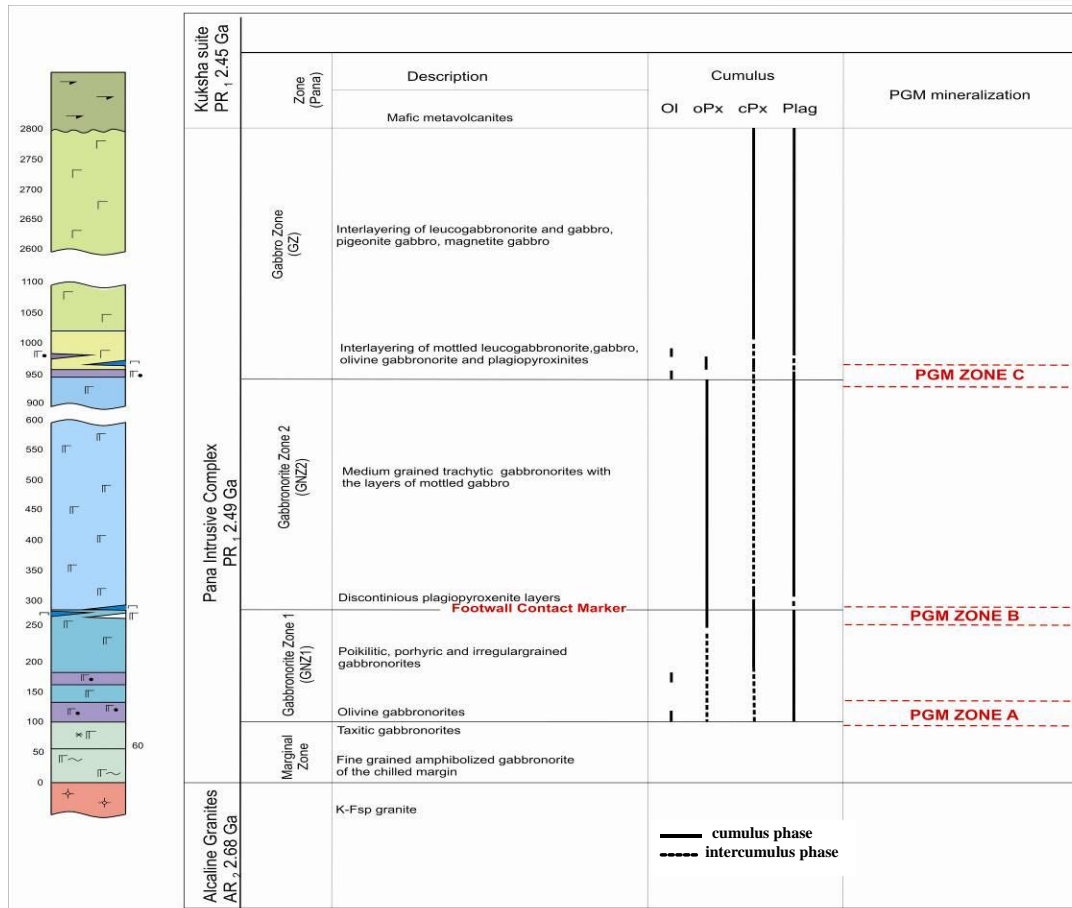


Fig. 4. Magmatic stratigraphy of the East Pana massif shows a cyclic structure. The subdivision is based on cumulus associations. Pyroxenites and olivine-bearing cumulates are typical for the footwall parts of the cyclic units (zones). Each unit shows specific cumulus associations, rock textures and chemistry. GNZ2 and GZ cyclic units are considered to be formed as a result of magmatic chamber replenishment by new portions of fractionated magma. PGM Zones are confined to the boundaries of cyclic units:– PGM Zone A; GNZ1 – GNZ2 boundary – PGM Zone B; GNZ2 – GZ boundary – PGM Zone C.

Рис. 4. Магматическая стратиграфия Восточно-Панского массива показывает циклическое строение. Подразделения базируются на кумулюсных ассоциациях. Пироксениты и оливин-содержащие кумулаты типичны для приконтактовых частей циклических зон. Каждое подразделение имеет специфичные кумулюсные ассоциации, структуру пород и химический состав. Считается, что GNZ2 и GZ циклические подразделения сформированы в результате повторного наполнения магматической камеры новыми порциями фракционированного расплава. МПГ тела приурочены к границам циклических подразделений: подошва GNZ1 – МПГ зона А, граница GNZ1 – GNZ2 – зона В и граница GNZ2 – GZ – зона С.

1. Pyroxenites and olivine – bearing cumulates in the base of an overlying unit
2. Abrupt changes of cumulus associations, textures and rock geochemistry
3. Magmatic erosion
1. Пироксениты и оливин-содержащие кумулаты в основании вышележащих подразделений
2. Резкие изменения кумулюсных ассоциаций, текстур геохимии пород

Fig. 5. Indications of East Pana cyclic units (zones) boundaries.

Рис. 5. Индикаторы границ циклических подразделений Восточно-Панского массива.

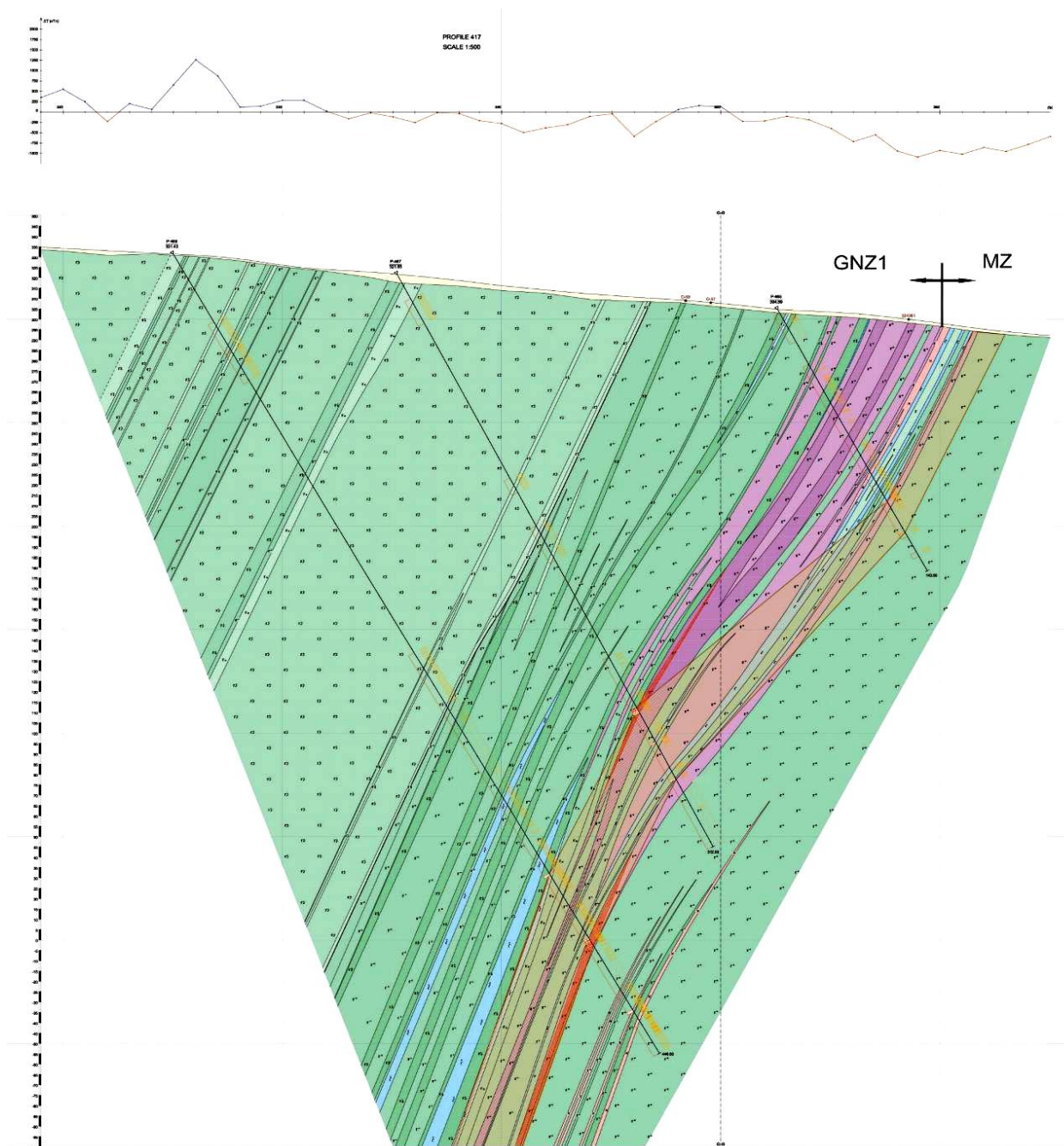


Fig. 6. Olivine-bearing cumulates (purple colors) mark the base of GNZ1 unit. Red colored lenses – low sulfide PGM mineralization, identified as PGM Zone A. Discontinuous mineralization is confined to the top and footwall of the olivine-bearing package.

Рис. 6. Olivин-содержащие кумулаты (лиловый цвет) маркируют основание GNZ1. Красные линзы – малосульфидная минерализация, идентифицируемая как МПГ зона А. Прерывистая минерализация ограничена подошвой и кровлей оливин-содержащей толщи.

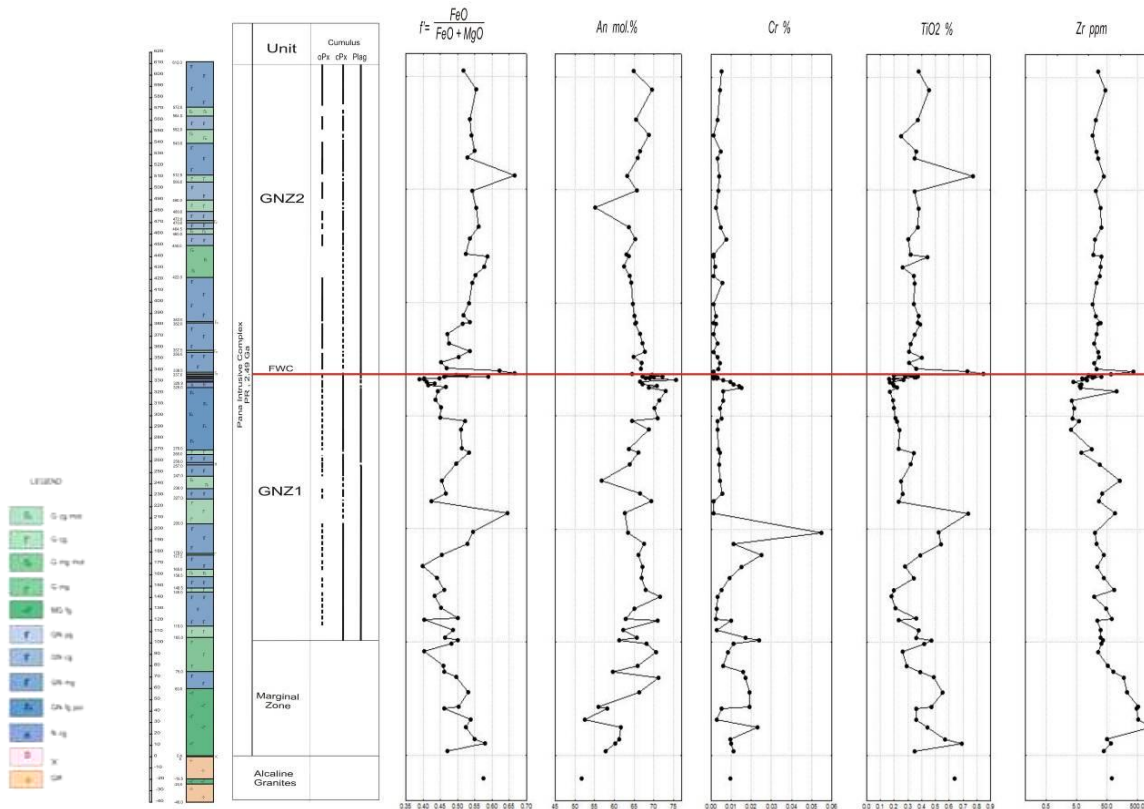


Fig. 7. East Chuarvi section. Abrupt change of cumulus associations and whole rock geochemistry at GNZ1 – GNZ2 boundary (also named FWC - "footwall contact"). GNZ2 rocks are much richer in incompatible components and seem to originate from more fractionated magma than magma which formed underlying GNZ1 unit.

Рис. 7. Колонка м. Восточное Чуарвы. Резкое изменение кумульных ассоциаций и геохимии вмещающих пород на границе GNZ1 – GNZ2 (также именуемой FWC - "footwall contact"). Породы GNZ2 намного богаче несочетающимися компонентами и выглядят возникшими за счет более фракционированной магмы, чем расплав, за счет которого сформировано подстилающее подразделение GNZ1.

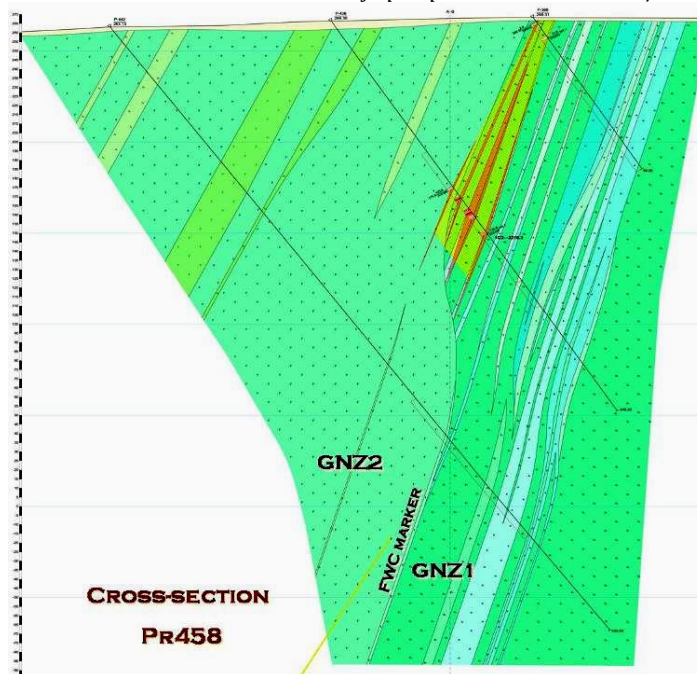


Fig. 8. Western flank of East Chuarvi deposit. A pothole-like depression structure in the footwall of GNZ2 unit. The boundary of cyclic units cuts the hanging wall of GNZ1 unit, including low-sulfide PGM mineralization of PGM Zone B.

Рис. 8. Западный фланг месторождения Восточная Чуарвы. Структура котлообразной депрессии в лежащем боку зоны GNZ2. Граница циклических подразделений срезает висячий бок зоны GNZ1, в том числе малосульфидную МПГ минерализацию зоны B.

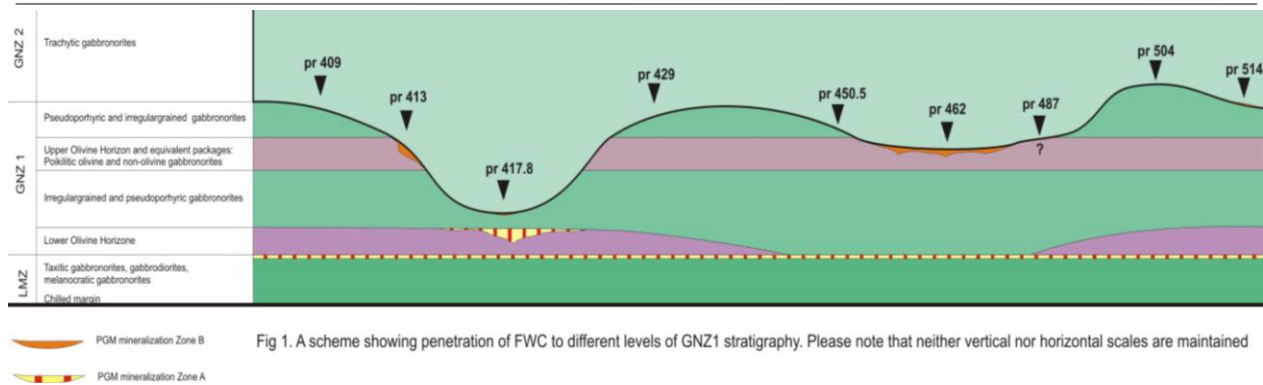


Fig 1. A scheme showing penetration of FWC to different levels of GNZ1 stratigraphy. Please note that neither vertical nor horizontal scales are maintained

Fig. 9. A schematic long section of the central part of East Pansky massive, Chuarvi – East Chuarvi – Churozerski area. GNZ1 – GNZ2 boundary (FWC) penetrates into different levels of underlying stratigraphy. It is important that areas where the contact reaches the level of poikilitic rocks of GNZ1 are much more favorable for PGM mineralization than other ones.

Рис. 9. Схематичный продольный разрез центральной части Восточно-Панского массива, Чуарвы – Восточное Чуарвы – Чурозерский участок. Граница GNZ1 – GNZ2 (FWC) проникает в различные уровни подстилающих стратифицированных подразделений. Важно, что участки, где контакт достигает уровня пойкилитовых пород зоны GNZ1, являются наиболее благоприятными для МПГ минерализации среди всех остальных.

- The base of GNZ1
- Подошва зоны GNZ1
- High grade mineralization with Pd/Pt = 4.5 – 6
- Высокие концентрации с соотношением Pd/Pt = 4,5 – 6
- Traced over 12 km along striking
- Прослежена более 12 км вдоль простирания
- Discontinuous ore bodies
- Прерывистые рудные тела

Fig. 10. Main features of PGM zones of the East Pansky massif: PGM ZONE A.

Рис. 10. Основные показатели МПГ зоны А Восточно-Панского массива.

DDH	Location	Target	From (m)	To (m)	Int. (m)	Au (g/t)	Pt (g/t)	Pd (g/t)	PGE+Au (g/t)	Pd/Pt Ratio
P467	Chuarvi	Zone A	236.4	239.6	3.2	0.09	0.73	3.62	4.44	5.0
		Incl	236.4	237.9	1.5	0.16	1.15	6.00	7.31	5.2
		Incl	237.9	239.6	1.7	0.03	0.35	1.45	1.83	4.1
P469	Chuarvi	Zone A	391.5	385.8	4.3	0.11	0.58	3.45	4.14	5.9
		Incl	383.9	384.2	0.3	0.36	1.66	8.54	10.56	5.1
		Incl	385.5	385.8	0.3	0.17	1.8	12.50	14.47	6.9
P473	Chuarvi	Zone A	224.2	226.8	2.6	0.14	0.60	3.51	4.25	5.9
		Incl	225.4	225.8	0.4	0.57	2.29	13.30	16.16	5.8
		Incl	261.5	263.6	2.1	0.06	0.45	1.46	1.97	3.2
		Incl	261.9	262.2	0.3	0.18	1.22	4.17	5.57	3.4

Fig. 11. Selected assays for Zone A mineralization.

Рис. 11. Выборка по анализам для зоны минерализации А.

- GNZ1 – GNZ2 boundary
- Граница GNZ1 – GNZ2
- High grade low-sulfide mineralization with Pd/Pt = 1.5 – 2.2
- Богатая минерализация в мало-сульфидных рудах с соотношением Pd/Pt = 1.5 – 2.2
- Traced over 18 km along striking
- Прослежена более 18 км вдоль простирания
- E. Chuarvi PGM deposit and minor occurrences
- Месторождение В. Чуарвы и второстепенные проявления

Fig. 12. Main features of PGM zones of the East Pansky massif: PGM Zone B.

Рис. 12. Основные показатели МПГ зоны В Восточно-Панского массива.

- GNZ2 – GZ boundary
- Граница GNZ2 – GZ
- High grade low-sulfide mineralization with Pd/Pt = 1
- Богатая минерализация в мало-сульфидных рудах с соотношением Pd/Pt = 1
- Unknown potential
- Неизученный потенциал

Fig. 13. Main features of PGM zones of the East Pansky massif: PGM Zone C.

Рис. 13. Основные показатели МПГ зоны С Восточно-Панского массива.

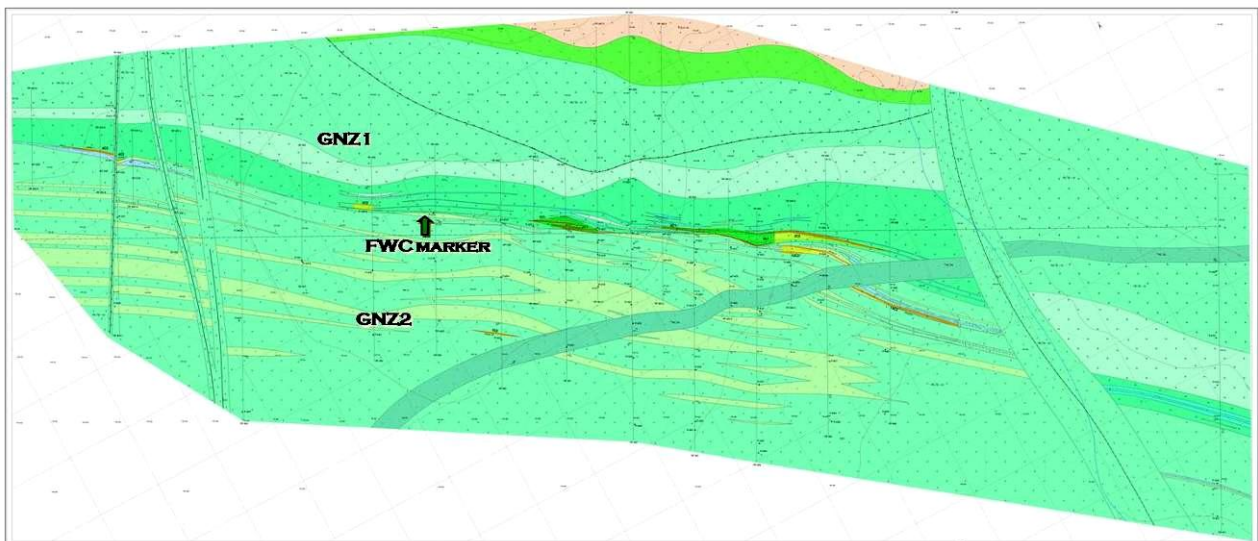


Fig. 14. Geological map of East Chuarvi PGM deposit.

Рис. 14. Геологическая карта месторождения Восточное Чуарвы.

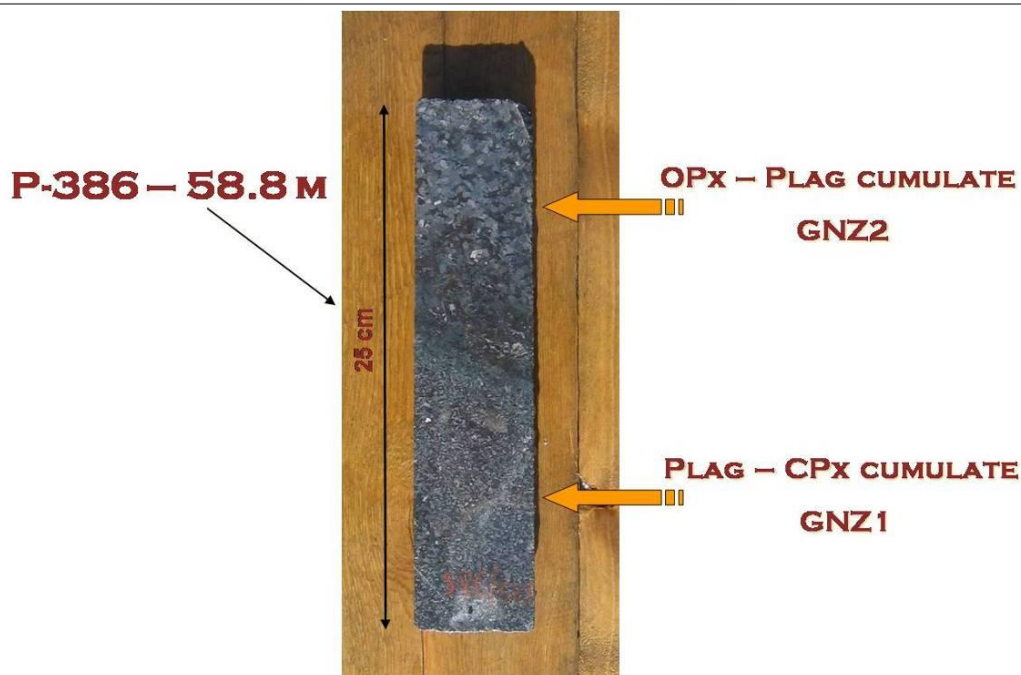


Fig. 15. Footwall Contact (Drill Hole P-386).

Рис. 15. "Footwall"(граница подзон) контакт (скважина P-386).

Расстояние до кровли горизонта пойкилитовых габброноритов: число наблюдений 276, среднее -6.9, стандартное отклонение 15.1, максимальное 56.4, минимальное -64.9

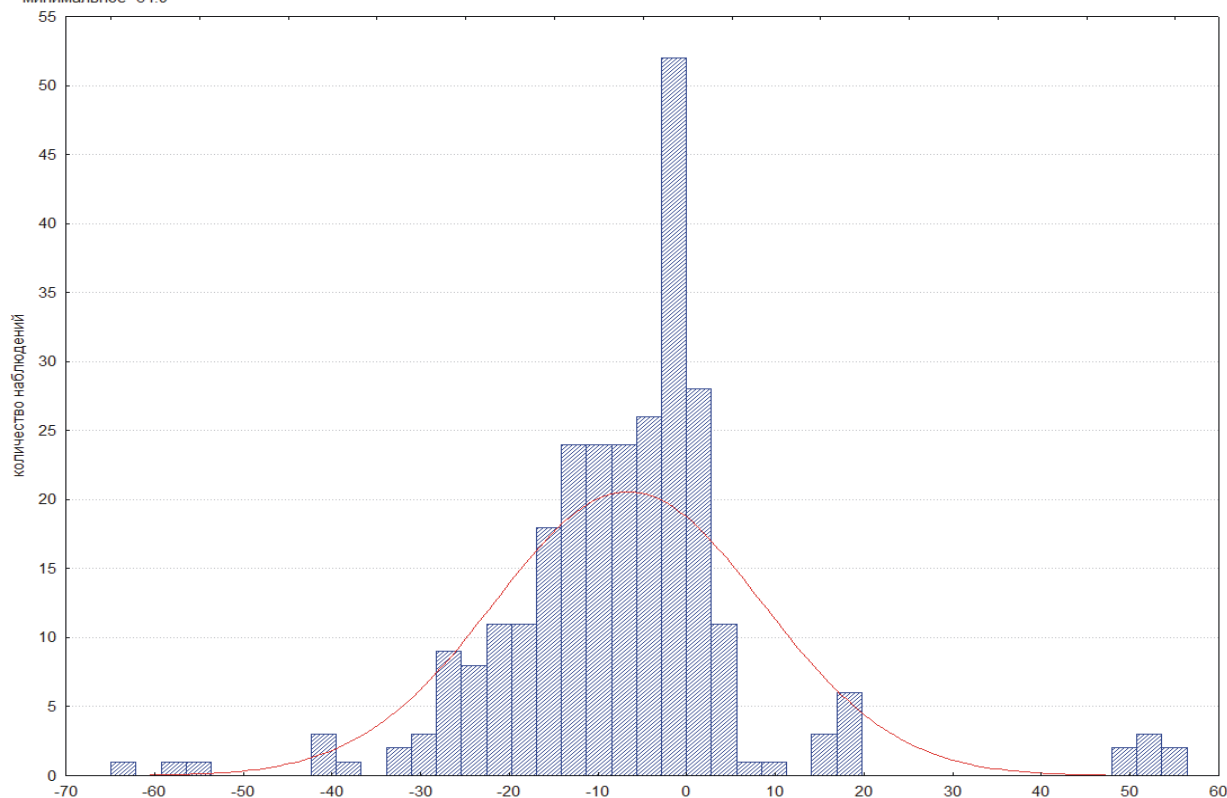


Fig. 16. Stratigraphy factor. GNZ1 – GNZ2 boundary (FWC) is a level attracting PGE mineralization. The histogram shows distribution of PGM-bearing samples ($Pt\ eq^* \geq 0.5\ g/t$) around FWC (thickness in drill holes). Most of PGE-bearing samples are well below the FWC (mean value 9.5m beneath the FWC marker). 95% of mineralized samples are inside 2sigma interval, i.e. $(-10) \pm 22m$ (+12 ... -32 m from the FWC).
* - Platinum equivalent grade: $Pt\ eq = Pt + 0.285\ Pd$.

Рис. 16. Фактор стратифицированности. Граница GNZ1 – GNZ2 (FWC) – уровень обогащения МПГ минерализацией. Гистограмма показывает распределение МПГ-содержащих образцов ($Pt\ eq^* \geq 0.5\ g/t$) в зависимости от удаления от FWC (мощность определена в скважинах). Большая часть МПГ сконцентрирована непосредственно под FWC(в интервале 9,5 м ниже маркера FWC). В пределы среднееквадратичного отклонения попадает 95% минерализованных образцов, т.е. $(-10) \pm 22m$ (от -32 до +12 м от FWC).
Платиновый эквивалент: $Pt\ eq = Pt + 0.285\ Pd$.

Distribution of PGE-bearing samples at different selection criteria among petrographic species

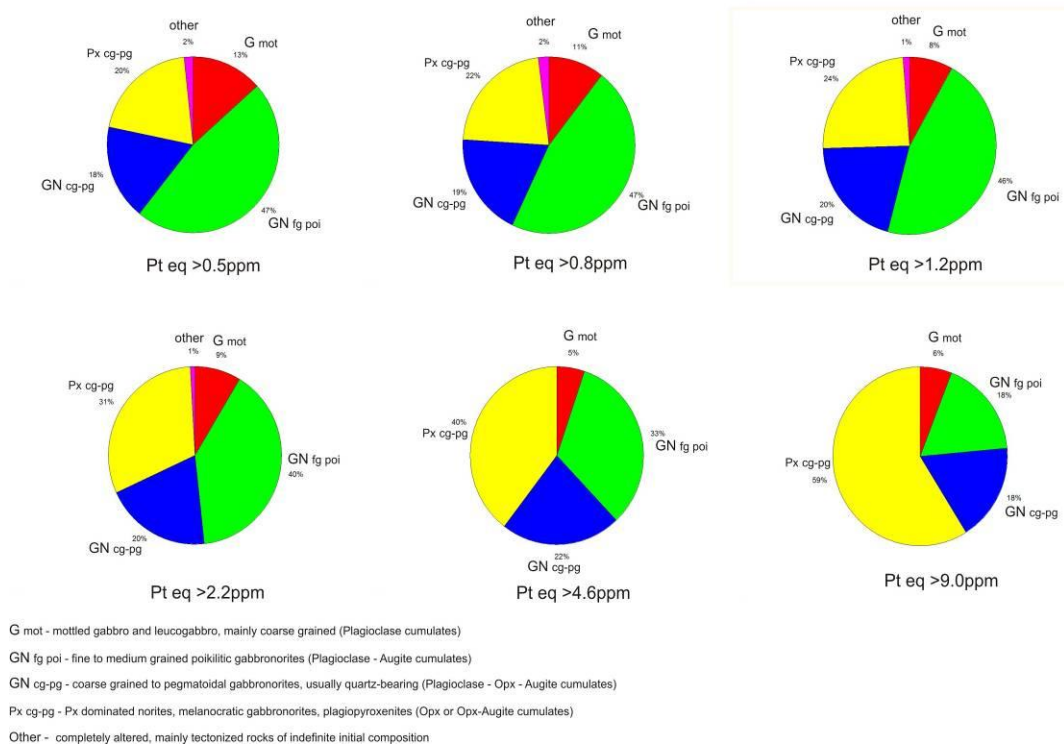


Fig. 17. Lithology factor. Low grade PGM mineralization is evenly distributed among all lithological varieties of rocks that occur near FWC. High grade mineralization is selectively confined to coarse grained and pegmatoidal rocks of contrast composition – quartz-bearing gabbronorites and, especially, melanocratic gabbronorites and pyroxenites (oPx – Cpx cumulates).

Рис. 17. Петрографический фактор. Низкие концентрации МПГ минерализации равномерно распределены среди всех литологических разновидностей пород, расположенных вблизи FWC. Высокие концентрации содержатся в грубозернистых и пегматоидных породах контрастного строения – кварцсодержащих габброноритах и, особенно, меланократовых габброноритах и пироксенитах (oPx – Cpx кумулаты).

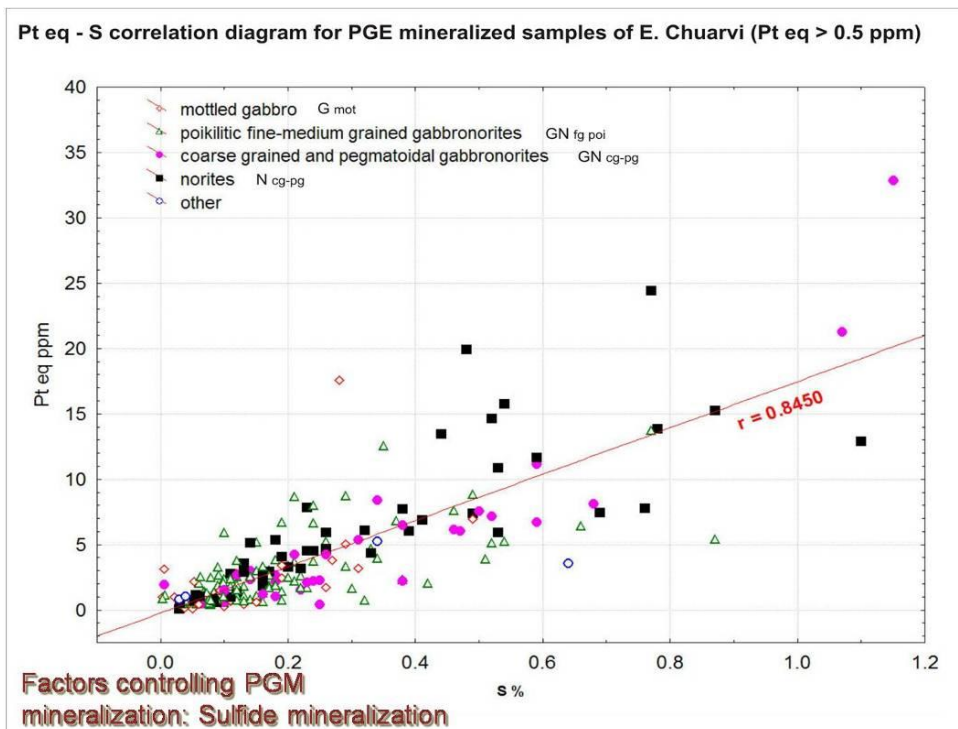


Fig. 18. Sulfide mineralization factor. Strong positive correlation between sulfides and PGM grades is obvious. But it is important to note that 1% sulfides in rocks is enough to contain any PGM grades.

Рис. 18. Сульфидный фактор. Очевидна хорошая прямая корреляция в концентрациях сульфидов и МПГ. Однако важно отметить, что 1% сульфидов достаточно для наличия любых содержаний МПГ.

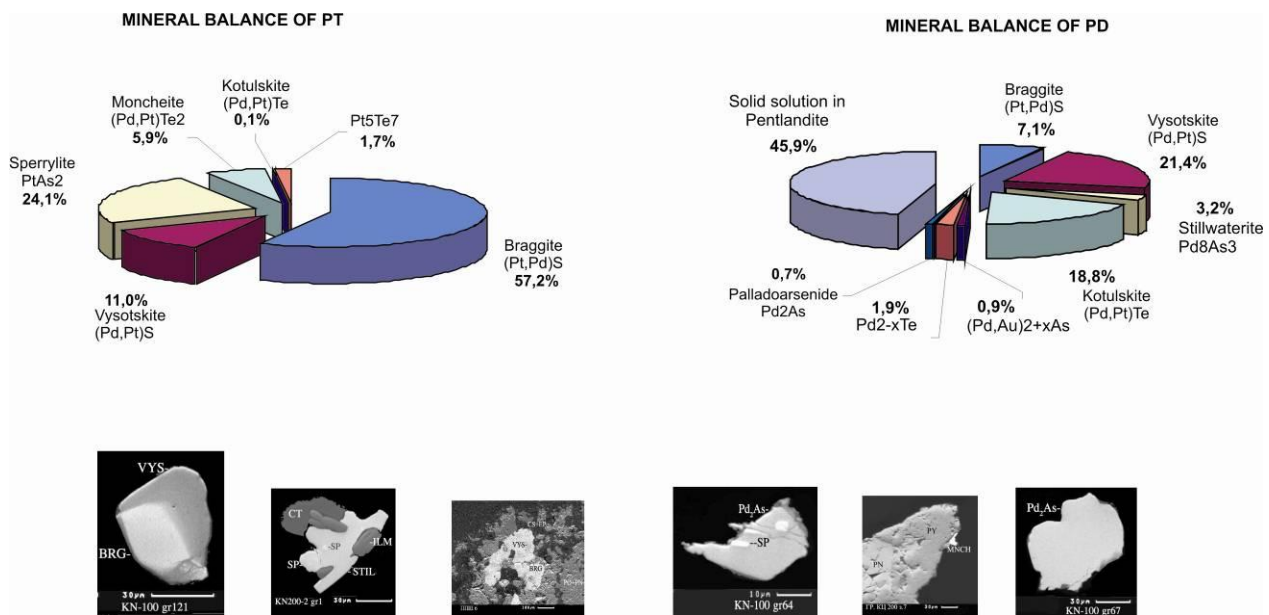


Fig. 19. Mineral balance of Pt and Pd.

Рис. 19. Распространение минералов Pt и Pd.

- ❖ PGM minerals intergrowth with sulfides or dissolved in them – good floatation results
- ❖ Минералы МПГ прорастают с сульфидами или растворяются в них – хороший результат флотации
- ❖ No Pt-Pd alloys – good floatation results
- ❖ Нет Pt-Pd сплавов - хороший результат флотации
- ❖ Large (up to 700 μm) grains PGM minerals – possibility of efficient gravity concentration
- ❖ Большие (до 700 мкм) зерна минералов МПГ – возможность для эффективного гравитационного обогащения
- ❖ High results of “metallurgy” test - recovery to concentrate: Pt -86%, Pd – 85.5%
- ❖ Хорошие результаты промышленных испытаний – извлечение в концентрат: Pt -86%, Pd – 85.5%
- ❖ Cheaper gravitational – floatation processing technique
- ❖ Дешевое технологическое оборудование гравитационно-флотационного обогащения

Fig. 20. PGM mineralogy – technological properties

Рис. 20. Технологические свойства минералов МПГ.

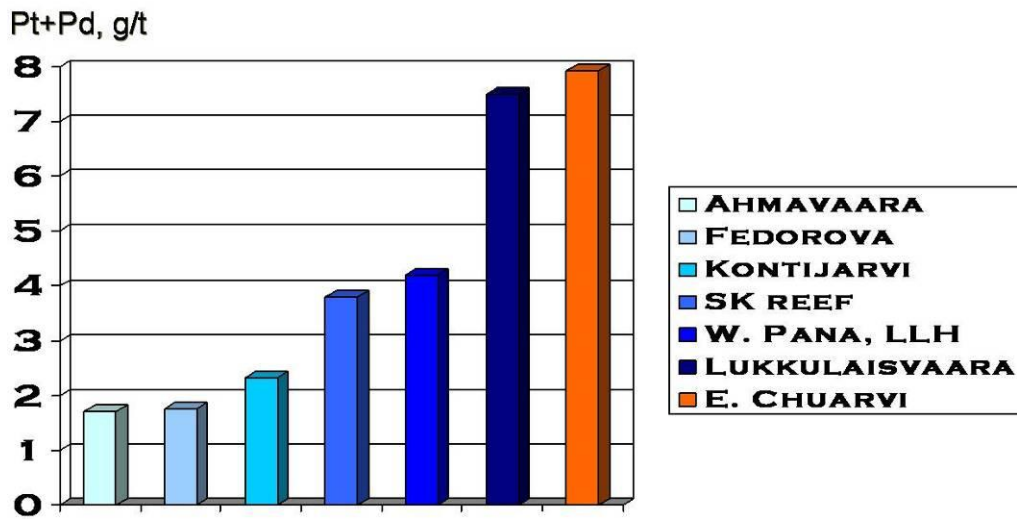


Fig. 21. Comparison of PGM grades.

Рис. 21. Сопоставление содержаний МПГ.

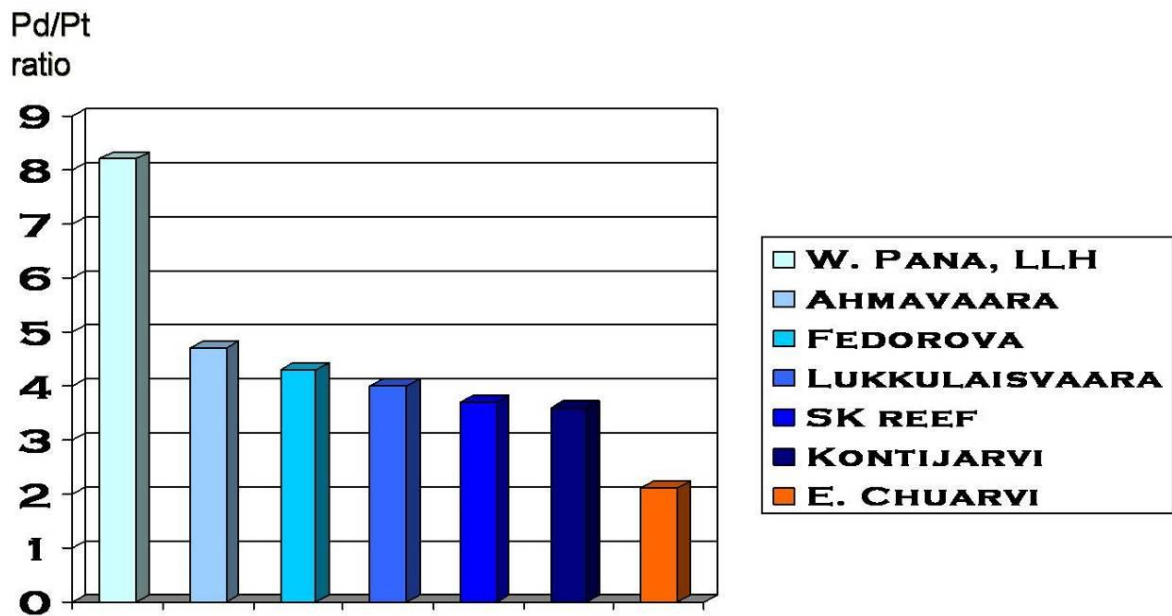


Fig. 22. Comparison of Pd/Pt ratio.

Рис. 22. Сопоставление коэффициента Pd/Pt.

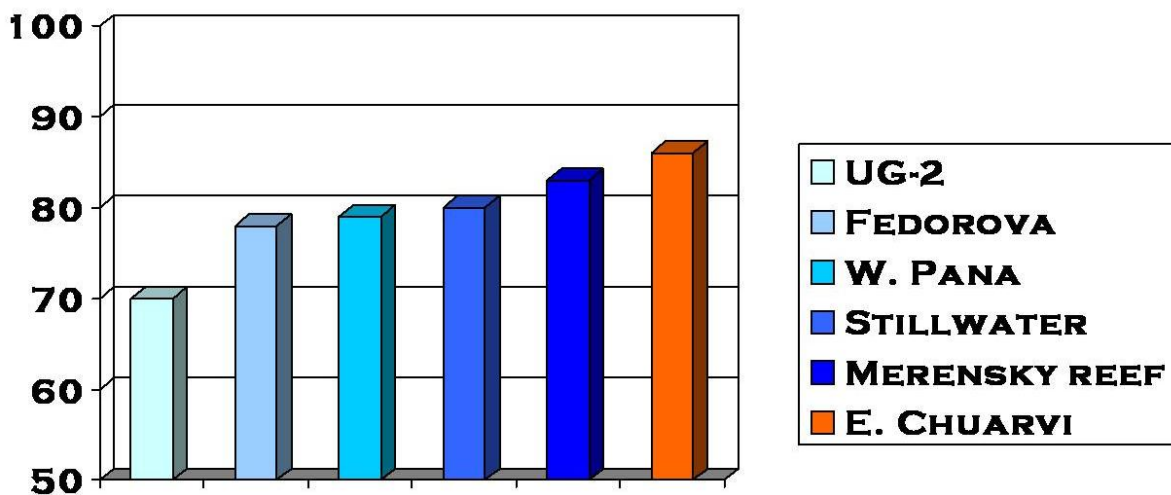


Fig. 23. Comparison of PGM recovery, %.

Рис. 23. Сопоставление по степени извлечения МПГ, %.

- ❖ Megacyclic structure of the intrusion has been identified, stratigraphy is being used as an exploration tool
- ❖ Установлена мегациклическая структура интрузии, стратификация использована в качестве разведочного инструмента.
- ❖ 3 zones of low-sulfide PGM mineralization were discovered at the footwall packages of megacyclic units GNZ1, GNZ2 and GZ
- ❖ Были обнаружены 3 зоны малосульфидной с МПГ минерализации в основании мегациклов GNZ1, GNZ2 и GZ
- ❖ Factors controlling mineralization:
 - Stratigraphy factor
 - Low sulfide mineralization factor
 - Indistinct lithological control
- ❖ Факторы контроля минерализации:
 - Стратиграфический
 - Наличие малосульфидной минерализации
 - Неотчетливый литологический контроль

Fig. 24. Main geological results.

Рис. 24. Основные геологические результаты.

- ❖ A low tonnage but high grade PGM deposit has been explored, resource calculation according to Russian regulation has been done
- ❖ Разведано месторождение с небольшими запасами, но с высокими содержаниями; выполнен подсчет запасов в соответствии с Российскими требованиями
- ❖ Positive metallurgy test
- ❖ Положительные металлургические испытания
- ❖ Positive prefeasibility study
- ❖ Положительные результаты предварительной стадии оценки месторождения
- ❖ Results submitted to government and approved
- ❖ Результаты представлены на рассмотрение и утверждены органами власти
- ❖ The company is expecting a production license
- ❖ Компания оформляет добычную лицензию

Fig. 25. Exploration results.

Рис. 25. Результаты разведки месторождения.

PGE-BEARING OBJECTS IN A W-E TRENDING BRANCH OF THE MONCHEGORSK MAFIC LAYERED COMPLEX (MMLC): GEOLOGY AND LEVELS OF PGE-MINERALIZATION

ПЛАТИНОМЕТАЛЛЬНЫЕ ОБЪЕКТЫ СУБШИРОТНОЙ ВЕТВИ МОНЧЕПЛУТОНА: ГЕОЛОГИЯ И ОСОБЕННОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ЭПГ-ОРУДЕНЕНИЯ

Pavel. V. Pripachkin, PhD,
Expert of Project

Павел В. Припачкин, к.г.-м.н.,
эксперт Проекта

Tat'yana V. Rundkvist, PhD,
laboratory of PGE-forming processes

Татьяна В. Рундквист, к.г.-м.н.,
лаборатория платинометалльного рудогенеза

Geological Institute,
Kola Science Centre, RAS
Apatity, 184209, Fersman str. 14
E-mail: pripaul@rambler.ru
rund@geoksc.apatity.ru

Геологический институт
КНЦ РАН
Апатиты, 184209, ул. Ферсмана 14
E-mail: pripaul@rambler.ru
rund@geoksc.apatity.ru

The given contribution is based on results of a PGE exploration in the Monchegorsk area (the Monchegorsk Mafic Layered Complex: the Monche Pluton, and the Monche-Tundra Massif) carried out in 1999-2001. The Central Kola Expedition (CKE, Monchegorsk) and the Joint Stock Company "Pana" (Apatity) took part in the project. The final CKE's report was presented in 2002 (chief author V. S. Voitekhovich). Co-authors representing the JSC "Pana" were geologists P. V. Pripachkin and A. A. Efimov who had done the greater part of mapping and sampling in the following areas: "Monchetundrovsky", "Sopchinsky (the eastern part of the massif)", "Nud-Critical Horizon", "Vurechuaivench", "Gabbro-10" and "Moroshkovoye Lake" and T.V.Rundkvist (cumulus stratigraphy of the Vurechuaivench massif). In the beginning of the project S. M. Karpov, V. V. Subbotin and K. O. Dudkin (the JSC "Pana") participated in field works, in particular, in the "Nud", "Poaz" and "Pentlanditovy Brook" areas

As a result, the Vurechuaivench Massif, the eastern margin of the Sopcha Massif and the "Moroshkovoye Lake" area were distinguished as the most promising PGE-bearing objects. The subsequent prospecting works carried out by geologists from the Kola Mining-Metallurgical Company provided insights into the geological structure and PGE potential of all these objects. All the referred reports are stored in CKE's archives. The authors thank Dr.V.V.Balagansky (Geological Institute KSC RAS) for his help in creating this contribution.

Brief information about the MMLC

✓ The MMLC is situated in the central part of the

Данная публикация была сделана по результатам поисковых работ на металлы платиновой группы в Мончегорском районе (Мончегорский и Мончетундровский массивы) в 1999-2001 годах. В проекте участвовали ОАО «Центрально-Кольская Экспедиция (ЦКЭ)» (г. Мончегорск) и ОАО «Пана» (г. Апатиты). Отчет по результатам работ был защищен в 2002 году (ответственный исполнитель В.С.Войтехович, ОАО ЦКЭ). Соавторами со стороны ОАО «Пана» являлись геологи П.В.Припачкин и А.А.Ефимов, выполнившие основной объем работ по участкам «Мончетундровский», «Сопчинский (восточная часть массива)», «Нюд-Критический Горизонт», «Вурэчуайвенч», «Габбро-10» и «Морошковое озеро» и Т.В.Рундквист (кумулясная стратиграфия массива Вурэчуайвенч). На начальном этапе (в том числе по участкам «Нюд», «Поаз» и «Пентландитовый ручей») в полевых работах со стороны ОАО «Пана» принимали участие С.М.Карпов, В.В.Субботин и К.О.Дудкин

В результате этих работ были выделены наиболее перспективные на ЭПГ объекты – массив Вурэчуайвенч, восточный фланг массива Сопча, участок «Морошковое озеро». В результате последующих разведочных работ, проведенных силами «Кольской Горно-Металлургической Компании», детали геологического строения и ЭПГ-потенциал исследуемых участков были существенно уточнены. Все приводимые в ссылках отчеты находятся в фондах ЦКЭ.

Авторы выражают благодарность д.г.-м.н. В.В.Балаганскому (Геологический институт КНЦ РАН) за помощь в подготовке этой работы.

Краткие сведения о Мончегорском плутоне

✓ Мончеплутон расположен в центральной части Кольского полуострова

Kola Peninsula

- ✓ The MMLC (ca. 60 square km) consists of two branches: N–E trending (the Nittis, Kumuzh'ya and Travyanaya (NKT) massifs) and W–E trending (the Sopcha, Nud and Poaz massifs)
- ✓ The MMLC is a typical layered mafic-ultramafic complex. The MMLC belongs to the peridotite-pyroxenite-gabbro-norite formation of the Kola Belt along with the General'skaya Mountain and Fedorova-Pana massifs. Tectonically, all these massifs are located between volcano-sedimentary Paleoproterozoic rocks of the Pechenga-Imandra-Varzuga palaeorift and the Archaean basement
- ✓ The industrial complex "Severonickel" was established in 1939, February 23

- ✓ Мончеплутон (площадь около 60 кв.км.) состоит из двух ветвей – субмеридиональной (массивы Ниттис-Кумужья-Травяная (НКТ)) и субширотной (массивы Сопча – Нюд – Поаз)
- ✓ Мончеплутон – типичный расслоенный ультрамафит-мафитовый массив. Принадлежит к перидотит-пироксенит-габброноритовой формации, объекты которой совместно с г.Генеральской и Федорово-Панским массивом (ФПМ) входят в Кольский пояс с однотипным геотектоническим положением интрузивов: на границе вулканогенно-осадочных пород Печенго-Имандра-Варзугской палеорифтогенной структуры и древнейшими породами основания
- ✓ 23 февраля 1939 года - день рождения комбината «Североникель»



Fig. 1. A view on the industrial complex "Severonickel" from the eastern slope of the Sopcha Mountain.

Рис. 1. Комбинат «Североникель» (вид с восточного склона г. Сопча).

Criteria for prospecting noble metals in the Monchegorsk area

- ✓ Investment into the regional economics by prospecting of new types of minerals (PGE, Au, diamonds, chromites etc.) are needed
- ✓ Local mineral resources for the industrial complex "Severonickel" were depleted and since 1971 when the last mine was closed nickel-bearing ores have been brought only from the Pechenga and Norilsk areas
- ✓ Investigations of the Fedorova-Pana massif

Предпосылки поисков благородных металлов в Мончегорском районе

- ✓ Необходимость привлечения инвестиций в областную экономику за счет поисков новых видов полезных ископаемых (ЭПГ, золота, алмазов, хромитов и т.д.).
- ✓ Истощение минерально-сырьевой базы комбината «Североникель», где еще в 1971 году закрылась последняя шахта и сырье стало полностью привозным («Печенганикель», Норильск).
- ✓ Открытие в 90-х годах Кольской платинометалльной

carried out by the geological Institute of the Kola Science Centre RAS led to the discovery of the Kola PGE-bearing Province in the 1990s

провинции в результате работ Геологического института в пределах Федорово-Панского массива.



Fig. 2. Chief geologist of the JSC "Pana" A. U. Korchagin, academician of the RAS F. P. Mitrofanov (third from right), JSC "Pana" employees and research scientists from the Geological Institute of the Kola Science Centre RAS investigate the position of a PGE-bearing reef in details.

Рис. 2. Директор и Главный геолог ОАО "Пана" - А.У. Корчагин, академик РАН Ф.П. Митрофанов (третий справа), сотрудники Паны и исследователи ГИ КНЦ РАН детально изучают и уточняют положение МПГ-содержащего рифа.

An actual quotation

Актуальная цитата

"After the Fedorova-Pana massif a second important object is the Monchegorsk intrusion... The Monchegorsk intrusion displays the both background elevated and local high concentration of PGE the areal distribution of which is extremely irregular, and a quantitative estimation of the PGE mineralization in this object needs purposeful prospecting works throughout the Monchegorsk and Moncha-Tundra massifs"

«Второй по значимости после Федорово-Панского массива является Мончегорская интрузия... повышенные фоновые и аномально высокие концентрации МПГ распределены в ней крайне неравномерно, без явных закономерностей, так что для обоснования масштабов платиноносности объекта требуются целенаправленные поисково-оценочные работы во всем объеме Мончегорского и Мончетундровского массивов»

Mitrofanov F. P., Balabonin N. L. et al. 1999. The Kola PGE-bearing province: new data. In: Russian Platinum. V. P. Orlov (chief editor). Issue 3, p. 43.

Митрофанов Ф.П., Балабонин Н.Л. и др., «Кольская платинометалльная провинция: новые данные», Платина России, 1999, т.3, стр.43.

The main stages of investigations of PGE mineralization in the Monchegorsk area

Основные этапы изучения ЭПГ-минерализации в Мончегорском районе

❖ The general high content of PGE in Cu-Ni ores in

❖ Общая повышенная платиноносность Cu-Ni руд

the Monchegorsk area has been known since 1930

- ❖ The first fragmentary reports about Pt and Pd were published only in 1960-1970 years (Rutshtain, 1964, Yushko-Zakharova et al., 1975, Sokolova, 1976). In particular, attention was drawn to the elevated PGE content in sulphide-bearing veins in the Nud, Kumuzhya, Travianaya and Sopcha massifs
- ❖ After prospecting works carried out by the Central-Kola expedition in 1979-1982 (Sotnikova et al., 1983), the MMLC was classified as a PGE-bearing but non-industrial object
- ❖ In 1998 exploration works for PGE were carried out in the vicinity of the Vurechuaivench Mountain (VM) and promising ore zones were distinguished within the Vurechuaivench and Gabbro-10 massifs (Shelepina et al., 1998)
- ❖ In 1999 and 2000 a purposeful exploration for PGE years started in the Monchegorsk area. This was being carried out by the Central Kola Expedition, Kola Mining-Metallurgical Company, Joint Stock Company “Pana” and Geological Institute KSC RAS in a close cooperation with each other

Мончегорского района известна с момента их обнаружения в 30-е годы

- ❖ Первые фрагментарные сведения о наличии Pt и Pd относятся лишь к 60-70 г.г. (Рутштейн, 1964, Юшко-Захарова и др., 1975, Соколова, 1976). В частности, обращается внимание на повышенное содержание ЭПГ в жильных рудах НКТ и Сопчи
- ❖ В результате работ геохимической партии ЦКГЭ в 1979-82 г.г. (Сотникова и др., 1983) Мончеплутон охарактеризован как платиноносный, но без перспектив обнаружения промышленных концентраций ЭПГ
- ❖ В 1998 г. завершены поисково-картировочные работы на ЭПГ в районе предгорий г.Вурэчуайвенч (Шелепина и др., 1988), в результате чего выделены перспективные рудные поля массивов Габбро-10 и Вурэчуайвенч
- ❖ Конец 90-х – 2000 г.г. - начало целенаправленных поисков ЭПГ-оруденения в Мончегорском районе в рамках тесного сотрудничества производственных и научных организаций: ОАО «ЦКЭ», Печенгская ГРЭ Кольской ГМК, ОАО «Пана», ГИ КНЦ РАН и др.

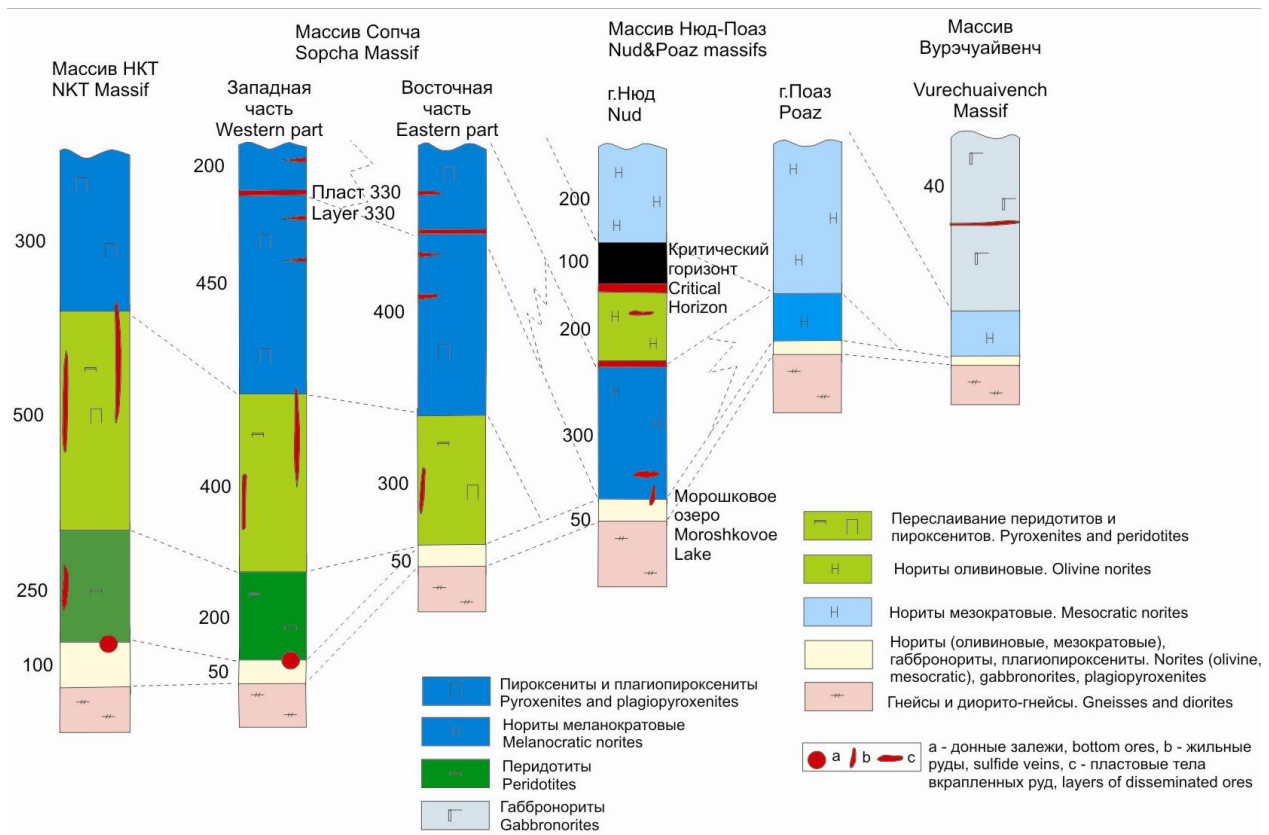


Fig. 3. A composite scheme of layering and localization of ore mineralization in the MMLC (Voitekhovich et al., 2002)

Рис. 3. Схема расслоенности и размещения оруденения Мончеплутона (Войтехович и др., 2002)

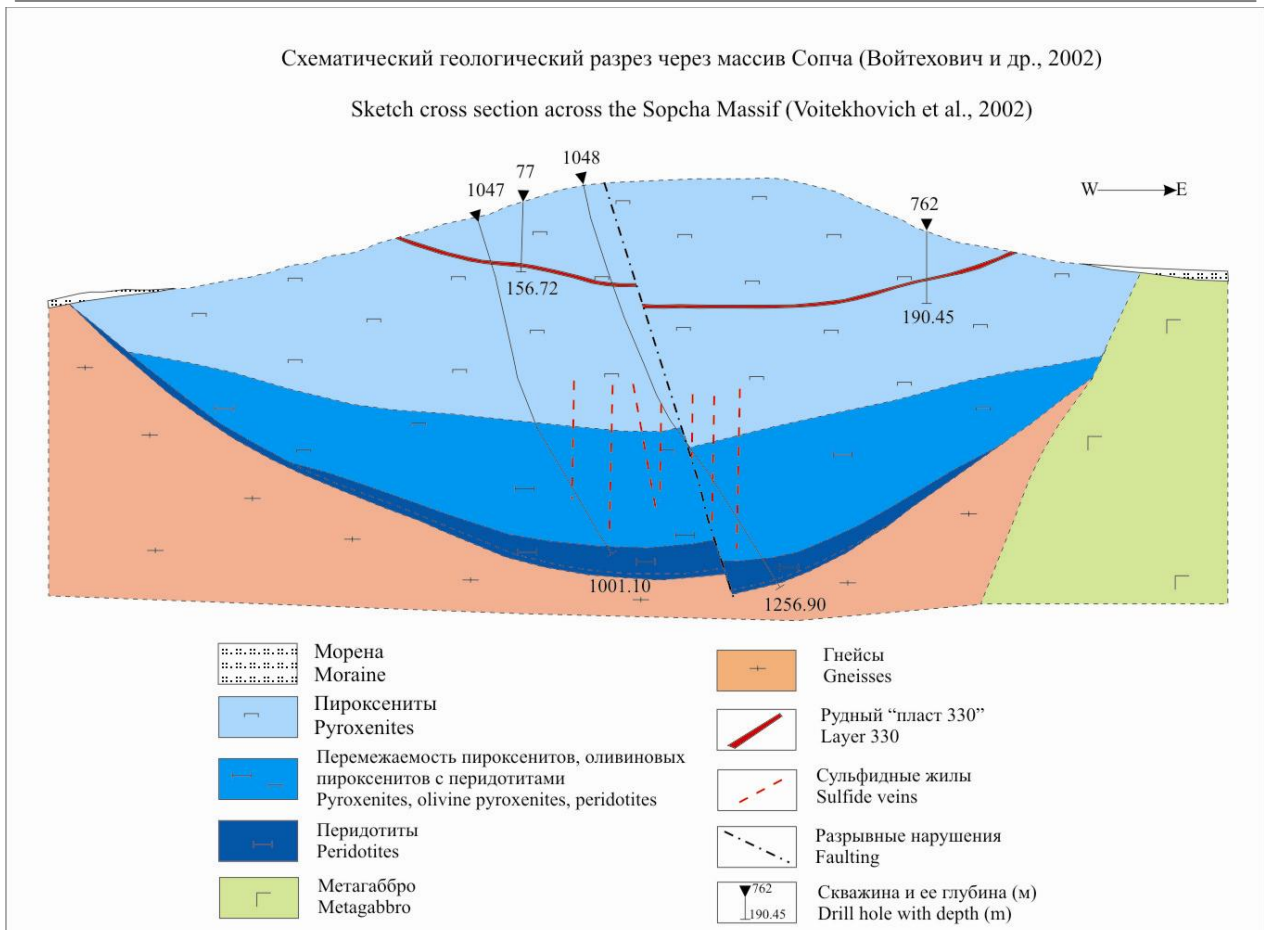


Fig. 4. Sketch cross section across the Sopcha Massif (Voitekhovich et al., 2002).

Рис. 4. Схематический геологический разрез г. Сопча (Войтехович и др., 2002).



Fig. 5. Pegmatoid pyroxenites of the eastern part of the Sopcha Massif.

Рис. 5. Пегматойдные пироксениты восточной части г. Сопча.

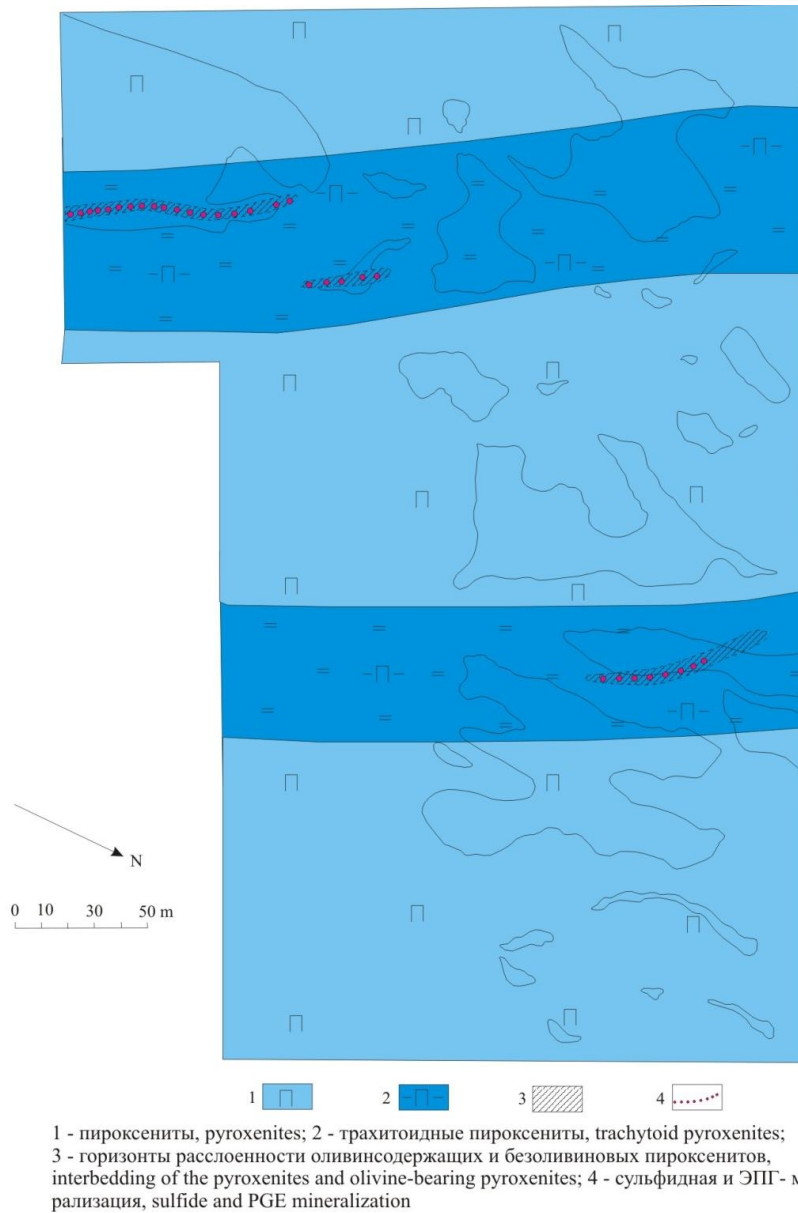


Fig. 6. Geological map of the detailed area "Sopchinsky". Рис. 6. Геологическая схема детального участка Сопчинский.



Fig. 7. Layered rocks in the Layer-330 of the Sopcha Massif. Рис. 7. Расслоенные породы «Пласта-330» г.Сопча.

Object and structure of hosting formation Объект и его структурно-генетическая характеристика	Host rocks Породы, вмещающие оруденение	Sulfide mineralization Характеристика сульфидной минерализации	PGE+Au content ЭПГ+Au	Thickness of mineralized zone Мощность рудной зоны	Length of mineralized zone Протяженность рудной зоны
“Eastern Sopcha” layered horizon remote from the bottom «Восточная Сопча» - удаленный от подошвы расслоенный горизонт	Pyroxenites (+ olivine), norites Пироксениты (±оливин), нориты	Penlandite-chalcopyrite-pyrrhotite dissemination from 0.5-1 to 3-5% Пентландит-халькопирит-пирротиновая вкрапленность 0,5-1 – 3-5%	0.2-1.5 ppm 0,2-1,5 ppm (г/т)	1.5-2 m 1,5-2 м	700 m with breaks 700 м с перерывами
	Pegmatoid pyroxenites Пегматоидные пироксениты	Rich chalcopyrite-pyrrhotite dissemination up to 5-10% Густая халькопирит-пирротиновая вкрапленность до 5-10%	2.5 2,5 ppm (г/т)	- -	Distributed as separate "spots" Распределена дискретно

Fig. 8. Main features of mineralization of structure of “Eastern Sopcha”.

Рис. 8. Особенности рудной минерализации участка «Восточная Сопча».

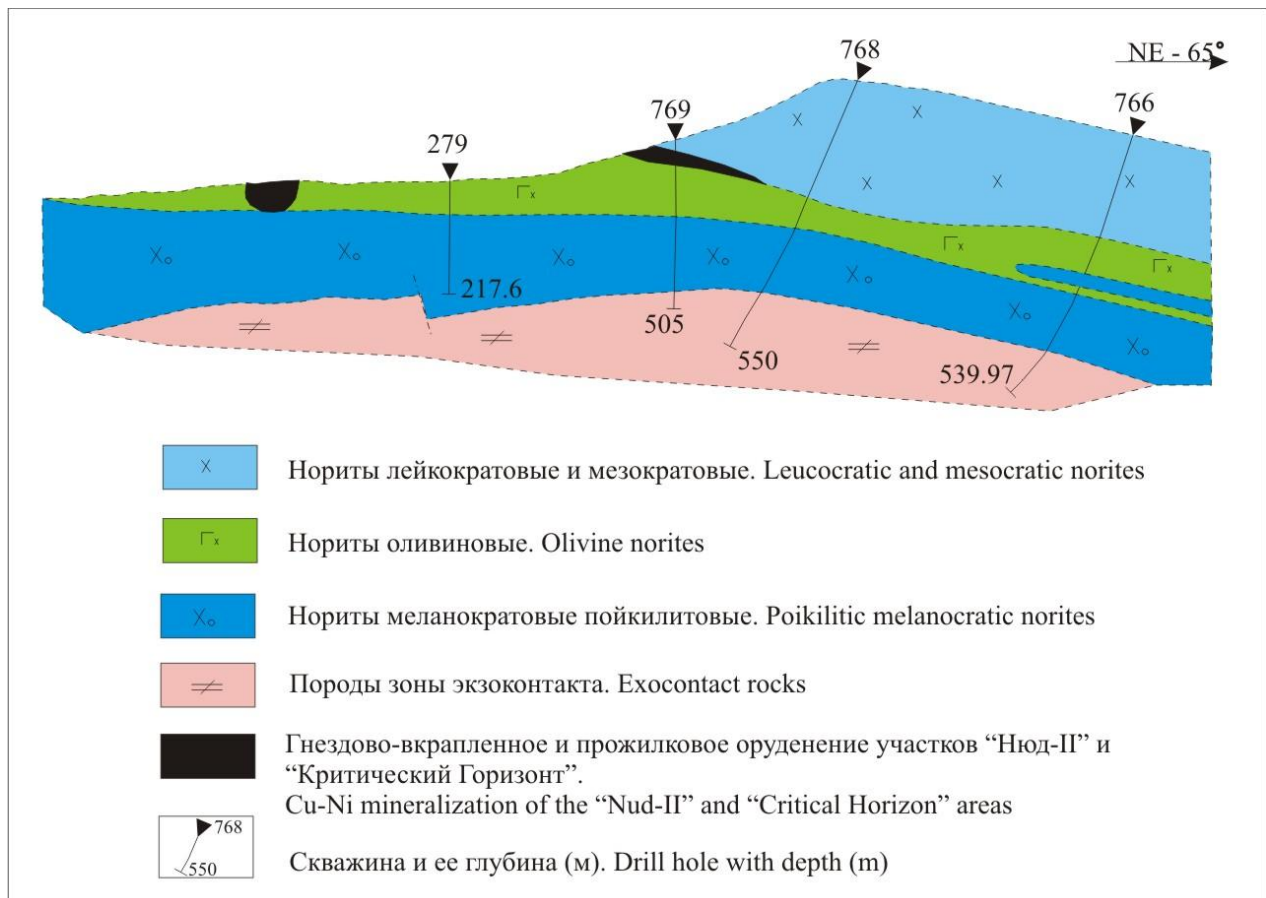


Fig. 9. Sketch geological cross section across the Nud Massif (Voitekhovich et al., 2002).

Рис. 9. Схематический геологический разрез г.Нюд (Войтехович и др.,2002).



Fig. 10. Geological sketch of the detailed area "Critical Horizon".

Рис. 10. Геологическая схема детального участка Критический горизонт.

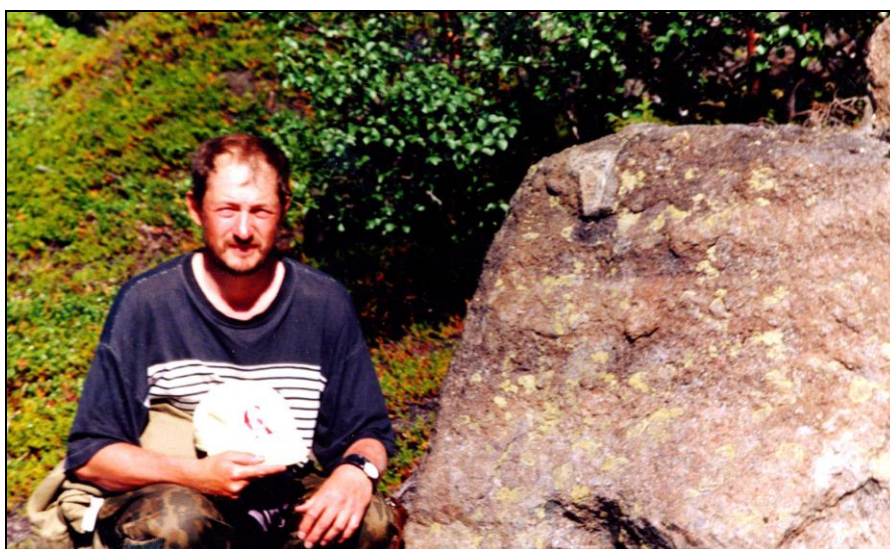


Fig. 11. Sketch geological cross section across the Nud Massif (Voitekhovich et al., 2002).

Рис. 11. Расслоенность в пачке оливинсодержащих пород г. Нюд (для масштаба – П.В.Припачкин).



Fig. 12. Thin layering in the Critical Horizon of the Nud Massif.

Рис. 12. Тонкорасслоенная серия «Критического горизонта» з.Нюд.



Fig. 13. Flow textures in thinly layered rocks of the Critical Horizon.

Рис. 13. Признаки вязкого течения в тонкорасслоенных породах «Критического горизонта».

Object and structure of hosting formation Объект и его структурно-генетическая характеристика	Host rocks Породы, вмещающие оруденение	Sulfide mineralization Характеристика сульфидной минерализации	PGE+Au content ЭПГ+Au	Thickness of mineralized zone Мощность рудной зоны	Length of mineralized zone Протяженность рудной зоны
"Critical Horizon" result of additional portion of magma with brecciation «Критический горизонт Ньюда» – продукт внедрения дополнительной порции расплава с элементами брекчирования	Gabbronorites, norites, micro-norites, spinel-cordierite hornfels Габбро-нориты, нориты, микро-нориты, шпинель-кордиеритовые роговики	Irregular chalcopyrite-pentlandite-pyrrhotite dessemiation, nests from 3-5 to 15-20% Неравномерная халькопирит-пентландит-пирротиновая вкрапленность и гнезда 3-5 до 15-20%	<1 ppm Менее 1 г/т	First meters – tens meters Первые метры – десятки метров	About 1000 m Около 1000 м
	Olivine norites, olivine pyroxenites Оливиновые нориты и пироксениты	Chalcopyrite-pyrrhotite dessemiation from 1-2 to 3-5% Халькопирит-пирротиновая вкрапленность 1-2 до 3-5%	1.5-3 ppm 1,5-3 г/т	First meters Первые метры	Not determined Не изучено

Fig. 14. Main features of mineralization of structure of "Critical Horizon".

Рис. 14. Особенности рудной минерализации участка «Критический горизонт Ньюда».

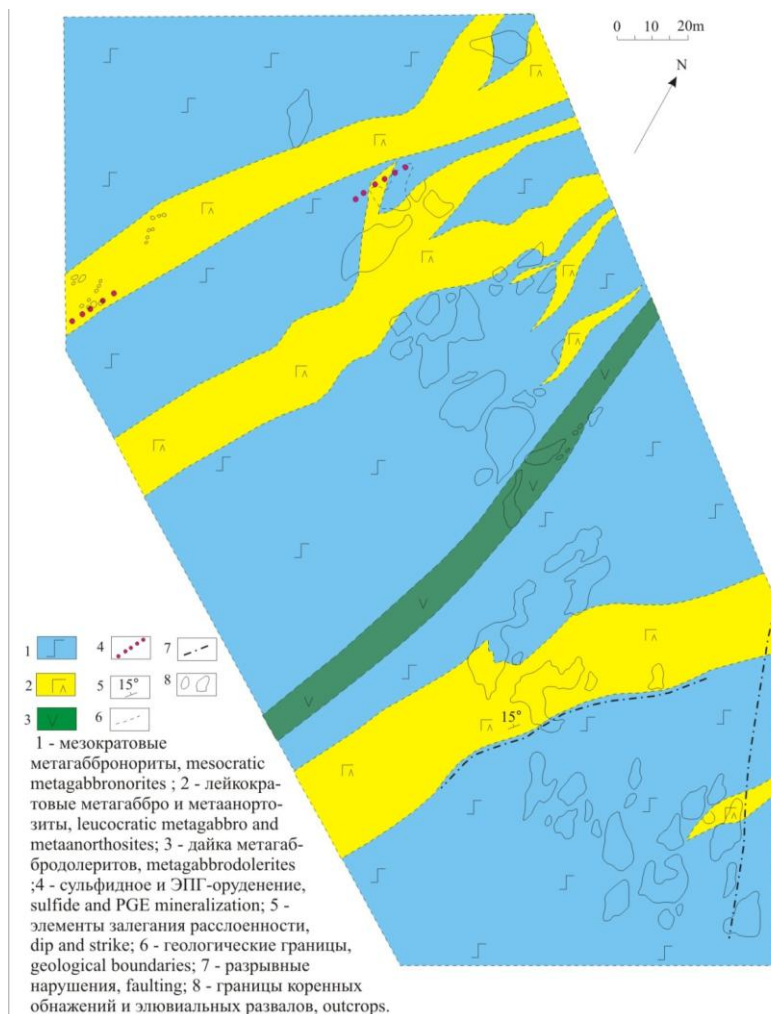


Fig. 15. Sketch geological map of the detailed area "Vurechuaivench".

Рис. 15. Геологическая схема детального участка Вурэчуайвенч.

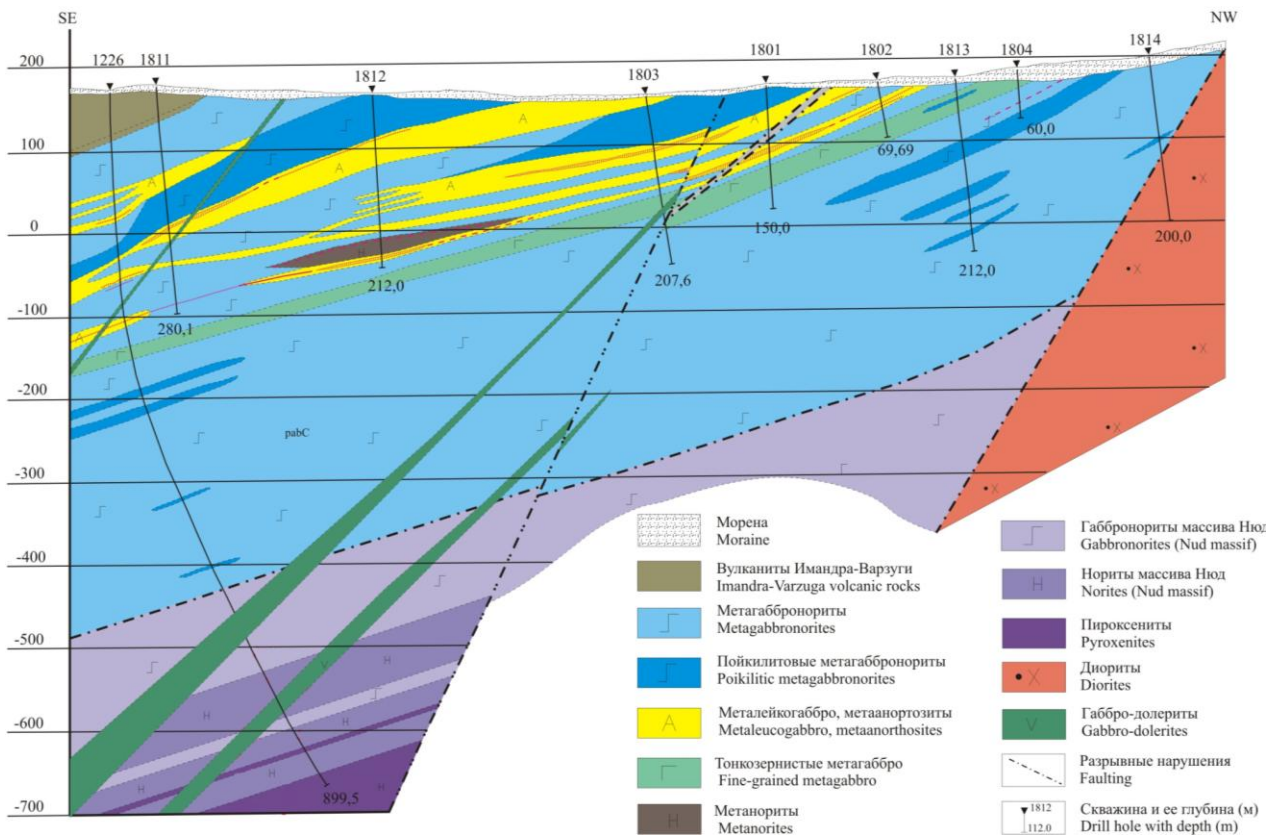


Fig. 16. Sketch geological cross section across the Vurechuaivench Massif.

Рис. 16. Схематический геологический разрез массива Вурэчуайвенч.

Object and structure of hosting formation Объект и его структурно-генетическая характеристика	Host rocks Породы, вмещающие оруденение	Sulfide mineralization Характеристика сульфидной минерализации	PGE+Au content ЭПГ+Au	Thickness of mineralized zone Мощность рудной зоны	Length of mineralized zone Протяженность рудной зоны
"Vurechuaivench" layered horizon remote from the bottom «Вурэчуайвенч» – удаленный от подошвы расслоенный горизонт	Metagabbro-norites, metaanorthosites, metaleucogabbro Габбронориты, лейкогаббро, анортозиты	Irregular chalcopyrite-pentlandite-pyrrhotite dissemination, up to 3-5% Неравномерная халькопирит-пентландит-пирротиновая вкрапленность до 3-5%	3-5 ppm 3-5 ppm (г/т)	First meters Первые метры	About 1000 m Около 1000 м

Fig. 17. Main features of mineralization of structure of "Vurechuaivench".

Рис. 17. Особенности рудной минерализации участка «Вурэчуайвенч».

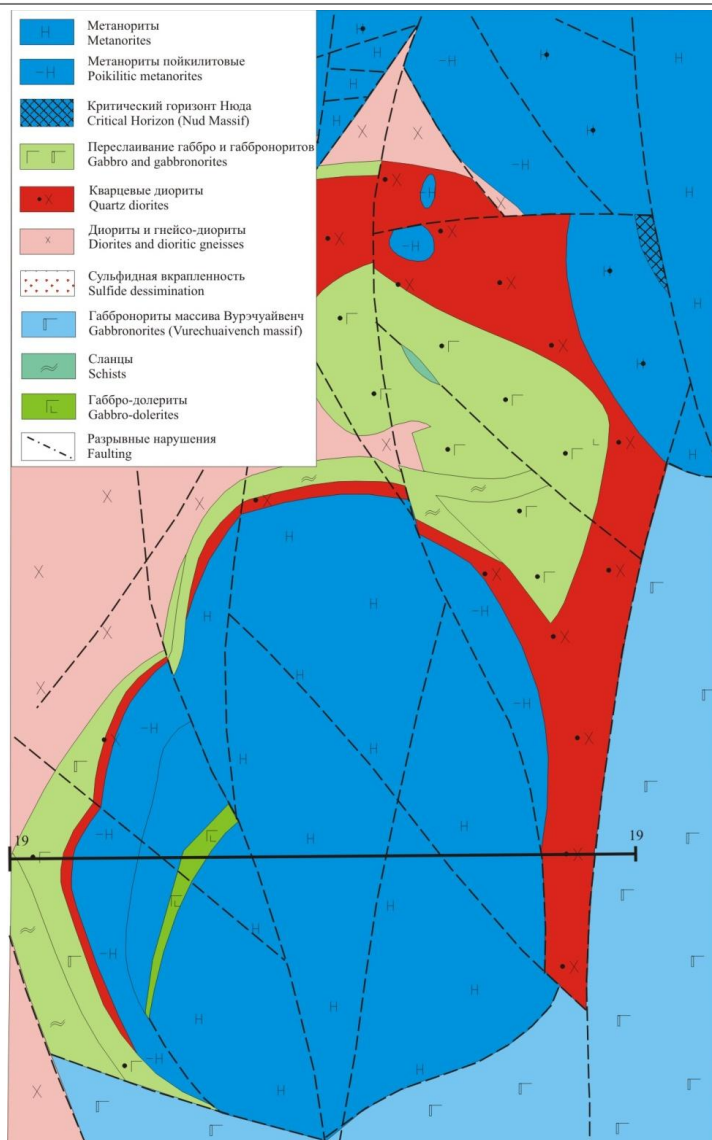


Fig. 18. Sketch geological map of the Gabbro-10–Moroshkovo Lake area (Voitekhovich et al., 2002).

Рис. 18. Геологическая схема участка Габбро-10 – Морошковое озеро (Войтехович и др., 2002).

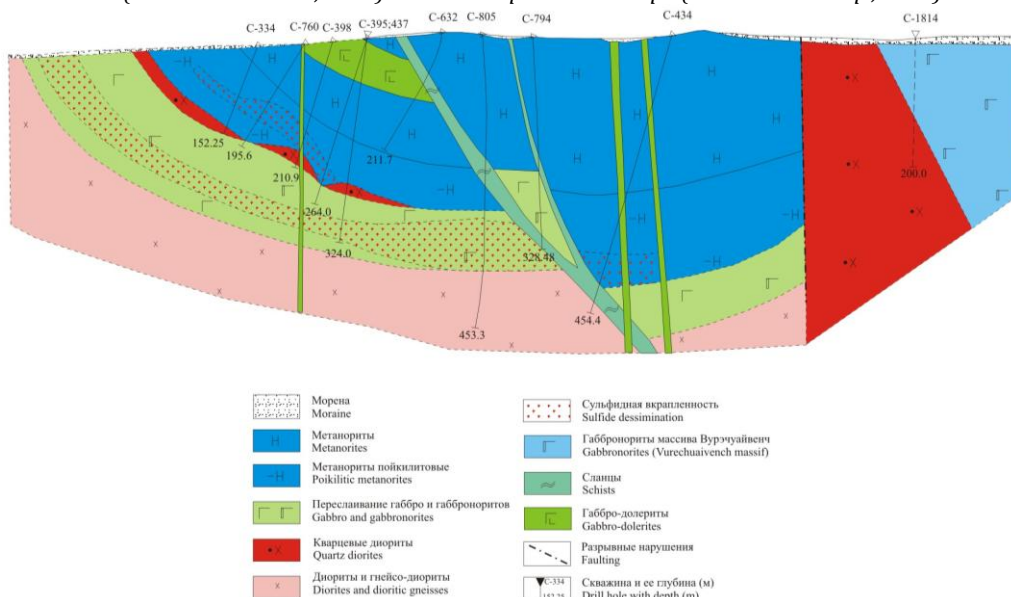


Fig. 19. Sketch geological cross section along profile 19 (the Moroshkovo Lake area (Voitekhovich et al., 2002).

Рис. 19. Схематический геологический разрез по профилю 19 (Морошковое озеро) (Войтехович и др., 2002).

Object and structure of hosting formation	Host rocks	Sulfide mineralization	PGE+Au content	Thickness of mineralized zone	Length of mineralized zone
Объект и его структурно-генетическая характеристика	Породы, вмещающие оруденение	Характеристика сульфидной минерализации	ЭПГ+Au	Мощность рудной зоны	Протяженность рудной зоны
"Gabbro-10 – Moroshkovoe Lake“ separate intrusive phase «Габбро-10 – Морошковое озеро» – самостоятельная интрузивная фаза	Metagabbro Метагаббро	Irregular pentlandite-chalcopyrite-pyrrhotite dissemination, from 1-2 to 5-10% Неравномерная пентландит-халькопирит-пирротиновая вкрапленность 1-2 до 5-10 %	from 0.5-1.5 to 3 ppm 0,5-1,5 до 3 г/т	First meters Первые метры – до 10 метров	Not determined Не изучено

Fig. 20. Main features of mineralization of structure of "Gabbro-10 – Moroshkovoe Lake".

Рис. 20. Особенности рудной минерализации участка «Габбро-10 – Морошковое озеро».

Conclusions

- ❖ In 1999-2001 the PGE mineralization was studied practically in the whole section of the W-E trending branch of the MMLC apart from its lower, mainly peridotitic-pyroxenitic part with which veins that bear ore mineralization are principally linked
- ❖ The most promising mineralization is related to the Layered Horizon of the Vurechuaivench Massif and namely to leucogabbro, anorthosites and gabbronorites in which the PGE content is 3-4 ppm; the length of this zone of mineralization is about 1 km
- ❖ A PGE mineralization in the PGE-mineralized zones in the Layered Horizon (norites and pyroxenites locally bearing olivine) of the Sopcha Massif is suggested to be also promising because mineralized zones show the constant PGE concentration (up to 1.5 ppm) along the whole lateral extent of the horizon
- ❖ In the “Moroshkovoe Lake” metagabbro the ore horizon shows the PGE content up to 3 ppm but its length is probably insignificant
- ❖ It can be stated that layered horizons of the Vurechuaivench and Sopcha Massifs are most promising for PGE mineralization. In contrast, intrusive rocks that build up layers formed by injection of additional batches of magma (such as the Critical Horizon of the Nud Massif) or make up separate intrusions (Gabbro-10, Moroshkovoe Lake) hardly bear this mineralization

Выводы

- ❖ Зоны ЭПГ-минерализации субширотной ветви Мончеплутона исследованы практически во всем разрезе, исключая его нижнюю (существенно перидотит-пироксенитовую) часть, к которой приурочено в основном жильная сульфидная минерализация
- ❖ Самая перспективная рудная зона связана с расслоенным горизонтом массива Вурэчуайвенч и приурочена к появлению в разрезе лейкократовых пород (содержание ЭПГ+Au – 3-4 г/т, ориентировочная протяженность горизонта - 1 км)
- ❖ Перспективным представляется ЭПГ-оруденение в расслоенном норит-пироксенитовом (± оливин) горизонте г.Сопча, где уровни сульфидной и ЭПГ-минерализации хорошо выдержаны по простиранию и характеризуются стабильными содержаниями ЭПГ+Au – порядка 1 г/т
- ❖ В метагаббро Морошкового озера рудный горизонт характеризуется значениями ЭПГ+Au до 3 г/т, но протяженность его, скорее всего, незначительна
- ❖ Можно констатировать, что наиболее перспективными в отношении ЭПГ-оруденения в Мончеплутоне являются расслоенные горизонты. Перспективы образований, связанных с дополнительными порциями расплава (Критический горизонт Ньюда) или самостоятельными интрузивными фазами (Габбро-10 аномалии и Морошкового озера) – либо отрицательные, либо неясны
- ❖ В случае расслоенных горизонтов Мончеплутона прослеживаются очевидные аналогии с

- ❖ The MMLC is very similar to the well-known PGE-bearing massifs (Bushveld, Stillwater, etc.)
 - ❖ The PGE-bearing mineralization occurs within short layers and lenses that form thin but extensive zones within the most layered parts of massifs
 - ❖ Zones of mineralization with the high PGE content near olivine-bearing rocks
 - ❖ In ore-bearing zones the high PGE concentration is displayed by sulphide phases but the total content of sulphides is low
 - ❖ The PGE mineralization in the Vurechuaivench Massif is strongly to be pointed out because this proved to be practically identical to that in the Lower Layered Horizon of the Fedorova-Pana Massif as had been predicted
- известными платиноносными массивами (Бушвельд, Стиллуотер и др.):
- ❖ Локализация оруденения в виде согласных прерывистых слоев, приуроченных к наиболее расслоенным частям разрезов
 - ❖ Распространение повышенных содержаний ЭПГ вблизи оливинсодержащих пород
 - ❖ Высокие уровни концентрации ЭПГ в сульфидной фазе при низких содержаниях сульфидов в рудных зонах
 - ❖ В последнем случае следует особо отметить рудную минерализацию массива Вурэчуайвенч, для которой практически полностью подтверждено ожидаемое сходство с оруденением Нижнего расслоенного горизонта Федорово-Панского массива

MAJOR FEATURES OF THE VURUCHUAIVENCH (VURECHUAIVENCH) DEPOSIT GEOLOGICAL STRUCTURE

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВУРУЧУАЙВЕНЧ (ВУРЭЧУАЙВЕНЧ)

Vladimir N. Ivanchenko,
Senior geologist of LLC
"Pechengageologiya"

Владимир Н. Иванченко,
ведущий геолог
ООО «Печенгагеология»

Pavel S. Davydov,
Chief geology department of LLC
"Pechengageologiya"

Павел С. Давыдов,
главный геолог
ООО "Печенгагеология"

Vladimir A. Dedeev,
Researcher of LTIS JSC "Institut Gipronickel"

Владимир А. Дедеев,
научный сотрудник ЛТИС
АО "Институт Гипроникель"

Vladimir V. Knauf,
General Director of CC "Nati"

Владимир В. Кнауф,
генеральный директор ЗАО "Нати"

E-mail: ivanchenkovn@kolagmk.ru
natives@natives.com

E-mail: ivanchenkovn@kolagmk.ru
natives@natives.com

Geological structure of the Monchegorsk region

The Vurechuaivench PGE-bearing deposit is located within the Monchegorsk ore region.

The ore region is confined to the triple junction of large-scale Precambrian units of the Kola Peninsula: the Belomorian and Central-Kola megablocks and the Imandra-Varzuga belt. East of the Monchegorsk ore region there is a large-scale multi-phase nepheline syenite intrusion emplaced 366-371 million years ago as a result of the Palaeozoic tectono-magmatic activation.

The geological structure of the ore region involves two large-scale mafic-ultramafic intrusions: the Monchepluton with an area of ca. 55 km², and the Monchetundra, part of the Main Ridge intrusion with a total area of over 500 km². The Monchepluton, in terms of metallogeny and absolute age (2493 ± 7 Ma), is referred to as a layered unit of the Kola PGE-bearing province (Mitrofanov et al., 1994) emplaced 2504-2493 million years ago and considered to be part of the peridotite-pyroxenite-gabbro-norite formation common on all Precambrian shields, including the Baltic Shield.

The intrusions composed the formation show similar features of rock composition and structure, being nevertheless characterized by an individual rock sequences, different degree of rock differentiation and different associations of industrial ore components.

The Monchepluton underwent three phases of emplacement. The first one resulted in the intrusion of dunites and peridotites with chromite

Геологическое строение Мончегорского района

Месторождение платиноидов Вурчуйвенч расположено в пределах Мончегорского рудного района.

Район приурочен к области сочленения трех крупных докембрийских структур Кольского региона – Беломорского и Центрально-Кольского мегаблоков и Имандра-Варзугской зоны карелид. Восточнее Мончегорского района располагается крупная многофазная интрузия нефелиновых сиенитов, внедрение которой 366-371 млн. лет назад обусловлено палеозойской тектоно-магматической активизацией.

Определяющей чертой геологического строения района является наличие двух крупных интрузий базит-ультрабазитового состава: Мончеплутона, площадью около 55 км², и Мончетундровской, являющейся частью интрузии Главного хребта, общей площадью более 500 км². Мончегорский расслоенный плутон по металлогении и абсолютному возрасту (2493 ± 7 млн. лет) рассматривается как интрузивное образование Кольской платиноносной провинции (Митрофанов и др., 1994), сформированной 2504 - 2493 млн. лет назад, и входящее в состав перидотит-пироксенит-габброноритовой формации, широко развитой на всех щитах, включая Балтийский.

Все массивы этой формации имеют общие черты строения и состава пород, но каждый из них обладает индивидуальными разрезами, различной степенью дифференциации пород и разным набором промышленно значимых рудных концентраций.

Мончеплутон сформировался в три фазы внедрения. В первую фазу (I-этап) формировались дуниты и перидотиты с хромовым оруденением (Дунитовый блок). В среднюю фазу (II – фаза) образовались

mineralization (Dunite Block). The second one yielded the rocks of the layered series: peridotite, pyroxenite, leuco-meso-melanonorite, including reefs with low-sulphide PGE ores. And the third one is represented by veined gabbro-pegmatite, metagabbro, and metadiorite with a Ti-magnetite horizon at the base of the sequence.

In the ore horizons of the Monchegorsk platinum-group elements tend to sulphides, causing the sulphide type of the mineralization. Disseminated ores with Ni and Cu concentrations varying within fractions of a percent contain 0.1-0.6 ppm PGEs, whose concentration increases along with the growth of ore element content (Horizon-330 deposit). The only exception is the marginal part of the pluton, where platinum-group elements accumulated due to the fluid-hydrothermal processes, producing reefs of low-sulphide PGE ores (Vurechuaivench deposit). Thus, the Vurechuaivench anorthosite with anomalous PGE concentrations compared to the sulphides contains 2-10 ppm PGEs at 0.1-0.3% of Ni and Cu.

The geological structure of the Vurechuaivench deposit

The Vurechuaivench deposit occurs at the marginal part of the Nyud-Poaz intrusion that belongs to the large layered Monchepluton complex of the peridotite-pyroxenite-gabbro-norite formation (attached Fig. 1). The intrusion is composed of olivine norite and meso-melanocratic norite that are replaced by meso-leucocratic gabbro-norite and anorthosite at the top of the rock sequence. From north to south and south-east, the abundance of clinopyroxene gradually increases, resulting in the predominance of gabbro-norite in the rock sequence. The grade of metamorphic transformation increases in the same direction.

The Vurechuaivench intrusion entirely consists of gabbro-norite that exposes at the day surface northeastwards for a distance of 7-8 km, and disappears in the Lake Imandra. The width of the exposure is 1.5-2 km.

The rocks dip south-eastward at angles varying from 5-10° to 20-30° beneath the effusive rocks of the Imandra-Varzuga Belt. The vertical thickness of the gabbro-norite sequence is 600-700 m. A few deep boreholes have penetrated the gabbro-norite down to a depth of 3 km.

The gabbro-norite overlay metamorphosed diorite of the basement with the contact between them having tectonic genesis. Up-section a horizon of mesocratic gabbro-norite with a thickness of 300-500 m in the central part and of up to 200 m in the east occurs (Borehole 1883). The upper part of the section is represented by a «banded zone» with a thickness of 200-240 m that is top-down composed of leucocratic quartz gabbro-norite with a thickness of up to 40 m, a 5-50 m thick «alternation zone»

дифференциаты расслоенной серии плутона: перидотиты, пироксениты, лейко-мезо-меланонориты, включающие рифы с малосульфидными платинометалльными рудами. Третья фаза представлена жильными габбропегматитами, метагаббро и метадиоритами, где в основании разреза залегает титаномагнетитовый горизонт.

Характерной особенностью рудных горизонтов Мончегорского плутона является тесная парагенетическая связь платиноидов с сульфидами и «сульфидный» характер оруденения. Во вкрапленных рудах с содержанием Ni и Cu, не превышающими долей процента, содержание МПП составляет 0,1-0,6 г/т и лишь с увеличением рудных элементов до процента и более содержание МПП повышается (месторождение Пласт-330).. Исключение составляет краевая зона плутона, где происходит флюидно-гидротермальное концентрирование платиновых металлов с образованием рифов малосульфидных платинометалльных руд (месторождение Вуручуайвенч). Так в плагиоклазитах Вуручуайвенч, где отмечается anomalous концентрирование платиноидов относительно сульфидной составляющей, при содержаниях Ni и Cu 0,1-0,3% содержания МПП достигают 2-10 г/т.

Геологическое строение месторождения Вуручуайвенч

Месторождение Вуручуайвенч локализовано в габбро-норитах краевой части массива Нюд-Поаз (массив Вуручуайвенч), принадлежащего крупной расслоенной интрузии перидотит-пироксенит-габбро-норитовой формации Мончегорского плутона (граф. прил 1).. Породы массива снизу вверх представлены оливиновыми норитами, мезо-меланоноритами, переходящими в верхней части в мезо-лейкократовые габбро-нориты и анортозиты. С севера на юг и юго-восток в породах постепенно увеличивается количество моноклинного пироксена, обуславливающего преобладающее развитие в разрезе габбро-норитов. В этом же направлении отмечается увеличение степени метаморфизма пород.

Массив Вуручуайвенч полностью сложен габбро-норитами, выходы которых на дневную поверхность прослеживаются в северо-восточном направлении на 7-8 км, а затем уходят в акваторию оз. Имандра. Ширина выхода на поверхность составляет 1,5-2 км.

Падение пород массива на юго-восток, углы падения 5-10° до 20-30° под эффузивные породы Имандра-Варзугской Зоны (ИВЗ). Вертикальная мощность габбро-норитов Вуручуайвенч 600-700 м. Единичными глубокими скважинами габбро-нориты прослежены по падению на 3 км.

Габбро-нориты залегают на метадиоритах основания, контакт с которыми подсорван. Выше залегает пачка мезократовых габбро-норитов мощностью 300-500 м в центральной части и до 200 м на востоке (скв.1883). В верхней части разреза выделяется «полосчатая зона» мощностью 200-240 м, которая сверху вниз представлена лейкократовыми кварцевыми габбро-норитами мощностью до 40 м, «зоной переслаивания» - с

with mesocratic gabbro-norite interchanging with anorthosite. The basement of the “alternation zone” is marked by a horizon of medium-to-coarse-grained and pegmatoid taxitic gabbro-norite with nests of blue quartz. The thickness of the “alternation zone” varies from 120 to 180 m.

The bottom of the “banded zone” is made up of a monotonous horizon of mesocratic gabbro-norite with rare barren anorthositic layers.

The rocks of the area are broken down by a series of north-west-striking faults into separate blocks with assumed amplitude of vertical displacements varying from 15-20 m to 150 m.

The deposit consists from west to east of the following blocks:

- the Western block located between the Western and Axial faults;
- the Central block located between the Axial and Eastern faults;
- and the Eastern block located between the Eastern fault and the eastern boundary of the detailed area (PRF-60).

In the south of the Western and Central blocks one can find outcrops of metamorphosed effusive rocks that dip at angles of 0-5° in the west and of up to 22° in the center (PRF-35). The Eastern block is completely hidden beneath the metamorphosed effusive rocks with some outcrops of gabbro-norites north of the contact with the effusive rocks.

In the upper part of the taxitic horizon (Western block) or in the bottom of the «alternation zone» (Central block) an anorthositic layer of Reef V-1 with ore body 1 occurs. The thickness of the anorthosite layer is not persistent and varies from 40-50 m in the north-western part of the deposit down to 25-30 m in the center, pinching out to 10-15 m. The anorthositic layers are prominent due to the light colour and spotted texture that results from the plagioclase replaced by the secondary minerals, such as chlorite, epidote-clinozoisite and amphiboles. The Vurechuaivench ore reef V-1 is marked by a layer enriched with sulphides with associated ore body 1. The hanging and footwalls of the reef there are anorthositic interlayers with associated ore bodies 2 and 3.

Morphology and strike and dip of the ore bodies

The ore bodies of the Vurechuaivench deposit are represented by sheet-like and complanate lenses without clear contours that have only been traced by sampling and on the basis of approved standard limits. Ore reef V-1 embodies main ore body 1 of the Vurechuaivench deposit that can be traced in all blocks of the deposit. Locally, it is split into parallel bodies in the hanging and footwalls moved from the main ore body for the distance of 5-10 m and considered to be separate ore bodies. Here, the thickness of the mineralized zone increases up to 20-27 m. The bodies are not clearly isolated and can appear both in synclinal and anticlinal folds of the ore-bearing horizon.

чередованием мезократовых габбро-норитов с пластами плагиоклазитов мощностью до 5-50 м. В основании «зоны переслаивания» залегает маркирующий горизонт, такситовые габбро-нориты от среднезернистых до крупнозернистых и пегматоидных с гнездами голубого кварца. Мощность «зоны переслаивания» составляет 120-180 м.

Низы разреза «полосчатой зоны» представлены монотонной пачкой мезократовых габбро-норитов с редкими безрудными горизонтами плагиоклазитов.

Породы участка разбиты серией разломов северо-западного простирания на отдельные блоки с предполагаемой амплитудой вертикальных перемещений от 15-20 м до 150 м.

На месторождении с запада на восток выделяются следующие блоки:

- Западный блок – расположен между Западным и Осевым сбросами;
- Центральный блок – между Осевым и Восточным сбросами;

- Восточный блок, включающий в себя площадь, расположенную между Восточным сбросом и восточной границей детального участка (ПР-60).

В южной части Западного и Центрального блоков отмечаются выходы метаэффузивов. Углы падения пород колеблются от 0-5° - на западе до 22° - в центральной части (ПР-35). Восточный блок полностью перекрыт метаэффузивами. Здесь выходы габбро-норитов отмечаются к северу от контакта эффузивов.

В верхней части такситового горизонта (Западный блок) или низах «зоны переслаивания» (Центральный блок) залегают плагиоклазиты рифа V-I с Рудным телом 1. Мощность плагиоклазитов невыдержанная и составляет от 40-50 м в северо-западной части месторождения до 25-30 м в центральной части, уменьшаясь в пережимах до 10-15 м. Слои плагиоклазита отчетливо выделяются макроскопически, представляют собой светлую породу крупнопятнистой текстуры, которая обусловлена образованием по плагиоклазу вторичных минералов – хлорита, эпидота-клиноциозита и амфиболов. Рудный риф V-1 Вурчуйвенч маркируется слоем, обогащенным сульфидной вкрапленностью, к которому приурочено рудное тело 1. В висячем и лежачем боках этого рифа среди прослоев плагиоклазитов локализованы рудные тела 2, 3.

Морфология и условия залегания рудных тел

Рудные тела месторождения Вурчуйвенч представлены пластообразными залежами и уплощенными линзами, не имеют четких геологических ограничений, их границы определяются по данным опробования на основании принятых кондиционных лимитов. В пределах рудного рифа V-1 локализовано основное рудное тело месторождения Вурчуйвенч – рудное тело 1, которое прослеживается во всех блоках месторождения. На отдельных участках оно расщепляется с появлением в висячем и лежачем боках от 1 до 2 параллельных тел, удаленных от основного рудного тела на 5-10 м и отвечающих самостоятельным рудным телам. В этих участках мощность минерализованной зоны увеличивается до 20-27 м.

From west to east, the main ore body (ore body 1) of the deposit arcuately changes the azimuth of strike (according to the strike of the ore-bearing anorthosite) from 100-60-800 in the Western block through 90-60-400 in the Central block to 40-300 in the Eastern block at monotonous dip in the southern and south-eastern limbs. The occurrence of the ore body is complicated with small anticlinal and synclinal folds with a wing span of 90-120 and 150-200 m. The folds strike rather persistently through the whole area of the deposit at an angle of 330-3400. The elevation of the anticline joints over the syncline keel is about 30 m.

Ore body 1 is separated into parts according to the host geological blocks.

Western block. Ore body 1 is stripped by 80 boreholes. It has been studied in squares of 50x50, 50x100 and 100x100 m. The ore body has a sheet-like shape and dips in the southern and south-eastern limbs. Its northern part gently dips at an angle of 2-5°, plunging beneath the moraine for a distance of 600 m at the absolute elevation of about 150 m. The plane of the ore body is complicated by a series of transversal anticlinal (2) and synclinal (3) folds with the axes oriented northwestwards. The wing span of the folds varies from 60 to 200 m or more. The folds are not persistent in strike with the undulated axes. In the cross-sections, the folds are not prominent, being implied by flattening, and synclinal and anticlinal bending of the ore body plane.

With depth, the ore body tends to flatten. The length traced along the dip is 1200 m at PR-37, where it has been penetrated at the absolute elevation of -60 m. The proved vertical thickness of the ore body is 210 m.

The thickness of the ore body is not persistent with bulges of 5.7–9 m and up to 24.5 m (at the cutoff of 1 ppm) in the outlined synclinal flexures in the flat near-surface part and in the areas of gentle occurrence at the depth.

In the Central block ore body 1 is stripped by 38 boreholes spaced in squares of 100x50-100 and 200x100 m, and occurs evenly and persistently for distances of 600-800 m. The ore body dips at prospecting cross-sections at angles of 10-20° in the west, and of 25-30° in the east.

The traced length of the ore body is 1200 m along the strike and up to 720 m along the dip (prospecting line 44). The ore body has not been contoured along the dip. The ore body crops out in the north of the block (beneath the loose moraine) for 720 m at the absolute elevation of 190-260 m (prospecting lines 43-48). It has been traced down to an absolute elevation of 0-+30 m in the east, and of -150 m in the west. The vertical thickness of the ore body locally reaches 190-200 m at the total thickness of 400 m.

The Eastern block has been poorly studied, and ore body 1 here has been stripped by 14 boreholes

Четкой структурной обособленности таких участков не отмечается, они появляются как в синклинальных, так и антиклинальных перегибах рудовмещающего горизонта. У основного рудного тела (рудное тело 1) месторождения в направлении с запада на восток отмечается плавное дугообразное изменение азимута простирания (согласно простиранию рудовмещающего пласта плагиоклазитов) от 100-60-800 в Западном блоке, через 90-60-400 в Центральном блоке, до 40-300 в Восточном блоке при однообразном падении его в южных и юго-восточных румбах. На этом фоне залегание рудного тела осложнено мелкими антиклинальными и синклинальными изгибами с размахом крыльев от 90-120м до 150-200м. Их простирание относительно выдержано на всей площади месторождения и составляет 330-3400. Превышения замков антиклиналей над килем синклиналей около 30м. Рудное тело 1 разделено на части по принадлежности их выделенным геологическим блокам.

Западный блок. Рудное тело 1 вскрыто 80 скважинами. Сеть изученности составляет 50x50, 50x100 и 100x100 м. Форма рудного тела пластообразная с падением в южных, юго-восточных румбах. Тело в северной части имеет пологое падение 2-5° с широким выходом под морену протяженностью по простиранию 600 м на абсолютных отметках около 150 м. Плоскость рудного тела осложнена серией поперечных к простиранию антиклинальных (2) и синклинальных (3) перегибов, оси которых ориентированы в северо-западном направлении. Размах крыльев складок от 60 до 200м и более. Складки не выдержаны по простиранию, отмечается ундуляция их осей. На разрезах эти складки слабо выражены выполаживанием, синклинальными и флексурными перегибами плоскости рудного тела.

С глубиной рудное тело имеет тенденцию к выполаживанию. Прослеженная длина его по падению составляет на ПР-37 – 1200 м, где оно вскрыто на абсолютной отметке -60 м. Выявленный вертикальный размах рудного тела в блоке составляет 210 м.

Мощность рудного тела невыдержанная, с раздувами до 5.7 – 9 м и даже до 24.5 м (борт 1 г/т) в намечающихся синклинальных прогибах в пологой приповерхностной части и на участках более пологого залегания на глубине.

В Центральном блоке рудное тело 1 вскрыто 38 скважинами по сети от 100x50-100, 200x100, характеризуется более выдержанным и спокойным залеганием, сохраняющемся на отрезках длиной 600-800 м. Угол падения рудного тела в геологических разрезах (разведочных линиях) плавно меняется от 10-20° на западе, до 25-30° на востоке.

Прослеженная длина рудного тела по простиранию 1200 м при установленной длине по падению до 720 м (р.л. 44). По падению рудное тело не оконтурено. На севере блока рудное тело 1 выходит на поверхность (под рыхлые моренные отложения), протяженность выхода 720 м на абсолютных отметках 190-260 м (разв. линии 43-48) По падению оно прослежено до абсолютной отметки 0-+30м на востоке и до -150 м на западе. Вертикальный размах выявленного рудного тела в

spaced in squares of 200x100-200 m and 400x100 m.

The ore body is blind and traced for 900 m along the strike and for 420 m along the dip. It occurs at a depth of 120-260 m, or within the range of absolute elevation of +150÷+30 m. The vertical thickness of the ore body is 120 m. It dips at an angle of 5° in the northeastern part (PR-58) and of 10° in the western part.

Ore body 1 in all blocks is accompanied by apophyses both from the side of the hanging (ore body 1.1) and footwalls (ore bodies 1.2 and 1.3). They are removed from ore body 1 for a distance of 4-10 m, and locally of up to 20 m. The thickness of the apophyses within the bounds of the open pits varies from 1-1.7 m to 5.6 m, and the PGE concentration varies from 1.67-1.9 ppm to 5.65-7.89 ppm at the cutoff of relative palladium of 1 ppm.

Ore bodies developed in ore-bearing anorthositic layers parallel to ore body 1 locate 30 – 50 m (ore body 2 in the hanging wall, and ore body 3 in the footwall) away from it, and have a thickness of about 1 m at the Pd cutoff of 1 ppm, being characterized by non-persistent strike and dip. The ore bodies have been stripped by 1-2 boreholes in one profile, and only in the Central block ore body 2 has been traced in four prospecting profiles. The PGE concentrations vary from 1.31 ppm to 8.12-19.24 ppm at the cutoff of relative palladium of 1 ppm.

отдельных разрезах достигает 190-200 м, общий – 400 м. **Восточный блок** изучен слабо, рудное тело 1 в его пределах вскрыто четырнадцатью скважинами по сети 200x100-200 м и 400x100 м.

Рудное тело слепое, прослежено по простиранию на 900 м, падению на 420 м, залегает на глубине 120-260 м в интервале абсолютных отметок +150÷+30 м. Вертикальный размах выявленного рудного тела 120 м. Угол падения рудного тела колеблется от 5° в северо-восточной части (ПР-58) до 10° - в западной.

По сложности геологического строения рудное тело 1 и месторождение Вуручайвенч в целом относится ко второй группе.

Рудное тело 1 во всех блоках сопровождается апофизами со стороны как висячего (рудное тело 1.1), так и лежащего (рудное тело 1.2 и 1.3) боков. Они отстоят от рудного тела 1 на расстоянии 4-10 м, редко до 20 м. Мощность апофиз в контурах карьеров от 1-1,7м до 5,6м содержание в них при бортовом содержании условного палладия 1 г/т от 1,67-1,9г/т до 5,65-7,89 г/т.

Рудные тела, развитые в параллельных рудному телу 1 рудовмещающих горизонтах плагиоклазитов, удалены от него на 30 – 50 м (рудное тело 2 – висячий бок, рудное тело 3 – лежащий бок), по мощности уступают основному рудному телу – средняя мощность при бортовом содержании палладия 1г/т около 1м, характеризуются невыдержанностью по простиранию и падению. Они вскрываются 1-2 скважинами в одном профиле и только в Центральном блоке рудное тело 2 прослежено в 4-х разведочных профилях. Содержания при борте условного палладия 1 г/т колеблются от 1,31г/т до 8,12-19,24 г/т.

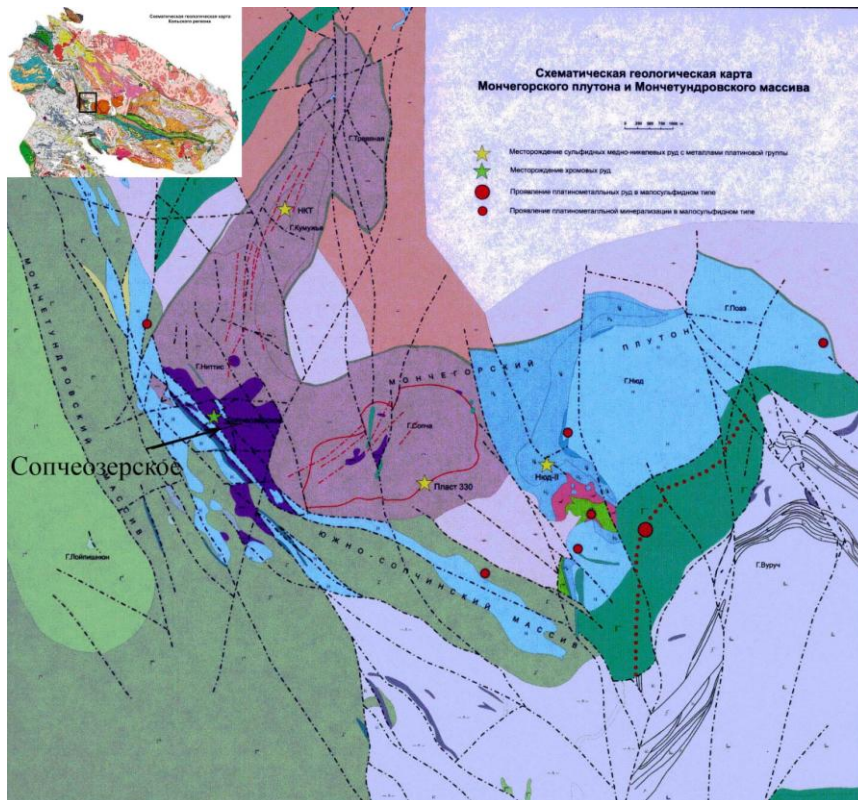


Fig. 1. Schematic geological map of the Monchegorsk pluton (MMLC) and Monchetundra massif; red dotted line- ore layers.

Рис. 1. Схематическая геологическая карта Мончеплутона и Мончетундровского массива(ЮВ части); красный пунктир – рудные тела и горизонты.

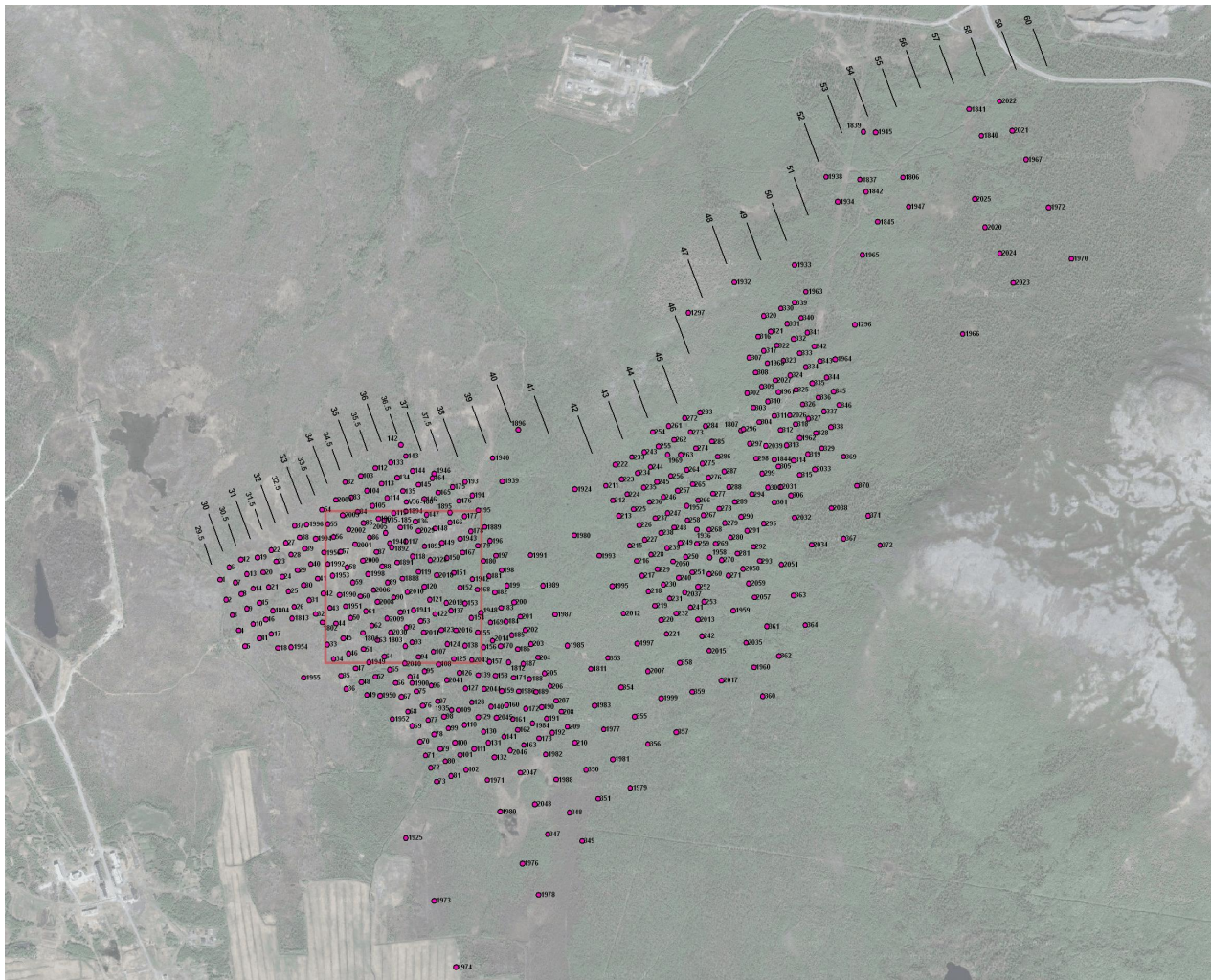


Fig. 2. The drilling project of Vuruchuaivench (Vurechuaivench) prospecting area, 2007.

Рис. 2. Проектная схема скважин на поисковой площади Вуручуайвенч (Вурэчуайвенч), 2007 г.

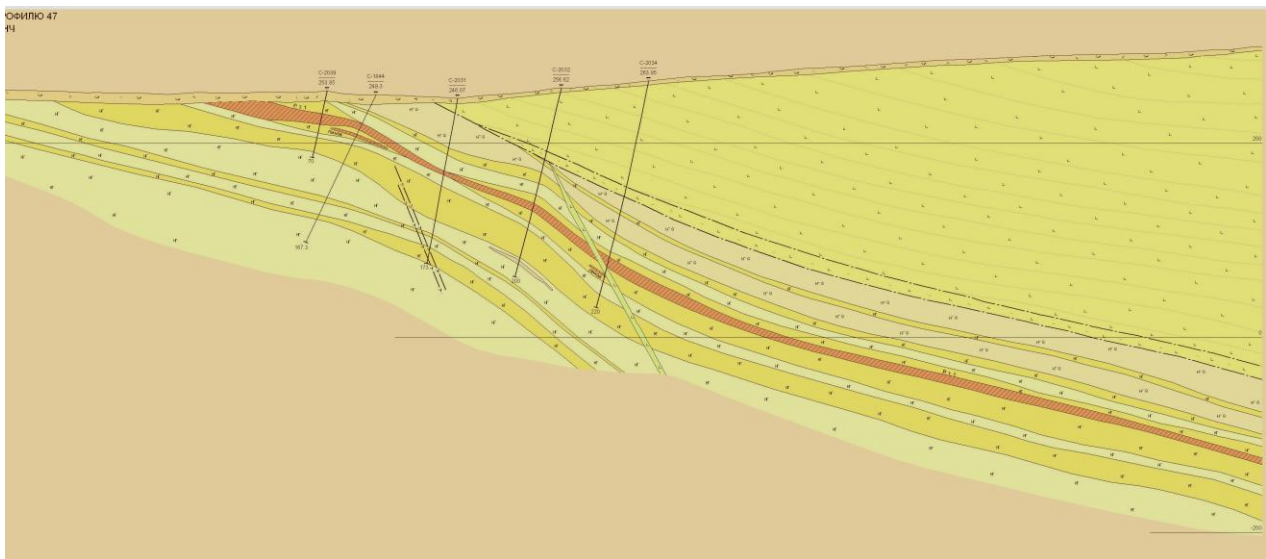


Fig. 3. Geological cross section of Vuruchuaivench (Vurechuaivench) deposit, profile 47.

Рис. 3. Геологический разрез месторождения Вуручуайвенч (Вурэчуайвенч), профиль 47.

THE PLATINUM GROUP ELEMENTS (PGE) AND GOLD MINERALIZATION ON VURUCHUAIVENCH PROSPECTING AREA

БЛАГОРОДНОМЕТАЛЬНАЯ (БМ) МИНЕРАЛИЗАЦИЯ НА ПОИСКОВОЙ ПЛОЩАДИ ВУРУЧУАЙВЕНЧ

Vladimir V. Knauf,
General Director of CC "Nati"

Владимир В. Кнауф,
генеральный директор ЗАО "Нати"

Pavel S. Davydov,
Chief geology department of LLC
"Pechengageologiya"

Павел С. Давыдов,
главный геолог
ООО "Печенгагеология"

Vladimir N. Ivanchenko,
Senior geologist of LLC
"Pechengageologiya"

Владимир Н. Иванченко,
ведущий геолог
ООО «Печенгагеология»

E-mail: ivanchenkovn@kolagmk.ru
natires@natires.com
<http://www.natires.com>

E-mail: ivanchenkovn@kolagmk.ru
natires@natires.com
<http://www.natires.com>

Abstract

The Vuruchuaivench prospecting area located on upper part of layered section of Monchegorsk massif (~2.45 GA) which comprise the gabbroonorites, leucogabbroonorites and plagioclases (fig. 1). The PGE and gold content in ore horizon (n*0.1 – up to 17m) ranged in 2 – 6 ppm, Pd : Pt = ~8 : 1, Cu-Ni sulfides – up to n*1%. The host rocks, in relation to ore horizon, are taxitic and pegmatitic varieties of gabbroonorites and leucogabbroonorites, which are strongly altered and the primary rock-forming minerals are replaced by secondary hydroxyl-bearing minerals.

The "ppm-mineralogy" technique was used for samples study of each borehole and issued the reliable data about PGE and PGMs distribution inside the ore horizon on prospecting area.

The analysis of all obtained data shows, that the distribution structure of PGE-gold minerals and the structure of PGE mass-distribution are different on prospecting area. These data in combination with petrographic and mineralogical data allow to conclude, that PGE ore horizon was formed under control of (late-post)-crystallization thermal process.

From this point of view, not the only Vuruchuaivench prospecting area, but all of peripheral or apical parts of

Аннотация

В верхней части разреза Мончегорского расслоенного плутона (~2.45GA), в толще габброноритов, лейкогабброноритов и частично плагиоклазитов проводятся поисковые работы на платиноиды и золото на участке Вуручуайвенч (рис. 1).

Суммарное содержание платиноидов и золота в рудных горизонтах обычно находится в пределах 2 – 6 г/т причем, для платиноидной минерализации характерно преобладание палладия над платиной (~ 8 : 1), платина преобладает на золотом. Минералы БМ тесно ассоциирует с сульфидами меди и никеля, суммарное количество которых обычно не превышает первых процентов.

В некоторых скважинах выявлено несколько рудных горизонтов, но основной рудный горизонт, имея переменную мощность (от n*10см до 17м), уверенно прослеживается на всей поисковой площади.

Вмещающими породами по отношению к рудному горизонту являются такситовые и пегматоидные разновидности габброноритов и лейкогабброноритов, которые, в подавляющем большинстве случаев сильно изменены и все первичные породообразующие минералы практически полностью замещены комплексом вторичных низкотемпературных гидроксилсодержащих минералов (амфиболы актинолит-тремолитового ряда, эпидот-клиноцоизит, хлорит, карбонаты, реже слюды, а также кислый плагиоклаз). Именно в такситовых разновидностях пород проявляется бедная сульфидная минерализация и тесно связанная с ней благороднометальная.

Пробы из интервалов скважин, вскрывающих рудные горизонты, изучались по технологии "ppm-минералогия" и в результате получалась достоверная и полная информация по минералогии благородных металлов на поисковой площади. В результате работ выявлялись природные разновидности БМ руд и строились карты распределения различных свойств руд на поисковой площади.

Анализ всех полученных данных показывает, что распределение минералов, концентраций и масс БМ в пределах рудного горизонта неоднородно, завершение формирования БМ парагенезисов происходило на позднее- посткристаллизационном этапе, что

layered mafic-ultramafic massifs are suitable for detection of economically valued ore mineralization. As an examples, the South Sopcha and S-W Nittis areas have good ore perspectives.

отличает данный тип БМ минерализации от кристаллизационно-кумуляного оруденения "рифового" типа. В этом контексте, перспективными площадями для обнаружения БМ оруденения могут оказаться все периферические и апикальные части расслоенных мафит-ультрамафитовых массивов и, в частности, участки на Ю.Сопче и в Ю-З обрамлении дунитового блока г. Ниттис.

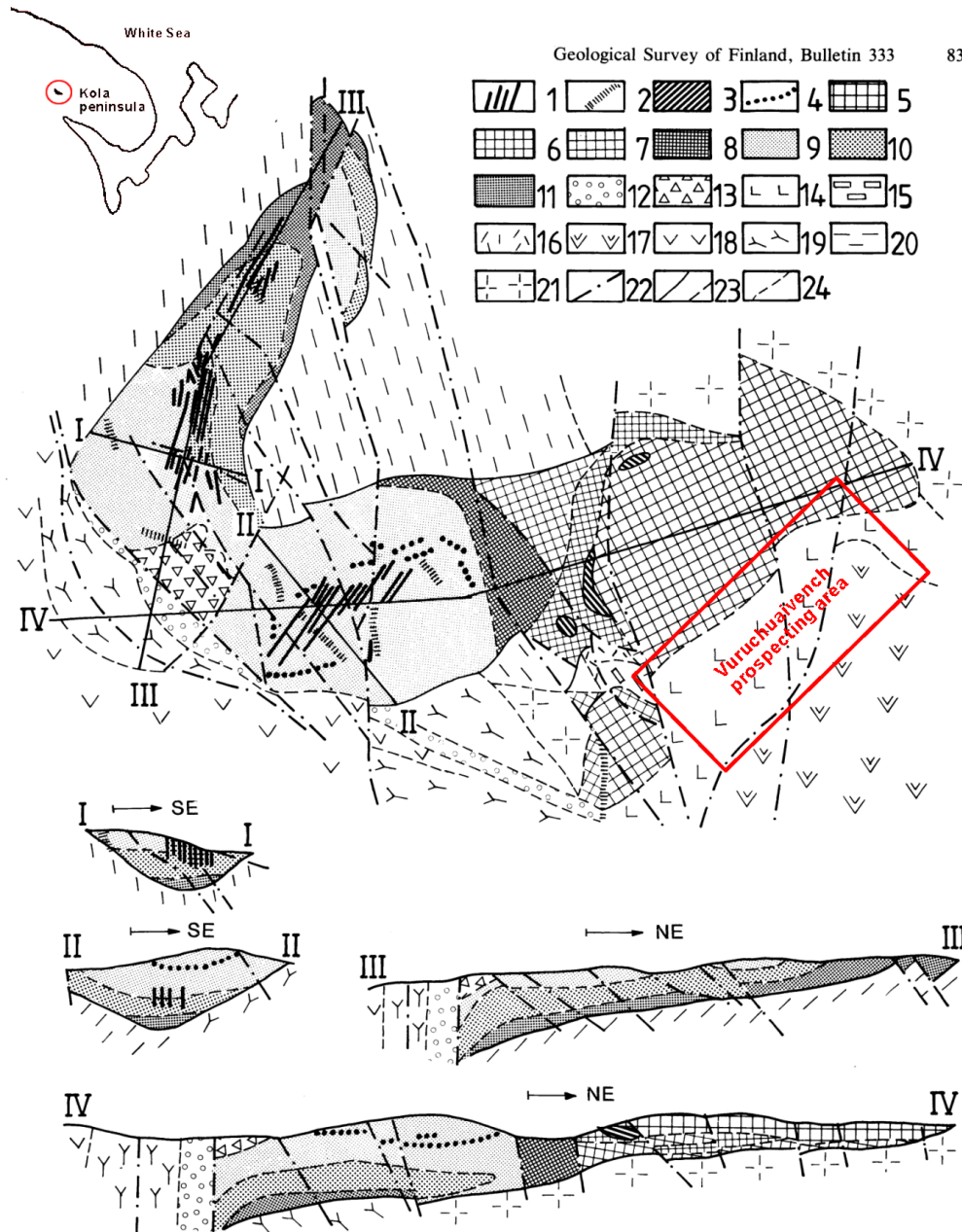


Fig. 23. Schematic geological map of the Monchegorsk pluton, compiled from data collected by the Murmansk Exploration Expedition and the Kola Branch of the USSR Ac. of Sci. 1 — sulphide Ni-Cu veins; 2 — dykes of diabase and lamprophyre; 3 — rocks of the «critical» horizon, 4 — Sopcha ore beds; 5 — leucomesocratic norite; 6 — melanocratic norite; 7 — olivine norite; 8 — plagioclase pyroxenite; 9 — pyroxenite (bronzite); 10 — an alternation zone of pyroxenite, olivine pyroxenite and peridotite; 11 — peridotite (harzburgite); 12 — an alternation zone of pyroxenite, peridotite and norite, penetrated by numerous veins of mafic and felsic rocks; 13 — olivinite; 14 — metamorphosed norite and gabbro-norite in foothills of the Vuruchuaiven; 15 — quartz gabbro and diorite; 16 — andesite, dacite and their tuffs; 17 — metadiabase and metaamygdaloid of the Imandra-Varzuga group; 18 — massive gabbro-norite and gabbro of the Main ridge of the Moncha; 19 — the same rocks but metamorphosed and schistose; 20 — gneisses of the Kola-Belomorean complex; 21 — diorite; granodiorite; 22 — dislocations; 23 — intrusive contacts (a — established, b — inferred); 24 — the boundaries of the rocks.

Fig. 1. The geological map of Monchegorsk massif after H. Papunen & G.I.Gorbunov, 1985

Рис. 1. Схема геологического строения Мончегорского массива по H. Papunen & G.I.Gorbunov, 1985



2.1

Fig. 2. The taxitic and pegmatoid textures of ore hosted gabbronorites. The contact of coarse-grained gabbronorite and taxitic leucogabbronorite is distinctly seen on picture fig. 2.1).



2.2

Рис. 2. Такситовые и пегматоидные макроструктуры рудовмещающих габброноритов. На фото 2.1 отчетливо виден контакт между габброноритами и пегматоидными такситовыми лейкогабброноритами.



Fig. 3. The ore-bearing reef-type "horizon 330" of Sopcha mt. (Compare with pictures on fig. 2)



Рис. 3. Рудный "горизонт 330" рифового типа г. Сопчи. (Ср. с фото на рис. 2)

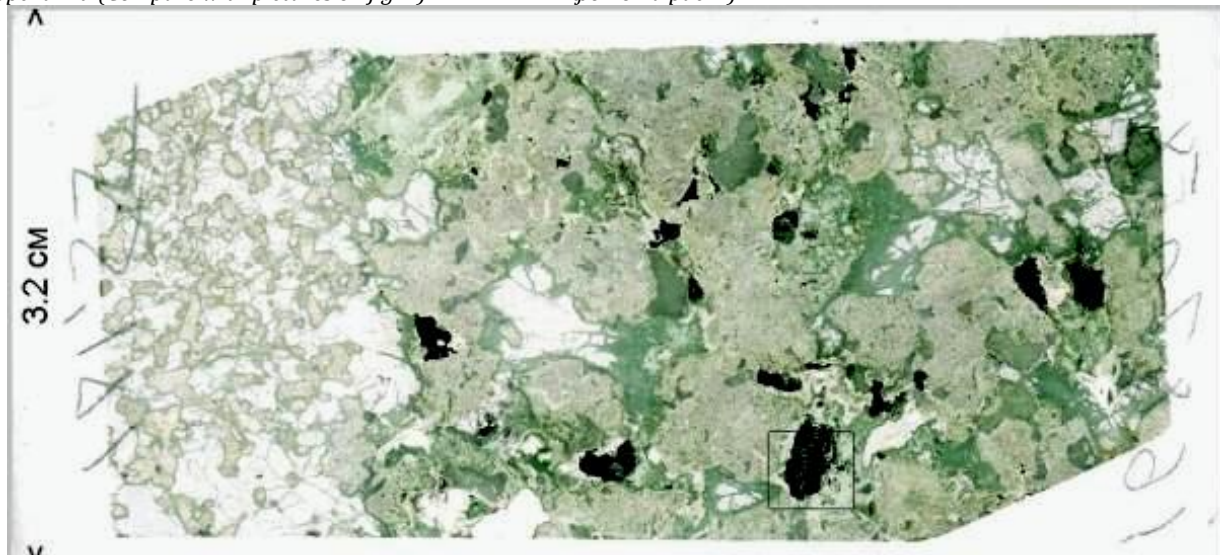


Fig. 4. The thin section of gabbronorite (left part) and contacting taxitic leucogabbronorite (central and right parts). Rock-forming minerals of taxitic gabbronorite are replaced (completely or partly) by secondary hydroxyl-bearing minerals and base metals sulfides.

Рис. 4. Контакт габбронорита (левая часть шлифа) и такситового лейкогаббронорита (центральная и правая часть шлифа). Породообразующие минералы такситовых габброноритов частично или полностью замещены вторичными гидроксилсодержащими минералами и ассоциирующими сульфидами меди и никеля.

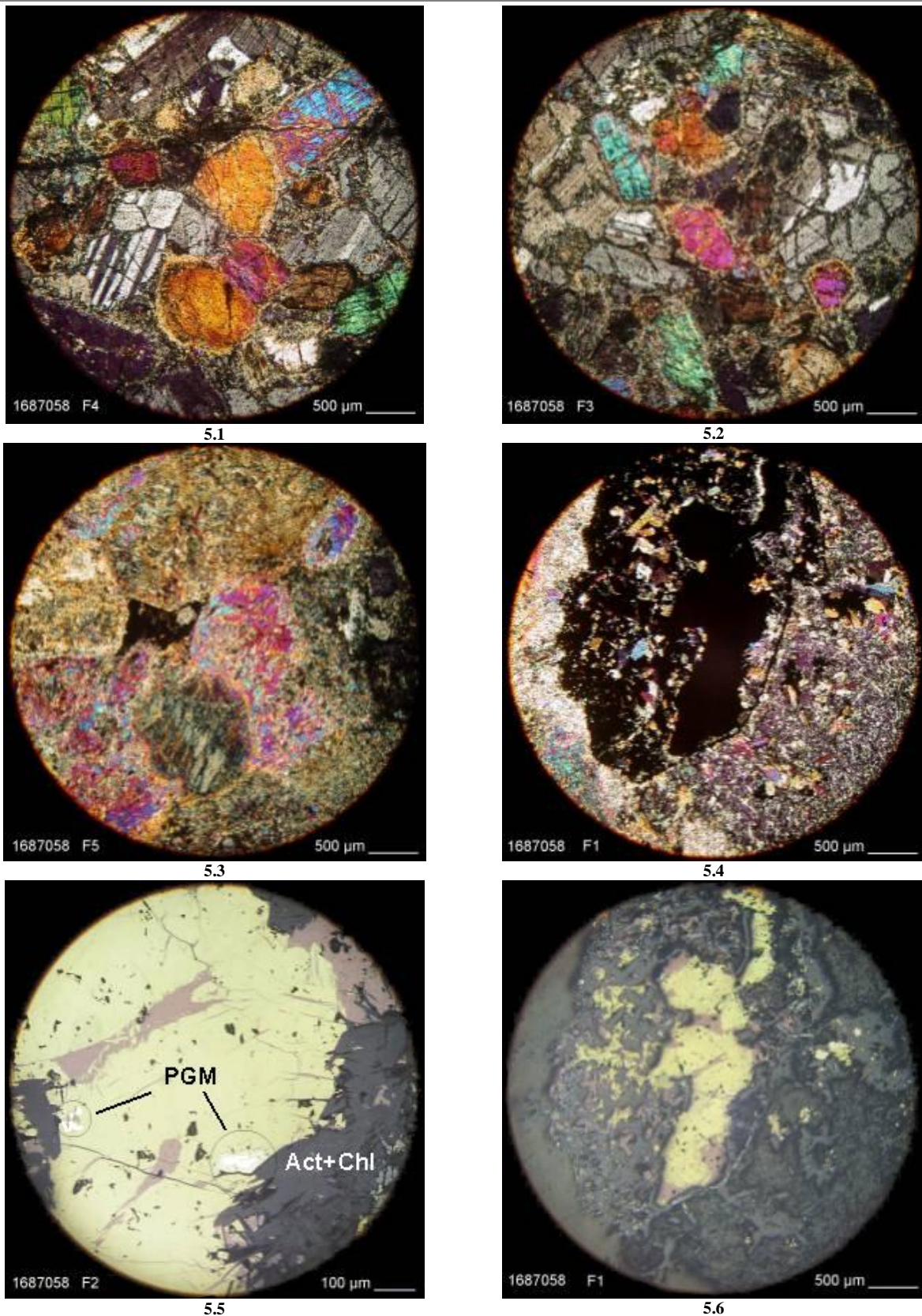


Fig. 5. pictures 5.1 and 5.2 – gabbro-norite (left part of the thin section), 5.3 and 5.4 – relics of primary pyroxenes and plagioclase, replaced by secondary minerals in taxitic gabbro-norite (central and right parts of the thin section), 5.5 and 5.6 – Cu-Ni sulfides with PGMs in matrix of secondary silicates of taxitic gabbro-norite. Act – actinolite, Chl – chlorite.

Рис. 5. фото 5.1 и 5.2 – слабоизмененный габбро-норит из левой части шлифа, фото 5.3 и 5.4 – теневые структуры замещения первичных пироксенов и плагиоклаза комплексом вторичных минералов в такситовом габбро-норите (различные поля зрения центральной и правой частей шлифа, фото 5.5 и 5.6 – сульфиды с минералами платиноидов в матрице вторичных силикатов такситового габбро-норита.

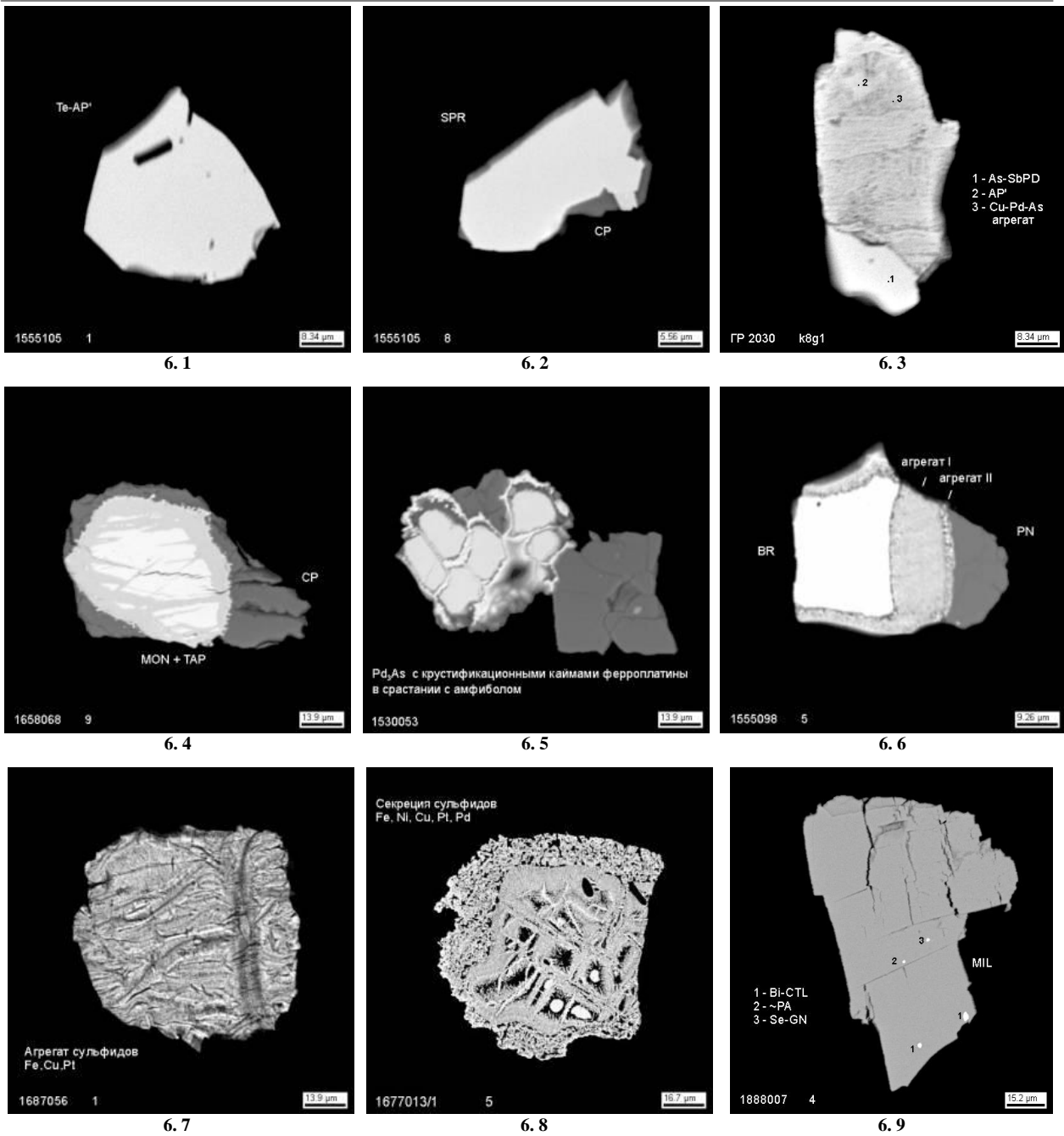


Fig. 6. In some boreholes of the prospecting area the recrystallization of primary PGMs is distinctly seen and secondary submicroscopic aggregates of PGE minerals were crystallized. The last one form the porous microstructures (6.3, 6.6, 6.7, 6.8) or located inside the late sulfides as a small individual grains (6.9), or included in sulfide lattices as an isomorphous impurities. This recrystallization process leads to redistribution of PGE from "mineral" to "disseminated" form, but don't change the total content of PGE in ore horizon. Gold (in difference to PGMs) doesn't affected by recrystallization so much and doesn't redistributed significantly to fine grained aggregates.

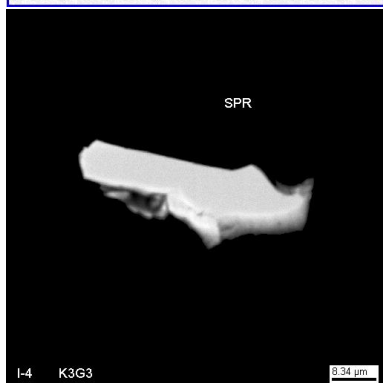
Shortly about samples processing technique "ppm-mineralogy". To know what we got we should know how we did that.

Рис. 6. В некоторых скважинах поисковой площади отчетливы следы рекристаллизации первичных минералов БМ с образованием более поздних фаз БМ, образующих субмикронные агрегаты. Последние часто формируют рыхлые или даже пористые структуры (6.3, 6.6, 6.7, 6.8) или образуют тонкие включения в поздних сульфидах (6.9), или БМ входят в кристаллическую структуру сульфидов в качестве изоморфной примеси. Этот рекристаллизационный процесс приводит к перераспределению БМ из "минеральной" в "рассеянную" форму, но не сопровождается уменьшением суммарной концентрации БМ в рудном горизонте. Золото, в отличие от платиноидов, не подвержено существенному перераспределению в тонкозернистые агрегаты.

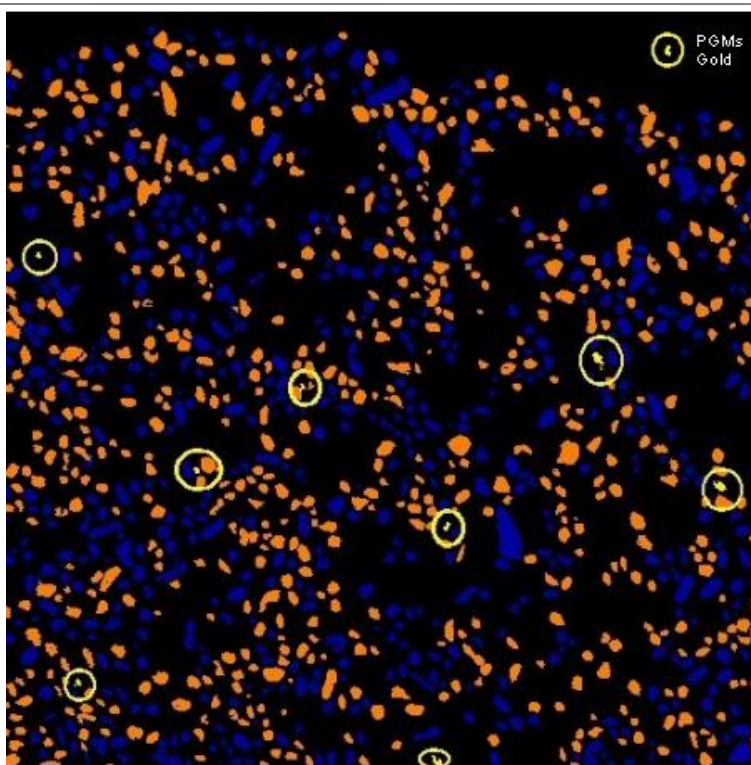
Кратко о методике "ppm-минералогия". Для того, чтобы оценивать достоверность результатов важно понимать как эти результаты получаются.



7.1



7.3



7.2

Fig. 7. Picture 7.1 – SEM specimens after gravitational concentration of initial samples (concentration factor 10000-100000); 7.2 – digitized BSE image; 7.3 – one of detected PGMs.

Рис. 7. Фото 7.1 – тяжелые гравиконцентраты для микрозондовых работ (коэффициент концентрирования 10000 – 100000 раз); 7.2 – оцифрованное SEM-BSE изображение с выделенными фазами БМ; 7.3 – фото одного из выявленных зерен (сперрилит)..

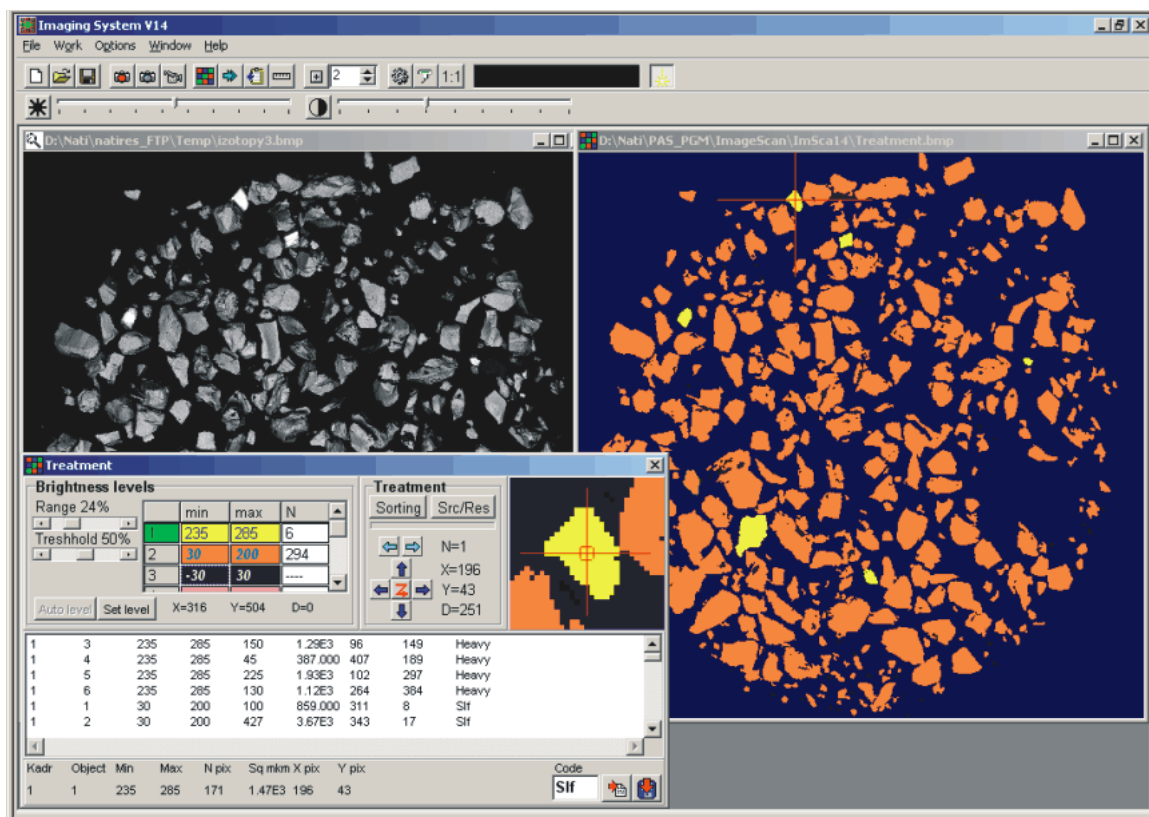


Fig. 8. The program interface ImSca 14 for detection, diagnostics and area calculation of PGM grains in SEM specimens, prepared after gravitational concentration of initial samples.

Рис. 8. Интерфейс ImSca 14 для выявления, диагностики и подсчета площадей зерен БМ в микрозондовых препаратах из гравитационных концентратов проб.

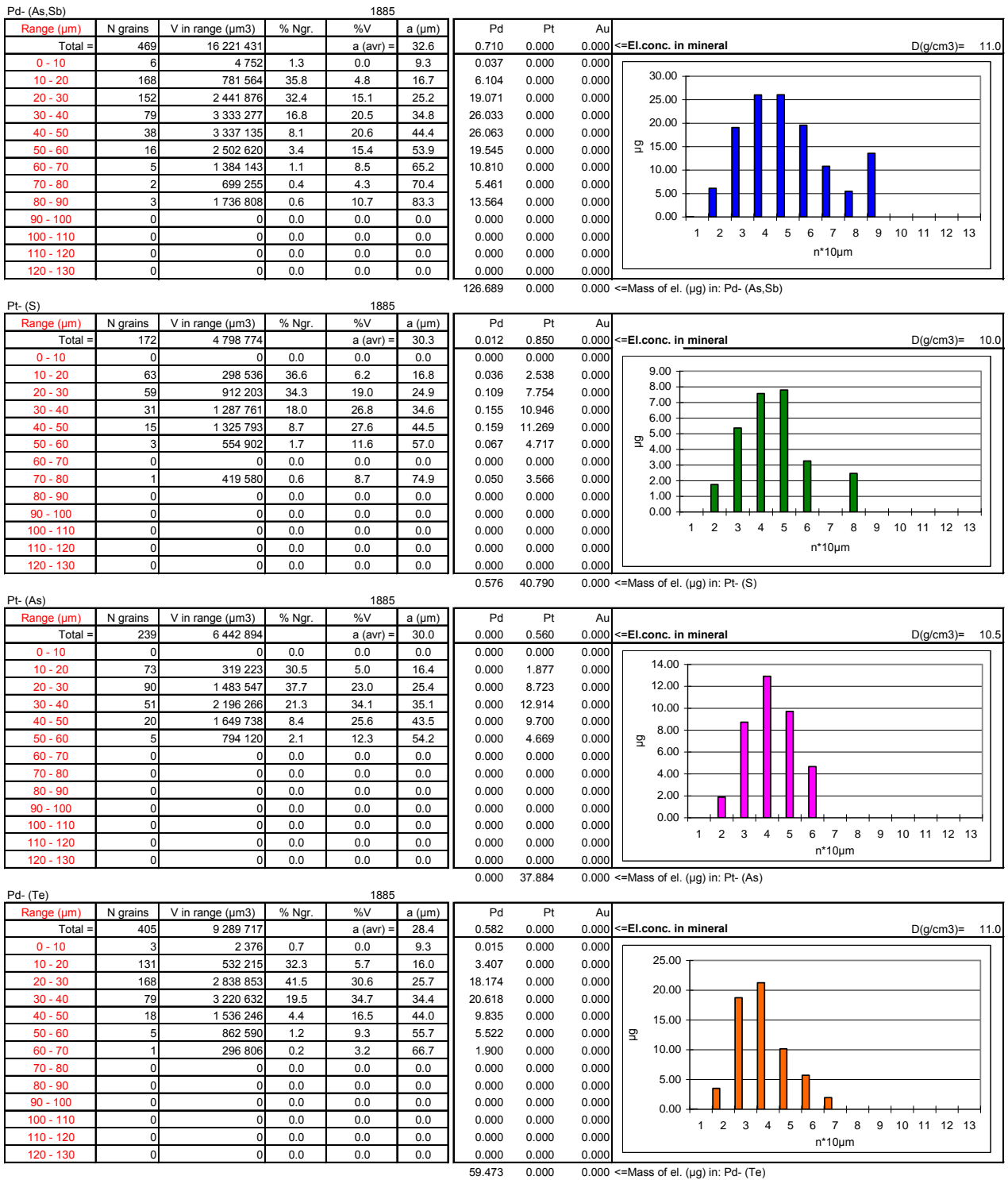


Fig. 9. Co-mineral, co-element PGE and gold masses distribution to granulometric rank. The data obtained under ImSca 14 procedure were utilized for mapping on Vuruchuaivench prospecting area (fig.12) and for definition of the ore types for subsequent industrial beneficiation procedures.

Рис. 9. Поминеральные, поэлементные распределения масс БМ по гранулометрическим классам. Данные, полученные после ImSca 14 процедуры, используются для построения карт (рис. 12) и выявления технологических типов руд на поисковой площадке Вуручуайвенч.

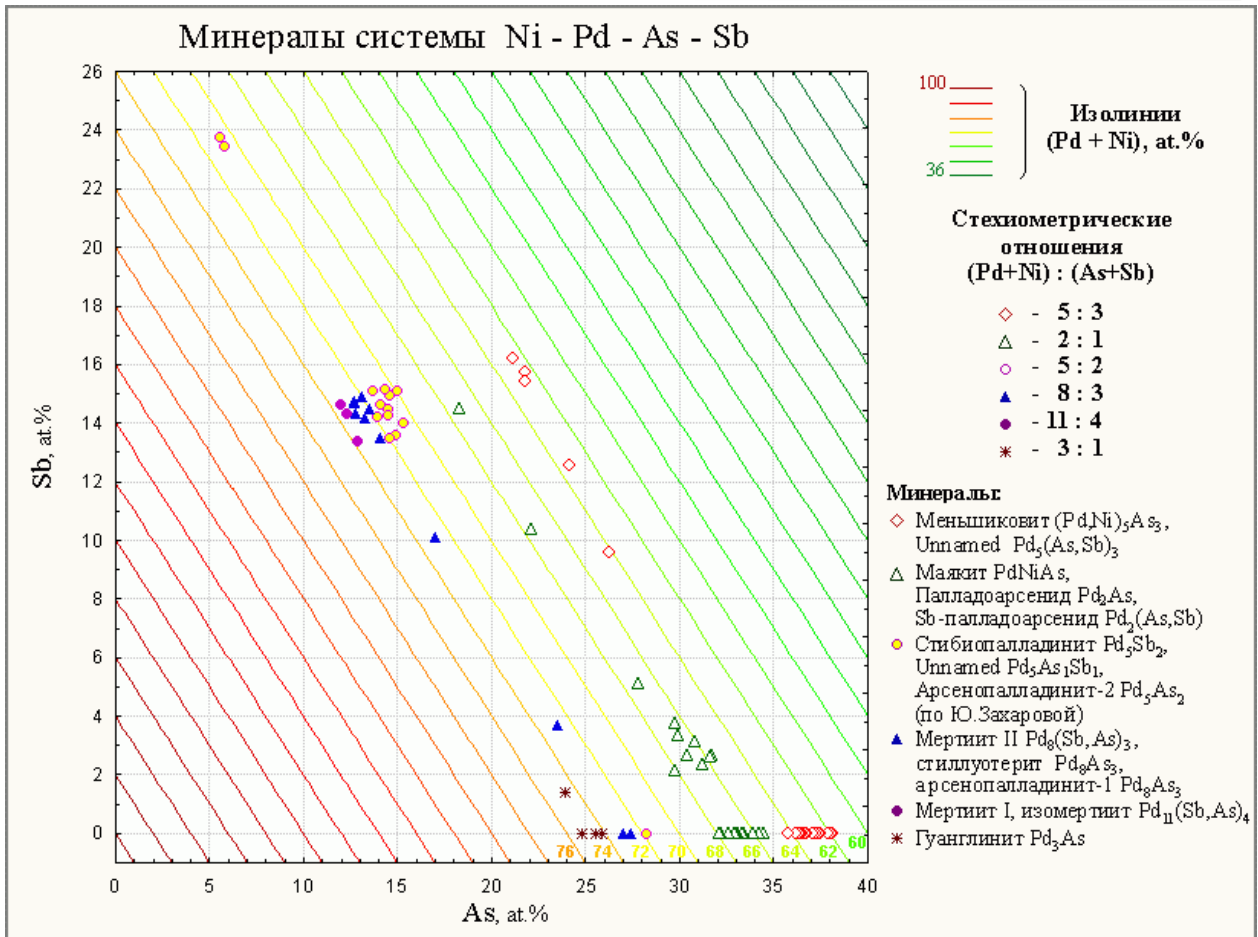
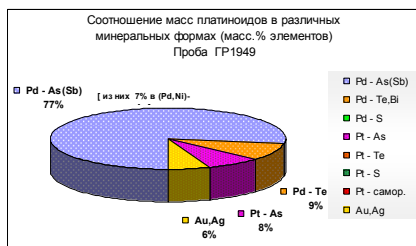
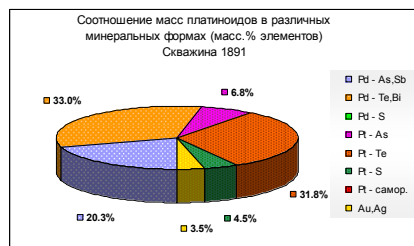


Fig. 10. Besides the prospecting goals, the data about PGMs may be utilized for academic tasks: for adding the systematics of PGMs, for example.

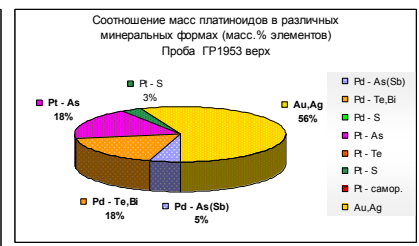
Рис. 10. Кроме поисковых приложений, полученные данные по минералам БМ могут быть использованы для задач академического профиля: дополнения систематики минералов БМ.



11.1



11.2



11.3

Fig. 11. The main mineralogical types of PGE mineralization on prospecting area: arsenicid (~80%, fig. 11.1), telluridic (~20%, fig. 11.2) and "disseminated" in which "disseminated" PGE predominant over "mineral" forms (see details on fig. 6). The percentage of gold grains in "disseminated" type increased usually due to redistribution of PGE to the fine grained aggregates or to the lattices of Cu-Ni sulfides.

Рис. 11. Основные минералогические типы БМ оруденения на поисковой площади: арсенидный (~80%, рис. 11.1), теллуридный (~20%, рис. 11.2) и "рассеянный", в котором "рассеянная" форма БМ преобладает над "минеральной" (подробнее см. на рис. 6). В тяжелых концентратах проб с рассеянным типом БМ минерализации доля зерен золота резко возрастает за счет перераспределения и рассеяния платиноидов.

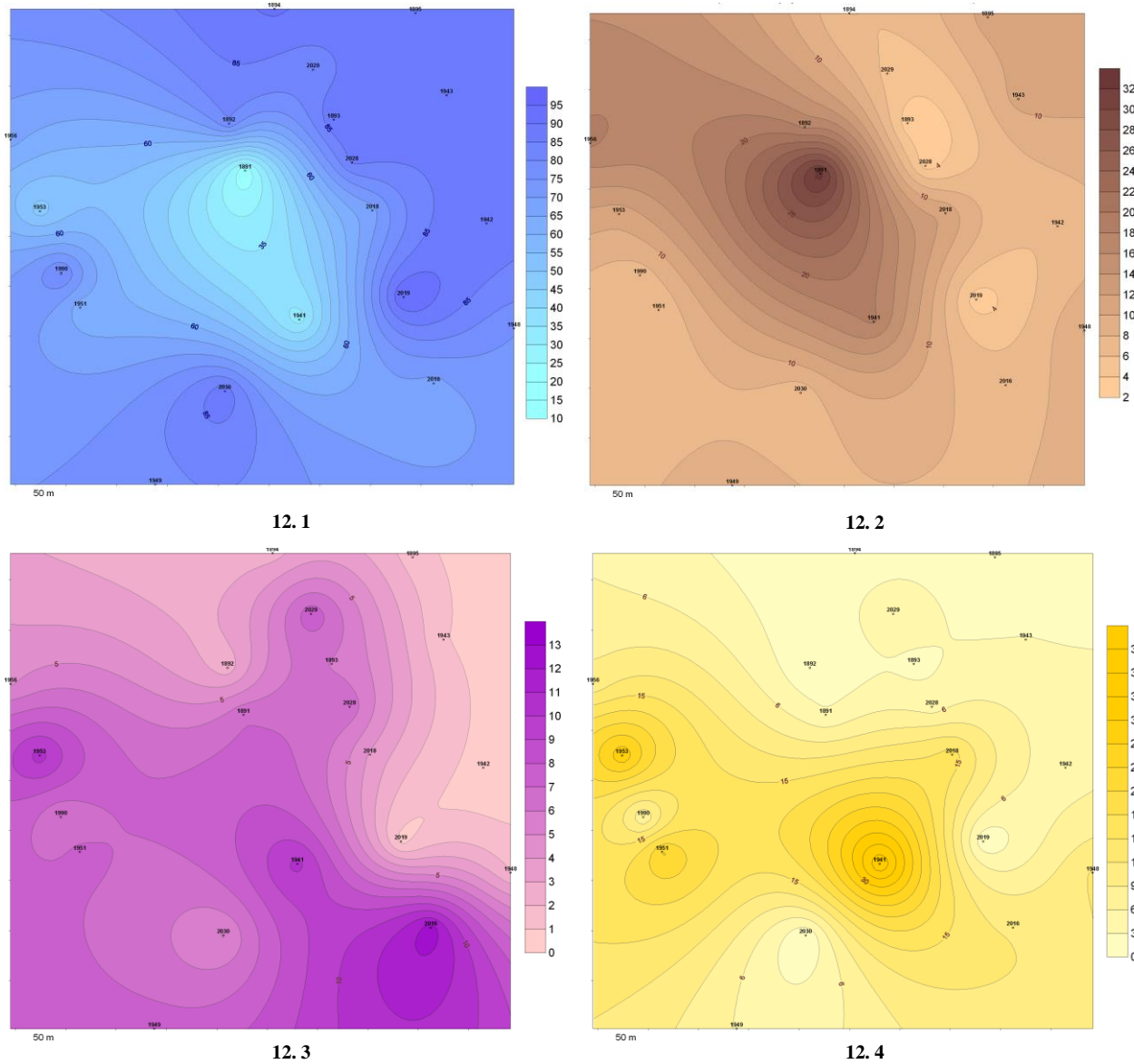


Fig. 12. The distribution maps of PGE and gold in mineral form inside the ore horizon on prospecting area Vuruchuaivench: palladium arsenides-antimonides (12.1), palladium tellurides (12.2), platinum arsenides (12.3) and native gold (12.4). (The isolines are given in wt.% of chemical elements. The location of the maps is shown on fig.12).

Рис. 12. Карты распределения платиноидов и золота в минеральной форме в пределах рудного горизонта на поисковой площади Вуручайвенч: арсениды-антимониды палладия (12.1), теллуриды палладия (12.2), арсениды платины (12.3) и самородное золото (12.4). (Изолинии приведены в массовых процентах соответствующих элементов. Положение участка показано на рис. 1).

Remarkably, the contours on shown maps are not coincide, despite the total PGE and gold contents in ore horizon are approximately permanent. (Only the palladium arsenides and tellurides show the negative correlation). This fact allow to suggest the unhomogeneous conditions of the ore forming process, what differ the last one from cumulus-type formation of ore horizons.

Следует отметить, что структуры изолиний на картах не совпадают (за исключением арсенидов и теллуридов палладия, имеющих отрицательную корреляцию), хотя, суммарное содержание БМ в рудном горизонте остается приблизительно одинаковым. Это приводит к выводу о неоднородности распределения параметров рудоформирующего процесса, что отличает последний от кумулятивной схемы формирования рудного горизонта.

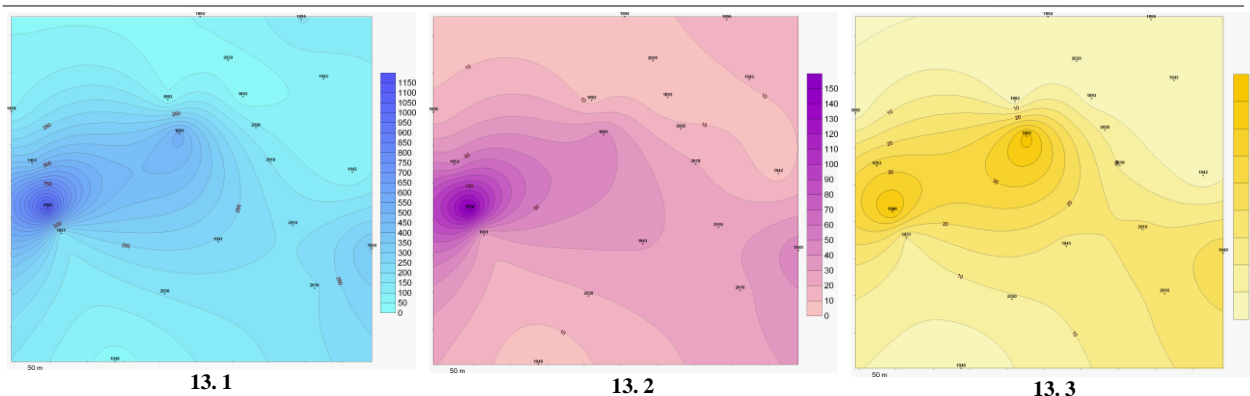


Fig. 13. The distribution of PGE and gold (mg) in ore horizon on the part of prospecting area Vuruchuaivench: 13.1 – palladium, 13.2 – platinum, 13.3 – gold.

Рис. 13. Карты распределения масс платиноидов и золота (мг) в рудном горизонте на части поисковой площади Вуручуайвенч: 13.1 – палладий, 13.2 – платина, 13.3 – золото.

Concluding remarks

In difference to structures of distribution of the PGE minerals and gold (fig. 12), the structures of mass-distribution of these elements in ore horizon are quite similar (fig. 13). The PGMs diversity and the stability of PGE content in ore horizon show so as ore mineralization of this type to be forming it is not enough the presence of appropriate chemical elements the only, but it is necessary to have appropriate thermodynamic conditions with possibility of intensive pervasive circulation of (late-post)-crystallization fluids in porous environment. Such conclusions based on all petrographical and mineralogical data described above.

From this point of view, not the only Vuruchuaivench prospecting area, but all of peripheral or apical parts of layered mafic-ultramafic massifs are suitable for detection of economically valued ore mineralization. As an examples, the South Sopcha and S-W Nittis areas have good ore perspectives.

Краткое заключение

В отличие от структур распределения минералов платиноидов и золота (рис. 12), структуры распределения масс этих химических элементов в рудном горизонте сходны (рис. 13). Разнообразие минеральных форм при относительном постоянстве химического состава показывает, что для формирования рудных горизонтов этого типа, кроме наличия самих элементов в среде кристаллизации необходим специфический термодинамический режим, при котором возможна активная динамика посткристаллизационных флюидов в областях разуплотнения с отложением всех рудных компонентов в относительно низкотемпературных условиях. Об этом свидетельствуют и петрографические, и минералогические данные, приведенные выше.

С этих позиций, выявление рудой минерализации, имеющей промышленное значение, имеет перспективы не только на площади Вуручуайвенч, но и в других периферических и апикальных частях мафит-ультрамафитовых расслоенных комплексов: например, на Южносопчинском участке и в южном обрамлении дунитового блока.

PLATINUM MINERALS IN THE CHROMITE ORES OF THE SOPCHEOZERO DEPOSIT (KOLA PENINSULA)

ПЛАТИНОВЫЕ МИНЕРАЛЫ В ХРОМИТОВЫХ РУДАХ СОПЧЕОЗЕРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (КОЛЬСКИЙ П-В)

Yuriy N. Neradovskiy,
leading researcher
Geological Institute KSC RAS

Apatity, 184209, Fersman str. 14
E-mail: ivanchenkovn@kolagmk.ru

Юрий Н.Нерадовский,
ведущий научный сотрудник
Геологический институт
КНЦ РАН
Апатиты, 184209, ул. Ферсмана 14
E-mail: nerad@geoksc.apatity.ru

The Sopcheozero chromite deposit belongs to the Monchegorsk layered complex. It represents a sheet-like body of disseminated chromite-bearing dunites (Chaschin et al., 1999). The concentration of chromite in the ore varies from 20 to 60%. The ore reserves are estimated at 10 mln. t. at the average Cr₂O₃ content of 25.8% (Korovkin et al., 2003). Total content of platinum-group elements is about 0.5-0.8 ppm.

The composition of the country rocks varies from plagioperidotite to dunites with the structure changing from poikilitic to sideronitic. It is in the peridotite that the chromite dissemination tends to concentrate in pyroxene, being confined to the interstices between olivine grains in the dunite. This has induced the regular pattern of PGE minerals distribution. Platinum-group minerals have been found only in the ore associated with the dunite. The PGM segregations occur in olivine, chromite, and in interstices between them. The composition of PGE mineral phases and the chromite ore structure tend to be related. The earliest in time of formation are inclusions of intermetallic Ir, Os and Ru in olivine. Ruthenium contains impurity of molybdenum. Intermetallic compounds associate with the chromite inclusions. Chromite inclusions have a round shape in olivine, while PGE minerals being oval or lenticular. PGE minerals are 1-5 µm in size. Chromite inclusions may even occupy the central part of the olivine grain, while PGMs locate at a distance of maximum 50 µm from the grain edge. The main chromite generation in the ore crystallized after the olivine and PGM inclusions in chromite formed later. PGM grains in chromite are represented by intermetallic Ir and Os, but with admixture of S, Ru and Rh. The inclusions, like in the olivine, tend to the edge of the chromite grain. The PGM grains predominantly are round and 1-5 µm in size. The latest are PGM inclusions segregated between olivine grains, i.e. after the olivine crystallization. These are purely represented by laurite, the ruthenium sulphide, associated with pentlandite and heazlewoodite. Late crystallization of laurite is indicated by the fact that it grows on the edge of the chromite grain

Сопчеозерское месторождение хромитов находится в Мончегорском расслоенном плутоне. Оно представлено пластообразной залежью вкрапленных руд хромита в дунитах (Сопчеозерское месторождение..., 1999). Содержание хромита в руде колеблется от 20 до 60%. Запасы руды оцениваются в 10 млн. т. при среднем содержании Cr₂O₃ 25.8% (Недра северо-запада..., 2003). Суммарное содержание платиновых металлов в рудах составляет около 0.5-0.8 г/т.

Состав вмещающих хромитовые руд пород меняется от плагиоперидотитов до дунитов. При этом меняется структура руды от пойкилитовой к сидеронитовой. В перидотитах вкрапленность хромита концентрируется в пироксене, а в дунитах – в интерстициях между зернами оливина. В связи с этим наметился закономерный характер распределения платиновых минералов. Минералы металлов платиновой группы установлены только в руде из дунитов. Выделения платиноидов встречаются в оливине, хромите и в интерстициях между этими минералами. Наблюдается взаимосвязь состава минеральных фаз платиноидов со структурой хромитовой руды. К наиболее ранним по времени образования относятся включения интерметаллидов Ir, Os и Ru в оливине. В рутении присутствует примесь молибдена. Интерметаллиды ассоциируют с включениями хромита. Форма включений хромита в оливине преобладает округлая, а зерен платиноидов овальная или линзовидная. Размеры выделений платиноидов 1-5 мкм. Включения хромита в оливине располагаются даже в центре зерна, а платиновые минералы не более 50 мкм от края. Главная генерация хромита в руде кристаллизовалась позднее оливина, поэтому далее по возрасту выделяются включения платиноидов в хромите. Зерна платиноидов в хромите представлены также интерметаллидами Ir и Os, но уже с примесью S, Ru и Rh. Включения располагаются, как и в оливине, вблизи от края зерен хромита. Формы зерен платиноидов преимущественно округлые, размеры 1-5 мкм. К наиболее поздним относятся включения платиноидов, выделявшихся между зернами хромита, т.е. после его кристаллизации. Они представлены исключительно сульфидом рутения – лауритом, находящимся в ассоциации с пентландитом и хизлеводитом. О поздней кристаллизации лаурита свидетельствует тот факт, что он нарастает на грани зерен хромита или располагается в силикате между

or locates in silicate locked between the chromite daces. There are signs of chromite replaced by laurite and pentlandite at the contact. Laurite is the largest phase of platinum-group metals in the chromite ore. The laurite grains vary from about 10 to up to 70 μm in size.

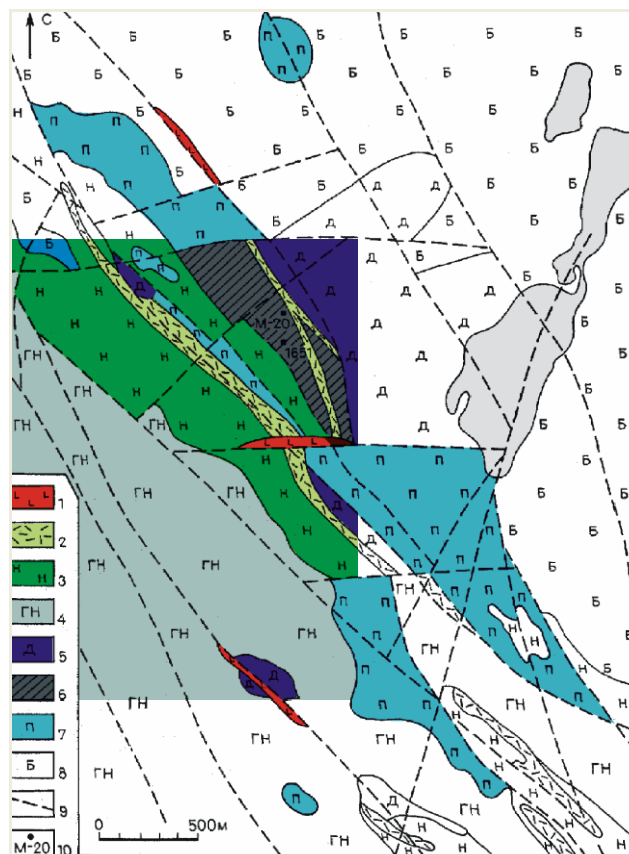
The chemical composition of laurite, pentlandite, heazlewoodite and coexisting chromite and olivine (Tables 1 and 2).

The distribution of elements in chromite has been studied to show no signs of zoning.

границами хромита. На контакте зерен хромита с этими минералами видны признаки замещения хромита лауритом и пентландитом. Лаурит – наиболее крупная фаза платиноидов в хромитовых рудах. Размеры зерен лаурита достигают 70 мкм преимущественно около 10 мкм.

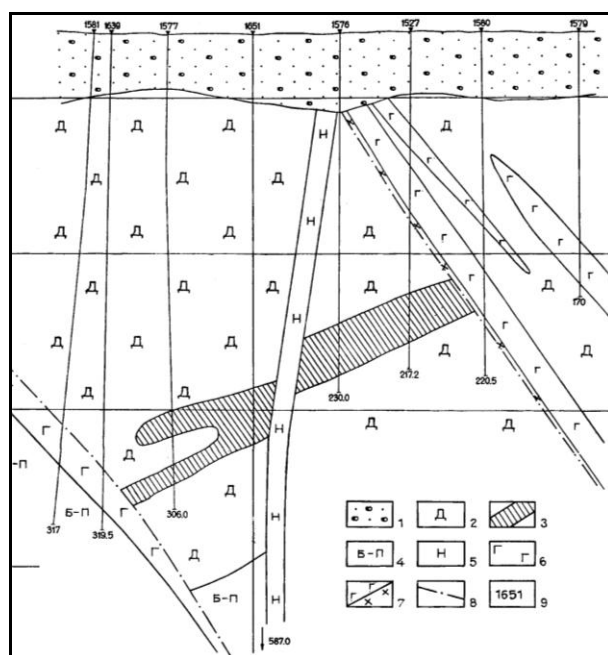
Определен химический состав лаурита, пентландита, хизлевудита и сосуществующих с ними хромита и оливина (табл.1, 2).

Изучено распределение элементов в хромите, показавшее отсутствие признаков зональности.



2.1

Fig. 1. Schematic geological map of the Dunite Block and section.



2.2

Рис. 1. Схематичная геологическая карта с разрезом Дуניתового блока.

Таблица 1.

Химический состав пентландита, хазлевудита и лаурита

Минералы	Содержание химических элементов, масс. %											Сумма
	S	Fe	Co	Cu	Ni	Pt	Rh	Pd	Ir	Ru	Os	
Пентландит	32,73	31,86	1,31	-	34,49	-	-	-	-	-	-	100,39
Хизлевудит	26,77	0,57	0,05	0,04	72,53	0,07	0,06	-	-	-	-	100,09
Лаурит	37,30	0,31	-	0,05	0,40	-	-	0,37	3,08	48,86	10,22	100,59

Table 1.

Chemical composition of pentlandite, heazlewoodite and laurite

Minerals	Concentration of chemical elements, wt. %											Total
	S	Fe	Co	Cu	Ni	Pt	Rh	Pd	Ir	Ru	Os	
Pentlandite	32.73	31.86	1.31	-	34.49	-	-	-	-	-	-	100.39
Heazlewoodite	26.77	0.57	0.05	0.04	72.53	0.07	0.06	-	-	-	-	100.09
Laurite	37.30	0.31	-	0.05	0.40	-	-	0.37	3.08	48.86	10.22	100.59

Таблица 2.

Химический состав хромита и оливина

Минералы	Содержание химических элементов, масс. %						Сумма
	MgO	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	SiO ₂	NiO	
Хромит	12,41	12,18	55,77	18,06	0,08	0,10	98.60
Оливин	51,73	-	-	6,35	40,37	0,80	99.25

Table 2.

Chemical composition of chromite and olivine

Minerals	Concentration of chemical elements, wt. %						Total
	MgO	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	SiO ₂	NiO	
Chromite	12.41	12.18	55.77	18.06	0.08	0.10	98.60
Olivine	51.73	-	-	6.35	40.37	0.80	99.25



Fig. 2. Texture of chromite ores, Sopcha deposit.

Рис. 2. Текстура хромитовых руд, Сопчеозерское месторождение.

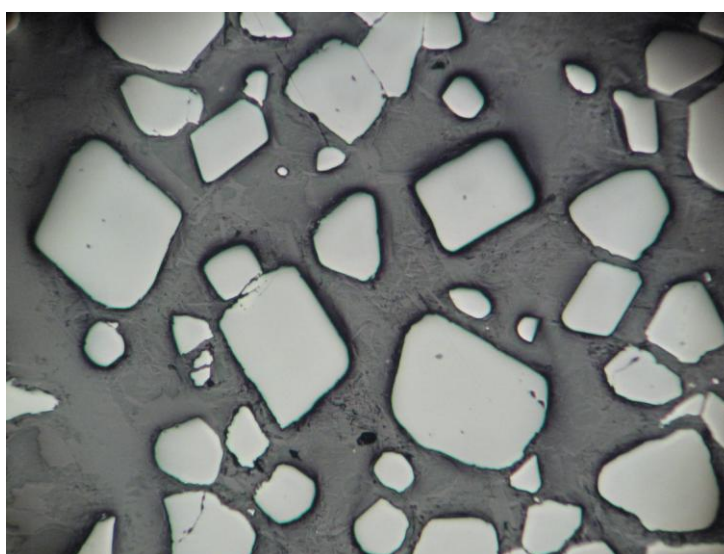


Fig. 3. Poor impregnation ore, Sopcha deposit.

Рис. 3. Убогие (редкая вкрапленность) руд, Сопчеозерского месторождения.

Металлы	Месторождения										
	Кольский полуостров						Полярный Урал				
	Сопча				Падос	Имандровский лополит	Лекхойлинское месторождение				Вайкаросьнинский массив
	1	2	3	4	Концентрат	Концентрат	дунит	Гарибургит	Пироксенит	Хромовая руда	Хромовая руда
Концентрат	хромитит	Бедная руда	дунит								
Os	56	-	-	-	33	39	25-40	25-40	13-40	25-67	10-56
Ir	39	3	2	5	42	55	4.7-12.3	4.1-13.6	0.4-0.8	32-94	12-99
Ru	120	82	44	47	110	400	20-30	20-50	20-50	20	14-94
Rh	4	77	10	18	21	37	0.5-3.0	1-2	1.0	2-3	2-10
Pt	12	198	112	201	42	220	5-17	7-10	5-9	5-23	5-15
Pd	36	412	226	318	96	56	4.3-6.2	5.6-7.5	4.8-9.0	6-10	2-11
Au	14	44	34	47	22	13					
Ag	540	1328	724	860	400	200					
Сумма ЭПГ	267	772	394	589	344	807	60-96	68-118	45-100	102-188	76-306
Pt:Pd	0.3	0.51	0.42	0.65	0.4	3.9	1-2.7	0.1-1.3	1.0-1.25	0.8-2.5	1.0-3.0
Ir:Pd	1.0	0.0	0.0	0.0	0.4	1.0	0.9-3.0	0.5-2.2	0.08-0.15	6.0-9.3	1.6-40.0

Примечание: приведены данные (30)- кол.1, Падос и Имандровский лополит; (15) – кол. 2-4; (31)- Полярный Урал.

Fig. 4. PGE content in the ore of the Sopcha and other deposits.

Рис. 4. Сравнение содержаний МПГ в рудах "Сопчи" и других месторождений.

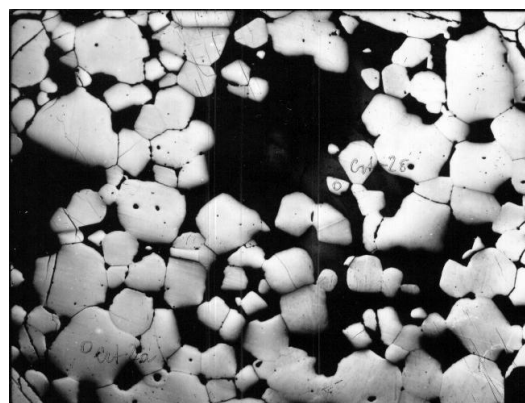
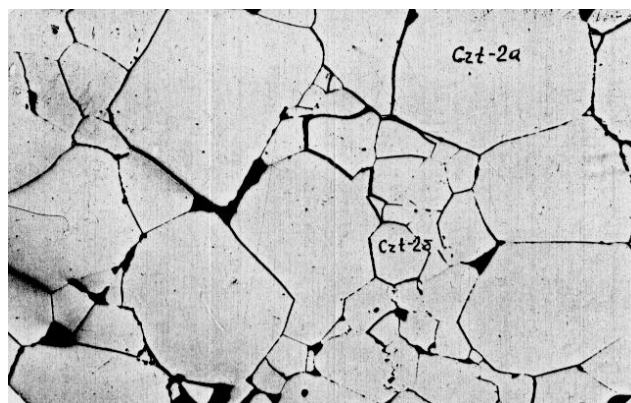
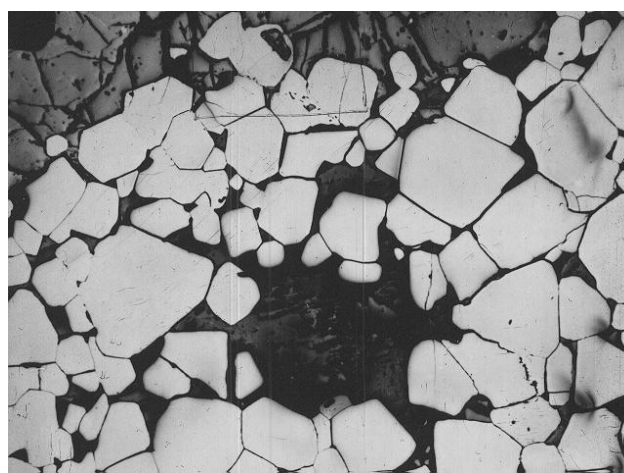
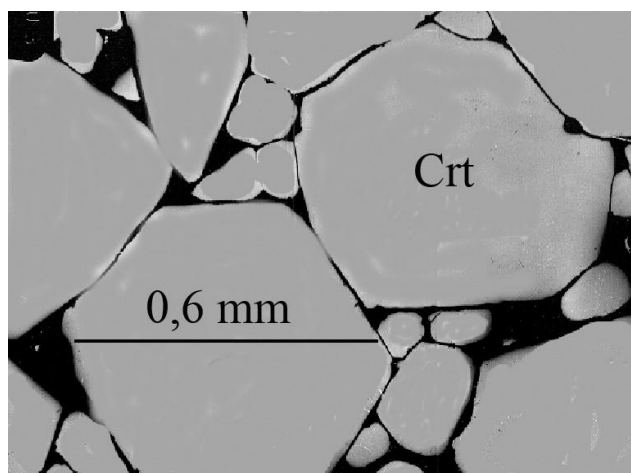


Fig. 5. Rich impregnation ores of Sopcha deposit.

Рис. 5. Густовкрапленные руды Сопчеозерского месторождения.

Discussion

The available data indicate a regular variation of the composition of the crystallized PGE minerals, and consider the process to be resulted from the magma melt differentiation. It seems that, at the final stage of olivine crystallization, first particles of most high-temperature platinum-group metals

Обсуждение результатов

Полученные данные свидетельствуют о закономерном изменении состава кристаллизовавшихся фаз платиновых минералов, и позволяют рассматривать процесс как результат дифференциации магматического расплава. Можно полагать, что в конце кристаллизации оливина в расплаве появляются первые частицы платиновых

(Ir, Os) appear in the melt. It corresponds to the heavy platinum-group metals (Pt, Os, Ir) tending to early segregation during the endogenous process (Yushko-Zakharova, 1975). After the bulk of chromite that escapes from the melt after olivine, has crystallized, the concentration of sulphur in the residual melt increases, and chromite entraps particles of platinum-group metals (Ir, Os), but with the admixture of sulphur and low-melting elements (Ru, Rh) at the final stage of crystallization. At the final crystallization stage of chromite residual melt, the concentration of sulphur suffices to produce sulphides, and laurite (Ru,Os,Ir)₂S₂ and pentlandite (Fe,Ni)₉S₈ emerge. Zonal PGE distribution in chromite has also been established for the other similar chromite ores (Anikina, 1995).

There are signs of pentlandite grains and laurite crystals growing in the interstices of chromite grains and replacing them. This process could have taken place only at the expense of post-magmatic pore solution, e.g. derived from hydrothermal metamorphism of the dunite and chromite ore. This is based on the chemical compositions of primary minerals, olivine and chromite, that contain elements, particularly high content of nickel and above-mentioned inclusions of PGE-bearing phases required for the growth of pentlandite. When olivine and chromite dissolve, all components, including intermetallic PGM inclusions, could migrate into solutions. PGE minerals occur not far from the grain surfaces and can easily be leached through diffusion, but without employing dilution. The evidence of PGM migration during metamorphism is related to their presence in the late mineral, heazlewoodite, where the concentrations of rhodium and platinum have been found to be 0.06% and 0.07% respectively.

Conclusions

The chromite ores of the Sopcheozero deposit contain Ru, Ir and Os, platinum-group elements typical of this ore kind. These elements enter into the major part of the found mineral compounds. Early PGM segregations are largely tightly related to olivine and chromite entrapped during the crystallization and occur in the form of 1-5 μm inclusions. Some PGMs segregated in the form of sulphide compounds after chromite and occurs freely in grains of up to 70 μm in size.

металлов, наиболее высокотемпературные (Ir,Os). Это соответствует тому, что тяжелые платиновые металлы (Pt, Os, Ir) характеризуются склонностью к самому раннему обособлению в эндогенном процессе (Юшко-Захарова, 1975). После кристаллизации основной части хромита, который выделяется из расплава позднее оливина, в остаточном расплаве увеличивается концентрация серы и хромит в конце кристаллизации захватывает частицы платиновых металлов также Ir, Os, но уже с примесью серы и более легкоплавких элементов (Ru, Rh). На заключительном этапе кристаллизации остаточного расплава хромитовых руд, концентрации серы уже достаточно для образования сульфидов, поэтому выделяются лаурит (Ru,Os,Ir)₂S₂ и пентландит (Fe,Ni)₉S₈. Зональное распределение платиноидов в хромите установлено и для других аналогичных месторождений хромитовых руд (Аникина, 1995).

Вместе с тем есть признаки роста зерен пентландита и кристаллов лаурита в интерстициях зерен хромита с замещением хромита. Этот процесс мог происходить только за счет поровых растворов постмагматического происхождения, например, при гидротермальном метаморфизме дунитов и хромитовых руд. Основанием для этого являются химические составы первичных минералов - оливина и хромита, которые содержат необходимые для роста пентландита элементы, в частности, высокую примесь никеля, а также показанные выше включения платиновых фаз. При растворении оливина и хромита все эти компоненты могли переходить в растворы, как и первичные включения интерметаллидов МПГ. Минералы ЭПГ располагаются неглубоко от поверхности зерен этих минералов и легко могут быть выщелочены даже без растворения, путем диффузии. Признаком миграции платиновых металлов в процессе метаморфизма является их присутствие в позднем минерале – хизлевудите, в котором обнаружены Rh 0,06% и Pt 0,07%.

Выводы

В хромитовых рудах Сопчеозерского месторождения присутствует характерная для данного типа группа элементов платины: Ru, Ir, Os. Эти элементы входят в состав большей части обнаруженных минеральных соединений.

Ранние выделения интерметаллидов МПГ в значительной степени тесно связаны с оливином и хромитом, захвачены ими в процессе кристаллизации и находятся в виде включений размером 1-5 мкм. Некоторая часть ЭПГ в форме сульфидных соединений выделялась позже хромита, находится в свободной форме и образует зерна до 70 мкм.

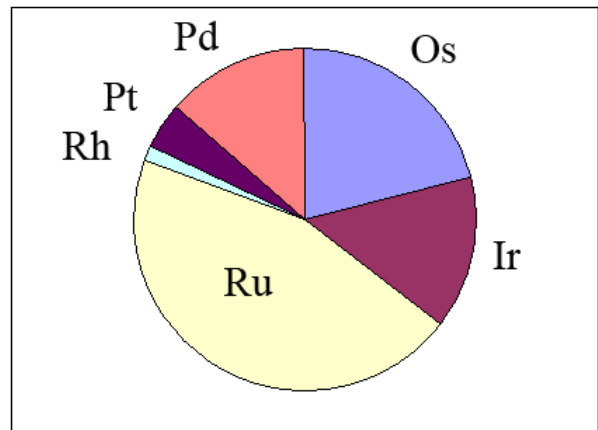
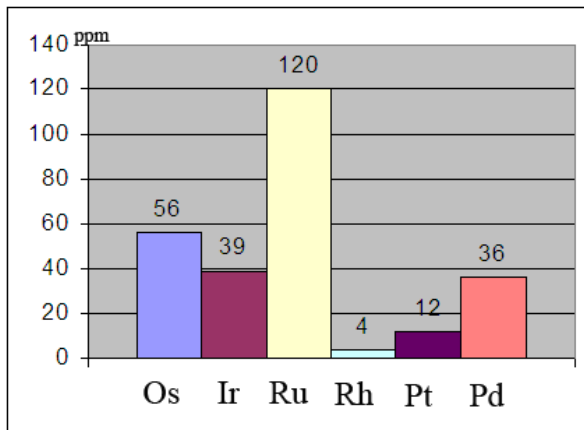
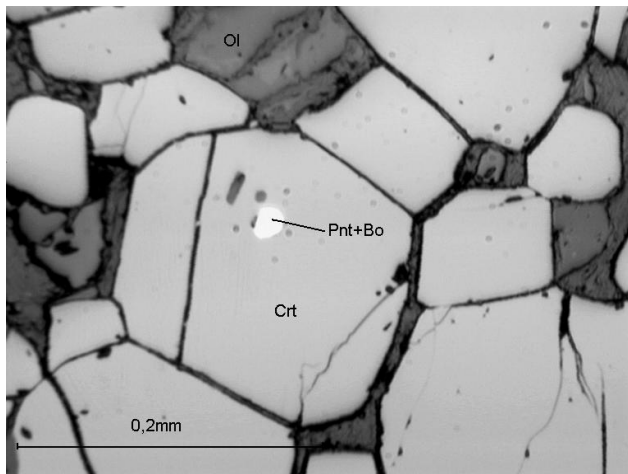
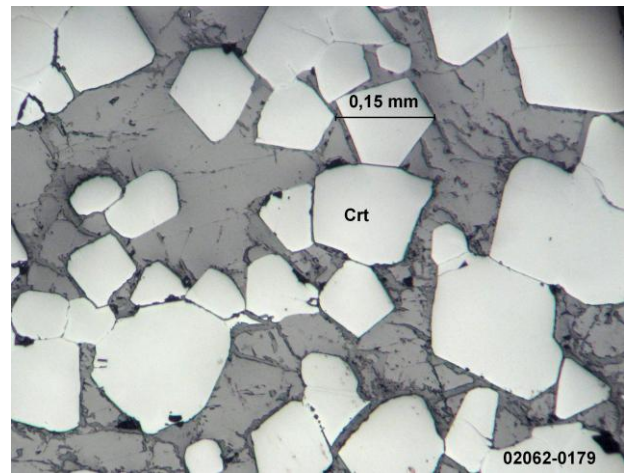


Fig. 6. PGE content in the chromite ore concentrate and volume ratio in 100%.

Рис. 6. Содержание МПГ в хромитах и их относительная доля.



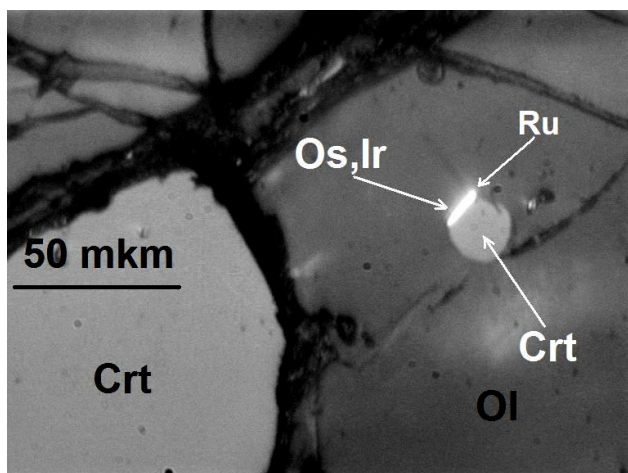
7.1



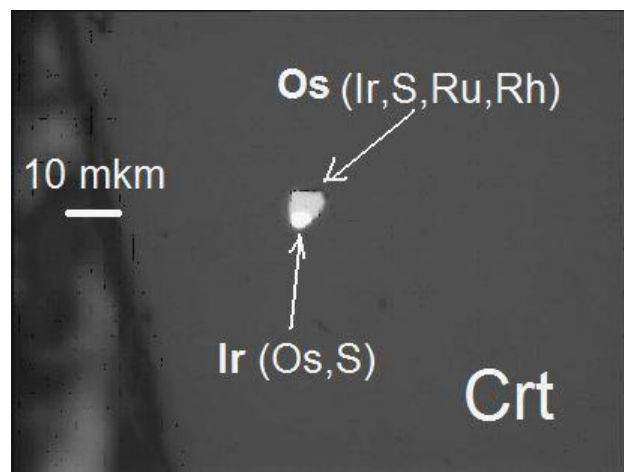
7.2

Fig. 7. Ore structure: 7.1- in the dunite; 7.2 - in the peridotite.

Рис. 7. Структура руд: 7.1- в дунитах; 7.2 - в перидотитах



8.1



8.2

Fig. 8. Character of PGM inclusion: 8.1 - in olivine; 8.2- in chromite.

Рис. 8. Характер МПГ включений: 8.1 - в оливине; 8.2 - в хромите.

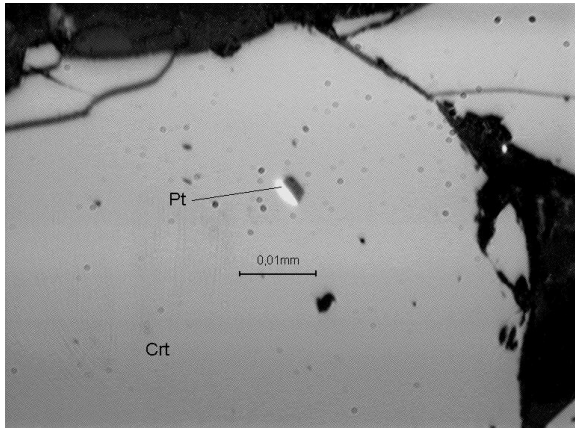


Fig. 9. Character of PGM inclusion in chromite.

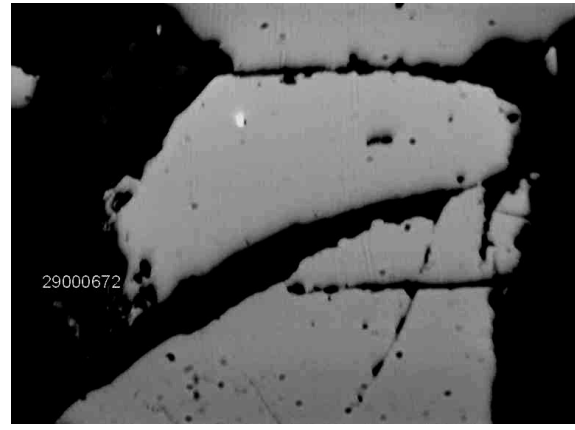


Рис. 9. Характер МПГ включений в хромите.

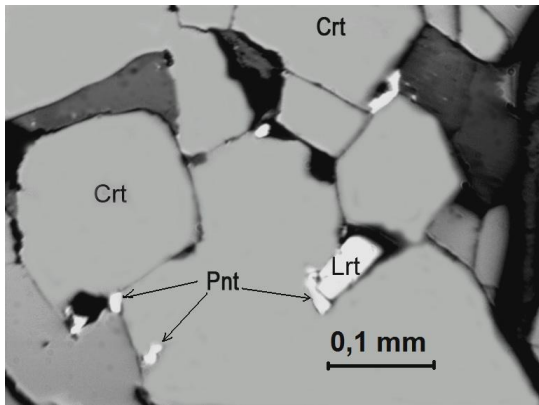


Fig. 10. PGM inclusion among chromite grains.

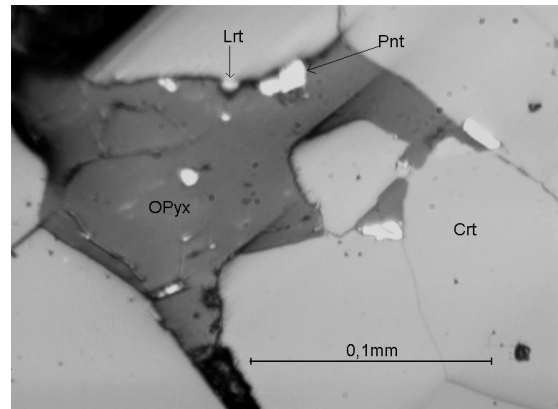


Рис. 10. Включения МПГ между зернами хромита.

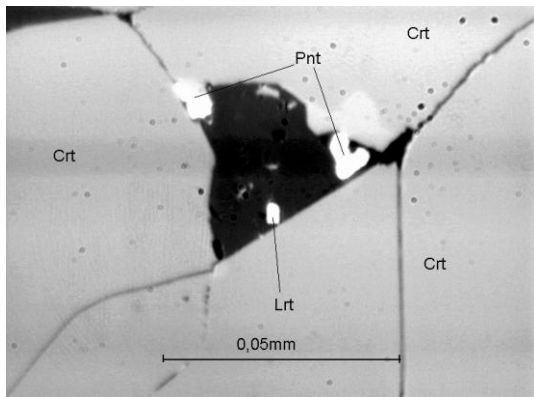
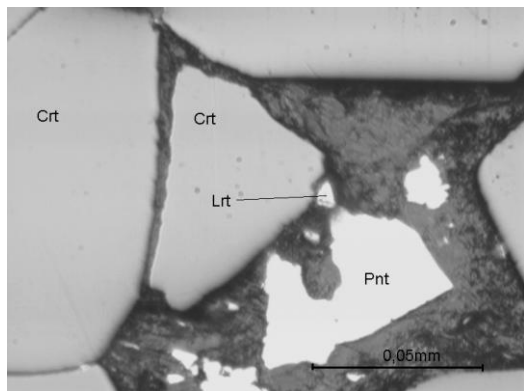


Fig. 11. PGM inclusion among chromite grains intergrown with pentlandite.

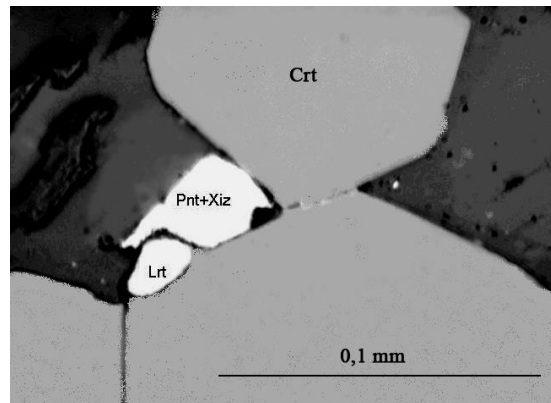
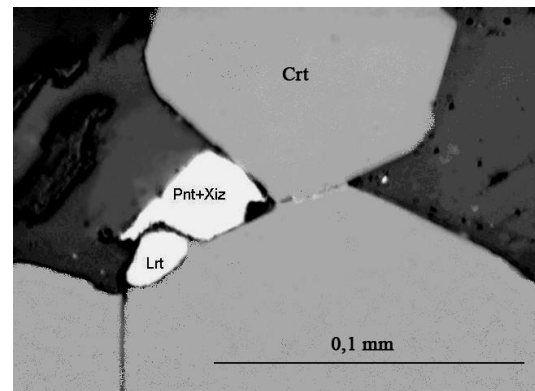
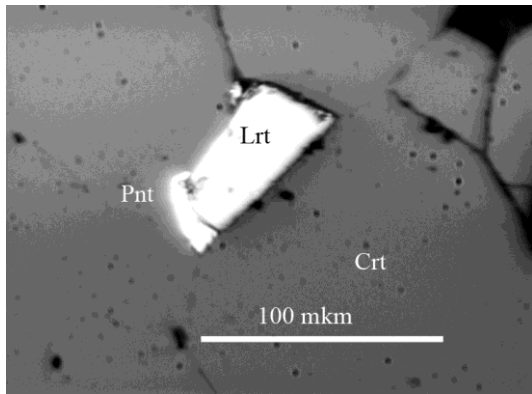
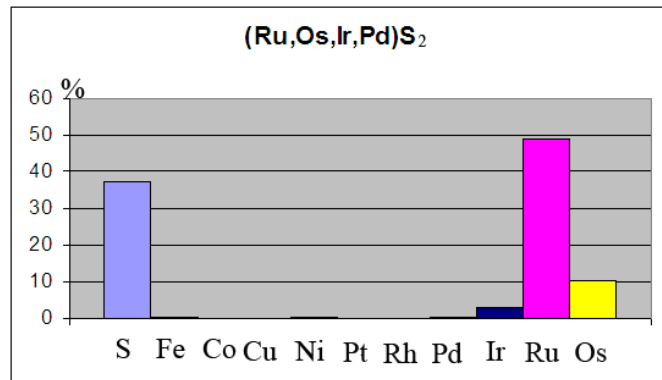


Рис. 11. Включения МПГ между зернами хромита в сростках с пентландитом.



12.1

Fig. 12. Laurite: 12.1 – laurite crystal among chromite grains; 12.2 – chemical composition of laurite.



12.2

Рис. 12. Лаурит: 12.1 – кристалл лаурита в зернах хромита; 12.2 – химический состав лаурита.

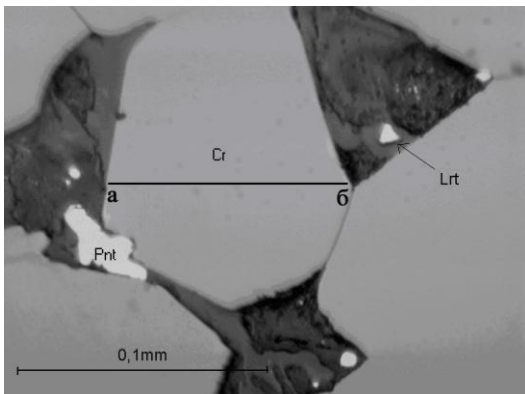


Fig. 13. Elements distribution in chromite along the a-b profile

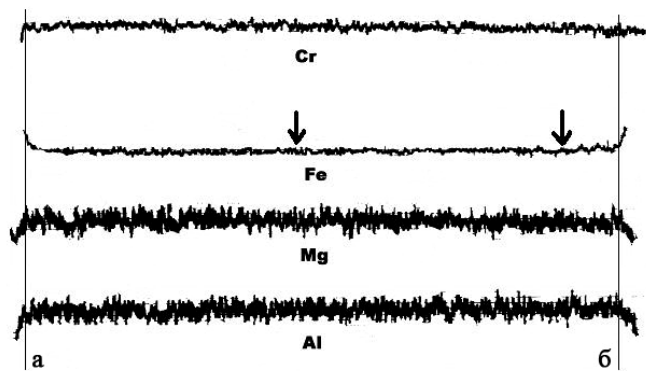


Рис. 13. Распределение элементов вдоль профиля the a-b в хромите.

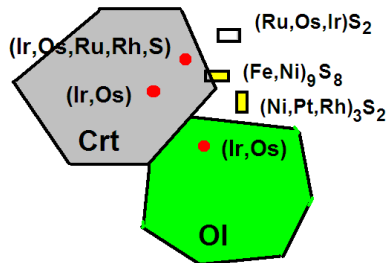


Fig. 14. PGE minerals crystallization scheme.

- 1. Ir,Os,Ru
- 2. Ir,Os,Ru,Rh,S
- 3. Ru,Os,Ir,Pd,Ni,S

Рис. 14. Схема кристаллизации МПГ минералов.

References

Anikina E.V. Platinoids in chromite ore of the Polar Urals region. Syktyvkar, publ. Geoprint, IG Komi Ur. Dep. RAS. 1995. 38 p.

Korovkin V.A., Turyleva L.V., Rudenko D.G., Zhuravleva V.A., Klyuchnikova G.N. Deposits of Northwestern Russia. Publ. Saint-Petersburg cartographic factory of VSEGEI. Saint-Petersburg, 2003, 500 p.

Chaschin V.V., Galkin A.S., Ozeryansky V.V., Dedyukhin A.N. The Sopcheozero chromite deposit and its PGE prospects. Monchepluton (Kola Peninsula, Russia) // Geology of ore deposits, 1999, v.41, No 6, pp. 507-515.

Yushko-Zakharova O.E. PGE prospects of ore deposits. Moscow, «Nedra», 1975, 248 p.

Список литературы

Аникина Е.В. Платиноиды в хромовых рудах Полярного Урала. Сыктывкар, изд-во Геопринт, ИГ Коми УрО РАН. 1995. 38 с.

Недра северо-запада Российской Федерации / Коровкин В.А., Турылева Л.В., Руденко Д.Г., Журавлева В.А., Ключникова Г.Н. Изд-во Санкт-Петербургской картографической фабрики ВСЕГЕИ. Санкт-Петербург, 2003, 500 с.

Сопчеозерское месторождение хромитов и его платиноносность. Мончегорский плутон (Кольский полуостров, Россия) / Чашин В.В., Галкин А.С., Озерянский В.В., Дедюхин А.Н. // Геология рудных месторождений, 1999, т.41, № 6, с.507-515.

Юшко-Захарова О.Е. Платиноносность рудных месторождений. М., «Недра», 1975, 248 с..