ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

Дальневосточное отделение

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Дальневосточный геологический институт

На правах рукописи

Руслан Алексей Валерьевич

БЛАГОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ В ГРАФИТОНОСНЫХ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ МАТВЕЕВСКО-НАХИМОВСКОГО И КАБАРГИНСКОГО ТЕРРЕЙНОВ (ПРИМОРЬЕ)

Специальность 25.00.11 – геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения

Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель: д.г.-м.н. С.В. Высоцкий

Владивосток 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Пояснения важных терминов	9
ГЛАВА 1. ОБЩАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА	
ИССЛЕДОВАНИЙ	11
ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА	ł
ГРАФИТСОДЕРЖАЩИХ ПОРОД	29
2.1 Петрогенные элементы	32
2.2 Микроэлементы	
2.3 Благородные металлы	33
2.4 Углерод	37
ГЛАВА 3. МИНЕРАЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ ГРАФИТОНОСНЫХ	
МЕТАМОРФИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ МАТВЕЕВСКО-НАХИМОВСК	ОГО
И КАБАРГИНСКОГО ТЕРРЕЙНОВ	
3.1 Краткое описание минерального состава изученных пород	40
3.2. Геохимическая характеристика изученных пород	44
3.3 Графит пород матвеевской и тургеневской свит	63
3.4 Минералы благородных металлов	70
ГЛАВА 4. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИ	ЙИ
РУДОПРОЯВЛЕНИЙ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В УГЛЕРОДИСТЫ	Х
КОМПЛЕКСАХ	90
ГЛАВА 5. ГЕНЕЗИС БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИ	ИВ
СВЯЗИ С ПРОЦЕССАМИ ЭНДОГЕННОЙ ГРАФИТИЗАЦИИ ПОРОД	112
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	119
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	122

введение

Актуальность исследований. В последние десятилетия особое внимание в геологии полезных ископаемых уделялось исследованиям высокоуглеродистых осадочно-метаморфических комплексов различного литологического состава. Это обусловлено обнаружением в данных комплексах промышленных скоплений золотой и платиноидной минерализации [6; 120; 128; 133; 141; 143].

Известно большое число фундаментальных работ российских и зарубежных ученых по минералогии и геохимии благородных металлов (БМ) в углеродистых (черносланцевых) формациях. Обзор результатов этих исследований приведен в работах Л.И. Гурской и сборниках трудов по программе «Платина России» [26; 78; 79]. Тем не менее, проблема источников углерода и благородных металлов, влияние углерода на концентрирование и отложение рудных компонентов, а также эволюция углеродистого вещества в рудообразующих процессах продолжают оставаться дискуссионными.

Подавляющее большинство исследователей придерживается точки зрения о приуроченности основной массы благородных металлов к гидротермальным сульфидам и углеродистому веществу, образованному в ходе процессов био- и хемоседиментогенеза. Также существует мнение о возможной связи высоких концентраций БМ и с процессами эндогенной углеродизации [10; 12; 29; 36; 49; 27; 28], характер которой на данный момент недостаточно изучен.

В связи с этим, проведенные автором исследования графитоносных метаморфических комплексов Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов являются актуальными как с точки зрения фундаментальных аспектов минерагении и рудообразования, так и в прикладном отношении – для разработки новых критериев поиска месторождений благородных металлов и совершенствования технологии обогащения руд с благороднометальной минерализацией.

Цель и задачи работы. Основной целью работы является выяснение особенностей генезиса благороднометальной минерализации в графитоносных метаморфических комплексах Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов. Для ее достижения предполагалось решение следующих задач:

- Установить общие закономерности распределения благородных металлов в зависимости от степени углеродизации и типа метаморфизма пород;
- Выявить формы нахождения благородных металлов, их взаимоотношения с углеродистым веществом;

3) Определить условия образования углеродистого вещества.

Фактический материал, методика и методы исследований. В основу диссертации положен оригинальный материал, собранный автором в период полевых исследований Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов (Лесозаводский район, Приморье) в 2012-2013 гг., а также материалы полевых исследований указанного района 2004-2005 гг., любезно предоставленные автору сотрудниками ДВГИ ДВО РАН Мишкиным М.А., Бадрединовым З.Г., Лавриком С.Н.

Методика работы основана на комплексном изучении вещественного состава пород, включающем геохимические и минералогические исследования с использованием современной приборной базы АЦ ДВГИ ДВО РАН и НЦ ИГ Коми Уро РАН.

Определение породообразующих, акцессорных и рудных минералов выполнено с помощью оптических микроскопов серий ПОЛАМ, Nikon и Carl-Zeiss, а также рентгеновского микроанализатора JEOL JXA 8100. Химический состав пород определялся рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре S4 Pioneer. Потери при прокаливании (п.п.п.) определены гравиметрическим методом по потере веса при температуре 950°С. Анализы на микроэлементы были проведены методом ИСП-МС на масс-спектрометре Agilent 7500с. Определение концентраций благородных металлов выполнено методом атомно-абсорбционной спектрометрии с электротермической атомизацией (ААС ЭТА) на спектрофотометре Shimadzu AA-6800.

Предварительно, все пробы прошли стандартную процедуру подготовки для лабораторных исследований: дробление (щековая дробилка FRITSCH PULVER-ISETTE 1 и дисковая мельница FRITSCH PULVERISETTE 13), истирание (вибрационная микромельница FRITSCH PULVERISETTE 0), квартование. Состав минералов благородных металлов, морфология их выделений были изучены на сканирующих электронных микроскопах EVO-50 XVP и JSM-6490 LV, оснащенных энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 350. Определение структурных характеристик углеродистого вещества проведено на дифрактометре Shimadzu XRD-6000, рамановском спектрометре HR800 и дериватографе Shimadzu Q-1500D.

Научная новизна. 1. Впервые выявлены типоморфные особенности платиновой и золотой минерализации в породах матвеевской, тургеневской, митрофановской и рудоносной свит. Установлено, что золото и платина присутствуют в виде дисперсных самородных выделений (дендритовидные и губчатые кристаллы, конденсаты на кристаллах графита и других минералах); 2. Обнаружены ранее неизвестные для данных пород минералы платины и золота (палладистое, никелистое, медистое золото, высокопробная платина, палладистая платина, интерметаллиды платины, олова и свинца); 3. Установлена корреляция содержаний благородных металлов от степени регионального метаморфизма и углеродизации пород; 4. Получены структурные и физические характеристики углеродистого вещества в породах матвеевской и тургеневской свит амфиболитовой фации метаморфизма, позволившие определить условия его образования.

Степень проработанности темы работы и личный вклад автора. В начале 2000-х годов в углеродистых сланцах и гнейсах Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов группой ученых ДВГИ ДВО РАН под руководством академика А.И. Ханчука впервые были установлены высокие концентрации золота, платины и палладия и высказано предположение о существовании крупного Ружинского месторождения благородных металлов, отнесенного к платинометальной формации черных сланцев и их метасоматитов [116].

За период 2004-2016 гг. сотрудниками ДВГИ ДВО РАН, включая автора, был выполнен большой объем исследовательских работ по геохимии и минералогии графитизированных пород указанного района, результаты которых изложены в рецензируемых журналах, тезисах и докладах конференций [7; 86; 108; 117; 142 и др.]. В процессе проведения исследований автор участвовал в полевых работах, лично выполнял документацию обнажений и занимался отбором проб. Изучение петрографических шлифов и полировок также проводилось автором лично, с привлечением для консультаций научного руководителя и сотрудников лаборатории. Автор готовил образцы и принимал непосредственное участие в изучении химического состава, морфологии минералов БМ на сканирующих электронных микроскопах EVO-50 XVP и JSM-6490 LV под руководством сотрудников АЦ ДВГИ ДВО РАН. Интерпретация полученных данных сканирующей электронной микроскопии выполнена диссертантом лично. Сравнительный анализ объекта исследования с известными месторождениями и рудопроявлениями в черносланцевых формациях выполнен автором совместно с научным руководителем.

Защищаемые положения:

- Благородные металлы в графитоносных метаморфических комплексах Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов присутствуют в самородной форме и в виде интерметаллидов с размерами выделений от сотен нм до сотен мкм. Среди них широко распространены соединения платины с оловом, свинцом и железом, что свидетельствует о высоко-, и ультравосстановительных условиях кристаллизации.
- 2. Углеродистое вещество метаморфических комплексов Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов представлено двумя генерациями: ранней – в виде нанокристаллического графита, аморфного алмазоподобного углерода, нанокристаллического алмаза и поздней, включающей высококристаллический графит. Ранняя генерация метасоматической природы связана с воздействием глубинных восстановленных флюидов, а поздняя образовалась за счет перекристаллизации углеродсодержащих терригенных протолитов при региональном метаморфизме.
- 3. Благороднометалльная минерализация в метаморфических комплексах Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов связана с деструкцией летучих галоген-, и углеродсодержащих соединений Au, Ag и ЭПГ глубинных восста-

новленных флюидов, поступавших в зону минералообразования, по мере их охлаждения и окисления.

4. Графитоносные метаморфические комплексы Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов отличаются от известных черносланцевых формаций с рудопроявлениями и месторождениями благородных металлов рассеянновкрапленным характером распределения минералов Au, Ag и Pt, их приуроченностью, главным образом, к углеродистому веществу высокой степени метаморфизма и слабым проявлением сульфид-сульфоарсенидной минерализации.

Апробация работы. Результаты исследований по теме диссертации докладывались на 4-й Всероссийской конференции молодых ученых (Владивосток, 2012 г.), 2-й Азиатской школе-конференции по физике и технологии наноструктурированных материалов (Владивосток, 2013 г.), международной конференции «Золото Фенноскандинавского щита» (Петрозаводск, 2013 г.).

Основные материалы и положения диссертации опубликованы в 5 работах, в том числе в двух статьях в журналах по списку ВАК, материалах конференций.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы (167 библиографических наименования). Общий объем составляет 139 страниц, включая 58 рисунков и 30 таблиц.

Во введении определены актуальность, цели и задачи работы, научная новизна, степень проработанности и личный вклад автора, приведен фактический материал и указаны методы исследования вещественного состава графитизированных пород, а также сформулированы защищаемые положения. В *первой главе* приведена краткая геологическая характеристика района исследования. Во *второй главе* приведены основные методы анализа для разных групп элементов. В *третьей главе* дана минералого-геохимическая характеристика основных разновидностей метаморфических пород Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов. Приведены результаты изучения структурных параметров графита, геохимии и минералогии благородных металлов и их взаимоотношение с углеродистым веществом в породах. В *четвертой главе* на основе литературных данных проведена сравнительная характеристика типовых месторождений и рудопрояв-

лений благородных металлов в углеродистых комплексах. В *пятой главе* обсуждаются вопросы генезиса благороднометалльной минерализации в графитоносных метаморфических комплексах Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов. В *заключении* изложены основные результаты работы.

Благодарности. Работа выполнена в лаборатории минералогии Дальневосточного геологического института ДВО РАН под руководством г.н.с., д.г.-м.н. С. В. Высоцкого, которому автор выражает глубокую признательность за советы, обсуждение результатов исследования и совместную работу.

Автор искренне благодарен за участие в обсуждении результатов исследований академику А.И. Ханчуку, д.г.-м.н. Л.П. Плюсниной, д.г.-м.н. М.А. Мишкину, д.г.-м.н. В.Т. Казаченко, д.г.-м.н. В.И. Гвоздеву, д.г.-м.н. В.Г. Хомичу, к.г.-м.н. З.Г. Бадрединову, к.г.-м.н. А.С. Ваху, к.г.-м.н. С.О. Максимову, к.г.-м.н. В.В. Иванову, к.г.-м.н. А.А. Карабцову. Автор выражает благодарность сотрудникам аналитического центра ДВГИ ДВО РАН: Ж.А. Щеке, Л.М. Симоконь, М.В. Безродновой, к.г.-м.н. к.г.-м.н. Е.А. Ноздрачеву, к.г.-м.н. Н.Н. Баринову, А.В. Поселюжной, И.Е. Пантюхиной; сотрудникам НЦ ИГ Коми Уро РАН: д.г.-м.н. Т.Г. Шумиловой, к.г.-м.н. С.И. Исаенко, Б.А. Макееву, Г.Н. Модяновой за качественное выполнение анализов.

Особую благодарность автор выражает д.г.-м.н. М.А. Мишкину и к.г.-м.н. 3.Г. Бадрединову, к.г.-м.н. С.Н. Лаврику за предоставление коллекции образцов.

Работа выполнена при поддержке грантов Президиума ДВО РАН в рамках научных проектов № 12-2-0-08-017, № 12-1-0-ОНЗ-03, Президиума Уро РАН в рамках научного проекта № 12-С-5-1035 и РФФИ в рамках научных проектов № 11-05-00848а и № 11-05-00848а.

ПОЯСНЕНИЯ ВАЖНЫХ ТЕРМИНОВ

В связи с неоднозначным пониманием разными исследователями некоторых терминов, автор посчитал необходимым привести их формулировки, которых он придерживался.

Террейн – ограниченное разрывами сложное геологическое тело (тектонический блок) регионального масштаба, характеризующееся набором индивидуальных черт состава горных пород, структурных особенностей и тектонической истории, отличающей его от соседних блоков [17].

Метаморфический комплекс – геологические тела или их совокупности, сложенные ассоциацией метаморфических горных пород – продуктами единого метаморфического цикла преобразования разнородного (или однородного) протолита в едином ареале, обычно в пределах одной структурно-формационной зоны [17].

Черносланцевые формации (син. углеродистые формации) – осадочные и вулканогенно-осадочные формации, в строении которых принимают значительное участие углеродистые, или т.н. черные сланцы, представляющие собой продукты преобразования морских кремнистых, глинистых и, в меньшей степени, карбонатно-глинистых илов, с повышенной концентрацией C_{opr} (≥ 1 %) и часто фосфора, сульфидной серы, ванадия, золота, серебра, урана, ряда цветных, редких и рассеянных металлов [17].

Минерализация – 1) процесс формирования рудных и сопровождающих нерудных минералов рудоносными растворами, газовыми эманациями и магматическими расплавами, а также отложение и оседание этих минералов в поверхностных и приповерхностных условиях; 2) скопление рудных и сопровождающих нерудных минералов, возникшее при их отложении, т.е. *проявление минерализации* [17].

Рудопроявление – небольшое природное скопление минерального вещества, которое почти удовлетворяет по качеству кондиционным требованиям, но в количественном отношении не может считаться предметом разработки в данных экономических условиях [17]. **Аморфный алмазоподобный углерод** – по классификации Т.Г. Шумиловой [124] представляет собой аморфное углеродистое вещество, характеризующееся мелкими (менее 10 нм) кластерами углерода с sp³-гибридизацией атомов углерода.

Фрактальный кластер (агрегат) – структура, образующаяся при ассоциации твердых аэрозолей в газе, в случае диффузионного характера их движения [100].

ГЛАВА 1. ОБЩАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 История геологического изучения.

Район исследований охватывает часть Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинский террейны (рис 1.1.1).



Рис. 1.1.1. Схема расположения Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов. Составлена на основе тектонической схемы Приморья [16].

В истории геологического изучения данной территории можно условно выделить несколько периодов.

В течение первого периода (1920-1945 гг.) проводились первые региональные геологические съемки района в масштабе 1:200 000 (Дубейко Т.Д., 1933 г.) и 1:100 000 (Баранов А.Ф., 1939 г.), а также поисково-разведочные работы в масштабе 1:50 000 на железо-марганцевые руды (Никифорова, 1934 г.) и графит (Кузнецова, 1939 г.; Бигулаев Г.З., Едовина И.К., 1943 г.; Дорошенко Н.К., Солоненко В.П., 1945 г.). По результатам этих работ были составлены геологические карты масштаба 1:200 000 и 1:100 000, резко различающиеся между собой в трактовке как литолого-петрографических, так и структурных вопросов; были открыты месторождения железистых кварцитов с бедными рудами и крупные графитовые месторождения Тамгино-Тургеневской группы. Наиболее существенный вклад в исследование месторождений чешуйчатого и дисперсного графита внес В.П. Солоненко [10]. Данным автором были охарактеризованы два промышленных типа месторождений чешуйчатого графита (Тамгинский и Тургеневский), отличающиеся по морфологии выделений графита и вмещающим графитовые руды комплексам пород. Первый приурочен к метаморфизованным (амфиболитовая фация) комплексам пород иманской серии, второй – к комплексам пород лесозаводской серии, метаморфизованных в условиях зеленосланцевой фации.

Второй период (1946-1968 гг.) включает поисковосъемочные, поисковоразведочные масштаба 1:50 000 [13; 18; 39; 59] и тематические работы по метаморфизму [58], стратиграфии кембрия и докембрия [4; 5; 20; 47; 123; 126], в результате которых была разработана схема стратиграфии протерозойских и кембрийских метаморфических образований, претерпевшая незначительные изменения в наши дни, и получены данные по рудным (железо, марганец, свинец, цинк, вольфрам, литий, золото) и нерудным (графит, строительные материалы) полезным ископаемым. Материалы этих работ послужили основой при составлении Госгеолкарты-200 первого поколения [64]. Следует особо отметить, что в слабометаморфизованных комплексах пород лесозаводской серии (митрофановская свита) была установлена «рудная точка» с концентрацией золота 30 г/т. Однако последующие тематические исследования золотоносных отложений митрофановской свиты в районе с. Тургенево, проведенные силами Приморской геологической экспедиции в 1980-х годах, не подтвердили ранее полученных данных о высоких содержаниях золота.

За третий период (1969-1991 гг.) были проведены комплексные геологические исследования в западной и северной частях площади, включавшие геологическую, гидрогеологическую и инженерно-геологическую съемки масштаба 1:50 000 [22; 43; 68; 94; 97]. Были получены данные по стратиграфии четвертичных отложений, а также выполнены поисково-разведочные специализированные работы [66; 95; 103]. В это же время на площади был выполнен большой объем геофизических исследований. Постановка этих работ преследовала разные цели: геофизическое обеспечение геологической и инженерно-геологической съемки [2; 52; 71], изучение морфологии угленосных депрессий [9; 41; 44]. Были проведены поисковые и поисково-оценочные исследования, сопровождавшиеся металлометрическим опробованием отдельных площадей [40; 118].

За период 2004-2016 гг. сотрудниками ДВГИ ДВО РАН, включая автора, был выполнен большой объем исследовательских работ по геохимии и минералогии графитизированных пород указанного района [7; 86; 108; 117; 142]. Ими была определена геохимическая специализация углеродсодержащих метаморфических пород Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов, проявленная в повышенных содержаниях золота, платины, палладия, бария, тория, урана, хрома, германия, рубидия, ванадия, РЗЭ, при низких концентрациях серы, мышьяка, кобальта, никеля, ниобия, тантала. Установлена положительная корреляция концентраций благородных металлов от степени метаморфизма и углеродизации пород. Охарактеризован парагенезис рудных минералов графитизированных пород, включающий широкий спектр рудных элементов восстановленной (золото, серебро, платина, палладий, олово, свинец, медь, кадмий) и окисленной форм (железо, олово, вольфрам, свинец и др.). Определен изотопный состав углерода в графитоносных метаморфических комплексах Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов. Установлены структурные характеристики углеродистого вещества в графитсодержащих породах тургеневской и матвеевской свит амфиболитовой фации метаморфизма, позволившие определить условия кристаллизации.

1.2. Краткий геологический очерк.

Территория исследований (междуречье Тамги и Кабарги) находится в западной части Приморья, где выделены Матвеевско-Нахимовский и Кабаргинский террейны [16]. Данные блоки сложены метаморфическими и интрузивными комплексами верхний докембрий-нижнего палеозоя (рис 1.2.1). Постаккреционные образования представлены средне- и позднепалеозойскими гранитами, мезозойскими и кайнозойскими осадочно-вулканогенными отложениями.

1.2.1. Стратиграфия.

Проблема расчленения докембрийских метаморфических комплексов указанного района, несмотря на большой объем проведенных исследований, продолжает оставаться дискуссионной. Это связано с плохой обнаженностью территории, отсутствием флоры и фауны, недостаточным количеством данных абсолютного возраста и широким развитием зон гранитизации и мигматизации в данных комплексах. Долгое время эти комплексы относили к верхний архей-среднему протерозою [21]. Однако, результаты Sm-Nd и U-Pb-геохронологических исследований последних лет [69; 70] наиболее древних метаморфических пород иманской и уссурийской серий свидетельствуют об их среднерифейском возрасте. Полуисследований ченные результаты этих согласуются c изотопногеохронологическими исследованиями для гранулитовых пород машанской серии массива Цзямусы Китая, смежного с Матвеевско-Нахимовским террейном. Раннекембрийский возраст рудоносной свиты, венчающей разрез Кабаргинского террейна, был принят по аналогии с подобной толщей в районе Малохинганского хребта.

Стратиграфическая схема верхнепротерозойских и нижнекембрийских метаморфических комплексов, принятая в настоящей работе, приводиться ниже по материалам АО «Дальневосточного ПГО» и с учетом результатов тематических исследований сотрудников ДВГИ ДВО РАН.



ДОКЕМБРИЙ

Средний рифей (R₂)

К среднему рифею относят метаморфические комплексы пород иманской и уссурийской серий, слагающие Матвеевско-Нахимовский террейн.

Иманская серия (R₂im)

В составе иманской серии, распространенной лишь в Матвеевском субтеррейне Матвеевско-Нахимовского террейна, выделяются ружинская и матвеевская свиты.

Ружинская свита (R₂*rg*) залегает в основании разреза серии. По данным Е. Леликова, А. Крамчанина и Б. Поды, свита сложена мраморами с графитом и диопсидом, биотитовыми гнейсами, гранито-гнейсами, реже биотитовыми, биотитамфиболовыми и диопсидовыми кристаллосланцами. Мощность свиты 1800 м.

Наиболее полный разрез свиты описан А. Крамчаниным [18] восточнее п. Филино (здесь и далее снизу вверх):

1.	Гранито-гнейсы порфиробластические с графитом и диопсидом, редкие прослои мраморов160 м
2.	Мраморы с маломощными прослоями биотитовых кристаллосланцев
3.	Гранито-гнейсы порфиробластические с прослоем мраморов100 м
4.	Мраморы с графитом и диопсидом
5.	Гнейсы биотитовые, графитистые
6.	Мраморы с прослоями диопсидовых сланцев100 м
7.	Гранито-гнейсы порфиробластические с графитом60 м
8.	Переслаивание мраморов, биотитовых гнейсов и порфиробластических гранито-гнейсов.
	Мощности слоев 30-60
9.	Гранито-гнейсы порфиробластические с графитом и диопсидом100 м
10.	Гранито-гнейсы биотитовые с прослоями мраморов и диопсидовых кристаллосланцев150 м
11.	Гранито-гнейсы порфиробластические100 м
12.	Мраморы графитистые с прослоями биотитовых гнейсов, диопсидовых кристаллосланцев
	и гранито-гнейсов
	Матвеевская свита (R ₂ mt), залегающая по данным М.А. Мишкина, И.В.
М	ишкиной и Е.П. Леликова согласно на ружинской свите, по литологическому
cc	оставу разделена на три подсвиты. В районе исследований распространены
ЛІ	ишь нижняя и средняя подсвиты.

Нижняя подсвита (R_2mt_1) сложена биотитовыми, часто порфиробластическими, кристаллосланцами и гнейсами с горизонтом мраморов, реже пироксенамфиболовыми и пироксеновыми кристаллосланцами. Стратотип разреза находится на правобережье р. Кедровка, где на верхнем горизонте мраморов (450 м) ружинской свиты согласно залегают [59]:

- 1. Гнейсы порфиробластические биотитовые с прослоями двупироксеновых кристаллосланцев....180 м

Средняя подсвита (R₂mt₂) сложена кордиеритовыми, гранат-кордиеритовыми, графитистыми и биотит-силлиманитовыми кварцитами и кристаллосланцами, переслаивающимися с биотитовыми кристаллосланцами, гнейсами и мраморами. Подсвита состоит из трех неравноценных по мощности пачки [59]:

- Кристаллосланцы биотитовые и биотит-силлиманитовые с тремя прослоями гранат-кордиеритовых сланцев и кварцитов мощностью 15-20 м. В основании горизонт мраморов с прослоями диопсидовых кристаллосланцев мощностью 70 м, выше по разрезу еще два слоя мраморов (10 и 40 м)....500 м
- 3. Переслаивание кристаллосланцев биотитовых, графит-биотитовых, графитистых, графит-гранаткордиеритовых, кварцитов магнетитовых, гранат-кордиеритовых, мраморов графитистых......600 м

Мощность средней подсвиты 2200 м, а общая мощность матвеевской свиты 3500 м.

Уссурийская серия (R₂us)

В составе уссурийской серии в бассейнах рек Тамга и Кабарга (Матвеевский субтеррейн) выделяется тургеневская свита.

Тургеневская свита (R_2tr) сложена биотитовыми гнейсами и кристаллосланцами с отдельными горизонтами биотит-амфиболовых кристаллосланцев и мраморов. Контакты тургеневской свиты с матвеевской в большинстве тектонические и лишь южнее с. Ружино гнейсы свиты без видимого углового несогласия налегают на кварциты средней подсвиты матвеевской свиты. По литологическому составу тургеневская свита разделена на две подсвиты.

Нижняя подсвита ($R_2 tr_1$) распространена в бассейне р. Тамга. Опорный разрез описан А.Ф. Крамчаниным [18] западнее с. Тургенево:

1.	Гнейсы и гранито-гнейсы биотитовые, биотит-амфиболовые, порфиробластические2	.00 м
2.	Мраморы крупнокристаллические графитистые	.40 м
3.	Гнейсы биотитовые и амфибол-биотитовые с прослоями	
	биотит-пироксеновых гранито-гнейсов порфиробластических2	200 м
4.	Мраморы графитистые	.40 м
5.	Кристаллосланцы биотитовые с горизонтами плагиогнейсов и биотит-амфиболовых гранито-	
	гнейсов	280 м
6.	Гнейсы биотитовые порфиробластические3	20 м
7.	Мрамора крупнокристаллические с прослоями биотитовых гнейсов3	50 м
8.	Кристаллосланцы биотитовые и силлиманит-биотитовые с прослоями мраморов5	00 м
9.	Мраморы крупнокристаллические	.20 м

Мощность разреза 1950 м

Верхняя подсвита (R₂*tr*₂) прослеживается неширокой полосой от руч. Безымянный на востоке до г. Лесозаводск. Стратотип подсвиты расположен западнее с. Тургенево [18], где на последнем горизонте мраморов нижней подсвиты залегают:

	кристаллосланцев	400 м
5.	Гнейсы и кристаллосланцы биотитовые, фибролит-биотитовые с прослоями ам	фибол-биотитовых
4.	Гранито-гнейсы биотитовые с турмалином	50 м
3.	Гнейсы биотитовые, реже амфибол-биотитовые	290 м
2.	Кристаллосланцы мусковит-биотитовые и фибролит-биотитовые	80 м
1.	Гранито-гнейсы биотитовые порфиробластические	100 м

Мощность разреза 920 м. Общая мощность свиты достигает 4200 м.

Поздний рифей (R₃)

К позднему рифею отнесены метаморфические комплексы лесозаводской серии.

Лесозаводская серия (R₃ls)

В составе лесозаводской серии, широко распространенной в Кабаргинском террейне и отчасти в Матвеевском субтеррейне, выделяются (снизу вверх) спасская, митрофановская и кабаргинская свиты. Спасская свита (R₃sp) в бассейне р. Кабарга, по данным Е.П. Леликова и А.Ф. Крамчанина, несогласно залегает на тургеневской. Свита сложена в основном биотит-мусковитовыми, мусковитовыми и кварц-мусковитовыми сланцами. Наиболее полный разрез спасской свиты описан южнее с. Тургенево [18]:

1.	Сланцы биотитовые, фибролит-биотитовые	80 м
2.	Сланцы кварц-мусковитовые, местами с андалузитом	320 м
3.	Сланцы биотит-мусковитовые	220 м
4.	Кварциты мусковитовые	.40 м
5.	Сланцы мусковитовые и биотит-мусковитовые1	140 м

Мощность разреза свиты 800 м

Митрофановская свита (R₃*mr*) сложена преимущественно графитистыми, мусковит-графитистыми, хлорит-серицитовыми сланцами, известняками, амфиболитами. Залегает согласно на спасской свите. Выделена Е.П. Леликовым юговосточнее с. Тургенево, где им описаны [18] нижняя и средняя части свиты:

стью до 300 м. Общая мощность свиты 1200 м.

Кабаргинская свита (R₃kb) в бассейне р. Кабарга представлена тонкоплитчатыми хлорит-серицитовыми, биотит-серицитовыми, серицитовыми сланцами, филлитами, тонкозернистыми аркозовыми и кварцевыми песчаниками. Свита согласно залегает на отложениях митрофановской свиты. На правом борту р. Кабарга северо-восточнее с. Орловка А.Ф. Крамчаниным [18] описан следующий разрез:

1.	Переслаивание тонкозернистых серицитовых и хлорит-серицитовых сланцев	580 м
2.	Сланцы двуслюдяные с прослоями серицитовых сланцев	80 м
3.	Песчаники кварцевые тонкозернистые	40 м
4.	Сланцы двуслюдяные и серицитовые	.140 м
5.	Песчаники аркозовые тонкозернистые	30 м
6.	Сланцы двуслюдяные узловатые с андалузитом	60 м

7.	Песчаники кварцевые тонкозернистые	.50 м
8.	Сланцы двуслюдяные и биотитовые узловатые	120 м

Мощность разреза и свиты 1100 м.

ПАЛЕОЗОЙ

Нижний кембрий (С₁?)

К нижнему кембрию (?) условно отнесены метаморфические комплексы орловской серии, слагающие верхнюю часть разреза Кабаргинского террейна.

Орловская серия (\epsilon_1?or)

В составе орловской серии выделяются (снизу вверх) сланцевая толща, смольнинская и рудоносная свиты.

Сланцевая толща (C_1 ?*s*) залегает согласно на кабаргинской свите. Наиболее полный разрез описан [66] на правом борту р. Кабарга:

1.	Известняки доломитистые	50 м
2.	Хлорит-серицитовые сланцы, алевролиты с прослоями туфов основного состава	.50 м
3.	Спилиты миндалекаменные	.30 м
4.	Железистые кварциты магнетит-гематитовые тонкослоистые	.20 м
5.	Сланцы серицитовые, алевролиты, переходящие в филлиты,	
	прослои тонкозернистых песчаников5	70 м

Мощность разреза и толщи 720 м.

По мнению Ю.Н. Олейника [64], выделившего эту толщу под названием «эффузивно-сланцевая», она соответствует песчано-сланцевой толще Спасского террейна, залегающей в основании кембрийских отложений и содержащей раннекембрийские археоциаты.

Смольнинская свита (\mathcal{C}_1 ?sm) представлена доломитами и доломитовыми известняками, реже хлорит-серицитовыми сланцами и кварцитами. Залегает по данным Ю.Н. Олейника [64] согласно на сланцевой толще. Выделена Ю.К. Таниным [104] по левому борту р. Мал. Кабарга, где наблюдается следующий разрез свиты:

1. Доломиты и доломитистые из	вестняки	50 м
-------------------------------	----------	------

- 2. Сланцы серицит-хлоритовые, серицитовые, местами переходящие в кварциты серицитовые......80 м

Смольнинская свита хорошо параллелизуется с нижней частью прохоровской свиты Спасского террейна и с мурандавской свитой Малого Хингана, содержащих фауну атдабанского яруса.

Рудоносная свита (\mathcal{E}_1 ?*rd*) представлена серицитовыми, серицитхлоритовыми, графитистыми, мусковитовыми сланцами, доломитами, известняками, железистыми кварцитами, кварцитами и марганцевыми рудами. Залегает согласно на смольнинской свите. Мощность свиты 720 м. Наиболее полный разрез свиты описан П.И. Остащенко [66] на левом борту р. Мал. Кабарга:

Мощность разреза 720 м.

Раннекембрийский (?) возраст рудоносной свиты принимается по аналогии с рудоносной свитой Малого Хингана и со сходной средней частью прохоровской свиты Спасского террейна, где они содержат раннекембрийскую фауну.

Нижняя пермь (Р₁)

К нижней перми отнесены вулканогенные образования *ракитнинской толщи* (P₁*rk*). В районе исследований представлена нижней подтолщей, распространенной по левому борту р. Мал. Кабарга. Совместно с экструзиями образует ракитнинский риолитовый комплекс.

Нижняя подтолща (P₁*rk*₁) сложена пепловыми и псаммитовыми туфолавами, туфами риолитов, туфопесчаниками, туфоконгломератами, туффитами. Мощность толщи 700 м. Залегает с угловым несогласием на кембрийских отложениях и с размывом на гранитах шмаковского комплекса.

неоген

Миоцен (N₁)

Устьсуйфунская свита (N₁us) залегает резко несогласно на более древних отложениях района исследований. Сложена аллювиальными песчано-гравийно-галечными отложениями. Мощность свиты 190 м.

Верхний миоцен-плиоцен (N₁₋₂)

Шуфанская свита ($N_{1-2\delta f}$) имеет ограниченное распространение в районе исследований. Небольшие ее выходы известны в окрестностях села Тамга. Залегает согласно на устьсуйфунской свите и перекрывается четвертичными отложениями. Свита сложена чередующимися потоками оливиновых базальтов, часто разделенными слоями песков с глинами (1-5 м), которые крайне не выдержаны по мощности и простиранию. Мощность свиты 80 м.

1.2.2. Тектоника

Долгое время господствовало мнение о кратонной природе рассматриваемой территории [21; 61]. Новый взгляд на геологию позволил отнести ее к каледонскому складчатому сооружению как продолжению Центрально-Азиатского складчатого пояса [60]. Главными структурными элементами в пределах данной территории являются, по А.И. Ханчуку [115], Матвеевско-Нахимовский и Кабаргинский террейны или, по В.И. Рыбалко и Г.С. Белянскому [91], Матвеевская и Кабаргинская зоны.

В междуречье Тамги и Кабарги Матвеевско-Нахимовский террейн сложен метаморфическими породами иманской и уссурийской серий. Метаморфиты образуют мигматит-гнейсовый купол диаметром 80-100 км, в пределах которого простирание пород отражает его овалоидную форму. Системой разломов купол разбит на серию блоков, напоминающих структуру «битой тарелки». Породы смяты в складки разной амплитуды и размерности: от мелкой гофрировки до сравнительно крупных антиклинальных и синклинальных форм, выделяющихся только в пределах отдельных тектонических блоков. Крупные складки имеют длину до 20 км при ширине 4-6 км, наклон слоя в среднем 40-50°, при этом повсеместно развиты мелкие дисгармоничные складки шириной от нескольких

сантиметров до первых метров. Субтеррейн на севере перекрыт вулканитами алчанской свиты, на юге по серии разломов граничит с Кабаргинским террейном, восточная граница замаскирована крупными интрузиями гранитоидов палеозойских и мезозойских этапов активизации.

Кабаргинская террейн (Кабаргинская зона) разделяет Матвеевский и Нахимовский субтеррейны, протягиваясь в субширотном направлении на запад от Западного Сихотэ-Алинского разлома. В структурном плане террейн представляет грабен-синклиналь, ограниченную с севера и юга разрывами. Сложена она карбонатными, карбонатно-терригенными и терригенными отложениями лесозаводской и орловской серий. По сути, эти образования являются супракрустальным обрамлением соседних гнейсовых куполов. Северное крыло грабен-синклинали имеет сравнительно простое строение с устойчивым моноклинальным падением пластов на юг (40-50°), лишь изредка нарушаемое мелкими складками высоких порядков. В центральной части структуры и на её южном крыле преобладают сжатые складки с углами наклона слоев 80-85°, нередки опрокинутые на север складки.

1.2.3. Магматизм

Среди интрузивных образований района исследований выделяются следующие комплексы: среднерифейский уссурийский комплекс, кембрийский орловский комплекс, и раннемеловой (?) троицкий комплекс.

СРЕДНИЙ РИФЕЙ

Уссурийский комплекс гнейсогранитный объединяет несколько небольших массивов гнейсогранитов ($g\gamma_2R_2u$), среди которых наиболее крупным на указанной территории является Тургеневский, расположенный восточнее с. Тургенево в краевой части Матвеевского купола. Он сложен мелко- и среднезернистыми гнейсогранитами с отчетливой гнейсовой текстурой [58]. При этом сланцеватость в гнейсогранитах ориентирована субпараллельно метаморфической полосчатости вмещающих гнейсов и сланцев, равно и сами тела удлинены по простиранию вмещающих пород. Внешне гнейсограниты уссурийского комплекса трудно отличимы от гранито-гнейсов тургеневской и матвеевской свит и отли-

чаются от них отсутствием метаморфической полосчатости. В то же время граниты метаморфизованы в той же степени, что и вмещающие породы, что дает основание считать их возраст близким к возрасту вмещающих пород, т.е. среднерифейским [91].

КЕМБРИЙ

Орловский комплекс гранитовый объединяет несколько интрузий гранитов $(\gamma \in o)$ и многочисленные дайки пегматитов $(\rho \in o)$, расположенных преимущественно в бассейне р. Кабарга, где они прорывают отложения позднего рифея и раннего (?) кембрия, включая рудоносную свиту. Отдельные дайковые тела гранитов и пегматитов известны в бассейне р. Тамга. В структурном плане большинство интрузивных тел приурочено к зоне сочленения Матвеевского субтеррейна (Матвеевской зоной) с Кабаргинским террейном (Кабаргинской зоной) и контролируются субширотными и субмеридиональными разрывами. Наиболее крупные массивы – Митрофановский и Каменный имеют площадь соответственно 6 и 20 км² и, вероятно, на глубине соединяются в одно тело, вытянуты в широтном направлении параллельно основным структурам Кабаргинского террейна. Митрофановская и Каменная интрузии сложены мелко- и среднекристаллическими гранитами, среди которых выделяются биотитовые, двуслюдяные (биотит-мусковитовые и мусковит-биотитовые), мусковитовые, турмалиновые и гранатовые разности. По данным геологической съемки [18] все эти граниты являются фациальными разновидностями, связанными постепенными переходами, но в некоторых случаях наблюдались рвущие тела турмалиновых и гранатовых гранитов среди биотитовых и двуслюдяных. Интрузии имеют форму куполов с извилистыми, в целом полого погружающимися контактами, осложненными многочисленными апофизами во вмещающие породы. Для гранитов и пегматитов орловского комплекса сделаны несколько определений радиологического возраста калий-аргоновым методом, подтвердивших их кембрийский возраст [91].

НИЖНИЙ МЕЛ (?)

Троицкий комплекс габбро-сиенит-гранитовый объединяет ряд интрузий разного размера и различного состава: от габбро до гранитов, приуроченных преимущественно к меридиональной зоне Среднеханкайского разлома. Интрузии прорывают метаморфические комплексы рифея, кембрия (?), вулканиты перми и перекрываются галечниками устьсуйфунской свиты. В районе исследований выделы две фазы внедрения: первая фаза – сиениты ($\xi_1 K_1$?t), вторая фаза – биотитовые и аляскитовые граниты ($\gamma_2 K_1$?t).

1.2.4. Метаморфизм

В комплексах пород, слагающих Матвеевско-Нахимовский и Кабаргинский террейны, установлено два этапа метаморфизма. Возраст первого, раннего, этапа регионального метаморфизма низкоградиентного широкозонального типа в условиях от эпидот-амфиболитовой до амфиболитовой фаций составил около 730 млн. лет [69]. Поздний этап метаморфизма от зеленосланцевой до начальных стадий гранулитовой фаций связан с коллизионными событиями на рубеже кембрия и ордовика [70]. В наибольшей степени метаморфизованы породы иманской и уссурийской серий – от амфиболитовой фации до начальной стадии гранулитовой, соответствующие биотит-силлиманит-ортоклазовой И гранаткордиерит-ортоклазовой температурным ступеням [58]. Методом фазового соответствия температура метаморфизма пород амфиболитовой фации была определена в диапазоне 595-645 °C при общем давлении 3-4 кбар [105]. Кроме того, характерной чертой обеих серий является повсеместное проявление процессов ультраметаморфизма и гранитизации. Метаморфизм пород лесозаводской серии более низкотемпературный – от эпидот-амфиболитовой до зеленосланцевой фации. Терригенные породы орловской серии метаморфизованы в условиях зеленосланцевой фации.

1.2.5. Полезные ископаемые

Район исследований охватывает северную часть Ханкайской минерагенической зоны. В его пределах известны месторождения железа, марганца, графита, лития, строительных материалов и рудопроявления редких земель, тория, урана, силлиманита и др. [91].

Железо, марганец. Все месторождения железных руд приурочены к метаморфизованным карбонатно-терригенным породам орловской серии, слагающим верхнюю часть разреза Кабаргинского террейна [66]. Они объединены в Уссурийский железорудный район и относятся к одному геолого-промышленному типу железистых кварцитов. Рудные тела представлены пластовыми залежами, согласными с напластованием вмещающих пород.

Основной объем кондиционных железных руд сосредоточен в породах рудоносной свиты. Общая мощность рудного горизонта колеблется от 7-10 м до 200 м. В основании горизонта почти на всех месторождениях установлены силикатно-карбонатно-марганцевые руды. Рудные минералы на месторождениях представлены магнетитом, гематитом, лимонитом, мартитом, мушкетовитом, спессартином, родонитом, бустамитом и родохрозитом.

Графит. В пределах рассматриваемой территории по результатам геологической разведки выделено два графитоносных узла: Тамгинский, площадью 640 км² и Тургеневский (200), включающие 2 месторождения (Тамгинское и Тургеневское) и многочисленные рудопроявления [66].

Тамгинское месторождение приурочено к отложениям матвеевской свиты иманской серии (рис. 1.2.2). Месторождение состоит из серии разобщенных пластообразных, линзовидных тел, имеющих длину от 100 до 300 м и мощность в диапазоне от первых метров до 50 м. Рудные тела характеризуются неоднородным минеральным составом и сложены скаполит-графитовыми, биотиткарбонат-графитовыми и биотит-графитовыми кристаллосланцами и гнейсами с содержанием графита 6-12%, а в отдельных сечениях до 30%. Он слагает тонкие крупные (0.5-2 мм) чешуи, концентрируясь по плоскостям сланцеватости. Рудные тела содержат послойные инъекции гранитоидов. Запасы графита в Тамгинском месторождении оценены по категориям (тыс. т): A – 137, B – 180, C₁ – 432, C₂ – 292. *Тургеневское месторождение* (рис. 1.2.2) расположено на периферии Матвеевского метаморфического купола. Всего на месторождении разведано две залежи (№1 и №2), прослеженных на 850 и 775 м соответственно, при мощности 8-37 м. Графит в рудах месторождения мелкочешуйчатый (0.01-0.1 мм). Также присутствует очень много графитовой «сыпи» с размером частиц менее 0.01 мм. Общие балансовые запасы руд составляют по категориям (млн. т): $B+C_1 - 0.4$, $C_2 - 3.9$.

Литий. На площади выявлено Тургеневское месторождение лития, а также несколько пунктов минерализации, относящихся к формации комплексных ред-кометальных пегматитов [91].

Тургеневское литиевое месторождение приурочено к области распространения пород митрофановской свиты лесозаводской серии. Рудные тела представлены жилами пегматитов, относимые к орловскому комплексу. Всего на месторождении выявлено 9 пегматитовых жил, из которых лишь наиболее крупные – Именинница и Восточная, – изучены на глубину. Вещественный состав жил: клевеландит -40%, кварц – 30%, лепидолит – 26%, сподумен – 2%, розовый и черный турмалин – 2%. Как примеси присутствуют берилл, поллуцит, микролит, танталит, колумбит, касситерит и др. Суммарные запасы по категории C_2 в обеих жилах до глубины 150 и 100 м. составляют Li₂O, Cs₂O и Rb₂O соответственно 4813 т, 737 т и 690 т; Ta₂O₅ и Nb₂O₅ соответственно 37 т и 39 т. Месторождение по суммарным запасом всех компонентов относится к группе малых и практического значения в настоящий момент не имеет.

Редкие земли. Многочисленные проявления и пункты редкоземельной минерализации приурочены к среднерифейским метаморфическим комплексам иманской и уссурийской серий. Они связаны с жилами пегматитов, пегматоидных и аляскитовых гранитов, неосомой мигматитов, зонами дробления очковых гнейсов, скарнами, а также аллювиальными отложениями [91]. Главным рудным минералом является алланит. Редкоземельная минерализация сопровождается радиоактивными аномалиями различной интенсивности.



Рис.1.2.2. Расположение месторождений и рудопроявлений графита в метаморфических комплексах Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов (по [91] с изменениями).

ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ГРАФИТСОДЕРЖАЩИХ ПОРОД

Изучение вещественного состава метаморфических пород Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов проводилось с использованием комплекса физико-химических методов анализа, как традиционных, так и современных. Точки отбора проб приведены на рис.2.1 и в табл. 2.1.

Таблица 2.1

№ пп	Обр. АР	Характеристика материала	Стратиграфическое под- разделение
1*	1(1)	салит-кальцитовый кальцифир	тургеневская свита
2	1(2)	салит-кальцитовый кальцифир	тургеневская свита
3	1(3)	биотит-роговообманково-плагиоклазовый гнейс	тургеневская свита
4	2	серицит-графитовый сланец	митрофановская свита
5	3	серицит-графитовый сланец	митрофановская свита
6	8	кордиеритовый графит-глинистый сланец	митрофановская свита
7	9	кварц-серицитовый сланец	митрофановская свита
8	11/1	биотитовый гнейс	тургеневская свита
9	9 12 биотитовый гнейс		тургеневская свита
10	10 13 гранат-биотит-кварцевый кристаллосланец		тургеневская свита
12	12 15/4а кальцитовый мрамор		тургеневская свита
13	15/11	кальцитовый мрамор	тургеневская свита
14	14 18/1 графит-биотит-плагиоклазовый гнейс		тургеневская свита
15	15 19 графитистый кристаллосланец		матвеевская свита
16	20	графитистый кристаллосланец	матвеевская свита
17	22/3	графитизированный кальцифир	матвеевская свита
18	22/4	графитизированный кристаллосланец	матвеевская свита
19	24	графитистый кристаллосланец	матвеевская свита
20	25/2	графитистый кристаллосланец	матвеевская свита
21	26/1	биотитовый гнейс	матвеевская свита
22	26/2	биотит-гранатовый гнейс	матвеевская свита
23	3 27 графит-кварц-серицитовый сланец		спасская свита

Каталог отобранных образцов метаморфических пород Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов

№ пп	Обр. АР	Характеристика материала	Стратиграфическое под- разделение
23	27	графит-кварц-серицитовый сланец	спасская свита
24	28/1	графитовый сланец	митрофановская свита
25	31/1	графит-кварц-серицитовый сланец	митрофановская свита
26	31/3	графит-кварц-серицитовый сланец	митрофановская свита
27	32	графит-серицит-кварцевый сланец	митрофановская свита
28	34	графит-серицит-кварцевый сланец	митрофановская свита
29	35/1A	графит-серицит-кварцевый сланец	митрофановская свита
30	35/1B	графит-серицит-кварцевый сланец	митрофановская свита
31	35/2	графит-кварцевый сланец	митрофановская свита
32	35/3	графит-кварцевый сланец	митрофановская свита
33	35/4	графит-гранатовый скарн	митрофановская свита
34	35/5	графит-серецит-кварцевый сланец	митрофановская свита
35	35 36 хлорит-кварцевый сланец		рудоносная свита
36	36/1	гранатовый скарн	рудоносная свита
37	36/2 альбит- кварц- актинолитовый сланец		рудоносная свита
38	38 36/2А альбит-кварц-актинолитовый сланец		рудоносная свита
39	36/3	родонит-браунитовая руда	рудоносная свита
40	36/4	магнетитовый кварцит	рудоносная свита
41	37/1-1	обохренный кварцит	кабаргинская свита
42	37/1-2	салит-кальцитовый скарн	кабаргинская свита
43	38	графит-кварц-серицитовый сланец	кабаргинская свита
44	38/8	графит-кварц-серицитовый сланец	кабаргинская свита
45	39	графит-кварц-серицитовый сланец	кабаргинская свита
46	40	графит-кварц-серицитовый сланец	кабаргинская свита
47	40/A	кварц-хлоритовый сланец	кабаргинская свита
48	48 40/1 графит-кварц-серицитовый сланец		кабаргинская свита
49	9 40/2 графит-кварц-хлоритовый сланец		кабаргинская свита
50	40/3	графит-кварц-серицитовый сланец	кабаргинская свита
51	51 40/4 графит-глинистый сланец		кабаргинская свита
52	40/5	глинистый сланец	кабаргинская свита
53	40/5A	Графит-биотит-кварцевый сланец	кабаргинская свита
54	41	графит-глинистый сланец	кабаргинская свита
55	41/A	графит-глинистый сланец	кабаргинская свита



Рис. 2.1. Расположение точек отбора проб на упрощенной геологической карте Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов (по [91] с изменениями).

2.1 Петрогенные элементы

Анализ петрогенных элементов в породах с помощью рентгеновской флуоресценции проводился в лаборатории рентгеновских методов АЦ ДВГИ ДВО РАН (зав. лаб. к.г.-м.н. А.А. Карабцов; аналитик к.г.-м.н. Е.А. Ноздрачев) на сканирующем спектрометре S4 Pioneer (Bruker AXS, Германия). Управление работой спектрометра, обработка результатов измерений осуществлялось посредством современного программного обеспечения – программного пакета SpectraPlus.

Определение концентраций петрогенных элементов на сканирующем рентгеновском спектрометре осуществлялось в плавленых дисках. Диски диаметром 40 мм получали на автоматической плавильной установке Katanax K2 (Katanax inc., Kaнaдa) путем сплавления в тигле 1 грамма прокаленного вещества образца и 8 грамм флюса. Предварительное прокаливание образцов проводилось в муфельной печи при температуре 950°C в течение 2 часов. Потери при прокаливании (п.п.п.) определены гравиметрическим методом по потере веса при температуре 950°C. Нижние пределы определения концентраций петрогенных элементов составили (мас.%): SiO₂, Al₂O₃ (0.2); TiO₂, P₂O₅, MnO (0.01); Fe₂O₃ (0.1); MgO, CaO, Na₂O (0.04); K₂O (0.02). Точность рентгенофлуоресцентных определений большинства элементов контролировалась по анализам стандартных образцов (ДВА, ДВБ, ДВД, ДВТ, ДВГ, ДВМ) и удовлетворяет требованиям, предъявляемым геологической службой (МПР РФ) к анализам рядовых проб, согласно OCT-41-08-212-04.

2.2 Микроэлементы

Измерения содержаний 24 микроэлементов (Be, Sc, Ga, Ni, Co, Cu, Rb, Cs, Sr, Cd, Y, La, Ce, Zr, Nb, Ba, Hf, V, Ta, W, Th, U и др.) для большинства отобранных образцов пород проводилось методом ИСП-МС на масс-спектрометре Agilent 7500c (Agilent Technologies, США) в лаборатории аналитической химии АЦ ДВГИ ДВО РАН (зав. лаб. д.г.-м.н. Г.М. Вовна, аналитики к.б.н. М.Г. Блохин и Д.С. Остапенко). Обработка масс-спектров и расчеты содержания элементов в исследуемых образцах выполнялось с использованием программного обеспечения

ChimStation и MassHunter. Часть проб анализировалась на высокочувствительном масс-спектрометре Element 2 (ThermoFinnigan, Германия) в лаборатории геохимии изотопов АЦ ИГХ СО РАН, г. Иркутск.

Пробоподготовка осуществлялась по стандартной методике: пробы (в виде пудры) весом около 100 мг разлагались сплавлением с метаборатом лития при температуре 1000°С с последующим растворением в 5% азотной кислоте с коэффициентом разбавления исходной пробы равным 6250. В качестве эталона использовались международные стандарты BHVO-1, BCR-1. Точность анализа составляла от 8 до 20% (для низких – на уровне предела обнаружения содержаний).

2.3 Благородные металлы

Ранее, определения содержаний благородных металлов в графитизированных метаморфических породах Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов были выполнены методом классического пробирно-гравиметрического анализа (табл. 2.3.1).

Таблица 2.3.1

№ пробы АР…	Au	Pt	Pd
22/4	0,60	0,01	0,05
34	0,26	0,01	0,02

Результаты определения содержания благородных металлов в породах матвеевской и митрофановской свит методом пробирного анализа, г/т

Примечание: анализы выполнены в лаборатории микро- и наноисследований АЦ ДВГИ ДВО РАН. Аналитики А.С. Букатин и С.Ф. Васюкевич. Данные предоставлены З.Г. Бадрединовым.

22/4 – графитизированный кристаллосланец; 34 – графит-серицит-кварцевый сланец.

Полученные этим методом низкие содержания БМ в высокоуглеродистых породах объясняются большими потерями летучих углеродистых комплексов металлов при сжигании проб [63].

Позднее, использование других физико-химических методов: нейтронноактивационного анализа (НАА), атомно-эмиссионной спектроскопии (АЭС), массспектрометрии с индуктивно связанной плазмой (МС-ИСП), масс-спектрометрии тлеющего разряда (МС-ТР), атомно-абсорбционной спектрометрии (ААС), –, позволило установить в графитизированных породах существенно более высокие содержания платины и золота [7, 108]. Несколько раньше эти методы были успешно использованы при анализе БМ в слабометаморфизованных черносланцевых породах [48, 145].

В работе при определении содержаний элементов платиновой группы (ЭПГ), золота и серебра в графитизированных метаморфических породах Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов использовался метод атомноабсорбционной спектрометрии с электротермической атомизацией (ААС ЭТА) [87]. Высокая чувствительность ААС ЭТА обеспечивает определение ЭПГ на уровне 10⁻⁶ % массы и требует пробоподготовку, аналогичную используемой для АЭС.

При атомно-абсорбционном определении Au, Pt и Pd в потенциально рудоносных породах Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов использовались две методики предварительного концентрирования данных элементов. Первая методика (HCAM-404-C): пробы последовательно разлагали смесями концентрированных кислот (в соотношениях) HF+HNO₃ (2:1) \rightarrow HCl+HNO₃ (3:1) \rightarrow HCl. Нерастворимый осадок графита отфильтровывали, растворяли в HClO₄, растворы объединяли и переводили в 2*N*HCl. Затем БМ экстрагировали в алкиланилин и определяли методом AAC ЭТА на спектрофотометре Shimadzu AA-6800. Вторая методика (ЦНИГРИ-2005), реже используемая в данной работе, отличалась окончанием разложения проб, когда нерастворимый осадок спекали с Na₂O₂, растворяли, после чего растворы объединяли и осаждали на теллур. Для определения серебра пробы последовательно разлагали смесью концентрированных кислот HCl+HNO₃ (3:1) \rightarrow HCl по методике (HCAM-404-C).

Определение содержания БМ осуществляли на атомно-абсорбционном спектрофотометре Hitachi (табл. 2.4). Данные, приведенные в таблице 2.4, отражают ощутимое влияние метода пробоподготовки на полученные результаты. Для более полного разложения образца, включая "упорную" углеродистую его часть, тонко перетертую пробу предварительно обжигали при температуре 600°C и обрабатывали смесью HCl, HF и HNO₃. Полученный раствор фильтровали, а нерастворимый осадок графита разлагали в концентрированных HNO_3 и $HClO_4$; затем растворы объединяли. После подготовки растворов Au экстрагировали в диоктилсульфид, а Pt и Pd в алкиланилин. Анализ выполняли методом AAC-ЭTA на спектрофотометре Shimadzu AA-6800. Чувствительность в этом случае составляла (г/т): Au – 0.0022, Pt – 0.0069, Pd – 0.00035 и точность (% отн): Au – 25, Pt – 15, Pd – 30.

В одних и тех же пробах при подготовке тем и другим методами и при низких содержаниях БМ обнаружили незначительное расхождение результатов анализа. При максимальных же их концентрациях (см. обр. AP-1(1), AP-36/2 в табл. 2.3.2), измеренных по методике 2, отмечено увеличение содержания Pt. Это вызвано высокой чувствительностью прибора, требующей многократного предварительного разбавления при взятии аликвот. Методика ЦНИГРИ-2005 требует меньшего расхода концентрированных кислот и позволяет заменить органические сорбенты теллуром и, возможно, более экологична.

При анализе БМ в графитизированных породах также следует отметить несколько моментов, которые следовало учитывать: в ходе кислотной и термической обработки проб при переводе их в раствор для химического анализа происходили потери БМ, связанные с выделением карбонильных и карбоксильных соединений золота и платины [63]. Неоднородность распределения БМ и углеродистого вещества в образцах не позволяют получать воспроизводимые результаты в параллельных пробах. И это обстоятельство не зависит от того физическими или химическими методами эти результаты получены, что неоднократно отмечали многие исследователи [48, 113 и др.]. По-прежнему злободневен вопрос существования в рассматриваемых породах органометаллических или металлорганических соединений. Ответ на него интересен не только с научной точки зрения, но и необходим для оптимизации процессов извлечения БМ из руд и пород.

Таблица 2.3.2

Результаты определения содержаний благородных металлов в породах Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов методом атомно-абсорбционной спектрометрии, г/т

№ пробы	Au		Pt		Pd	
AP	1*	2*	1	2	1	2
1(1)	0,85	0,28	51,80	65,37	1,84	1,82
1(2)	0,11	0,13	14,30	11,45	0,63	1,16
22/4	0,08	0,13	11,20	11,33	0,63	0,60
15/4A	0,06	0,13	1,25	1,49	0,39	0,29
15/11	0,10	0,25	0,52	1,14	0,52	0,27
35/5	0,16	0,20	2,91	3,12	0,56	0,50
36/2	0,17	0,14	96,12	122,05	0,92	1,36
36/4	0,07	0,20	1,35	0,55	0,16	0,38
Стандарты (в скобках значение по паспорту)						
РД-1	0,62 (0,54)	0,45 (0,54)	0,42 (0,45)	0,49 (0,45)	0,45 (0,56)	0,59 (0,56)
XO-1			0,37 (0,43)		0,77 (0,84)	
6585	0,26 (0,29)					
РК-2		4,42 (4,78)		4,02 (4,75)		4,59 (4,78)
ШТ-1		1,72 (1,62)		15,38 (16,60)		56,16 (51,50)
ФШТ-30		2,41 (2,80)		13,94 (19,00)		97,18 (101,00)

Примечание: анализы выполнены в лаборатории микро- и наноисследований АЦ ДВГИ ДВО РАН на спектрофотометре Shimadzu AA-6800. Химическое разложение проб по методике HCAM-404-С – Ж.А. Щека. Замеры на приборе – Л.М. Симо-конь.

1(1), 1(2) – графитизированный кальцифир; 22/4 – графитизированный кристаллосланец; 15/4А, 15/11 – кальцитовый мрамор; 35/5 – графит-кварцевый сланец; 36/2 – метадиабазовый сланец; 36/4 – магнетитовый кварцит.

1* – методика HCAM-404-С;

2* – методика ЦНИГРИ-2005;
Состав минералов БМ и их морфология определись методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на приборах EVO-50 XVP и JSM-6490 LV, оснащенных энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 350 (лаборатория микро- и наноисследований АЦ ДВГИ ДВО РАН).

Необходимо отметить, что обнаружение минеральных фаз, содержащих благородные металлы, в графитсодержащих породах весьма затруднено. При изготовлении аншлифов мягкий графит растирается по поверхности, а при полировке более твердые мелкие зерна с БМ выкрашиваются. Мы готовили препараты на свежем сколе образца без предварительной полировки и в виде порошка. Это позволяло уверенно определять в углеродистой матрице выделения благородных металлов.

Таким образом, ультрамелкие размеры благородных металлов, трудности разложения матрицы вмещающих пород сужают круг методов, пригодных для определения и анализа благородных металлов в графитсодержащих породах.

2.4 Углерод

Специфическая ассоциация благородных металлов с графитом, столь характерная для метаморфических комплексов Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов, потребовала более детального изучения углеродистого вещества.

Самородный углерод (NC) в пробах определялся методом инфракрасной спектрометрии (ИКС) на анализаторе общего углерода Shimadzu TOC-V_{CPN} в лаборатории аналитической химии АЦ ДВГИ ДВО РАН (зав. лаб. д.г.-м.н. Г.М. Вовна, аналитик М.В. Безроднова), оборудованном приставкой для анализа твердых образцов SSM-5000A. В ходе анализа проба (в виде пудры) разделялась на две навески, приблизительно по 100 мг каждая. Первая навеска использовалась для определения в пробе *общего углерода* (TC). Для этого проба сжигалась в приставке SSM-5000A при 980°С, и весь углерод, находящийся в пробе, переходил в CO₂, концентрация которого учитывалась на ИК-детекторе анализатора Shimadzu TOC-V_{CPN}. При наличии «размытых» пиков, вследствие присутствия в пробе трудноразлагаемых карбонатов, в пробу добавлялся моди-

37

фикатор V₂O₅. Для определения *неорганического углерода* (IC) ко второй навеске добавлялась концентрированная фосфорная кислота (1 мл) и карбонатный углерод переходил в CO₂, который также регистрировался на ИКдетекторе. Содержание самородного углерода рассчитывалось по формуле NC=TC-IC. Правильность определения контролировалась при помощи анализа сертифицированного стандартного образца состава черного сланца СЧС-1, с аттестованным содержанием органического и неорганического углерода.

Графит, с целью определения параметров элементарной ячейки, был изучен методом порошковой дифрактометрии на приборе Shimadzu XRD-6000 (медное излучение в диапазоне 22<0<133°). Образцы были сняты без специального разориентирования. Параметры элементарной ячейки рассчитаны по всем проявленным пикам графита с помощью программы Unit Cell. Съемка и анализ результатов выполнены в НЦ ИГ Коми Уро РАН (аналитик Б.А. Макеев).

Более полное представление о разнообразии структурных состояний УВ было получено с помощью рамановской спектроскопии и термогравиметрии. Рамановская спектроскопия выполнена в лаборатории минералогии алмаза НЦ ИГ Коми УрО РАН на высокоразрешающем рамановском спектрометре HR800 (Horiba Jobin Yvon, аналитик к.г.-м.н. С.И. Исаенко). Анализ проводился на отдельных частицах графита, в случае чешуйчатого графита, преимущественно ориентированных (002)_{гр} перпендикулярно лазерному лучу, в сростках с породообразующими минералами, свежих сколах крупных графитовых частиц, а также в гранат-биотит-графитовом гнейсе. Несколько спектров "in situ" получено в полированном прозрачном шлифе. В качестве возбуждающего излучения использован Ar⁺ лазер с длиной волны 514 нм. Рамановские спектры получены при комнатной температуре с использованием решетки спектрометра 600 щ/мм при объективах ×50 и ×100. Мощность лазерного излучения при съемке подбиралась с учетом изменяемости вещества под лазерным пучком, преимущественно использовалась мощность лазера не более 12 мВт, при которой видимого изменения поверхности образца не наблюдалось и спектры при накоплении сигнала практически не менялись в ходе облучения. В присутствии би*тумообразного вещества*, иногда, в анализируемых участках допускалось некоторое снижение фона, при котором положение рамановских полос оставалось неизменным. Спектры получены в диапазоне от 100 до 4000 см⁻¹, который позволяет оценить все известные углеродные фазы и их структурное состояние, включая область второго порядка. Локальность анализа – около 1 мкм², спектральное разрешение – 1 см⁻¹. Математическая обработка спектров выполнена с помощью программы Lab Spec 5.36 и функций Гаусса-Лоренца. Выбор точек для анализа обособленных графитовых частиц производился в отраженном свете, что также позволило проследить особенности взаимоотношений разновидностей углеродистого вещества. При анализе графита в полированном шлифе фокусирование точки анализа выполнено в проходящем вглубь шлифа свете. Размер кристаллитов мелкозернистого графита был рассчитан по формуле $L_a=4.4 \times I_d/I_D$ [162]; при расчетах использованы интегральные интенсивности соответствующих полос. Величина L_a чешуйчатого графита оценена по ШПВ [136; 164].

Термогравиметрический анализ выполнялся на дериватографе Shimadzu Q-1500D (НЦ ИГ Коми УРО РАН, аналитик Г.Н. Модянова) для неразбавленных измельченных фракций.

ГЛАВА 3. МИНЕРАЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ ГРАФИТОНОСНЫХ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ МАТВЕЕВСКО-НАХИМОВСКОГО И КАБАРГИНСКОГО ТЕРРЕЙНОВ

3.1 Краткое описание минерального состава изученных пород

Графит в Матвеевско-Нахимовском и Кабаргинском террейнах встречается в породах разного состава и генезиса [101]. Из метаморфических образований наиболее обогащены графитом породы матвеевской, тургеневской и митрофановской свит, представленных, в основном, различными гранито-гнейсами, гнейсами, кристаллосланцами, сланцами и мраморами.

Биотитовые гранито-гнейсы состоят из крупных (до 10 мм) порфиробластов микроклина с двойниковой решеткой (30-35 об.%), кварца с мозаичным угасанием (30-35 об.%), плагиоклаза – An₁₂, нередко катаклазированного (около 20 об.%), крупночешуйчатого биотита (5-15 об.%), графита (до 15 об.%) и акцессорных апатита, циркона и магнетита. Структура основной массы очковых гнейсов гетерогранобластовая.

Лейкократовые гранито-гнейсы занимают значительную площадь восточнее с. Тамга и с. Ружино и с ними связана основная масса месторождений графита Тамгинского типа [101]. Нередко они переходят в *графитовые гнейсы* с высоким (до 37 об.%) содержанием углерода. Наибольшее развитие в них получают порфиробласты микроклина (до 55 об.%), образующие неправильные округлые формы. В отличие от свежего микроклина, плагиоклаз сильно пелитизирован и отвечает, приблизительно, альбиту-олигоклазу. Кварц равномерно распределен в породе, катаклазирован и содержание его не превышает 30 об.%. Биотит распределен неравномерно, количество его варьирует (1-5 об.%), нередко замещаясь мелкочешуйчатым мусковитом. Отмечены, также, биотитовые прожилки, которые секут и окаймляют выделения графита в виде прожилков и линзовидных скоплений (рис.3.1.1). Акцессорные минералы представлены цирконом, титаномагнетитом, рутилом и сфеном.



Рис. 3.1.1. Выделения графита в лейкократовом гранито-гнейсе. Петрографический шлиф. Ув. 2,5Х. Николи ||.

У контактов с мраморами в гранито-гнейсах появляются тонкие кальцитовые прожилки и единичные округлые порфиробласты граната с включениями сфена, кварца, цоизита и кальцита.

Кристаллические сланцы, переслаивающиеся с мраморами, сложены в основном темноцветными минералами, в числе которых преобладает биотит (до 40 об.%) с постоянной примесью Ti, Mn, Ba и Cl. C ним ассоциирует гранат состава (мол. %): альмандин – 76, пироп - 14, спессартин – 5 и гроссуляр – 5. Салические минералы представлены олигоклазом (An₂₈₋₃₀), слагающим центральные зоны ксеноморфных и субтаблитчатых кристаллов; состав их краевых зон соответствует альбит-олигоклазу. Из полевых шпатов присутствует также ортоклаз состава (Na_{0.12}K_{0.88}) [Al₁Si₃O₈]. Графит (не более 3-5 об.%) присутствует в виде дисперсных, равномерно распределенных чешуек, ориентированных по сланцеватости.

Мрамора, преимущественно кальцитового состава, слагают линзовидные тела различной мощности (от 10 до 75 м). Зоны скарнирования у контактов мраморов с гранито-гнейсами состоят из варьирующих количеств кальцита, диопсида, скаполита, цоизита, плагиоклаза и калиевого полевого шпата. По мере удаления от гранито-гнейсов скарны переходят в *кальцифиры* салит-кальцитового состава (рис. 3.1.2) и затем сменяются мраморами.



200 мкм

Рис. 3.1.2. Графитизированный кальцифир. Образец АР-1(1). Изображение получено в обратно-отраженных электронах на электронно-зондовом микроанализаторе JXA 8100, аналитик Н.В. Екимова.

Во всех этих породах постоянно отмечается графит в виде прожилков и тонкодисперсных выделений (рис.3.1.2), количество которого уменьшается по мере удаления от контактов с гранито-гнейсами.

Породы митрофановской свиты, представленные тонкокристаллическими *графит-серицит-кварцевыми сланцами*, нередко сохраняют слоистую текстуру (рис. 3.1.3). Им свойственно переменное содержание графита (от единиц до 12 мас. %) и остальных минералов. Распределение тонкочешуйчатого (менее 0,1 мм) графита подчеркивает слоистую текстуру сланцев, для которых характерно развитие секущих и послойных кварцевых прожилков. Сланцы отличаются высоким содержанием кремнезема (до 81.26 масс.%); сложены преимущественно кварцем и тонкодисперсным графитом с подчиненным количеством серицита, хлорита и полевых шпатов. Это позволило предположить в качестве их протолита морские кремнистые илы органогенного происхождения [108].



Рис. 3.1.3. Графит-серицит-кварцевый сланец. Образец АР-35/5. Петрографический шлиф, ув. 2,5Х, николи ||.

В гранитоидах графит обычно является акцессорным минералом, но вдоль контактов с вмещающими высокоуглеродистыми метаморфическими породами в них присутствует зона (мощность 0,1-1 см) с повышенным содержанием крупночешуйчатого графита (рис.3.1.4).



Рис. 3.1.4. Крупночешуйчатый графит по контакту гранитов и гнейсов. Образец А-9. Тургеневский карьер.

По данным В.П. Солоненко [101], графит в гранитах представлен двумя генерациями: графит первой генерации выкристаллизовывался ранее других породообразующих минералов, вследствие чего обнаруживается свободный рост или обрастание выделений графита кварцем, микроклином и плагиоклазом. Графит второй генерации отличается неправильной формой чешуй и агрегатов, приспосабливавшихся к трещинам и зернам породы.

3.2 Геохимическая характеристика изученных пород

По содержанию углерода изученные породы, слагающие Матвеевско-Нахимовский и Кабаргинский террейны, условно разделены на группы: высокоуглеродистые, углеродистые и слабоуглеродистые (табл. 3.2.1).

Таблица 3.2.1

Свита	Породы	Количество проб	С _{гр} , мас.%
Матвеевская	высокоуглеродистые	4	9,4
Тургеневская		5	3.5
Митрофановская	углеродистые	6	2.8
Рудоносная	слабоуглеродистые	2	0,1

Среднее содержание углерода в изученных графитизированных метаморфических породах Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов

Примечание: Анализы выполнены в лаборатории аналитической химии АЦ ДВГИ ДВО РАН методом ИК-спектрометрии на приборе ТОС-V. Аналитик М.Н. Безроднова.

Химические составы изученных метаморфических пород представлены в табл. 3.2.2-3.2.5.

Габлица .	3.2	2.	2
-----------	-----	----	---

Химический состав изученных метаморфических пород матвеевской и тургеневской свит, в мас.%

Сн	зита	№ пробы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P_2O_5	п.п.п.	Σ
		3063*	73,00	0,057	14,85	0,85	0,48	0,012	0,10	0,96	2,50	7,00	0,027	0,30	100,16
	евская	AP-24	52,56	0,6	10,62	3,34	0,85	0,04	3,05	0,89	0,71	1,26	0,28	23,97	99,51
	Матве	AP-22/3	62,41	0,62	11,00	1,96	-	0,01	1,96	0,27	0,51	5,47	0,05	15,37	99,62
		AP-22/4	31,79	0,31	7,9	1,63	1,67	0,11	0,51	33,95	0,33	0,16	0,29	20,92	99,78
		1132-6*	69,67	0,36	13,46	0,56	4,96	0,013	0,56	1,86	3,63	4,88	0,12	0,29	100,36
	евская	1132-8*	72,88	0,01	14,76	0,62	0,53	0,014	0,24	1,28	2,89	6,17	0,063	0,48	99,93
	Турген	AP-1(1)	35,04	0,45	4,27	0,31	2,82	0,16	0,49	30,74	0,33	0,14	0,31	24,15	99,56
		AP-1(2)	56,58	0,61	14,43	1,68	2,1	0,06	1,75	7,69	1,36	2,6	0,4	10,2	99,58

Примечание: Анализы выполнены в лаборатории минералогии ДВГИ ДВО РАН методом «мокрой химии». Аналитик – Ж.А. Щека.

* – данные заимствованы из [92].

«-» – не определялось

3063, 1132-8 – лейкократовый гранито-гнейс, 1132-6 – биотитовый гранито-гнейс, AP-1(1), AP-22/4 – графитизированный кальцифир, AP-1(2) – графит-биотитовый гнейс, AP-22/3, AP-24 – биотит-графитовый гнейс.

	Таблица	3.2.3
--	---------	-------

T 7 U	1			1	~	~	v	0/
Химицеский состав	метаморфицеских	W3VUEUULIX	пород мит	nomanoperou	карарги	Jerou u nv	поносной свит	B Mac Va
A MINING CONTROL COULD	meramopum	I H S Y ICIIIIDIA	пород ми	powalloberton.	, Kaoapi m	ICKOM M Dy	donochon com,	\mathbf{D} matrix 10
	1 1	2	1 ' '	I I /	′ 1	1,2	, , , , , , , , , , , , , , , , , , , ,	

Свита	№ пробы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁻	п.п.п.	Σ
Кая	AP-34	80,57	0,6	10,05	0,04	0,2	сл	сл	0,22	0,42	3,17	0,06	0,1	4,14	99,57
фановс	AP-35/3	81,30	0,43	7,96	1,69	0,46	0,01	0,36	0,17	0,20	2,05	0,09	0,25	4,71	99,68
Митро	AP-35/4	91,90	0,14	2,66	0,12	0,46	0,08	0,48	0,17	0,12	0,85	0,02	0,21	2,51	99,63
	AP-36	79,17	0,57	8,67	3,66	1,15	0,09	0,3	0,12	1,39	0,85	0,14	0,47	2,93	99,51
осная	AP-36/2	67,2	0,37	7,62	4,02	5,54	0,29	6,9	4,02	0,38	1,08	0,42	0,22	1,51	99,57
Рудон	AP-36/4	79,81	0,16	1,05	10,53	4,38	1,27	0,45	0,75	0,16	0,65	0,34	сл	сл	99,55
	ОРК-8	62,52	0,84	16,19	3,97	1,22	0,09	2,69	1,45	0,53	3,72	0,21	0,57	5,67	99,67

Примечание: Анализы выполнены в лаборатории минералогии ДВГИ ДВО РАН методом «мокрой химии». Аналитик – Ж.А. Щека. AP-34, AP-35/3, AP-35/4 – графит-серицит-кварцевый сланец, AP-36 – графит-хлорит-кварцевый сланец, AP-36/2 – альбит-кварцактинолитовый сланец, AP-36/4 – магнетитовый кварцит, OPK-8 – филлит. сл – следы.

Микроэлементный сос	тав изученных м	метаморфических	пород ма	атвеевской и	н митрофа-
	новс	ской свит, в г/т			

Компо-	Матве	евская		Митрофа	ановская	
нент	AP-22/4	AP-24	AP-34	AP-35/3	AP-35/4	AP-35/5
V	552,5	1111	179,5	134,3	54,9	83,6
Cr	100,6	175,2	55,1	42,6	7,8	19,4
Со	<0,5	5,2	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Ni	55,3	40,0	1,1	0,9	0,9	0,1
Cu	16,6	22,9	14,0	27,2	6,4	20,0
Zn	227,1	106,1	18,3	11,0	4,9	11,8
Ga	13,6	17,0	10,6	12,5	3,3	5,3
Ge	0,7	1,5	1,6	1,5	1,2	0,9
Rb	146,1	81,1	95,1	72,8	24,5	33,9
Sr	53,4	70,4	26,2	42,3	10,2	14,7
Y	27,8	15,9	25,9	39,6	14,0	26,0
Zr	117,8	130,2	108,8	131,9	47,5	65,9
Nb	9,4	16,6	8,6	13,8	3,3	6,0
Ba	836,9	432,1	881,2	2508	708,9	1164
La	16,8	23,9	21,2	25,7	6,3	10,3
Ce	35,2	57,0	42,9	36,7	12,9	19,1
Pr	5,2	6,8	5,4	5,4	1,5	2,6
Nd	21,4	27,8	22,7	21,0	7,1	11,8
Sm	4,8	5,6	5,2	4,4	1,6	3,4
Eu	1,6	1,0	1,1	0,9	0,3	0,8
Gd	5,6	5,3	5,6	5,9	2,3	4,1
Tb	0,9	0,7	1,8	0,9	0,7	1,0
Dy	5,0	4,0	5,8	6,1	2,5	5,0
Но	1,0	0,7	1,2	1,5	0,7	1,1
Er	3,2	2,0	3,3	4,7	1,7	3,3
Tm	0,4	0,3	0,5	0,6	0,2	0,5
Yb	2,6	1,9	3,2	4,3	1,6	2,6
Lu	0,4	0,2	0,5	0,6	0,3	0,4
Hf	3,6	4,0	3,7	3,4	1,2	1,9
Та	0,5	1,0	0,7	0,9	0,1	0,3
W	7,2	0,9	1,2	1,3	0,2	0,6
Pb	107,4	10,4	23,0	27,9	5,4	12,9
Th	9,1	8,1	8,5	10,1	2,4	4,6
U	12,8	13,3	2,8	5,6	1,9	5,3

Примечание: анализы выполнены в Институте геохимии СО РАН методом МС-ИСП.

АР-22/4 – графитизированный кальцифир, АР-24 – биотит-графитовый гнейс, АР-34, АР-35/3, АР-35/4 – графит-серицит-кварцевый сланец.

Микроэлементный состав изученных	метаморфических	пород кабаргинской и ру	идонос-
H	ной свит, в г/т		

Компо-		Кабаргинская			Рудоносная	
нент	AP-40	AP-40/4	AP-41	AP-36	AP-36/2	AP-36/4
V	137,1	136,9	4414,4	105,9	52,2	21,5
Cr	93,1	97,8	229,0	122,9	65,6	12,8
Со	5,6	8,0	<0,5	23,3	10,0	78,9
Ni	14,3	22,1	34,3	70,5	24,1	62,5
Cu	20,1	16,3	2,9	53,9	15,9	1,3
Zn	50,9	55,2	18,6	68,1	41,5	9,0
Ga	12,1	9,7	13,8	14,9	6,7	1,5
Ge	2,0	1,4	1,2	2,8	1,6	1,1
Rb	144,0	115,9	144,6	108,8	50,5	11,4
Sr	103,3	207,5	80,7	137,3	92,8	43,7
Y	23,3	20,4	32,4	28,3	21,7	3,2
Zr	160,4	148,8	188,4	185,8	151,0	38,6
Nb	9,1	7,9	12,6	14,5	5,7	2,4
Ba	538,6	552,3	710,0	366,5	334,0	145,1
La	20,5	15,8	29,0	26,9	5,2	2,6
Ce	45,2	35,0	62,4	52,9	17,5	4,5
Pr	5,4	4,2	7,6	6,6	1,8	0,6
Nd	22,3	17,3	31,0	25,3	8,3	2,2
Sm	5,1	3,9	6,6	5,6	2,7	0,4
Eu	1,0	0,9	1,4	1,2	0,7	0,1
Gd	5,6	4,3	7,0	6,1	4,1	0,6
Tb	1,3	1,0	1,1	1,6	1,4	0,2
Dy	5,6	4,5	7,1	6,1	3,9	0,5
Но	1,2	1,0	1,6	1,3	1,0	0,1
Er	3,8	3,1	4,8	3,7	2,6	0,4
Tm	0,5	0,5	0,7	0,5	0,4	0,1
Yb	3,8	3,1	4,5	3,4	2,6	0,5
Lu	0,5	0,4	0,7	0,5	0,4	0,1
Hf	6,1	5,1	7,0	6,1	4,7	0,5
Та	0,7	0,5	1,0	1,2	0,2	0,02
W	1,3	0,5	5,2	2,9	0,6	1,9
Pb	14,0	10,1	19,8	12,3	6,5	2,8
Th	10,0	8,2	15,1	11,5	5,1	0,7
U	2,7	2,5	5,0	1,5	1,2	0,2

Примечание: анализы выполнены в Институте геохимии СО РАН методом МС-ИСП.

АР-36 – графит-хлорит-кварцевый сланец, АР-36/2 – альбит-кварц-актинолитовый сланец, АР-36/4 – магнетитовый кварцит, АР-40 – графит-кварц-серицитовый сланец, АР-41, АР-40/4, АР-41 - графит-глинистый сланец.

Фациальная типизация углеродистых пород

Для определения формационной принадлежности углеродистых пород Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов использовалась петрохимическая диаграмма A-S-C (рис.3.2.1). Параметры A = $(Al_2O_3 - (CaO + K_2O + Na_2O)) \times 1000$ и S = $(SiO_2 - (Al_2O_3 + Fe_2O_3 + FeO + CaO + MgO)) \times 1000$ выражены в молекулярных количествах, параметр C = (CaO + MgO) - в массовых долях оксидов.



Рис. 3.2.1. Систематика углеродистых пород Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов в координатах А-S и C-S.

Поля составов осадочных формаций [24]: І – карбонатно-углеродистой, ІІ – терригенно-углеродистой, ІІІ – кремнисто-углеродистой (вулканогенно-кремнисто-углеродистой).

Здесь и далее составы пород: 1 – матвеевской свиты, 2 – тургеневской свиты, 3 – митрофановской свиты, 4 – кабаргинской свиты, 5 – рудоносной свиты.

А – глиноземистость, S – кремнеземистость, С – карбонатность.

На данной диаграмме гнейсы и кристаллические сланцы матвеевской и тургеневской свит преимущественно попадают в поле кремнисто-углеродистой формации, а филлиты, сланцы и кварциты митрофановской, кабаргинской и рудоносной свит характеризуются широким разбросом точек по кремнеземистости (S) и карбонатности (С), тяготея к полям терригенно-углеродистой и кремнистоуглеродистой формаций.

Высокие отрицательные корреляционные зависимости между параметрами А-С и S-C (табл. 3.2.6-3.2.9) с 5% значимостью установлены для насыщенных углеродом пород матвеевской, тургеневской и митрофановской свит, в то время как для слабоуглеродистых пород рудоносной свиты значимых корреляций между параметрами A, S и C не выявлено.

Таблица 3.2.6

Корреляционная зависимость между параметрами A, S и C в породах матвеевской свиты

	А	S	С
А	1		
S	0,05	1	
С	-0,05	-0,93	1

Примечание: Размер выборки – 11 анализов. Здесь и далее светло-серым цветом выделены значимые корреляционные связи

Таблица 3.2.7

Корреляционная зависимость между параметрами A, S и C в породах тургеневской свиты

	А	S	С
А	1		
S	0,41	1	
С	-0,70	-0,92	1

Примечание: Размер выборки – 20 анализов.

Таблица 3.2.8

Корреляционная зависимость между параметрами A, S и C в породах митрофановской свиты

	А	S	С
А	1		
S	0,44	1	
С	-0,86	-0,84	1

Примечание: Размер выборки – 3 анализа

	А	S	С
А	1		
S	-0,11	1	
С	-0,42	0,06	1

Таблица 3.2.9 Корреляционная зависимость между параметрами А, S и C в породах рудоносной свиты

Примечание: Размер выборки – 8 анализов

Гнейсы и кристаллические сланцы матвеевской свиты характеризуются содержанием (в мас. %): SiO₂ – 62-74, Al₂O₃ – 13-15, Fe₂O₃ – 0.04-3.0, FeO – 0.5-5.0, MgO – 0.1-2.5, CaO – 0.9-4.0, Na₂O – 1.9-5.0, K₂O – 2.0-8.6. Анализ взаимосвязей оксидов петрогенных элементов (табл. 3.2.10) показал высокую отрицательную (для FeO, MgO, CaO), при слабой положительной (для Na₂O, K₂O), корреляции с SiO₂.

Таблица 3.2.10

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
SiO ₂	1							
Al ₂ O ₃	-0,20	1						
Fe ₂ O ₃	-0,59	-0,14	1					
FeO	-0,89	0,17	0,69	1				
MgO	-0,81	0,10	0,78	0,91	1			
CaO	-0,90	0,20	0,39	0,79	0,71	1		
Na ₂ O	0,50	-0,01	-0,25	-0,34	-0,50	-0,40	1	
K ₂ O	0,17	0,03	-0,54	-0,49	-0,34	-0,06	-0,48	1

Корреляционная зависимость между породообразующими оксидами в породах матвеевской свиты

Примечание: часть данных химического анализа пород заимствована из [91]. Размер выборки – 11 анализов. Сходные по степени метаморфизма гнейсы и кристаллосланцы тургеневской свиты имеют состав (в мас. %): SiO₂ – 57-74, Al₂O₃ – 12-18, Fe₂O₃ – 0.3-4.7, FeO – 0.4-8.9, MgO – 0.1-8.5, CaO – 0.5-15, Na₂O – 0.4-5.5, K₂O – 2.0-6.2. Выявлены средняя (для FeO, CaO) и высокая (для Fe₂O₃, MgO,) отрицательная, при слабой (для K₂O) и высокой (для Na₂O) положительной корреляции с SiO₂ (табл. 3.2.11). Кроме этого, наблюдается высокая отрицательная (для Na₂O) корреляция с Al₂O₃.

Таблица 3.2.11

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
SiO ₂	1							
Al ₂ O ₃	-0,53	1						
Fe ₂ O ₃	-0,83	0,36	1					
FeO	-0,67	0,50	0,37	1				
MgO	-0,83	0,36	0,84	0,51	1			
CaO	-0,67	0,16	0,41	0,21	0,32	1		
Na ₂ O	0,73	-0,75	-0,54	-0,42	-0,57	-0,47	1	
K ₂ O	0,32	0,00	-0,40	-0,42	-0,34	-0,11	-0,22	1

Корреляционная зависимость между породообразующими оксидами в породах тургеневской свиты

Примечание: часть использованных данных химического анализа пород заимствована из [91]. Возмот работии 20 анализор

Размер выборки – 20 анализов.

Химический состав графитистых сланцев митрофановской свиты варьирует в пределах (в мас. %): SiO₂ – 68-92, Al₂O₃ – 3-16, Fe₂O₃ – 0.1-2.3, FeO – 0.08-0.8, MgO – 0.05-0.9, CaO – 0.17-0.27, Na₂O – 0.06-0.25, K₂O – 0.8-4.2. Выявлены средняя (для Fe₂O₃) и высокая (для Al₂O₃, CaO, K₂O) отрицательная, при слабой (для Na₂O) положительной корреляции с SiO₂ (табл. 3.2.12).

Корреляционная зависимость между породообразующими оксидами в породах митро- фановской свиты								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O

	SiO ₂	Al_2O_3	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
SiO ₂	1							
Al ₂ O ₃	-0,99	1						
Fe ₂ O ₃	-0,62	0,51	1					
FeO	-0,46	0,38	0,69	1				
MgO	-0,35	0,47	-0,50	-0,26	1			
CaO	-0,83	0,80	0,65	0,80	0,12	1		
Na ₂ O	0,43	-0,42	-0,24	-0,83	-0,23	-0,78	1	
K ₂ O	-0,97	0,99	0,41	0,30	0,57	0,76	-0,40	1

Примечание: часть использованных данных химического анализа пород заимствована из [91]. Размер выборки – 3 анализа.

Слабоуглеродистые породы рудоносной свиты характеризуются (в мас.%): $SiO_2 - 52-80$, $Al_2O_3 - 1-16$, $Fe_2O_3 - 3-11$, FeO - 1.0-4.4, MgO - 0.3-6.0, CaO - 0.1-6.0, Na₂O - 0.2-1.4, K₂O - 0.6-4.0. Корреляционный анализ (табл. 3.2.13) показал слабые отрицательную и положительные связи петрогенных оксидов с SiO₂.

Таблица 3.2.13

Корреляционная зависимость между породообразующими оксидами в породах рудоносной свиты

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
SiO ₂	1							
Al ₂ O ₃	-0,06	1						
Fe ₂ O ₃	-0,39	-0,66	1					
FeO	0,25	-0,68	0,89	1				
MgO	0,06	0,54	-0,33	-0,16	1			
CaO	0,06	0,44	-0,31	-0,01	0,93	1		
Na ₂ O	0,42	0,14	-0,38	-0,65	-0,32	-0,36	1	
K ₂ O	-0,26	0,92	-0,58	-0,34	0,49	0,43	-0,18	1

Примечание: часть использованных данных химического анализа пород заимствована из [91]. Размер выборки – 8 анализов. По данным К. Конди [132], верхним горизонтам континентальной коры свойственно закономерное уменьшение концентраций хрома и никеля от древних к более молодым осадочным породам. На диаграмме содержаний Cr-Ni (рис. 3.2.2) фигуративные точки состава пород изученных свит тяготеют к областям неоархейского и постархейского возрастов, что соответствует геологическим данным.



Рис. 3.2.2. Положение точек состава пород Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов (по средним содержаниям) на дискриминационной диаграмме Cr-Ni для осадочных пород. *1*, *2* – верхние горизонты архейской (*1*) и постархейской (*2*) континентальной коры, по [157; 160]; *3*, *4* – средние составы архейских (*3*) и протерозойских сланцев (*4*), по [132].

Высокоуглеродистые породы матвеевской свиты располагаются в непосредственно близости к точке состава протерозойских сланцев, по К. Конди [132]. В тоже время, менее насыщенные углеродом гнейсы и сланцы тургеневской, митрофановской кабаргинской и рудоносной свит характеризуются меньшими содержаниями хрома и никеля, вследствие чего несколько смещены относительно тренда средних составов.

Геодинамические условия формирования

Анализ соотношений Th, La, Sc и Zr [129] показал, что исходными породами для формирования тургеневской, митрофановской и кабаргинской свит являлись преимущественно континентальные вулканические дуги (рис. 3.2.3). Поля их фигуративных точек тяготеют к островодужным комплексам, проявляющимся на континентальном субстрате.



Рис. 3.2.3. Дискриминационные диаграммы для граувакков La-Th-Sc (a) и Th-Sc-Zr/10 (б). А – океанические, В – континентальные вулканические дуги; С – активные, D – пассивные континентальные окраины [129].

В соответствии с дискриминационной диаграммой K₂O/Na₂O–SiO₂ Б. Розера и Р. Корша [154] породы рассматриваемых свит сформировались под влиянием активной и пассивной континентальных окраин (рис. 3.2.4).

Оценка достоверности геохимических диаграмм данного типа показала не более 62% попаданий при проверке на миоцен-четвертичных объектах с известным геодинамическим окружением [127]. Учитывая это, питающими провинциями метаморфических пород изученных свит с наибольшей вероятностью следует считать зоны надсубдукционного вулканизма, проявившегося на континентальном основании. Под эту категорию попадают как континентальные дуги, так и активные и пассивные окраины.



Рис. 3.2.4. Дискриминационная диаграмма K₂O/Na₂O-SiO₂ для песчаников и аргиллитов.

РСМ – пассивные, АСМ – активные континентальные окраины, IA – островные дуги [154].

Источники вещества

Природа источников материала для формирования пород изученных свит оценена с помощью дискриминационных диаграмм Б. Розера и Р. Корша [156]. Параметры $F_1 = -1.773 \times TiO_2 + 0.607 \times Al_2O_3 + 0.76 \times Fe_2O_{3(\Sigma)} - 1.5 \times MgO + 0.616 \times CaO + 0.509 \times Na_2O - 1.224 \times K_2O - 9.09$ и $F_2 = 0.445 \times TiO_2 + 0.07 \times Al_2O_3 - 0.25 \times Fe_2O_{3(\Sigma)} - 1.142 \times MgO + 0.438 \times CaO + 1.475 \times Na_2O + 1.426 \times K_2O - 6.861$ выражены в массовых долях оксидов. Как следует из рис. 3.2.5, петрохимический состав материнских пород матвеевской и тургеневской свит определялся преимущественно кислыми изверженными породами, в меньшей мере породами основного и среднего составов. Митрофановская и рудоносная свиты формировались в результате переотложения существенно кварцевых осадочных образований и в незначительной степени – за счет пород основного и среднего состава.



Рис. 3.2.5. Дискриминационная диаграмма для источников формирования толщ песчаников и аргиллитов, по [156].

Данные изотопного анализа графитов (табл. 3.2.14) указывают на гетерогенность источников углерода в породах Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов. Диапазон значений (δ^{13} C) -8,5‰...-16,6‰, согласно данным F.J. Luque et al. [130], характеризует флюидогенный графит, содержащий углерод как мантийного, так и корового источников. В свою очередь, вариация изотопного состава (δ^{13} C) -23,9‰...-26,7‰ отвечает метаморфогенному графиту, источником углерода которого являлось органическое вещество [135].

Таблица 3.2.14

Изотопные характеристики графита пород Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов

Свита	Номер пробы	δ ¹³ C, ‰
Матвеевская	AP-22/4	-10,5
	MT-02-1*	-8,5
	MT-02-4*	-8,7
Тургеневская	MT-03-1*	-8,6
	MT-03-1a*	-8,7
	MT-03-3*	-8,6
	AP-9	-24,4
	AP-34	-23,9
Митрофановская	AP-35/3	-26,5
	AP-35/4	-26,3
	AP-35/5	-26,7
Burowoowog	AP-36	-15,4
Рудоносная	AP-36/2	-16,7

Примечание: Анализы выполнены в лаборатории стабильных изотопов АЦ ДВГИ ДВО РАН, отв. исп. Т.А. Веливецкая.

* – данные заимствованы из [7].

57

Распределение редкоземельных элементов в углеродистых породах

Особенности распределения редкоземельных элементов (РЗЭ) в углеродистых кристаллосланцах, сланцах и филлитах Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов представлены на рис. 3.2.6-3.2.8 и в табл. 3.2.15.

Как видно из рис. 3.2.6, для рассматриваемых пород характерны пониженные отношения La/Yb_N (0.3-1.2), что выражается в пологом наклоне трендов. В целом, содержания РЗЭ варьируют в диапазоне значений, близких к составу североамериканского сланца (табл. 3.2.14).



Рис. 3.2.6. Тренды нормализованных содержаний РЗЭ в кристаллосланцах, сланцах и филлитах Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов. Нормирование выполнено на стандарт NASC [162].

Элемент	Количество	Статистическ	ие параметры	NASC,	
	проб	\overline{X} , г/т	S, г/т	Γ/Τ	
La	23	26,0	12,9	31,1	
Ce	23	55,5	34,4	67,03	
Pr	23	6,7	3,6		
Nd	23	26,6	14,7	30,4	
Sm	23	5,6	2,9	5,98	
Eu	23	1,1	0,5	1,253	
Gd	23	6,0	2,7	5,5	
Tb	23	1,1	0,5	0,85	
Dy	23	5,7	2,4	5,54	
Но	23	1,2	0,5		
Er	23	3,7	1,4	3,275	
Tm	23	0,5	0,2		
Yb	23	3,6	1,5	3,113	
Lu	23	0,5	0,2	0,456	

Статистические параметры распределения РЗЭ в кристаллосланцах, сланцах и филлитах Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов

Примечание: Состав североамериканского сланца (NASC) для нормализации РЗЭ взят из [162].

Для гранито-гнейсов и амфиболитов Матвеевско-Нахимовского террейна характерны более низкие, относительно стандарта, содержания РЗЭ, повышенные отношения La/Yb_N (2-11) и положительная европиевая аномалия (рис.3.2.7).

Кварциты, мрамора и метасоматиты рассматриваемой территории имеют схожие спектры РЗЭ (рис. 3.2.8). Они характеризуются пониженными, относительно стандарта, содержаниями РЗЭ и низкими отношениями La/Yb_N (0.4-0.9).



Рис. 3.2.7. Тренды нормализованных содержаний РЗЭ в гранито-гнейсах и амфиболитах Матвеевско-Нахимовского террейна. Нормирование выполнено на стандарт NASC [162].



Рис. 3.2.8. Тренды нормализованных содержаний РЗЭ в кварцитах, мраморах и скарнах Матвеевско-Нахимовского террейна. Нормирование выполнено на стандарт NASC [162].

60

Распределение благородных металлов в изученных породах

Общие закономерности распределения благородных металлов в Матвеевско-Нахимовском и Кабаргинском террейнах были изучены по результатам анализа слагающих их основных разновидностей пород (табл. 3.2.16).

Таблица 3.2.16

Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов									
№ пробы	Pt	Pd	Au	Ag	Порода				
			Амфибо	литовая (фация				
AP-1(1)	57.28	1.30	2.08	3.37	графитизированный кальцифир, тургеневская свита				
AP-1(2)	16.86	1.29	0.28	1.35	графит-биотит-роговообманковый кристаллосланец, тургеневская сви- та				
AP-15/4A	2.14	не обн.	0.07	0.17	графитизированный мрамор, тургеневская свита				
AP-15/11	1.83	0.31	0.15	0.34	графитизированный мрамор, тургеневская свита				
AP-18/1	0.30	0.12	0.41	0.85	графит-биотит-плагиоклазовый гнейс, тургеневская свита				
AP-22/3	4.02	0.06	0.06	0.56	биотит-графитовый гнейс, матвеев- ская свита				
AP-22/4	6.31	0.30	2.19	1.57	графитизированный кальцифир, матвеевская свита				
		Эг	идот-амф	иболитов	зая фация				
AP-35/5	6.93	0.04	4.75	0.48	графит-кварцевый сланец, митрофановская свита				
			Зеленосл	анцевая	фация				
AP-36/2	56.88	3.85	0.41	2.93	метадиабазовый сланец, рудоносная свита				

Содержание благородных металлов (г/т) в изученных образцах метаморфических пород Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов

Примечание: Анализы выполнены в лаборатории микро- и наноисследований АЦ ДВГИ ДВО РАН методом атомно-абсорбционной спектрометрии на спектрофотометре Shimadzu AA-6800. Химическое разложение проб (методика HCAM-404-C) – Ж.А. Щека. Замеры на приборе – Л.В. Симоконь.

0.50

0.63

3.80

-

магнетитовый кварцит,

железо-марганцевая руда,

графит-кварц-серицитовый сланец,

черный сланец, кабаргинская свита

Стандарт (в скобках значение по

рудоносная свита

кабаргинская свита

рудоносная свита глинистый сланец,

рудоносная свита

паспорту)

"-" – элементы не определялись; «сл.» – следы;

«не обн.» – ниже предела обнаружения.

AP-36/4

AP-38

AP-40/4

ОРК-1

ОРК-8

XO-1

3.29

1.40

1.62

0.13

0.12

0.47

(0.43)

0.18

1.19

1.00

0.01

0.07

0.83

(0.84)

0.05

сл

0.06

0.03

0.03

0.13

(0.07)

БМ в породах фиксируются в широком диапазоне значений (г/т): Au (0.02-4.75), Ag (0.20-9.10), ΣЭПГ (0.08-122) [86], – что указывает на крайне неравномерный характер их распределения. Среди платиновых металлов главным элементом является платина; все остальные присутствуют спорадически и в более низких концентрациях.

Как видно из полученных данных (см. табл. 3.2.16), все литологические разновидности изученных пород характеризуются повышенными, по сравнению с кларками, содержаниями БМ, причем наблюдается положительная корреляция концентраций БМ от степени насыщенности пород углеродом и от условий регионального метаморфизма (рис.3.2.9).



Рис. 3.2.9. Диаграмма зависимости средних содержаний благородных металлов от насыщенности пород углеродом и степени метаморфизма пород

Так средние содержания золота, платины и палладия в метапелитах рудоносной свиты с относительно низким содержанием углеродистого вещества составляют соответственно (в г/т) 0.04; 0.12; 0.02. На порядок выше БМ (Pt, Pd) фиксируются в железистых кварцитах рудоносной свиты и сланцах кабаргинской свиты. Наиболее высокие содержания БМ (Pt – до 7 г/т; Pd – до 1.2 г/т; Au – до 4.75 г/т) устанавливаются в метаморфизованных комплексах иманской (матвеевская свита) и лесозаводской (митрофановская свита) серий, вмещающих промышленные месторождения графита. Наряду с повышенными содержаниями БМ, в отдельных пунктах отмечаются аномальные значения Pt: в графитизированных кальцифирах (Pt – до 65 г/т) и метадиабазовых сланцах (Pt – до 122 г/т).

Таким образом, рассмотренные особенности распределения благородных металлов в графитизированных метаморфических породах Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов свидетельствуют о тесной связи процессов региональной углеродизации и концентрирования золота, платины и палладия.

3.3 Графит пород матвеевской и тургеневской свит

Графит, как минерал постоянного состава, реагирует на вариацию РТ-условий лишь изменением своего структурного и агрегатного состояний. Параметры кристаллической ячейки графита из графитизированных метаморфических пород тургеневской и матвеевской свит амфиболитовой фации были изучены на рентгеновском дифрактометре XRD-6000 (Си антикатод). Графит из прожилков в гранито-гнейсе, метабазите, кристаллических сланцах и скарнах характеризуют близкие структурные параметры, отвечающие высокоупорядоченной его разновидности (табл. 3.3.1).

Стандартный рентгенофазовый анализ обычно используют для кристаллических веществ, и наиболее полное представление о структурном состоянии углеродистого вещества (УВ) было получено при помощи рамановской спектроскопии на высокоразрешающем спектрометре HR 800 (лаборатория минералогии алмаза НЦ ИГ Коми Уро РАН, зав. лаб. д.г.-м.н. Т.Г. Шумилова, аналитик к.г.-м.н. С.И.Исаенко). Проанализированы отдельные чешуйки графита из тех же образцов, что приведены в таблице 3.3.1. Выбор точек для анализа обособленных графитовых частиц производился в отраженном, а для графита в полированном шли-

63

	База	03-	la	03-	3	03-	5	04-	-64	Пограницаати	
hkl	ICDD, нм	d, нм	I, отн. %	d, нм	I, отн. %	d, нм	I, отн. %	d, нм	I, отн. %	Δd, нм	
002	0,336	0,335	100	0,335	100	0,3350	100	0,3350	100,00	0,0060	
100	0,213		1	0,213	1			0,2120	1,00	0,0018	
101	0,203	0,202	1	0,202	1	0,2030	1			0,0016	
102	0,180					0,1788	1	0,1798	1,00	0,0010	
004	0,1678	0,1676	6	0,1677	5	0,1660	5	0,1676	5,00	0,0010	
103	0,1544	0,1537	1	0,1540	1	0,1538	1	0,1537	1,00	0,0008	
110	0,1232	0,1228	1			0,1230	1			0,0004	
112	0,1158	0,1152	1			0,1151	1			0,0003	
006	0,1120	0,1118	1	0,1118	1	0,1118	1	0,1118	1,00	0,0001	
114	0,0990					0,0989	1				
008	0,0840	0,0838	1	0,0838	1	0,0838	1	0,0838	1,00	0,0001	
			Па	араметры	элемен	тарной яч	чейки,	HM			
а, нм	0,2465	0,2449±	0,0005	0,2450±	0,0007	0,2452±0	0,0005		0,2455±	0,0005	
с, нм	0,6721	0,6702±	0,0009	0,6706±	0,0014	0014 0,6701±0,0010		0,6699±0,0009			
V, нм ³	0,3537	0,3482±	0,0014	0,349±	0,002	0,3490±	0,0015	0,3496±0,0015			

Результаты рентгенофазового анализа графита изученных пород (данные взяты из [25])

Таблица 3.3.1

Примечание: Анализ проводился в лаборатория минералогии алмаза НЦ ИГ Коми Уро РАН, аналитик к.г.-м.н. С.И. Исаенко. Образцы отобраны В.П. Молчановым.

03-1а – графитовый метасоматит, 03-3 – гранат-биотит-полевошпат-графитовый кристаллосланец, 03-5 – графитизированный метабазит, 04-64 – скарн.

Исследованные образцы явно неоднородны: присутствуют три оптически различимые разновидности углеродистого вещества. Первая – светлый в отраженном свете чешуйчатый графит с ровной поверхностью. Вторая – ксеноморфные агрегаты и дискретные микроразмерные частицы темного до черного графита в чешуйчатом графите. Третья – редкие субмикронные (1-3 мкм) включения УВ, обособленные внутри чешуйчатого графита, представляющие, согласно спектрам, аморфный углерод. Рамановские спектры этих трех разновидностей приведены на рис. 3.3.1.



Рис.3.3.1. Рамановские спектры углеродистого вещества, обр. 03-5 [25]. Анализ проводился в лаборатория минералогии алмаза НЦ ИГ Коми Уро РАН, аналитик к.г.-м.н. С.И. Исаенко. Образец породы отобран В.П. Молчановым.

1 – битумоид; 2 – нанокристаллический графит с люминесценцией; 3 - высокоупорядоченный графит.

Графит характеризуется одной фундаментальной рамановской модой $E_{2G(2)}$ (полоса G), имеющей положение 1582 см⁻¹, отвечающей за колебания внутри слоя графита [158]. Кроме того, в спектрах графита может присутствовать дополнительная полоса D, связанная с колебаниями краевых участков графитовых слоев и отражающая степень разупорядочения. Ее стандартное положение при возбуждающем излучении с длиной волны 514 нм составляет 1350 см⁻¹. Спектральные характеристики, включая положение рамановских полос (D, G), соотношение их ин-

тенсивностей (I_G/I_D), величину полной ширины на полувысоте (ШПВ) позволяют не только идентифицировать графит, но и определить степень его структурного совершенства [136; 163; 164].

Результаты анализа чешуйчатого графита (табл. 3.3.2, рис. 3.3.1) свидетельствуют о его достаточно высокой степени кристалличности (размер его кристаллитов L_a превышает 100 нм).

Таблица 3.3.2

№ обр./спектра	Положение	полос, см ⁻¹	ШПВ,	I _G /I _D	L _a ,
1 1	D	G	CM ⁻¹		НМ
04-64/1	1356	1581	16	0.04	>100
04-64/6	-	1581	14	0	>100
04-64/7	1353	1582	19	0.13	10-100
03-1a/1	1352	1582	14	0.17	>100
03-1a/4	1360	1581	15	0.36	>100
03-1a/7	1353	1580	17	0.19	10-100
03-5/1	1355	1581	15	0.24	>100
03-5/7	-	1581	14	0	>100
03-3/4	1353	1580	14	0.07	>100
03-3/6	1353	1580	17	0.21	10-100
03-3/7	1352	1581	15	0.15	>100
03-3/8	1350	1581	15	0.18	>100
Среднее	1354	1582	15	-	>100

Результаты анализа чешуйчатого графита методом рамановской спектрометрии (данные взяты из [25])

Примечание: Анализ проводился в лаборатории минералогии алмаза НЦ ИГ Коми Уро РАН, аналитик С.И. Исаенко. Образцы пород отобраны В.П. Молчановым.

03-1а – графитовый метасоматит, 03-3 – гранат-биотит-полевошпатграфитовый кристаллосланец, 03-5 - графитизированный метабазит, 04-64 – скарн. Мелкозернистый графит отличается существенно меньшими значениями L_a, лежащими в пределах 7-44 нм, и некоторым смещением полосы G в сторону малых значений рамановского сдвига в среднем до 2 см⁻¹ (табл. 3.3.3). Последнее связано, вероятно, с излишним нагревом при возбуждении лазером, что не исключается при малой величине анализируемых частиц.

Таблица 3.3.3

№ обр./спектра	Положение полос, см ⁻¹		ШПВ,	I_G/I_D	L _a ,	Оптические свой-
	D	G	СМ		HM	Ства
04-64/3	1350	1581	16	0.10	44	люминесцирует
04-64/4	1353	1581	18	0.14	31	
03-1a/2	1355	1579	16	0.23	19	
03-1a/3	1352	1575	20	0.30	15	
03-5/2	1354	1580	17	0.25	18	люминесцирует
03-5/9	1347	1570	25	0.55	8	
03-3/5	1353	1580	59	0.32	14	
03-3/9	1348	1577	18	0.27	16	
03-3/10	1351	1580	19	0.64	7	
Среднее	1351	1578	23	0.27	19	

Результаты анализа мелкозернистого графита методом рамановской спектрометрии [25]

Примечание: Анализ проводился в лаборатории минералогии алмаза НЦ ИГ Коми Уро РАН, аналитик к.г.-м.н. С.И. Исаенко. Образцы пород отобраны В.П. Молчановым. 03-3 – графитовый кристаллосланец, 03-1а – графитовый метасоматит, 03-5 – графитизированный метабазит, 04-64 – скарн.

Третья разновидность УВ обнаружена в образце 03-5 внутри графита на свежей поверхности скола по (002) в виде относительно субизометричных микровключений (1-3 мкм), отличающихся во вмещающей массе высококристаллического графита своими оптическими свойствами (рис.3.3.2а).



Рис.3.3.2. Аморфный алмазоподобный углерод, обр. 03-5 [25]. Образец породы отобран В.П. Молчановым.

а – изображение включений в высококристаллическом графите; б – рамановские спектры, соответствующие точкам 1 и 2.

Часть таких включений имеет зеленоватый оттенок, другие – голубоватый цвет. Спектры таких включений (рис.3.3.26, табл. 3.3.4), помимо широких полос D и G, содержат отчетливые полосы 1086-1088, 1197-1235 и выявленные математически интенсивные широкие полосы 1475-1484 см⁻¹. Такого рода полосы описываются как характерные для нанокристаллического алмаза и алмазоподобного углерода [134; 137; 152; 165].

Таблица 3.3.4

№ обр./спектра	Положение полос, см ⁻¹		ШПВ,	I _G /I _D	Оптические свойства
1 1	D	G	CM ¹	0.2	
03-5/6	1346	1571	27	0.30	слабо люминесцирует
03-5/8	1342	1576	47	0.24	сильно люминесцирует

Результаты анализа аморфного алмазоподобного углерода методом рамановской спектрометрии [25]

Примечание: 03-5 – графитизированный метабазит. Образец породы отобран В.П. Молчановым.

Кроме того, в некоторых исследованных частицах нанокристаллического графита имеется, по-видимому, определенная доля углеводородных радикалов, а

68

также битумоподобной компоненты, что фиксирует в рамановских спектрах интенсивная полоса люминесценции (табл. 3.3.3, рис.3.3.1).

Неоднородность изученных образцов графита подтверждена термогравиметрическим анализом (Shimadzu Q-1500D, аналитик Г.Н. Модянова, ИГ Коми НЦ Уро РАН) (табл. 3.3.5).

Таблица 3.3.5 Результаты термического анализа графита пород амфиболитовой фации [25])

№ обр.	Эндоэффект, миним., °С	Окисление, начало, °С	Экзоэффект, максим., °С	Порода	*
03-1a	149; 355	677	313; 860; 954	прожилок графита в гнейсе	1
03-3	-	616	834	гранат-биотит-графитовый кристаллосланец	2
03-5	-	659	867; 906; 958; 988	метабазит	3
04-64	89; 203; 369	612	888; 1003	скарн	4

Примечание: Анализ проводился в НЦ ИГ Коми Уро РАН на приборе Shimadzu Q-1500D, аналитик Г.Н. Модянова. Образцы отобраны В.П. Молчановым.

1 – графит двух разновидностей с битумом; 2 – графит одной разновидности; 3 – графит трех разновидностей; алмазоподобный углерод; 4 – графит двух разновидностей и битум.

Морфология термических кривых говорит о присутствии не менее двух разновидностей графита. В ряде случаев фиксируется битумные компоненты и алмазоподобный углерод, появляющийся на термограммах в области до 400°С. Процесс окисления графита начинается при 612-677°С и завершается выше 1000°С. Экзотермический эффект представлен несколькими максимумами в диапазоне 834-1003°С, что говорит о нескольких фазах графита в разной степени кристалличности.

Таким образом, результаты рентгенофазового, термогравиметрического анализов и рамановской спектрометрии позволяют сделать вывод о существовании в графитизированных метаморфических комплексах Матвеевско-Нахимовского террейна двух генераций углеродистого вещества. Ранняя, метасоматической природы, представлена, нанокристаллическим графитом, а также алмазоподобным углеродом и нанокристаллическим алмазом, образование которых связано с воздействием глубинных восстановленных флюидов. Поздняя сложена высококристаллическим графитом, генезис которого связан с перекристаллизацией углеродсодержащих терригенных протолитов при региональном метаморфизме.

3.4 Минералы благородных металлов

Ранее проводимые минералогические и минераграфические исследования показали отсутствие видимых частиц благородных металлов в графитизированных породах Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов. В то же время попытки изучения минералов БМ с помощью рентгеноспектрального микроанализа в полированных образцах не дали ожидаемых результатов. Это стало причиной сомнений в надежности полученных аналитических данных по валовым содержаниям благородных металлов и повлекло за собой появление ряда предположений о состояниях БМ в графитизированных породах. Наибольшее распространение получили представления о существовании металл-углеродных комплексов, сорбированных на графите, и рассеянном состоянии частиц БМ в породах в виде ультратонких выделений.

Идентификация форм нахождения благородных металлов в графитовом веществе проводилась с использованием рентгенографического анализа и ядерного магнитного резонанса. Оба метода не зафиксировали следов благородных металлов, поскольку их содержания находились ниже аналитического предела обнаружения элементов (0.01 мас.%). Также не было установлено присутствия какихлибо металл-углеродистых соединений. Это означало, что благородные металлы, вероятнее всего, концентрируются в графитизированных породах в виде дисперсных выделений.

В пользу данной версии свидетельствуют обнаруженные с помощью сканирующей электронной микроскопии частицы БМ-содержащих фаз, рассеянных в графит-карбонат-силикатной матрице метаморфических пород рассматриваемой территории. Их диаметр составляет сотни нм-сотни мкм. Данные энергодисперсионного микроанализа выделений БМ представлены на рис. 3.4.1-3.4.3 и в таблицах 3.4.1 и 3.4.2.



Рис. 3.4.1. Тройная диаграмма Ag-Au-Cu с составами (ат. доли) самородных золота и серебра, содержащих медь, по данным энергодисперсионного микроанализа графитизированных пород Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов.



Рис. 3.4.2. Тройная диаграмма Pt-(Fe+Cu)-Pd с составами (ат. доли) самородной платины, содержащей медь, железо и палладий, по данным энерго-дисперсионного микроанализа графитизированных пород Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов.



Рис. 3.4.3. Тройная диаграмма (Pt+Cu+Ag+Cd)-Sn-Pb с составами (ат. доли) интерметаллидов Pt, Pb и Sn, содержащие медь, серебро и кадмий, по данным энерго-дисперсионного микроанализа графитизированных пород Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов.
Состав фаз, содержащих благородные металлы (мас. %), из образца жильного графита (Тургеневский карьер

№ п/п	Ni	Cu	Zn	Pd	Ag	Au	Сумма	Минерал	Формула
1	-	25,91	-	-	7,94	66,14	100	медистое золото	(Au,Ag,Cu)
2	6,43	20,83	3,30	-	1,90	67,54	100	никелистое золото, меди- стое золото	AuNi (?), (Au,Ag,Cu)
3	-	5,26	-	-	94,74	-	100	медистое серебро	(Au,Ag,Cu)
4	-	2,39	-	14,86	25,33	57,43	100	палладистое золото, меди- стое золото	Pd(Au,Ag) ₃ (?), CuAu ₃
5	-	27,13	1,79	-	6,33	64,75	100	медистое золото	
6	-	29,26	-	-	7,69	63,05	100	медистое золото	(Au Ac Cu)
7	-	27,64	-	-	10,40	61,96	100	медистое золото	(Au,Ag,Cu)
8	-	29,84	-	-	7,09	63,07	100	медистое золото	

Примечание: Анализ проводился в лаборатории микро- и наноисследований АЦ ДВГИ ДВО РАН на сканирующем микроскопе Jeol JSM-6490 LV. Аналитики А.В. Поселюжная и И.Е. Пантюхина. Образец А-9.

«-» – ниже предела обнаружения.

Таблица 3.4.2.

Состав фаз, содержащих благородные металлы (мас. %) из пород Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов

№ пробы	Cl	Fe	Cu	Pd	Ag	Sn	Pt	Pb	Сумма	Минерал	Формула
	-	-	-	-	-	-	100,0	-	100,0		
	-	-	2,1	-	-	-	97,9	-	100,0	высокопробная платина	(Pt,Cu)
	-	-	1,4	-	-	-	98,6	-	100,0		
AD 1(1)	-	-	1,4	-	-	43,0	55,6	-	100,0		
AP-1(1)	-	-	1,3	-	1,2	42,7	53,8	-	100,0	оловянистая платина, интерметацияты Pt и Sn	(Pt,Cu,Ag,Sn)Sn ₄ (?)
	-	-	1,7	-		31,3	66,9	-	100,0		
	6,1	-	-	-	-	-	18,4	75,5	100,0		\mathbf{D}
	4,4	-	-	-	-	-	27,4	68,2	100,0	интерметаллиды Рі и Ро	$\operatorname{PtPO}_2(?), \operatorname{PtPO}_4(?)$
	-	0,4	1,0	-	-	-	98,6	-	100,0		
	-	0,5	1,0	-	-	-	98,4	-	100,0	высокопробная платина	(Pt,Cu,Fe)
AP-22/4	-	0,4	1,0	-	-	-	98,6	-	100,0		
	-	-	-	14,1	-	-	86,0	-	100,0		(D t D d)
	-	-	-	15,7	-	-	84,3	-	100,0	палладистая платина	(Pt,Pd)

Примечание: Анализ проводился в лаборатории микро- и наноисследований АЦ ДВГИ ДВО РАН на сканирующем микроскопе Carl Zeiss EVO-50 XVP. Аналитик Н.Н. Баринов. AP-1(1) – графитизированный кальцифир, AP-22/4 – графитизированный кристаллосланец.

«-» – ниже предела обнаружения.

Продолжение таблицы 3.4.2.

№ пробы	Fe	Cu	Cd	Sn	Pt	Pb	Сумма	Минерал	Формула	
AP-24	-	-	-	-	100,0	-	100,0	высокопробная платина	Pt	
AD 24	9,4	-	-	-	90,7	-	100,0	изоферроплатина	(Pt,Fe) ₃ Fe	
AP-34	-	-	-	-	100	-	100,0	_	D4	
	-	-	-	-	-	-	100,0	высокопрооная платина	Pt	
	-	1,2	6,0	25,2	30,4	37,2	100,0			
	-	1,2	8,4	34,1	36,3	20,0	100,0		(Pt,Pb,Sn,Cu,Cd) ₂ (Pb,Sn) ₃ (?) (Pt,Pb,Sn,Cu,Cd)(Pb,Sn) ₂ (?)	
AD 26/2	-	1,1	5,8	24,4	27,0	41,7	100,0			
AP-30/2	-	-	5,6	26,1	28,5	39,9	100,0	интерметаллиды Pt, Sn, Pb, Cd и Cu		
	-	-	9,1	42,4	44,0	4,5	100,0			
	-	-	-	9,0	6,4	84,6	100,0			
	-	-	10,8	41,4	41,8	6,0	100,0			

75

Примечание: Анализ проводился в лаборатории микро- и наноисследований АЦ ДВГИ ДВО РАН на сканирующем микроскопе Carl Zeiss EVO-50 XVP. Аналитик Н.Н. Баринов. АР-24 – графитовый кристаллосланец, АР-34 – графитистый сланец (данные предоставлены З.Г. Бадрединовым), АР-36/2 – метадиабазовый сланец. «-» – ниже предела обнаружения. Интерпретация минералов благородных металлов проводилась по нескольким точкам анализа, включающим БМ-содержащую фазы и матрицу.

Детальные исследования агрегатов крупночешуйчатого графита из Тургеневского карьера (рис. 3.4.4) с помощью сканирующей электронной микроскопии выявили его тесную ассоциацию с золотой минерализацией.



Рис. 3.4.4. Рудопроявление жильного графита, локализованное в породах тургеневской свиты. Тургеневский карьер.

По данным А. И. Ханчука и др. [108], золото в скоплениях графита нередко образует микронные и субмикронные выделения в виде сфероидальных обособлений (до 2 мкм), состав которых в разных точках значительно варьирует. В парагенезисе с высокопробным золотом в графите обнаружены фазы, отвечающие по составу медистому серебру, никелистому (6.43 мас.% Ni), медистому (Cu – 20-30 мас.%) и палладистому (Pd – 14.86 мас.%) золоту (рис.3.4.5-3.4.9).



		Спектр 1
	Cu	Cu Au
2	4 6 8	10 12
Полная шкала 15980 имп.	Курсор: 0.000	кэВ
Cu	29.26	54.06
Ag	7.69	8.37
Au	63.05	37.57
Сумма	100.00	

Рис.3.4.5. Медистое золото в графите. Изображение получено на СЭМ JSM-6490LV, аналитики А.В. Поселюжная, И.Е. Пантюхина.

	Ац Ni C Zh L Au 2 Ag 2 4 Толная шкала 12656 имп. Ку	Cu zr Ni Ni 6 8 pcop: 0.000	Спектр 1 2 1 Au 2 Л Au 10 12 кэВ
	Элемент	Macc. %	Атом. %
	N1	6.43	12.90
	Cu	20.83	38.64
Contraction of the second	Zn	3.30	5.96
A DE AND LERY CONTRACTOR CONTRACTOR	Ag	1.90	2.08
	Au	67.54	40.42
20kV X4,300 5µm 0000 11 49 BES	Сумма	100.00	

Рис.3.4.6. Микроагрегат медистого, никелистого золота и сплава Cu-Zn в графите. Образец A-9. Изображение получено на CЭM JSM-6490LV, аналитики A.B. Поселюжная, И.Е. Пантюхина.



Рис.3.4.7. Медистое серебро в графите. Об-
разец А-9. Изображение получено на СЭМ
JSM-6490LV, аналитики А.В. Поселюжная,
И.Е. Пантюхина.



Элемент	Macc. %	Атом. %
Cu	1.98	3.30
Ag	98.02	96.70
Сумма	100	



Рис.3.4.8. Микроагрегат медистого золота и сплава Cu-Zn в графите. Образец А-9. Изображение получено на СЭМ JSM-6490LV, аналитики А.В. Поселюжная, И.Е. Пантюхина.



к		Pd				Спектр 1
¢	Na Au	Ag				
Д.	Cu Au	CI				
)	2	4	6	8	10	12
Толи	ная шкала 27	097 имп. К	ypcop: 0.000			кэВ
	Concert		Maa	0 0/	Атом	. 0/.

Элемент	Macc. %	Атом. %
Cu	2.39	5.34
Pd	14.86	19.84
Ag	25.33	33.38
Au	57.43	41.44
Сумма	100.00	

Рис.3.4.9. Микроагрегат палладистого и медистого золота в графите. Образец А-9. Изображение получено на СЭМ JSM-6490LV, аналитики А.В. Поселюжная, И.Е. Пантюхина.

Микроагрегаты зерен самородного золота (рис.3.4.10, 3.4.11) из образца графитистого сланца, отобранного в Нижнем карьере (точка 28 на рис.2.1), характеризуются удлиненной формой частиц, высокой пробностью золота (95-99 мас.%), выдержанностью химического состава в различных точках анализа. Изоморфные примеси представлены Fe (0.81-0.87 мас.%) и Ag (5 мас.%).



Аи Аи Fe Fe Fe Au Au 2 4 6 8 10 12 Полная шкала 3146 имп. Курсор: 0.000 кэВ

Элемент	Macc. %	Атомн. %
Fe	0.81	2.80
Au	99.19	97.20
Сумма	100.00	

Рис.3.4.10. Микроагрегат губчатых зерен самородного золота в графитистом сланце [142]. Образец АР-34 Изображение получено в обратно-отраженных электронах на СЭМ EVO-50 XVP, аналитик П.П. Сафронов.



				Спектр 1
Si				
Au I				
KI AVAN		Au	Au Au	Au
2 4	6	8	10	12
Полная шкала 1054 имп. Курсор:	0.000			кэВ

Элемент	Macc. %	Атомн. %
Ag	4.96	8.71
Au	95.04	91.29
Сумма	100.00	

Рис.3.4.11. Удлиненное зерно самородного золота в графитистом сланце. Образец АР-34 Изображение получено в обратноотраженных электронах на СЭМ EVO-50 XVP, аналитик П.П. Сафронов.

Золото в скарнах отличает комковидная форма, более крупные (до 1 мм) размеры и повышенное (до 10% мас.) содержание Ag. На поверхности его зерен образуется углеродистая нанопленка (толщиной 100-200 нм), в составе которой, помимо углерода (56-60 мас.%), присутствуют кислород (19-33 мас.%) и примесь Si, Al, Ca, Fe и Cl (до 1 мас.%) [108]. По-видимому, отложение «скарнового» золота происходило из того же углеродсодержащего флюида, а укрупнение зерен – результат перекристаллизации в процессе скарнирования.

Электрум (зерна сечением до 100 мкм), наиболее низкопробная разновидность микрокристаллического золота, встречается в графитистых сланцах митрофановской свиты (рис.3.4.12) и кварцевых жилах Тургеневского месторождения графита. Содержание Ag варьирует от 33 до 45 мас.%. В составе электрума из кварцевых жил отмечается присутствие (мас.%): Cu – 1-2, U – 3.42, W – 1.26 и постоянно F – до 34.66 г/т [108].



Рис.3.4.12. Зерно электрума в графитистом сланце. Образец АР-34 Изображение получено в обратно-отраженных электронах на СЭМ EVO-50 XVP, аналитик П.П. Сафронов.



Элемент	Macc. %	Атомн. %
0	41.36	68.86
Al	2.18	2.15
Si	24.07	22.82
K	0.74	0.50
Ag	12.43	3.07
Au	19.22	2.60
Сумма	100.00	

Самородное серебро в изученных породах чаще всего устанавливается в виде тонких и ультратонких частиц размером единицы-десятки микрометров (рис. 3.4.13-3.4.15). Большая часть проанализированных частиц содержит Cl (десятые доли мас.%), а в отдельных зернах Cu (до 2 масс.%).



Рис.3.4.13. Частица самородного серебра в графитизированном кальцифире. Образец AP-1(1). Изображение получено в обратноотраженных электронах на СЭМ EVO-50 XVP, аналитик Н.Н. Баринов.

	Fe Fe	Спектр 1
1 2 3 4 Полная шкала 3504 имп. Ку	5 6 7 8 рсор: 0.000 кэВ	9 10 11 12 кэв
Элемент	Macc. %	Атомн. %
С	5.14	15.99
0	23.03	53.83
Mg	0.30	0.46
Al	0.26	0.36
Si	0.98	1.30
Ca	5.71	5.33
Fe	1.06	0.71
Ag	63.52	22.01
Сумма	100.00	

81



Рис.3.4.14. Выделение самородного серебра в метадиабазовом сланце. Образец АР-36-2. Изображение получено в обратноотраженных электронах на СЭМ EVO-50 XVP, аналитик Н.Н. Баринов.

	Fe Mn J Fe	Спектр 1
2́4 Полная шкала 2360 имп	б Ś 10 12 1. Курсор: 0.000 кэВ	14 16 18 20 หวB
Элемент	Macc. %	Атомн. %
0	47.60	71.40
Mg	6.07	5.99
AÌ	1.86	1.65
Si	14.31	12.23
Cl	0.17	0.12
Ca	0.48	0.29
Mn	0.61	0.27
Fe	7.82	3.36
Ag	21.07	4.69
Сумма	100.00	



Рис.3.4.15. Микроагрегат зерен самородного серебра в графитизированном кальцифире. Образец АР-1(1). Изображение получено в обратно-отраженных электронах на СЭМ, EVO-50 XVP, аналитик Н.Н. Баринов.

с Са До Mg Si		Fe Fe
ó í ż	3 4 Kuna 2000 - D	5 6 7
олная шкала 5934 имп.	Курсор: 0.000 кэв	кэв
Элемент	Macc. %	Атомн. %
С	13.58	42.44
0	11.70	27.45
Mg	0.49	0.76
Si	1.09	1.45
Cl	0.29	0.31
Ca	3.11	2.91
Fe	1.24	0.83
Ag	68.50	23.84
Сумма	100.00	

Спектр 1

Уменьшение температуры кристаллизации из рудоносного флюида сопровождается понижением пробности золота (за счет увеличения содержания серебра). В черных сланцах митрофановской свиты, метаморфизованных при температуре ниже 400°С, на частицах самородного серебра обнаружены микроагрегаты галогенидов в виде сростков йодаргирита (AgI), йодобромита (Ag(I, Br)) и кераргирита (AgCl) [108]. Эти обособления галогенидов приурочены, как правило, к углеродистым участкам. Сложность состава фаз в одном и том же микроагрегате (сечением до 1 мкм) свидетельствует о высокой скорости формирования центров нуклеации, что подтверждает неоднородность их состава и наноразмерность. Отсутствие фтора, появление примеси йода и брома означают гораздо более низкую температуру кристаллизации из флюида серебряной минерализации по сравнению с золоторудной, описанной выше.

По составу самородная платина в метаморфических породах Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов – высокопробная. Наиболее распространены ее выделения 100%-ной чистоты и с небольшой изоморфной примесью Fe и Cu – поликсен. Это дискретные ксеноморфные частицы (размер сечений 100 нм - 60 мкм), рассеянные в графит-карбонат-силикатной матрице пород (рис. 3.4.16-3.4.19).





Рис.3.4.16. Тонкодисперсные выделения высокопробной платины (белые) в графиткарбонат-силикатной матрице [86]. Образец АР-1(1). Изображение получено в обратноотраженных электронах на СЭМ EVO-50, XVP, аналитик Н.Н. Баринов.

Элемент	Macc. %	Атомн. %
С	15.51	39.40
0	20.68	39.44
Ca	18.51	14.09
Pt	45.29	7.08
Сумма	100.00	



Рис.3.4.17. Микроагрегат зерен самородной платины на кальците в графитизированном кальцифире. Образец АР-1(1). Изображение получено в обратно-отраженных электронах на СЭМ EVO-50 XVP, аналитик Н.Н. Баринов.



Элемент	Macc. %	Атомн. %
О	1.85	17.94
Ca	1.23	4.76
Pt	96.93	77.29
Сумма	100.00	



Рис.3.4.18. Скопление тонкодисперсных выделений (белые) самородной платины в графитистом сланце. Образец АР-24. Изображение получено в обратно-отраженных электронах на СЭМ EVO-50 XVP, аналитик Н.Н. Баринов.



Элемент	Macc. %	Атомн. %
С	31.37	57.80
0	20.68	28.61
Mg	0.59	0.54
Al	3.38	2.77
Si	5.65	4.45
Κ	0.34	0.19
Ca	1.61	0.89
Fe	2.20	0.87
Pt	34.18	3.88
Сумма	100.00	



Рис.3.4.19. Микроагрегат зерен самородной платины в метадиабазовом сланце. Образец AP-36-2. Изображение получено в обратноотраженных электронах на СЭМ EVO-50 XVP, аналитик Н.Н. Баринов.

Pt O C Da Ti Cu Si Fe Al	Pt Pt Fe Cu Cu Pt Pt	Спектр 1
2 4 (Полная шкала 1734 имп.	5 8 10 12 (ypcop: 0.000	14 16 18 кэВ
Элемент	Macc. %	Атомн. %
0	6.90	39.45
Al	0.60	2.05
Si	0.70	2.29
Ca	5.81	13.27
Ti	0.98	1.87
Fe	0.31	0.50
Cu	0.88	1.26
Pt	83.82	39.30
Сумма	100.00	

Реже устанавливаются выделения палладистой (до 15.6 мас.% Pd) платины и изоферроплатины (рис.3.4.20, 3.4.21) в графитистых кристаллосланцах Тамгинского месторождения графита (точка 18 на рис. 2.1).



Рис.3.4.20. Выделение палладистой платины в графитистом кристаллосланце. Образец АР-22-4. Изображение получено в обратноотраженных электронах на СЭМ EVO-50 XVP, аналитик Н.Н. Баринов.



Элемент	Macc. %	Атомн. %
0	27.48	56.63
Al	1.23	1.50
Si	7.45	8.75
Ca	3.20	2.64
Ti	2.89	1.99
Cr	5.01	3.18
Fe	38.00	22.44
Pd	2.11	0.65
Ce	1.26	0.30
Pt	11.36	1.92
Сумма	100.00	





Элемент	Macc. %	Атомн. %
Fe	9.34	26.47
Pt	90.66	73.53
Сумма	100.00	

Рис.3.4.21. Кристалл изоферроплатины в графит-силикатной матрице [86]. Образец АР-34. Изображение получено в обратно-отраженных электронах на СЭМ EVO-50 XVP, аналитик П.П. Сафронов.

Наряду с этим, самородная платина входит в состав сложных минеральных фаз. В ходе микроанализа сколов образцов графитизированного кальцифира, метадиабазового сланца, графитистых кристаллосланцев были обнаружены Fe-Cr-Ti-Pt, Ti-Bi-Ba-Fe-Pt, Pb-Cl-Pt, Pt-Sn-Pb-Cu, Pb-Pt-Sn-Cu-Ag, Pt-Sn-Pb-Cd-Cu-содержащие минеральные фазы (рис. 3.3.22-3.3.26). Они состоят из агрегатов дисперсных зерен переменного состава.



Рис.3.4.22. Интерметаллид Pt и Sn на кварце. Образец AP-1(1). Изображение получено в обратно-отраженных электронах на СЭМ EVO-50 XVP, аналитик Н.Н. Баринов.

Ś						c	спектр 2
	Sn Ca		Cu Pt.C	Pt u <u>Pt</u>	Pt	Pt	
2	4	6	8	10	12	14	16
Полная шкала 9	90 имп. Ку	/pcop: 0.00(0				кэВ

Элемент	Macc. %	Атомн. %
0	30.10	65.94
Mg	0.95	1.36
Al	0.40	0.52
Si	13.60	16.96
Ca	3.44	3.01
Cu	0.65	0.36
Ag	1.15	0.37
Sn	21.99	6.49
Pt	27.72	4.98
Сумма	100.00	



Рис.3.4.23. Fe-Cr-Ti-Pt-содержащие минеральные фазы на карбонате. Образец AP-1(1). Изображение получено в обратно-отраженных электронах на СЭМ EVO-50 XVP, аналитик Н.Н. Баринов.

Fe Cnextp 1 Fe Carsi Carsi Carsi Ti Pt Ca Ti Cr Chief Pt		
2 4 Полная шкала 1613 имп. Кур	6 8 10 cop: 0.000	12 14 11 кэВ
Элемент	Macc. %	Атомн. %
О	24.27	52.36
Mg	1.21	1.72
Si	5.49	6.75
Ca	4.72	4.06
Ti	3.57	2.57
Cr	4.19	2.78
Fe	44.78	27.67
Pt	11.77	2.08
Сумма	100.00	



Рис.3.4.24. Микроагрегат зерен интерметаллидов Pt, Sn, Pb и Cd. Образец АР-36-2. Изображение получено в обратно-отраженных электронах на СЭМ EVO-50 XVP, аналитик Н.Н. Баринов.



Элемент	Macc. %	Атомн. %
0	35.05	73.52
Mg	1.32	1.82
Al	1.55	1.93
Si	7.77	9.28
Ca	1.16	0.97
Fe	1.69	1.02
Cu	0.62	0.33
Cd	4.31	1.29
Sn	17.56	4.97
Pt	18.65	3.21
Pb	10.31	1.67
Сумма	100.00	



Рис.3.4.25 Pb-Cl-Pt-содержащая фаза. Образец AP-1(1). Изображение получено в обратно-отраженных электронах на СЭМ EVO-50 XVP, аналитик Н.Н. Баринов.



Элемент	Macc. %	Атомн. %
0	24.94	56.00
Si	20.61	26.36
Cl	2.83	2.87
Са	7.92	7.10
Pt	8.57	1.58
Pb	35.12	6.09
Сумма	100.00	



Рис.3.4.26 Fe-Bi-Pt-содержащая фаза в графит-силикатной матрице. Образец AP-1(1). Изображение получено в обратноотраженных электронах на СЭМ EVO-50 XVP, аналитик Н.Н. Баринов.



Элемент	Macc. %	Атомн. %
0	42.23	70.54
Mg	0.95	1.05
Si	3.29	3.13
Ca	15.06	10.04
Ti	22.89	12.77
Fe	1.25	0.60
Pt	4.66	0.64
Bi	9.66	1.24
Сумма	100.00	

Палладий, как уже отмечалось выше, содержится в виде изоморфной примеси в самородной платине (рис.3.4.19). Кроме того, в крупночешуйчатом графите из Ружинского разреза в парагенезисе с самородным золотом и серебром установлены выделения палладистого золота (рис.3.4.9). Собственных минералов палладия в результате исследований не обнаружено.

Таким образом, результаты сканирующей электронной микроскопии проб жильного графита, скарноидов, гнейсов, кристаллосланцев, филлитов, метадиабазовых сланцев из месторождений Тамгино-Тургеневской группы позволяют сделать вывод о минеральной форме нахождения благородных металлов в изученных породах. С учетом многочисленных новых данных, полученных в нашем исследовании, общий список минералов БМ составляет более 15 минеральных видов и разновидностей, представляющих классы самородных металлов, их неупорядоченных твердых растворов и интерметаллидов (табл. 3.4.3).

Таблица 3.4.3

Минералы благородных металлов в графитизированных метаморфических породах Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов (с использованием данных [108])

Минерал	Формула	
Самородные металлы		
Золото	Au	
Платина*	Pt	
Серебро	Ag	
Неупорядоченные твердые растворы и интерметаллические соединения		
Электрум	Ag _{0.54-0.60} Au _{0.46-0.40}	
Ртутистое золото	(Au,Hg)	
Медистое золото*	(Au,Ag,Cu), Cu(Au,Ag,)	
Палладистое золото*	$Pd(Ag,Au)_3$	
Никелистое золото*	Ni(Au,Ag)	
Амальгама серебра	Hg_3Ag_2	
Поликсен*	(Pt,Fe,Cu)	
Изоферроплатина	(Pt,Fe) ₃ Fe	
Палладистая платина*	Pt ₃ Pd	
Интерметаллиды платины и олова*	(Pt,Sn,Ag,Cu)Sn, (Pt,Sn,Cu)Sn, (Pt,Sn,Cu) ₃ Sn	
Интерметаллиды платины, олова, свинца, кадмия, серебра и меди*	$(Pt,Pb,Sn,Cu,Cd)_2(Pb,Sn)_3,$ $(Pt,Cu,Cd)(Pb,Sn)_2, (Pt,Pb,Cd)Sn,$ $(Pt,Pb,Sn,Cd)Sn,$ $(Pt,Pb,Sn,Cu,Cd,Ag)(Pb,Sn)_4,$	
Интерметаллиды платины и свинца*	(Pt,Pb)Pb, (Pt,Pb)Pb ₂	

Примечание: * – минералы, впервые установленные автором данной работы.

ГЛАВА 4. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ И РУДОПРОЯВЛЕНИЙ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В УГЛЕРОДИСТЫХ КОМПЛЕКСАХ

Разнообразные по составу углеродсодержащие горные породы (черносланцевая формация) имеют широкое распространение в разрезе земной коры, слагая мощные (до первых километров) комплексы архей-кайнозойского возраста. Они вмещают хорошо известные крупнейшие и уникальные золоторудные месторождения, такие как: Мурунтау (Узбекистан), Бакырчик (Восточный Казахстан), Сухой Лог, Олимпиаднинское (Россия), Витватерсранд (ЮАР), Бендиго (Австралия), Хоумстейк (США) и др. Важным обстоятельством, обусловившим пристальное внимание геологов к ним, является обнаружение за последние десятилетия в данных комплексах повышенных содержаний элементов платиновой группы [57; 130; 133; 141; 143], что позволило ряду авторов [26; 90] высказать мнение о перспективе обнаружения платиносодержащих и платинометалльных месторождений в углеродистых комплексах.

К настоящему моменту во всем мире и, в частности, в России [31; 72-79] проведено множество детальных геолого-структурных, минералогогеохимических исследований углеродистых (черносланцевых) комплексов, по результатам которых был открыт ряд комплексных месторождений и рудопроявлений благородных и редких металлов, являющихся потенциально промышленнозначимыми [32; 46; 79; 110]. Ниже приведены краткие описания типовых месторождений и рудопроявлений БМ в различных углеродсодержащих (черносланцевых) породах мира.

Месторождение Средняя Падма

Месторождение приурочено к Онежской палеопротерозойской структуре [65], расположенной на юго-восточной окраине докембрийского Карельского массива (кратона) Фенноскандинавского щита [6; 55; 76; 80]. Ее важнейшими особенностями являются: полнота и гетерогенность разреза карельского комплекса; широкое развитие в нем шунгитоносных пород, с необычайно высоким содер-

жанием С_{орг} (более 20% масс.); интенсивное и неоднократное проявление базальтоидного и щелочно-базальтоидного магматизма; приуроченность руд комплексных месторождений и рудопроявлений БМ к своеобразным тектоническим структурам, сформировавшимся в эпоху свекофеннской (1900-1700 млн. лет) тектонотермальной активности – клиновидным зонам складчато-разрывных деформаций (СРД) северо-западного простирания; широкое развитие в зонах СРД процессов многостадийного средне-, низкотемпературного магнезиально-щелочнокарбонатного метасоматоза.

Рудоносные интервалы Тамбицкой зоны СРД (рис. 5.1), в которой локализовано месторождение, имеют ширину до 500-600 м и протяженность до 2.0-2.5 км. Рудные тела тяготеют к центральным частям зоны СРД, располагаясь обычно вдоль послойных зон дробления по контактам контрастных пачек вулканогенноосадочных пород. Они представлены, главным образом, залежами сигаро-, шнурообразной формы; также встречаются штокверкообразные тела, прослеженные до глубин 500-600 м и более. Температура образования большей части руд урана варьирует 270-100 °C. Изотопный состав углерода (δ^{13} C) шунгитоносных пород различен и составляет -43.3...-25.9 ‰. Величина δ^{34} S пиритов из шунгитов и максовитов колеблется в диапазоне от +11,9 до +31.5 %. Руды месторождения, помимо высоких концентраций ванадия (в среднем 2.7%, местами до 7%) и урана (0.15-0.25% до 1%), содержат медь (0.1-0.8%), молибден (0.1-0.2%), цинк (0.3-1.2%), свинец (0.1-0.8%), висмут (0.1-0.3%), золото (0.23 г/т), палладий (0.29 г/т), платину (0.02 г/т). Золото, в виде микрочешуек размером 0.05-0.15 мм, чаще всего встречается в срастании с пиритом, а также гидрослюдами и кварцем. Его количество редко превышает 1 г/т.

Содержание металлов платиновой группы в среднем составляют не более 0.2-0.3 г/т, но на отдельных участках (мощностью 1.5-2.5 м), приуроченных к контакту алевролитов и высокоуглеродистых глинисто-карбонатных сланцев заонежской свиты, их концентрация может достигать более значительных величин (в г/т): Pt – 56, Pd – 140-420, Rh – 1. Среди платиноидов преобладает палладий в от-

ношении Pd/Pt=10:1. Осмий и иридий присутствуют в очень ограниченном количестве (0.0n г/т).



Рис. 5.1. Схематическая геологическая карта Онежского платиноносного района [35].

1 – месторождения и проявления руд: а – комплексные платиноиднополиметальных в альбит-карбонатно-слюдистых метасоматитах, б – золотоплатиноидных в кварц-сульфидно-карбонатных метасоматитах, в – платиноидно-полиметальных в черных сланцах заонежской свиты, г – золотоплатиноидных в углеродсодержащих сланцах бергаульской толщи, д - золотоплатиносодержащих железо-титановых в габбро-долеритах; 2-6 - слабометаморфизованные углеродсодержащие породы нижнего протерозоя, свиты: 2вашозерская, 3- кондопожская, 4,5 – заонежская, 6 – туломозерская; 7 – глубокометаморфизованные углеродсодержащие породы верхнего протерозоя, бергаульская толща; 8-10 – интрузивные образования: 8 – биотитовые граниты, 9 – габбро-долериты, 10 – перидотиты, нориты, габбро-нориты, дуниты; 11 – зоны разрывных (а) и складчато-разрывных (б) дислокаций; 12 – геологические границы, установленные; 13 – основные месторождения и проявления БМсодержащих руд в черных сланцах и углеродистых метасоматитах: 1 – Падминское, 2 – Пургинское, 3 – Толвуйское, 5 – Мунозерское, 6 – Пажское.

Типоморфными минералами платиноидов являются висмутиды, селениды, селеносульфиды палладия и платины (табл.5.1). Платина установлена также в гнездах

и прожилках битумоидов пиронафтоидного ряда. Исследователями отмечается прямая корреляция между платиноидами, С_{орг} и сульфидной минерализацией.

Таблица 5.1

Характеристика U-V-Мо-БМ руд месторождения Средняя Пади	ма
(по данным ГГП «Невскгеология)	

Минеральный состав руд	Околорудные изменения	Благороднометалльная ас- социация и сопутствую- щие сульфиды	Геохимический состав руд
Роскоэлит, V-флогопит, V-гематит, Cr-фенгит, U- V минералы (ноланит, карелианит, монтрозеит, карнотит, тюямунит, уранинит, настуран, ти- танаты и ванадаты ура- на)	Альбит, доломит, анкерит, Fe-Mg- и Cr-V-слюды, монацит, апатит, кварц, кальцит, хлорит	Золото, селениды Pb, Ag, селениды и сульфоселени- ды Pb, Bi, Ag, Au и Ag, Au, Pt, Pd, сульфиды – пирит, халькопирит, молибденит, сфалерит, галенит, Se- галенит	V, U; Cr, Ti, Fe, O, S; P3Э, Pd, Pt, Ir, Rh, Os, Au, Pb, Cu, Mo, Ag, S, Se, Bi, Re, Sn, Nb

Суммарные ресурсы платиноидов и золота по категории P_1 оцениваются в 10-20 т; запасы ванадия по $C_1+C_2 - 0.11$ млн. т, урана (0.15%) – 31 тыс. т.

Рудопроявления Нижне-Уницкое, Толвуйское и Пургинское

Данные рудопроявления залегают в шунгитоносных отложениях средней подсвиты заонежской свиты (рис. 1), слагающих периферические части Онежской проторифтогенной впадины [6; 35; 55; 76; 80]. Каждое рудопроявление состоит из двух-трех пластов шунгитовых и шунгитистых сланцев общей мощностью от 3.5 до 18 м. Они содержат слойки мощностью 2-25 см, обогащенные БМ (Pd до 9.5 г/т, Pt – до 2 г/т, Ir – до 0.26 г/т, Au – до 5.5 г/т, Ag – до 50 г/т). Протяженность рудных тел составляет 3-5 км. Линзы конкреционных (до 20%) черных сланцев, фиксируемых на выклинивании крупных залежей шунгитов, содержат до 24.5 г/т палладия и 3.8 г/т платины. Их протяженность составляет 100-700 м, а мощность варьирует от 10-15 см до 5 м.

БМ в рудных телах находятся в самородной форме (твердые растворы и интерметаллиды) с размерами зерен от 20х30 мкм до 110х160 мкм, и в виде примесей. Размеры мономинеральных обособлений самородного палладия не превышают 2 мкм. Платина (до 3.6 г/т) и палладий (до 1.8 г/т) содержатся в пирите и халькопирите. Самородное палладистое золото и палладий установлены в конкрециевидных пирит-антраксолитовых выделениях в битумах, а в кальцитбитумных прожилках в УВ (МПГ>1.5 г/т) отмечены интерметаллиды Au, Ag, Pd и Bi. Битумоиды концентрируют иридий (1.2-2.0 г/т), родий (0.6-1.0 г/т), осмий, платину (3-7 г/т), палладий (0.02-0.03 г/т). Установлена связь с шунгитом и антраксолитом в платиноносных прожилках преимущественно палладия, а со сложными битумоидами – родия, иридия и платины, что, по мнению А.В. Савицкого, свидетельствует о существовании нескольких источников МПГ.

Прогнозные ресурсы оруденений по категориям P₁+P₂+P₃ составляют: МПГ – 550 т, золото – 200 т.

Тимское месторождение

Золото-платиноидно-редкометалльное Тиморуденение В выявлено Ястребовской палеопротерозойской структуре КМА Воронежского кристаллического массива (Центральная Россия) – крупном (540 × 1000 км) сегменте Восточно-Европейской платформы [30-33; 89; 120-122] (рис. 5.2). Оруденение характеризуется: а) локализацией в углеродистой терригенно-осадочной формации нижнетимской подсвиты оскольской серии; б) многоуровневым (5-7 горизонтов, мощностью от первых метров до 25-30 м) размещением, высокими концентрациями Au (до 2.2-2.9 г/т), ЭПГ (до 1.3 г/т), РЗЭ; в) отчетливой корреляционной связью ЭПГ и Au c C, S и рядом петрогенных и малых (Ni, Cu, Co, Cr, Zn, Ti, V, P др.) элементов, преимущественно базальтоидным типом распределения ЭПГ (Pd(?)>Pt>Rh>Ru>Ir(?)>Os(?)); г) высокой степенью концентрирования БМ в наиболее тонкозернистой (<0.06 мм) сульфидно-углеродистой фракции, в которой их концентрации в 5-16 раз превышают содержания исходных (рудовмещающих) породах.

Руды имеют сложный полиминеральный и поликомпонентный состав (табл.5.2). Формы выделений БМ представлены в виде [33; 119]: а) самородных металлов (Au, Pd, Pt, Os, Ag); б) металлических твердых растворов и интерметаллических соединений (палладий платиносодержащий, платина железосодержащая, Au-Pt-Pd, осмистый иридий, рутениридосмин, платиридосмин, платосмири-

дий, золото ртуть-, теллур-, серебросодержащее, амальгама золота и серебра, аркверит, станнид палладия); в) сульфоарсенидов, теллуридов, антимонидов, селенидов и сульфосолей ЭПГ, Au и Ag, примесей в основных Pt-Pd-Au-содержащих сульфидах.



Рис.5.2. Региональное положение на ВКМ (а) и схематическая геологическая карта Тим-Ястребовской структуры (б) [72].

а: І – мегаблок КМА; ІІ – Хоперский мегаблок; ІІІ – Лосевская шовная зона; ІV – Ольховско-Шукавская грабенсинклиналь;

б: 1 – обоянский плутонометаморфический комплекс (AR₁ob; плагиогнейсы, прослои и линзы амфиболитов, прослои кварцитов); 2 – салтыковский комплекс мигматит-плагиогранитовый (AR₂sl; плагограниты, тоналиты, гранодиориты); 3 – атаманский комплекс умереннощелочных гранитов (AR₂a; граниты умеренно-щелочные плагиоклаз-микроклиновые); 4-12 – раннекарельские образования: 4 – курская серия (K₁ks; кварцитопесчаники, сланцы, железистые кварциты), 5-9 – оскольская серия (K₁osk; карбонатные сланцы, кварц-биотитовые сланцы, доломиты, известняки, углеродистые сланцы, метапесчаники, метаалевролиты, ортосланцы основного и среднего состава, амфиболиты); 10 – золотохинский перидотит-пироксенит-габбро-норитовый комплекс (K₁z); 11 – стойло-николаевский диорит-гранодиоритовый комплекс (K₁sn); 12 – малиновский гранитный комплекс (K₁m); 13 – тектонические нарушения; 14 – рудопроявления (а) и пункты минерализации (б): 1- Луневское, 2 – Кшенское, 3 – Погоженское, 4 – Прилепское, 5 - Сергиевский, 6 – Верхне-Березовский, 7 – Луговской, 8 – Панской-I, 9 – Северо-Тимской, 10 – Тимской, 11 - Рогозецкий, 12 – Южно-Погоженский, 13 – Роговское, 14 – Зареченский, 15 – Петровский, 16 – Безленкинский, 17 - Крутоверховской.

Минералы Аи-ЭПГ оруденения Тимского подтипа [31]

Минерал	Формула	
Самородные металлы		
Золото Палладий Платина Осмий Медь Серебро	Au Pd Pt Os Cu Ag	
Металлические твердые растворы	и интерметаллические соединения	
Палладий платиносодержащий Платина железосодержащая Золото-платина-палладий Осмистый иридий (невьянскит?) Платиридосмин Рутениридосмин) Золото ртуть-теллур-серебросодержащее Амальгама золота-серебра Аркверит Станнид палладия (неназванный минерал) Платина-палладий-золото-серебро-олово	$\begin{array}{c} Pd_{0.94}Pt_{0.06} \\ Pt_{0.96}Fe_{0.04} \\ Pd_{0.86}Pt_{0.08}Au_{0.04}Fe_{0.02} \\ (Ir,Os) \\ (Os, Ir, Pt) \\ (Os, Ir, Ru \\ Au_{0.53}Ag_{0.29}Te_{0.07}Hg_{0.02} \\ Au_{6.95}Ag_{6.07}Hg_{3.14} \\ (Ag,Hg,Pt) \\ PdSn_2 \\ (Pt,Pd,Au,Ag,Sn,Zn) \end{array}$	
Сульфиды		
Пирит Ni-Cu-пирит Ni-Co-пирит Макинавит Пирротин Пирротин Пенталандит, в том числе Ag-Pt-Pd- содержащий Халькопирит Марказит Кубанит Виоларит Марганцовистый сфалерит Селенистый галенит Молибденит, в том числе Re-Pd-Au- содержащий Киноварь Дигенит Куприт	$\begin{array}{c} FeS_2 \\ (Fe,Cu,Ni)S_2 \\ (Fe,Ni,Co)S_2 \\ (Fe,Ni,Co)S_2 \\ (Fe_{7.86}Ni_{0.89}Co_{0.04}Cu_{0.13}Zn_{0.02})_{8.94}S_{8.06} \\ Fe_{1-x}S \\ (Fe,Ni)_{1-x}S \\ (Fe,Ni)_{1-x}S \\ (Fe,Ni)_{9}S_8 \\ (CuFe)S_2 \\ FeS_2 \\ CuFe_2S_3 \\ FeNi_2S_4 \\ (Zn_{0.87} Mn_{0.13})S \\ (Pb_{0.99}Fe_{0.03})_{1.02}(S_{0.77}Se_{0.21})_{0.98} \\ MoS_2 \\ HgS \\ Cu_{2-x}S \\ Cu_2O \end{array}$	

Минерал	Формула
Сульфоарсениды, теллуриды, антимониды, селениды, сульфосоли	
Сперрилит	PtAs ₂
Ирарсит	(Ir, Ru, Rh, Pt) AsS
Арсенопирит	$(Fe_{0.9}Ni_{0.1})AsS$
Алтаит	$(Pb_{0.95}Fe_{0.13})_{1.08}$ Te _{0.92}
Гессит	$(Ag_{1.94}Cu_{0.04})_{1.98}Te_{1.02}$
Ульманит	$(Ni_{0.87}Co_{0.07}Fe_{0.07}Cu_{0.01})_{1.02}Sb_{1.01}S_{0.97}$
Теллуровисмутит	$(Bi_{1.69}Pb_{0.23}Fe_{0.11} Ag_{0.04})_{2.07} (Te_{2.89}Sb_{0.02} Se_{0.01})_{2.92}$
Буланжерит	$(Pb_{4.64}Cu_{0.57}Fe_{0.28})_{5.44}$ $(Sb_{3.92}Sn_{0.02})_{3.49}$
Клаусталит	$(S_{10.4}Se_{0.10})_{10.59}$
Цинкосодержащий станнин	$(Pb_{0.98}Cu_{0.02})_{1.0}(Se_{0.78}S_{0.27})_{1.0}$
Станнин	$Cu_{1.95}(Fe_{0.97}Zn_{0.11})_{1.08}Sn_{1.02} S_{3.95}$
Селенид палладия и платины (неназванный	$Cu_{1.98}(Fe_{1.08}Ni_{0.01})_{1.09}Sn_{1.00}S_{3.94}$
минерал)	$(Pd_{2.39}Pt_{0.53}Fe_{0.06})_{2.98}Se_{2.02}$
Тетраэдрит	$Cu_{12}Sb_4S_{13}$
Теллуроантимонид палладия (тестибиопалла-	$(Pd_{0.88}Fe_{0.10}Ni_{0.08})_{1.06}(Te_{1.01}Sb_{0.89}Bi_{0.04})_{1.94}$
динит (?)	
Оксиды, вольфраматы, молибдаты, фосфаты и др.	
Ильменит	FeTiO ₃
Магнетит	Fe_3O_4
Рутил	TiO ₂
Касситерит	SnO_2
Шеелит	Ca(W,Mo)O ₄
Перовскит	(Ca,Ba,Sr)TiO ₃
Титанат бария	(Ba,Ca)(Ti,Zr)O ₄
Титанат бария и висмута	(Ba,Bi) _{1-x} (Ti,Nb)O ₃
Бадделиит	(Zr,Hf,Sc)O ₂
Циркон	$Zr(SO_4)$
Барит	$Ba(SO_4)$
Монацит	(Ce,La,Nd,Th,Y,Gd,Sm)PO ₄
Апатит	Ca ₅ (PO ₄)3(F,Cl)

Аналогами месторождения, вероятно, являются золото-платинометалльное оруденение (Pd – 0.04-0.10 г/т, Pt – 0.01 г/т, Au – 0.03-0.13 г/т) Богемского массива (Чехия) и районов Кайнку и Отокумпу Финляндии (Pt – до 0.06 г/т, Au – 0.01-0.19 г/т).

Месторождение Цзуньи

Комплексное никель-молибден-золото-платиноидное месторождение Цзуньи было выявлено в нижнекембрийских черных сланцах формации Нютитан [26; 110; 133; 148; 149; 153; 166], имеющих широкое распространение на юге Китая (провинции Гуйчжоу, Хунань и др.). Разрез данной формации образован доломитами, черными фосфатными урансодержащими глинистыми сланцами с высоким содержанием органического вещества (С_{орг}=10-15%).

Руды месторождения представлены маломощными (5-15 см) сульфидными линзами и пластовыми залежами, локализованными в пологозалегающих пластах черных сланцев в нескольких метрах от контакта с подстилающими породами синия (рис.5.3).



Рис.5.3. Региональное положение платиносодержащих никель-молибденовых месторождений (А) на территории Южного Китая. Геологический Разрез месторождения Цзуньи (Б) [26].

1-5 – отложения формации Нютитан (Є₁): 1- черные углерод содержащие сланцы, 2 – аргиллиты, 3 – кремнистые сланцы, 4 – фосфатоносные сланцы, 5 – конкреции черного кальцита; 6 – подстилающие доломиты (V-R₃); 7 - рудоносный пласт, вмещающий никельмолибденовые руды с платиноидами.

Рудная зона прослежена на 14 км. Руды содержат в (г/т): Pt (0.11-0.82), Pd (0.3-1.25), Ir (0.02-0.06), Os (0.03-0.08), Ru (0.003-0.07), Rh (0.005-0.05), Au (0.2-1.1), Ag (3-50). МПГ во вмещающих породах и рудах концентрируются только в Мо-Ni полиметаллических слоях и слоях тонкополосчатых пиритовых руд. Форма

нахождения их пока не выяснена. Рядом исследователей предполагается наличие микропримесей платиноидов в составе сульфидов, а также металлоорганических комплексов. Отмечается положительная корреляция между МПГ и Мо, Ni, Fe и ее полное отсутствие между МПГ и углеродистым веществом. Из рудных минералов установлен иордизит, пирит, ваэсит, герсдорфит, полидимит, миллерит. Во внутренних зонах сульфидных конкреций из черных сланцев устанавливается легкая сера δ^{34} S=-7.3...-11.2‰, а во внешних – более тяжелая (+3.7‰). Ориентировочный металлогенический потенциал БМ всей зоны не превышает 25 т.

Рудопроявления БМ в США и Канаде

Аналогом руд южнокитайского типа являются среднепалеозойские черносланцевые комплексы Центральных Штатов США и Канады [26; 110].

Черные сланцы США. Металлоносные черные сланцы сосредоточены в крупных осадочных бассейнах Мекка Кворри, Иллинойс, Анадарко и др., расположенных вблизи глубинных региональных разломов, фиксирующих систему континентальных рифтов Северо-Американской платформы (рис.5.4).



Рис.5.4. Геологическое строение БМ-содержащих осадочных бассейнов США (А). Геологический разрез рудопроявления благородных металлов в осадочном бассейне Мекка Квори (Б) [26].

 1 – пестроцветные алевролиты, 2 – алевросланцы, 3 – брахиоподовые сланцы, 4 - глинистые сланцы, 5 – высокоуглеродистые черные сланцы, 6 – известняки с прослоями аргиллитов, 7 – фосфатоносные сланцы, 8 – кремнистые сланцы с линзами фосфоритов, 9 – алевролиты, песчаники. Девонско-миссисипские черные сланцы бассейна Чаттануга (штаты Индиана, Кентукки) с повышенными содержаниями платиноидов (до 0.2 г/т), цинка (сотни г/т), молибдена (сотни-тысячи г/т) ассоциируют с рифтом Рилфут [128; 146]. В осадочном бассейне Анадарко штата Оклахома платиноносный горизонт (мощность 0,7 м) раннемиссисипских углеродистых сланцев (формация Кэней) содержит: Pt – 0.15 г/т, Ir – 0.56 мг/т, Os – 0.31 мг/т [150]. Подстилающие их девонские отложения формации Вудфорд, также, незначительно обогащены БМ: Pt – 0.05 г/т, Ir – 0.25 мг/т, Os – 0.75 мг/т, Au – 18 мг/т. Повышенные содержания БМ установлены и в известняках (формация Велден): Pt – 48 мг/т, Ir – 0.25 мг/т, Au – 14 мг/т.

Из рудных минералов развиты пирит, сфалерит, халькопирит, марказит, ковеллин, клаусталит. БМ в рудах зафиксированы только в дисперсной форме. Органическое вещество в пенсильванских сланцах составляет 3.8-46%. Оно имеет водорослевую природу, а в штате Индиана черные сланцы имеют состав, приближающийся к углям.

Черные сланцы Канады. Обнаруженное Ni-Zn-PGE оруденение локализовано в маломощном (10-15 см) сульфидном слое девонских углеродистокремнистых сланцев гигантского (1200х300 км) осадочного бассейна Селвин в Канаде (рис. 5.5), приуроченного к эпикратонному трогу, сформировавшемуся в раннем палеозое в ходе рифтогенеза краевых участков континентальной коры [26; 109; 139; 159].

Рудоносный горизонт прослеживается на 5-15 км и характеризуется следующими содержаниями полезных металлов: Ni – 2.3-7.8%, Zn – 0.14-1.30%, Mo – 0.14-0.30%, Pt – 0.15-0.62 г/т, Pd – 0.10-0.32 г/т, Rh – 0.005-0.014 г/т, Ir – 0.001-0.003 г/т, Ru ~ 0.03 г/т, Os – 0.02-0.07 г/т, Au – 0.03-0.10 г/т. Кроме того, руды содержат повышенные количества V – 0.04-0.09%, Cu – 0.02-0.04%, Ag – 3-6 г/т, Re – 9.6-61 г/т, Se – 0.06-0.24%, As – 0.19-0.42%, Y 0.03-0.20%, Ba – 0.19-0.39%, S – 20-32% (преимущественно легкая δ^{34} S=-14.7...-10.6‰), Cl <0.01%, F – 0.02-0.05%, C_{орг} – 1.3-2.5% (в основном легкий δ^{13} C=-12...-6‰ в пирите). Главными рудными минералами являются сульфиды (ваэсит, пирит, сфалерит, вюрцит и др.).



Рис. 5.5. Геологическое строение платиноносных осадочных бассейнов провинции Юкон, Канада [26].

1-5 – платформенные палеозойские осадки (1 – карбонатные породы, 2 – углеродсодержащие сланцы, 3 – песчаники, 4 – алевросланцы, верхняя группа, 5 – фосфатоносные кремнистые сланцы с прослоями платиносодержащих сульфидов, нижняя группа; 6-11 – детализация к разрезу (6 – конгломераты, 7 – фосфаты, 8 – рудоносный Ni-Zn-Pt-горизонт, 9 – сланцы с конкрециями известняков, 10 – брекчия, обогащенная органикой, 11 – граптолитовые сланцы); 12 – платформенные отложения, 13 – выходы древнего PR₁ фундамента, 14 – глубинный разлом, 15 – дизъюнктивные нарушения; 16 – месторождения полиметаллических Ba-Pb-Zn-руд (1 - Говард Пасс, 2 – Мак Миллан, 3 - Ти); 17 – проявления битумов, 18 - рудопроявление Ni-Zn-Ptруд.

Формы проявления МПГ в рудах пока не известны. Исследователями высказываются предположения о вхождении этих элементов в виде примесей в состав сульфидов железа и никеля. Соотношения платиновых металлов в рудоносном горизонте (Pt/Pd=1.6-2.1) свидетельствуют об обогащенности их платиной. Наиболее распространены осадочная и гидротермальная концепции образования руд.

Месторождение Любин

Месторождение Любин (Любинский рудный район, Польша) локализовано в пермских цехштейновых отложениях чехла Западно-Европейской платформы (рис.5.6) [26; 143-146]. Эти разнообразные по составу отложения, слагающие мощную толщу (до 5000 м) глинисто-сульфатно-карбонатных пород – продуктов циклического осадконакопления в морских и лагунных условиях, занимают обширные пространства Европейского континента от Северной Англии на западе до Российской Прибалтики на востоке. Промышленные концентрации БМ (г/т): Pt – 10-370, Pd – 10-1000, Au – \leq 3000, Ag – 2-1100, а также (кг/т): Cu – 48.3, Ni – 150, V – 260, Co – 183, Mo – 131, Re – 2.2, Se – 9.5, – связаны с черными сланцами нижнего цехштейна, представленные глинистыми и глинисто-доломитовыми сланцами, содержащими значительное количество С_{орг} (\leq 12-15%). Мощность продуктивного горизонта составляет 5-10 см при ширине 100-200 м. Концентрации благородных металлов находятся в соотношении Pt:Pd:Au:Ag=1:10:35:50.



Рис. 5.6. Схема регионального положения БМ-содержащих месторождений Любинского рудного поля в пределах цехштейнового осадочного бассейна Польши (А) с характеристикой распространения рудного черносланцевого горизонта на карте (Б) и в разрезе (Г) [26].

А, Б: 1 – граница цехштейна (P₂), 2 – песчаники красного лежня (P₁), 3 – пдатиноносные сланцы Pt (Au), 4 – сланцы с аномалиями Ag, 5 – меденосные сланцы Cu, 6 – сланцы с аномалиями Pb, 7 – сланцы с аномалиями Zn, 8 – рудники. В: 1 – известняки и доломиты, 2 – полосчатые доломиты, 3 – глинистые доломиты, 4 – глинисто-мергелевые сланцы, 5 – черные БМ-содержащие сланцы, 6 – песчаники доломитизированные, 7 – песчаники (а – красные, б – белые).

Месторождение Бакырчик

Стратиформное золото-платиноидное месторождение Бакырчик выявлено в карбоновых терригенно-вулканогенных черносланцевых образованиях Западной

Калбы (Большой Алтай, Восточный Казахстан) в осевой части Зайсанской сутурной зоны [34] (рис.5.7).



Рис. 5.7. Схема размещения месторождений в Бакырчикском рудном поле [34]. 1 – четвертичные отложения (Q); 2-6 – геологические формации: 2 - молассовая лимническая углеродистая (C₂₋₃), 3,4 – граувакковая алевролито-песчаниковая (C₁s): 3 – верхняя песчаниково-алевролитовая и 4 – нижняя песчаниковая подформации, 5 – карбонатно-терригенная (C₁v₂₋ 3), 6 - плагиогранит-гранодиоритовая (C₃); 7-10 – разломы: 7 – рудоконтролирующие 1 порядка и 8 – оперяющие их мелкие нарушения; 9 – Кызыловская зона смятия; 10 – скрытые по геолого-геофизическим данным; 11, 12 – рудные формации: 11 – золото-мышьяково-углеродистая, 12 – золото-кварцевая.

Месторождения: 1 – Костобе, 2 – Дальни-II, 3 – Большевик, 4 – Челобай, 5 – Бакырчик, 6 – Глубокий Лог. 7 – Промежуточное. 8 – Сарбас. 9 – Бижан.

Вкрапленно-прожилковые сульфидные жильно-штокверковые рудные тела залегают в углеродистых алевролитах и песчаниках калбинской свиты (C₁), образованных в инверсионную стадию развития территории. Содержания в них БМ составляют (г/т): Au – 8-28, Pt – 3.19-5.71, Pd – 0.019-0.275, Os – 0.002-2.8, Ir – 0.024-3.10 [46]. Золото концентрируется как в арсенопиритах, так и углеродистом веществе, представленным битумоидами спирто-бензольной фракции. Данные микрозондового и физико-химического анализов позволили определить его шунгитовое состояние и наличие в нем микросфер золота [54]. По данным М.С. Рафаиловича [87] прогнозные ресурсы месторождения по категориям P_2 и P_3 составили свыше 500 т.

Месторождение Мурунтау

Супергигантское месторождение Мурунтау находится в Центральных Кызылкумах – крупнейшей золотоносной провинции Узбекистана. В геологическом плане месторождение приурочено к рифтогенной структуре, сформировавшейся в период становления Урало-Монгольского складчатого пояса на коре океанического типа [105]. Рудовмещающими являются раннепалеозойские (O₁₋₂) углеродистокремнистые сланцы нижнего бесапана (рис. 5.8), моноклинально падающие на северо-восток под углом 30-50° [26; 114].



Рис. 5.8. Схематическая геологическая карта и разрез месторождения Мурунтау (Кызылкумская провинция, Узбекистан) [26].

1-2 – отложения бесапанской свиты: 1 – черные, серые и зеленые алевросланцы (пестрый бесапан), известняки, алевролиты и туфы верхней и средней подсвиты (O_2 - S_1), 2 – черные и серые песчаники, гравелиты (черный бесапан) нижней подсвиты (O_{1-2}); 3 – углеродисто-кремнистые сланцы и черные алевролиты с прослоями известняков тасказгаской свиты (\mathcal{E}_1 - \mathcal{R}_3); 4-6 – рудные тела: 4 – крутопадающие, 5 – кварцево-жильные, 6 - пологопадающие прожилкововкрапленные; 7-8 разломы: 7 – крутопадающие, 8 – пологие; 9 – контур карьера; 10 – линия разреза I-I.

Рудовмещающие углеродистые пиритоносные алевролиты, аргиллиты несут повышенное количество платиновых металлов (г/т): Pd – 0.3, Os – 0.3, Pt – 0.6. Золотоносные кварц-полевошпат-гидробиотитовые метасоматиты содержат: Pd – 5.1 г/т, Os – 0.7, Pt – 3.5 г/т, а графитовые тектониты: Pd – 8.7 г/т, Os – 4.2, Pt – 13.6 г/т [56]. Руды более обогащены БМ (г/т): Au – 3-26, Ir – 0.5-3, Pd – 0.9-8, Os – 0.2-4.2 [114].

Во всех типах руд золото находится в мелкодисперсной самородной форме, причем основное его количество (70%) сосредоточено в крупнозернистом кварце жильных тел и метасоматитов, а остальная часть связана с пиритом и арсенопиритом прожилково-вкрапленных руд. Форма нахождения металлов платиновой группы пока не установлена. Согласно данным исследований [42; 88; 114], МПГ присутствуют в качестве примесей, главным образом, в органическом веществе, а также самородном золоте, серебре, пирите, сперрилите, иридарсениде, ирарсите, галлуазите, гидроокислах железа и марганца. Оцененные запасы месторождения для золота составляют около 5 тыс. т.

Месторождение Кумтор

Месторождение Кумтор расположено на северном склоне кристаллического массива Ак-Шийрак (Восточный Тянь-Шань, Кыргызстан) в терригенноуглеродистых сланцах венда (джетымтауская свита), перекрывающие несогласно нижнепротерозойские гнейсы и кристаллосланцы фундамента [56] (рис.5.9). Региональный метаморфизм кристаллических пород древнего основания соответствует эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой ступеням, а продуктивных пород венда – высокой субфации зеленосланцевой фации. Магматизм в поле месторождения практически не проявлен: лишь на дальнем северо-восточном фланге отмечены редкие дайки гранит-порфиров каледонского возраста [56] (рис.5.10). Рудовмещающая толща терригенно-углеродистых сланцев, с проявленными продольными нарушениями (сбросами, зонами тектонических брекчий) в десятки км, имеет северо-восточное моноклинальное залегание. Эта моноклинальная структура осложнена складчатостью высших порядков и секущими трещинами субмеридионального направления.



Рис.5.9. Геологическое строение рудного поля Кумтор [56]. 1 – гнейсы и кристаллосланцы (PR₁); 2 – терригенно-карбонатные сланцы, кислые эффузивы (R); 3 – терригенно-углеродистые сланцы (V); 4 – терригенно-карбонатные отложения (Є-О₁); 5 – породы нижнего карбона; 6 – кайнозойские отложения; 7 – тела гранитпорфиров; 8 – рудные метасоматиты; 9 – трещины, разрывные нарушения; 10 – крупные разломы; 11 – крупные надвиги; 12 - ледники.

На месторождении распространены два структурно-морфологических типа руд: субпластовый сульфидно-вкрапленный и штокверковый гидротермальнометасоматического происхождения [46]. Руды первого типа прослеживаются по простиранию черносланцевой толщи на 1 км, а далее с перерывом по крупным продольным разломам – на 10 км. Субпластовые руды (мощность до 20 м) центрального блока содержат (г/т): Au – 0.44-8.23, Pt – 0.06-1.54, Pd – 0.92-3.25, Ir – 0.01-0.28 [56].

Золото обнаружено в виде примеси в сульфиде железа, а носителями ЭПГ является насыщенная дисперсным ОВ серицитовая матрица метаалевролитов. В узлах пересечения субпластовых руд секущими трещинами формируется што-

106

кверковая структура. Содержания БМ в штокверковых рудах составляют (г/т): Au – 3.00-13.74, Pt – 0.98-2.00, Pd – 1.77-5.05, Ir – 0.01-0.03 [56]. Рудная минерализация представлена не только примесным золотом и ЭПГ в пирите, но и самородным золотом, а также, теллуридами золота и серебра, калаверитом. Собственных платиновых минералов пока обнаружено не было.

Месторождение Коронейшен Хилл

Комплексное золото-платиноидно-урановое месторождение находится на севере Австралии в районе Южный Аллигатор [26; 131]. Данный район приурочен к докембрийскому прогибу Пайн-Крик – крупной интракратонной синклинальной структуре, сложенной архейскими (нижний ярус), ранне- и среднепротерозойскими (верхний ярус) комплексами. Пластовые тела с золото-палладийплатиновой минерализацией шириной 3-30 м, крутопадающие на восток, локализованы в зоне несогласия углеродсодержащей пелитовой формации Кулпин с песчаниками формации Коронейшен (рис. 5.10).

Рудовмещающие породы, представленные полимиктовыми брекчиями в местах выклинивания углеродсодержащих сланцев, содержат (г/т): Au – 5.12, Pd – 1.3, Pt – 0.62. Корреляция между МПГ и золотом отсутствует. Минерализация платиновых металлов находится в сульфидно-кварцевой массе цемента обломков черных сланцев и реже в карбонатно-гематитовых и кварц-сульфидных прожилках. Наиболее распространены минералы Pt, Pd в самородной форме, селениды Pt, Pd (PdBiSe, PdHgSe PtPdSe), в сплавах – интерметаллидах. Самородный палладий с размером зерен 2.5-12.5 мкм встречается совместно с самородным золотом в пирите. С этими минералами ассоциирует сплав PdPtFe, а также садберит PdSb и новый минерал состава PdBiSb. Золото встречается в свободной форме и в виде микропримеси в зернах пирита [46].

По результатам проведенных геологических работ [138; 140] запасы БМ месторождения были оценены для золота – 34 т, палладия – 5.5 т, платины – 3 т, а прогнозные ресурсы золото-платинометалльных руд в 1 млн. т.



Рис. 5.10. Геологическая карта месторождения Коронейшен Хилл, Северная Австралия [26].

1 – мезозойско-кайнозойские отложения; 2 – платформенные осадки среднего протерозоя (PR₂); 3-6 – формация Коронейшен (PR₁²): 3 – песчаники, 4 - вулканокластиты, 5 – туфы, туфопесчаники, 6 – риолиты; 7-9 – формация Кулпин (PR₁¹): 7 – углеродистые метапелитовые сланцы с прослоями кремнистых и карбонатных пород, 8 – реголитовая брекчия Синто, 9 – грубозернистые песчаники, нерасчлененные породы; 10 – разломы, 11 – зоны несогласия, 12 – границы карьера.

Месторождение Витватерсранд

Месторождение находится на северо-востоке Южно-Африканской республики в бассейне Витватерсранд, представляющего собой интракратонную впадину северо-восточного простирания, протяженностью около 400 км при ширине 60-150 км, на Каапваальском кратоне [109] (рис. 5.11).

Верхняя часть разреза докембрийской надгруппы Витватерсранд (радиометрический возраст 2.4-2.35 млрд. лет), к которой приурочена основная часть платиноидно-золотого оруденения, распространена в северной, северо-западной частях впадины и сложена углеродистой толщей переслаивающихся конгломератов, «кварцевых песчаников», кварцитов и глинистых сланцев. Породы смяты в брахиморфные складки и разбиты многочисленными разломами. Рудные тела
Витватерсранда состоят из пачек золотоносных конгломератов, разделенных прослоями кварцитов и выделяемых в этом регионе как рудоносные рифы [157].



Рис. 5.11. Схема геологического строения депрессии Витватерсранд [109]. Вулканогенно-осадочные формации (в скобках — средний возраст, млн лет): *1* — Трансвааль (2025), *2* — Вентерсдорп (2709), *3–4* — верхний и нижний Витватерсранд соответственно (2914), *5* — Доминион (3074), *6* — фундамент (3120). Циркумсинклинальное строение депрессии определяется центральным поднятием Вредефорт.

Галька конгломератов преимущественно состоит из кварца, реже кварцита. Цемент конгломератов существенно кремнистый. Углистое вещество (до 30-40% С_{орг}) в пластах конгломератов присутствует в виде многочисленных тонких слойков. Рудные минералы представлены: золотом, серебром, сульфидами, сульфосолями, осмистым иридием, платиновыми минералами, хромитом, ильменитом, шпинелью, хромшпинелью, рутилом, касситеритом, урановыми минералами, монацитом, алмазом [102].

Первичное золото содержится в сульфидах, а также в виде мелких обособлений (1-100 мкм) среди цемента. Вторичное золото развито как тонкая пленка в цементе и гальках. Содержание золота 8-20 г/т, в ураганных пробах до 750 г/т; пробность 900-935 [139]. Установлена прямая корреляция между содержанием золота и размером галек [109]. В настоящее время генезис комплексного уранзолоторудного оруденения месторождения Витватерсранд остается дискуссионным [102]. Преобладающими моделями рудообразования являются: россыпная (Шидловский, Смирнов и др.), гидротермально-инфильтрационная (Н.А. Шило, А.А. Маракушев, Ю.Г. Сафонов, В.Ю. Прокофьев и др.) и полигенная (А.Д. Щеглов, В.И. Старостин).

Таким образом, на фоне большого разнообразия разных по возрасту, морфологии рудных тел, типу гидротермально-метасоматических изменений вмещающих пород и другим признакам комплексных месторождений и рудопроявлений БМ в черносланцевых толщах (табл. 5.3) отчетливо выделяется ряд их общих особенностей:

- 1. стратиформный характер благороднометального оруденения;
- 2. зеленосланцевый метаморфизм вмещающих оруденение пород;
- многокомпонентный состав и приуроченность руд к зонам интенсивной складчатости, взбросово-надвиговых нарушений, метасоматического изменения вмещающих пород и рассеянной сульфидной или сульфид-арсенидной минерализации;
- 4. концентрирование благородных металлов в виде собственных минеральных форм, а также примесей в сульфидах и углеродистом веществе пород.

Тип месторождения	Страна	Максимальные содержания МПГ и Аи, г/т		Сод-е С, %	Морфо- логия рудных тел	Возраст черных сланцев	Формы выделения БМ	Ранг место- рождения
		ΣΜΠΓ	Au		IUJI			
Тимской	Россия Чехия	1.3 0.1	2.2 0.13	3-20	пласты	PR_1	Самородные и собственные ми- неральные формы, примеси, твердые растворы	крупное
Онежский	Россия Австралия	431.8 1.9	250.0 5.1	1-50 <30	залежи	PR ₁	Самородные и собственные ми- неральные формы, твердые рас- творы и интерметаллиды, при- меси	крупное
Любинский	Польша Германия	1370 1.2	3000	2.4-4.8	пласты	P ₂	Собственные минеральные формы, примеси, металлоорга- нические комплексы	крупное
Витватерсрандский	ЮАР	0.5	3000	30-40	пласты	PR ₁	Собственные минеральные формы	гигантское
Южно-китайский	Китай Канада США	1.0 1.1 1.0	0.7 0.1 0.02	10-15 1.3-2.5 3.8-46	пласты	$\begin{array}{c} \varepsilon_1 \\ D_{2-3} \\ D-C_1 \end{array}$	Примеси в сульфидах, металло- органические комплексы (?)	крупное

Сравнительная характеристика месторождений БМ в черносланцевых комплексах

ГЛАВА 5. ГЕНЕЗИС БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В СВЯЗИ С ПРОЦЕССАМИ ЭНДОГЕННОЙ ГРАФИТИЗАЦИИ ПОРОД

В метаморфических комплексах Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов слабо проявлены признаки характерные для черносланцевых формаций: стратиформный характер оруденения, постоянная ассоциация благороднометального оруденения с углеродсодержащими первично-осадочными породами и тесная связь с сульфидной минерализацией [112]. В тоже время, рассмотренные выше (глава 3) минералого-геохимические особенности изученных пород свидетельствуют о несомненной связи БМ минерализации с процессами эндогенной графитизации [86].

Многометалльность метаморфитов (Zr, Sr, Ga, La, Ba, Rb, Ta, Nb, W, U, Au, Ag, Pt, Pd, Ir, Os, Ti, Ni, V, Cr, Cu, Co и др.), свойственная Матвеевско-Нахимовскому и Кабаргинскому террейнам, предполагает сочетание мантийных и коровых источников вещества [7, 107]. В частности, повышенное содержание ЭПГ, Ti, V, Ni, Cr, Cu характеризует комплексы пород коллизионных зон, где флюидный поток захватывает как материал нижних этажей земной коры, так и верхней мантии [86].

Некоторые исследователи полагают, что углерод поступает в составе газовой фазы глубинных эманаций [94, 106]. При подъеме высокотемпературных углеродсодержащих флюидов, их охлаждение и окисление стимулируют кристаллизацию графита по схеме $CH_4 + O_2 = C + 2H_2O$ [53]. Окисление углеводородов, в свою очередь, поглощает кислород, генерируя высокий восстановительный потенциал, что объясняет обилие самородных форм металлов в графитизированных породах Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов [86], а также других регионов [50].

Ведущей формой переноса металлов сухими восстановленными флюидами обычно считают хлоридные комплексы [23]. Кроме этого, экспериментально доказана возможность переноса благородных металлов восстановленными углеродсодержащими флюидами при различных P-T параметрах [83, 96]. Учитывая экспериментальные данные, а также присутствие в составе обнаруженных фаз БМ хлора и углерода, можно считать, что транспорт БМ осуществлялся в виде комплексов с углеродом (карбонилов, галоген-карбонилов и т.п.) [86].

Дальнейшее снижение температуры в окислительной среде дестабилизирует такие металлоорганические комплексы, что приводить к обогащению отдельных участков пород самородными металлами и углеродистым веществом, нередко играющим роль матрицы для первых. Примером служат зерна самородной платины на микрокристалле карбоната (рис. 4.1).



Рис.4.1. Тонкодисперсные зерна самородной платины на кальците [86]. Образец АР-1(1). Изображение получено в обратно-отраженных электронах на СЭМ EVO-50 XVP, аналитик Н.Н. Баринов.

Характерная неоднородность состава изученных пород является следствием эволюции неравновесного состояния в сложной самоорганизующейся системе [111]. Такого рода неравновесность, в свою очередь, обусловлена переохлаждением и декомпрессией флюида по мере подъема по зонам трещин, что меняет растворимость металлов и устойчивость сложных металлорганических соединений. Деструкция элементорганических соединений высвобождает, кроме того, летучие компоненты и металлические кластеры с последующей агрегацией и укрупнением последних. Подобную самоорганизацию системы сопровождает конденсация более устойчивых, очищенных от примесей протофаз с изначально «запрещенным» сочетанием компонентов. Восстановительная среда существования подобных углеродсодержащих комплексов способствует выделению самородных металлов и интерметаллидов, представленных многочисленными находками [10, 50, 86].

В высокотемпературном флюиде вулкана Кудрявый (о-в Итуруп) наряду с водой, CO₂, H₂S присутствуют CH₄, H₂, HCl и HF [112]. В сублиматах этого флюида установлено множество разноразмерных частиц самородных меди, серебра и золота. Установленная авторами неоднородность в составе и строении золотосодержащих агрегатов на микро- и наноразмерном уровне характерна и для выделений БМ в метаморфических породах Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов [108]. Характер фазообразования из высокотемпературного флюида допускает, в отличие от равновесной кристаллизации из гидротермальных растворов, сосуществование минеральных форм, содержащих рудные элементы как в металлическом, так и окисленном состояниях. Одним из этапов конденсации газово-дисперсной фазы является ее переход в состояние фрактального кластера – промежуточного в условиях межфазовых переходов [100].

Известна потенциальная возможность образования химической связи с углеродом практически всех элементов [45]. Металлы в форме летучих соединений с карбонильными или другими углеводородными радикалами могут переноситься сложными метастабильными соединениями типа $(Cl_3Si)_2Fe(CO)_4$ [99]. Перекристаллизация подобных протофаз начинается их диспропорционированием, завершаясь очищением от элементов примесей. Отмеченная выше неоднородность состава минералов БМ в пределах единого сложного агрегата кластерной сборки может быть следствием газоконденсатной кристаллизации. В условиях быстрого охлаждения и появления многочисленных центров нуклеации формируются минеральные фазы различного состава с примесью литофильных элементов, галогенов, атомарного углерода и карбонильных групп СО. Подобная комбинация элементов свойственна углеродсодержащим системам, кристаллизация твердых фаз в которых включает предварительную стадию формирования металлорганических комплексов. Так, например, сложные платиноорганические соединения, описанные в газовых сублиматах вулкана Кудрявого, по данным В. Дистлера с соавторами [81], имеют состав $PtCl_2(P(C_4H_9)_3)_2$. Здесь же, наряду с платиноорганическими, описаны и аналоги с Se и Re. По данным этих авторов, наибольшая концентрация Cl-ионов свойственна газам с более высокой температурой. Ее понижение приводит к снижению их концентрации и сопровождается возрастанием содержания F и Br в газовых конденсатах.

В описываемых графитистых кристаллосланцах и сланцах Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов были установлены галоген- (F, Cl, Br), и углеродсодержащие комплексы (CO) [108], что свидетельствует о более низкой температуре и другом редокс-потенциале среды в сравнении с вулканом Кудрявый.

Экспериментальное изучение поведения благородных металлов в углеродсодержащих системах при 200–400°С и $P_{oбщ} = 1$ кбар, впервые выполненное Л.П. Плюсниной и др., демонстрирует высокую сорбционную способность нерастворимой фракции углеродистого вещества (керогена) по отношению к золоту [84] и платине [83]. Некоторые результаты этих исследований представлены на рис.4.2-4.3. Из результатов опытов видно, что благородные металлы отлагаются на углеродистой пленке в виде многочисленных самородных выделений переменного состава. Морфология этих выделений меняется с увеличением длительности опытов от сфероидальной до субизометричной, таблитчатой и проволоковидной [83]. Этими авторами также было установлено влияние температуры на концентрацию золота и платины в углеродистом веществе: с ростом температуры сорбционная емкость керогена увеличивается, достигая максимума при 500°С [84].

Отсутствие заметного участия серы (при ведущей роли углерода и галогенов) в газовом транспорте металлов является одной из отличительных особенностей благороднометалльной минерализации в метаморфических комплексах пород Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов [117].

115



Рис.4.2. Многослойная микропористая углеродная пленка на платиновой подложке с многочисленными включениями микрокристаллов платины (400°С) [83]. Изображение получено во вторичных электронах на СЭМ EVO-50 XVP, аналитик Н.Н. Баринов.



Рис.4.3. Ансамбль разноразмерных микросфероидов платины на углеродной пленке (экспозиция 10 сут., 300°С) [83]. Изображение получено в обратно-отраженных электронах на СЭМ EVO-50 XVP, аналитик Н.Н. Баринов.

В ходе экспериментов было установлено, что УВ, как задающая редокс-потенциал субстанция, обладает более высокой буферной емкостью, чем минеральные ассо-

циации HM, NNO и PPM [83], вследствие трансформации УВ при нагревании с выделением ряда газовых составляющих: CH₄, CO, CO₂, O₂, H₂ и т.п. Роль углерода, как редокс-потенциал задающего компонента, согласуется с результатами расчетного моделирования взаимодействия в системах гранитоиды-вода [92]. Этими авторами было показано, что даже фоновое содержание углерода в гранитоидах определяет редокс-потенциал системы. Наряду с кристаллосланцами основного состава, разрез уссурийской серии включает интенсивно графитизированные гранито-гнейсы, скарны и мрамора. Однако, независимо от состава протолитов, окислительно-восстановительный режим определяла эндогенная графитизация по схеме CH₄+CO₂ = $2C + 2H_2O$.

Проблемы углеродизации горных пород и переноса металлов восстановленными углеродсодержащими флюидами активно обсуждаются в литературе [36; 50]. Так, в зоне Чернорудско-Баракчинского глубинного разлома (Западное Прибайкалье) графитизирована метаморфическая толща, состоящая из вулканитов основного состава, мраморов, кварцитов, плагиосланцев и продуктов гранитизации [28], что аналогично описываемой выше (глава 1) уссурийской серии пород. Все это подтверждает существование мощных потоков высокоуглеродистых металлоносных флюидов, циркулирующих по ослабленным тектоническим зонам глубокого заложения.

Повышенные, в сравнении с кларком, содержания золота и ЭПГ свойственны всем литологическим разностям пород матвеевской, тургеневской и митрофановской свит, что может быть следствием региональной углеродизации в ходе тектоно-магматической активности Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов. Сопряженность участков графитизации и дислокаций фиксирует собой зоны тектоно-магматической активности. Тотальная графитизация разных по составу пород позволяет считать, что она синхронизирована с региональным метаморфизмом на рубеже кембрия и ордовика [86].

Таким образом, в графитоносных метаморфических комплексах пород Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов проявлены все ранее выявленные признаки [36, 11], свойственные зонам мантийно-корового диапиризма: а) приуроченность к горст-антиклинориям; б) значительный масштаб проявлений графита и БМ; в) инъекции разнообразных гранитоидов, лампрофиров и диабазов; г) концентрация в породах геохимически разнотипных элементов, – что свидетельствует в пользу газоконденсатной гипотезы рудообразования благородных металлов. На это также указывают: а) дискретное распределение зерен БМ в изученных породах, их микро- и наноразмеры; б) композиционная неоднородность минералов БМ; в) примеси углерода, кислорода и галогенов в БМ-содержащих фазах [86].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе комплексного изучения графитизированных пород Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов были получены новые данные по геохимии и минералогии платины, палладия, золота, серебра и углерода, позволившие автору обосновать защищаемые положения.

Благородные металлы в графитизированных породах фиксируются в широком диапазоне значений (г/т): Au (0.02-14.50), Ag (0.20-9.10), ΣЭПГ (0.08-122). Однако, наблюдается корреляция концентраций золота и ЭПГ от степени насыщенности пород углеродом и, в меньшей мере, от условий регионального метаморфизма. Среди платиновых металлов главным элементом является платина, а все остальные присутствуют спорадически и в более низких концентрациях. Средние содержания золота, платины и палладия в слабометаморфизованных породах рудоносной свиты орловской серии с относительно низким содержанием углеродистого вещества составляют соответственно (в г/т) 0.04; 0.12; 0.02. На порядок выше БМ (Pt, Pd) фиксируются в железистых кварцитах и черных сланцах кабаргинской свиты лесозаводской серии. Наиболее высокие содержания БМ (Pt – до 7 г/т; Pd – до 1.2 г/т; Au – до 4.75 г/т) устанавливаются в высокометаморфизованных породах иманской (матвеевская свита) и лесозаводской (митрофановская свита) серий, вмещающих промышленные месторождения чешуйчатого графита. Наряду с повышенными содержаниями БМ, в отдельных пунктах отмечаются аномальные значения Pt: в графитизированных кальцифирах (Pt – до 65 г/т) и метадиабазовых сланцах (Pt – до 122 г/т).

Детальными исследованиями образцов основных разновидностей пород, слагающих Матвеевско-Нахимовский и Кабаргинский террейны, установлена минеральная форма нахождения благородных металлов. Минералы платины, золота и серебра представлены *самородными металлами* (самородные платина, золото и серебро), *твердыми растворами* (медистое, палладистое золото, электрум, медистое серебро, поликсен, палладистая платина и др.) и *интерметаллическими соединениями* (никелистое золото, интерметаллиды платины, олова, серебра, кадмия и свинца и др.). Собственных минералов палладия по результатам исследований не обнаружено. Минералы благородных металлов образуют тонкодисперсные (сотни нм - сотни мкм), изредка до 1 мм, агрегаты зерен переменного состава, неравномерно рассеянных в графит-карбонат-силикатной матрице пород.

Графиты из прожилков в гранито-гнейсе, кристаллических сланцах и скарнах (матвеевская и тургеневская свиты) характеризуют близкие структурные параметры, отвечающие высококристаллической его разновидности. Последующий их анализ установил три оптически различимые разновидности углеродистого вещества. Первая – светлый в отраженном свете чешуйчатый графит с ровной поверхностью. Вторая – ксеноморфные агрегаты и дискретные микроразмерные частицы темного до черного графита в высококристаллическом чешуйчатом графите. Третья – редкие субмикронные (1-3 мкм) включения УВ, обособленные внутри чешуйчатого графита, представляющие, согласно спектрам, аморфный углерод. Полученные результаты позволяют сделать вывод о существовании в изученных графитизированных метаморфических комплексах Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов двух генераций углеродистого вещества: ранней – в виде нанокристаллического графита, аморфного алмазоподобного углерода и нанокристаллического алмаза и поздней, представленной высококристаллическим графитом. Ранняя генерация метасоматической природы связана с воздействием глубинных восстановленных флюидов, а поздняя образовалась за счет перекристаллизации углеродсодержащих терригенных протолитов при региональном метаморфизме.

Полученные данные по минералогии и геохимии изученных пород Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов свидетельствуют о несомненной связи процессов эндогенной графитизации и БМ минерализации. Это позволяет сделать вывод о важной роли восстановленных углеродсодержащих флюидов в миграции и концентрировании Au, Ag, Pt и Pd и др. в метаморфических комплексах рассматриваемой территории.

Графитоносные метаморфические комплексы Матвеевско-Нахимовского и Кабаргинского террейнов характеризуются: а) рассеянно-вкрапленным характе-

ром распределения минералов Au, Ag и Pt, их приуроченностью, главным образом, к углеродистому веществу высокой степени метаморфизма; б) слабым проявлением сульфид-сульфоарсенидной минерализации. По этим признакам они отличаются известных черносланцевых формаций с месторождения и рудопроявления благородных металлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аксюк, А. М. Экспериментально обоснованные геофториметры и режим фтора в гранитных флюидах / А. М. Аксюк // Петрология. – 2002. – Т. 10. – № 6. – С. 630-644.
- Аргентов, В. В. Глубинное строение Приморья по данным ГСЗ. Научный отчет по результатам полевых работ 1967-1971 гг. / В. В. Аргентов, Г. С. Гнибиденко, С. В. Потапьев – Приморский филиал ФБУ «ТФГИ по Дальневосточному федеральному округу», 1973.
- Батурин, Г. Н. Геохимия вулканических пеплов Исландского и Камчатского вулканов / Г. Н. Батурин, Л. В. Зайцева, Т. М. Маневич // Докл. РАН. – 2012. – Т. 443. – № 3. – С. 342-346.
- 4. *Берсенев, И. И.* О тектоническом районировании Приморья / И. И. Берсенев // Сообщ. ДВФ. СО АН СССР. 1959. Вып. 10.
- 5. *Берсенев, И. И.* Основные черты тектоники Приморского края / *И. И. Берсенев* // Геология и металлогения Тихоокеанского рудного пояса: материалы I Всес. конф.. Владивосток, 1960.
- 6. *Билибина, Т. В.* О новом типе месторождений комплексных руд в Южной Карелии / *Т. В. Билибина, Е. К. Мельников, А. В. Савицкий* // Геол. рудн. месторождений. 1991. Т. 33. № 6. С. 3-13.
- Благородные металлы в высокоуглеродистых породах Ханкайского террейна, Приморье / А. И. Ханчук [и др.]. // Тихоокеанская геология. – 2007. – Т. 26. – № 1. – С. 70–80.
- Благородные металлы в графитизированных породах Ханкайского террейна (Приморье) по результатам анализа на основе окислительного фторидного разложения / А. И. Ханчук [и др.]. // Докл. РАН. – 2008. – Т. 422. – №2. – С. 239-243.
- Бормотов, В. А. Отчет о результатах сейсморазведочных работ в северовосточной части Приханкайской низменности за 1974-76 гг. / В. А. Бормотов, М. И. Яловцев – Приморский филиал ФБУ «ТФГИ по Дальневосточному федеральному округу», 1976.

- 10. *Буслаева, Е. Ю.* Элементоорганические соединения в проблеме миграции рудного вещества / Е. Ю. Буслаева, М. И. Новгородова. – М.: Наука, 1989. – 152 с.
- 11. Винокуров, С. Ф. Фуллерены в геохимии эндогенных процессов / С. Ф. Винокуров, Ю. Н. Новиков, А. В. Усатов // Геохимия. – 1997. – № 9. – С. 937–944.
- 12. Высокоуглеродистые тектониты новый тип концентрирования золота и платины / Ф.А. Летников [и др.] // ДАН, 1996. Т.347. – №6. – С. 47-49.
- 13. Вязовова, Р. В. Геологическое строение и полезные ископаемые бассейна рек Тамги, Кабарги и Половинки. Отчет о результатах поисково-съемочных работ масштаба 1: 50000, проведенных Орловской партией Ильмовским отрядом за 1961-1962 гг. / Р. В. Вязовова, Г. Т. Яворский. – Приморский филиал ФБУ «ТФГИ по Дальневосточному федеральному округу», 1963. – Т. 1, 2.
- 14. *Галимов, Э. М.* Геохимия стабильных изотопов углерода / *Э. М. Галимов.* М.: Недра, 1968. – 226 с.
- Галимов, Э. М. Природа углеродизации высокоуглеродизированных пород Восточного Саяна / Э. М. Галимов, А. Г. Миронов, С. М. Жмодик // Геохимия. – 2000. – № 4. – С. 355-360.
- 16. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн. / под ред. А.
 И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. 572 с.
- 17. Геологический словарь: в 3 т. / гл. ред. О. В. Петров. Изд. 3-е, перераб. и доп. СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2010. Т. 1: А-Й. 430 с.
- 18. Геологическое строение и полезные ископаемые бассейна рек Кедровки, Тамги, Кабарги и Половинки. Часть III. Отчет о результатах поисково-съемочных работ масштаба 1:50 000, проведенных Невским и Тургеневским отрядами Орловской партии в бассейнах рек Кабарги, Тамги и Половинки за 1961-62 гг. Трапеции L-53-76-B, L-53-88-A, L-53-88-B / *А. Ф. Крамчанин, Б. П. Пода.* – Приморский филиал ФБУ «ТФГИ по Дальневосточному федеральному округу», 1963. – Т. 1.
- 19. Геологическое строение и полезные ископаемые среднего течения рек Кедровки, Тамги, Кабарги. Отчет о результатах поисково-съемочных работ масштаба 1:50 000, проведенных Суйфунской партией в 1960-61 гг. / Е. П. Леликов

[и др.] – Приморский филиал ФБУ «ТФГИ по Дальневосточному федеральному округу», 1961. – Т. 1.

- 20. Геология Приморского края / *Н. А. Беляевский* [и др.]. М.: Госгеолтехиздат, 1955. 250 с.
- 21. Геология СССР. Том XXXII. Приморский край. Часть 1. Геологическое описание / гл. ред. А. В. Сидоренко. М.: Недра, 1969. 695 с.
- 22. Гидрогеологические и инженерно-геологические условия междуречья Уссури и Бол. Уссурки / Г. А. Николаев [и др.]. – Приморский филиал ФБУ «ТФГИ по Дальневосточному федеральному округу», 1989.
- Главатских, С. Ф. Первые находки самородных вольфрама и серебра в продуктах эксгаляции большого трещинного Толбачинского извержения (Камчатка) / С. Ф. Главатских, Н. В. Трубкин // Докл. РАН. – 2000. – Т. 273. – № 4. – С. 523-526.
- 24. Горбачев, О. В. Некоторые петрохимические и геохимические аспекты классификации докембрийских углеродистых отложений / О. В. Горбачев, Н. А. Созинов // Проблемы осадочной геологии докембрий. – М.: Наука, 1985. – Вып. 10. – С. 55-62.
- 25. Графиты Тургеневского и Тамгинского месторождений (Лесозаводский район, Приморье) / Л. П. Плюснина [и др.] // Тихоокеанская геология. – 2013. – Т. 32. – №4. – С. 88-89.
- 26. *Гурская, Л. И.* Платинометалльное оруденение черносланцевого типа и критерии его прогнозирования / *Л. И.*. *Гурская.* СПб.: ВСЕГЕИ, 2000. 208 с.
- 27. Данилова, Ю. В. Высокоуглеродистые метасоматиты в зонах глубинных разломов южного складчатого обрамления Сибирской платформы: автореферат дис. кандидата геолого-минералогических наук : 25.00.04 / Ю. В. Данилова. – Иркутск: Ин-т земной коры СО РАН, 2003. – 16 с.
- Данилова, Ю. В. О формах концентрирования рудных элементов в высокоуглеродистых метасоматитах / Ю. В. Данилова, Т. Г. Шумилова, Б. С. Данилов // Докл. РАН. – 2006. – Т. 410. – № 6. – С. 795-798.

- 29. Дистлер В.В. Флюидный транспорт и газотранспортные реакции в процессах конденсирования и отложения и отложения благородных металлов / В. В. Дистлер, М.А. Юдовская // Материалы Всерос. совещания «Геодинамика, магматизм и минерагения континентальных окраин Севера Пацифики». Т.З. – Магадан, 2003. – С. 33-35.
- 30. Додин, Д. А. Металлогения платиноидов крупных регионов России / Д. А. Додин, Н. М. Чернышов, О. И. Чередникова. – М.: Геоинформмарк, 2001. – 302 с.
- 31. Додин, Д. А. Платина России (результаты и направления работ по программе « Платина России») / Д. А. Додин, Н. М. Чернышов. – СПб.: ВНИИОкеангеология, 2004. – 129 с.
- 32. Додин, Д. А. Платинометалльные месторождения России / Д. А. Додин, Н. М. Чернышов, Б. А. Яцкевич. – СПб.: Наука, 2000. – 755 с.
- 33. Додин, Д. А. Платиносодержащая полиметальная формация черных сланцев и метасоматитов / Д. А. Додин, Н. М. Чернышев, Б. А. Яцкевич // Платинометалльные месторождения России. – СПб.: Наука, 2000. – С. 592-625.
- 34. Дьячков, Б. А. Рудные пояса Большого Алтая и оценка их перспектив / Б. А. Дьячков, Д. В. Титов, Е. М. Сапаргалиев. // Геология руд. месторождений. – 2009. – Т. 51. – №3. – С. 222-238.
- 35. Закономерности размещения комплексных (V, Pd, Au, U) руд онежского типа и перспективы их обнаружения в восточной части Балтийского щита / А. В. Савицкий [и др.]. // Геология и генезис месторождений платиновых металлов. – М.: Наука, 1994. – С.217-235.
- 36. Иванкин, П. Ф. Глубинная флюидизация земной коры и ее роль в петрогенезисе, соле- и нефтеобразовании / П. Ф. Иванкин, Н. И. Назарова. – М.: ЦНИГРИ, 2001. – 206 с.
- 37. Иванкин, П. Ф. Методика изучения рудоносных структур в терригенных толщах / Π. Φ. Иванкин, Н. И. Назарова. – М.: Недра, 1988. – 254 с.
- 38. Изучение кандидата в стандартные образцы состава благородных металлов (МПГ, Au, Ag) графитизированных пород / В. Н. Митькин [и др.]. // Докл. РАН. – 2009. – Т. 424. – № 3. – С. 380-384.

- 39. Касьян, Е. Д. Геологическое строение и полезные ископаемые верхнего течения реки Большой Кабарги. Отчет о результатах поисково-съемочных работ масштаба 1:50000, проведенных Кисинским отрядом Орловской партии в 1961-1963 г.г., лист L-53-88-Г. Т. 1 / Е. Д. Касьян, Г. Ф. Зверева, К. П. Титов Приморский филиал ФБУ «ТФГИ по Дальневосточному федеральному округу», 1964.
- 40. Каштаев, Б. И. Результаты аэрогеофизической съемки в районе Уссурийской группы железорудных месторождений (отчет Аэрогеофизической партии за 1970 год) / Б. И. Каштаев, А. В. Жуковская – Приморский филиал ФБУ «ТФГИ по Дальневосточному федеральному округу», 1971.
- 41. *Клюев, В. К.* Краткая характеристика мезокайнозойских наложенных структур Западной части Приморья. Приморский филиал ФБУ «ТФГИ по Дальневосточному федеральному округу», 1982.
- 42. Ковалев, А. А. О генезисе и геодинамической обстановке формирования золоторудных месторождений Мурунтау, Кумтор и Олимпиада / А. А. Ковалев, А. Э. Китаенко // Изв. секц. наук о Земле РАЕН. 2000. Вып. 5. С. 25-32.
- 43. Коваль, В. М. Результаты разведки месторождений подземных вод для водоснабжения объектов МО (с подсчетом запасов на 01.06.91г.). Отчет Западной партии за 1987-1991 гг. (м-ния Дзержинское, Чернятинское, Филинское) / В.М. Коваль, С.В. Перепадя. – Приморский филиал ФБУ «ТФГИ по Дальневосточному федеральному округу», 1991.
- 44. Коковин, В. П. Отчет о результатах сейсморазведочных работ в пределах Дальнереченской площади (Отчет сейсмической партии за 1976-78 гг.) / В. П. Коковин, Н. Н. Стародубцева – Приморский филиал ФБУ «ТФГИ по Дальневосточному федеральному округу», 1978.
- 45. *Конеев, Р. И.* Естественные нанотехнологии: наногеохимия и наноминералогия процессов рудообразования // Наногеохимия золота. – Владивосток: Дальнаука, 2008. – С.42-47.

- 46. Коробейников, А. Ф. Платинометалльные месторождения мира/ А.Ф. Коробейников. Т. III. Комплексные золото-редкометалльно-платиноидные месторождения. – М.: Научный мир, 2004. – 236 с.
- 47. Кропоткин, П. Н. Тектоника и некоторые вопросы металлогении южной части Советского Дальнего Востока. В кн.: Мат-лы по геологии, магматизму и рудным месторождениям Дальнего Востока и Забайкалья / П. Н. Кропоткин, С. А. Салун, И. А. Шахворстова. – М.: Изд-во АН СССР, 1953. – Т. 2.
- 48. Курский, А. Н. Выбор методов аналитического определения металлов платиновой группы в породах и рудах при решении геологических задач / А. Н. Курский // Платина России. – М.: Геоинформмарк, 1999. – Т. 4. – С. 246-263.
- 49. Лаверов, Н. П. Новые данные об условиях рудоотложения и составе рудообразующих флюидов золото-платинового месторождения Сухой Лог / Н. П. Лаверов, В. Ю. Прокофьев, В. В. Дистлер // Докл. РАН. – 2000. – Т. 371 – № 1. – С.88–92.
- 50. Летников, Ф. А. Сверхглубинные флюидные системы Земли и проблемы рудогенеза / Ф. А. Летников, // Геол. руд. месторождений. – 2001. – Т. 43. – № 4. – С. 291-307.
- 51. Лощинина, Л. Н. Состав и структура органического вещества в отложениях рудовмещающей толщи «пестрый бесапан» месторождения Мурунтау / Л. Н. Лощинина, А. А. Абдувахабов, Л. А. Скачкова. – Зап. Узбекистан: ВМО, 1987. – Вып. 40. – С. 45-49.
- 52. Макаров, В. П. Отчет о результатах обобщения и переинтерпретации геофизических материалов по участку Прибрежному за 1982-85 гг. / В. П. Макаров, О. А. Торлопова – Приморский филиал ФБУ «ТФГИ по Дальневосточному федеральному округу», 1985.
- 53. Маракушев, А. А. Черносланцевые формации как показатель катастрофического развития Земли / А. А. Маракушев // Платина России. – М: Геоинформмарк, 1999. – Т. 4. – С. 206-214.
- 54. *Марченко, Л. Г.* Углеродистое вещество в золотом стратиформном оруденении / *Л. Г. Марченко* // ДАН СССР. 1984. Т. 279. №4. С. 982-985.

- 55. Мельников, Е. К. Новый район с месторождениями богатых (V, U, Pd, Au) руд в Южной Карелии / Е. К. Мельников, Ю. В. Петров, А. В. Савицкий // Разведка и охрана недр. – 1992. – № 5. – С. 15-19.
- 56. Механизмы концентрирования благородных металлов в терригенноуглеродистых отложениях / Н. П. Ермолаев [и др.]. – М.: Научный мир, 1999. – 124 с.
- 57. Минерально-сырьевой потенциал платиновых металлов России на пороге XXI века / Д. А. Додин [и др.]. М.: Геоинформмарк, 1998. 121 с.
- 58. *Мишкин, М. А.* Петрология докембрийских метаморфических комплексов Ханкайского массива Приморья / *М. А. Мишкин.* – М.: Наука, 1969. – 184 с.
- 59. Мишкина, И. В. Геологическое строение и полезные ископаемые бассейна рек Кедровки, Тамги, Кабарги и Половинки. Часть III. Отчет о результатах поисково-съемочных работ масштаба 1:50 000, проведенных Матвеевским отрядом Орловской партии в бассейнах рек Кабарги, Тамги и Половинки в 1961-62 гг. Лист L-53-76-Г / И. В. Мишкина, Е. П. Колесников – Приморский филиал ФБУ «ТФГИ по Дальневосточному федеральному округу», 1963. – Т. 1.
- 60. Модель формирования орогенных поясов Центральной и северо-восточной Азии / Л. М. Парфенов [и др.]. // Тихоокеанская геология. 2003. Т. 22. № 6. С. 7-41.
- Назаренко, Л. Ф. Геология Приморского края. Ч. 3: Основные черты тектоники и истории развития / Л. Ф. Назаренко, В. А. Бажанов; под ред. Н. Г. Мельникова. – Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. – 58 с.
- 62. О возрасте метаморфизма слюдянского кристаллического комплекса (Южное Прибайкалье): результаты U-Pb геохронологических исследований гранитоидов / А. Б. Котов [и др.] // Петрология. – 1997. – Т. 5. – № 4. – С. 380-393
- 63. О концентрировании благородных металлов углеродистым веществом пород / *Γ. М. Варшал* [и др.] // Геохимия. – 1994. – № 6. – С. 814-824.
- 64. *Олейник, Ю. Н.* Геологическое строение и полезные ископаемые верхнего течения р. Уссури. Отчет Лесозаводской партии по составлению Государственной геологической карты масштаба 1:200 000 листа L-53-XX в 1963-64 гг. –

Приморский филиал ФБУ «ТФГИ по Дальневосточному федеральному округу», 1964. – Т. 1.

- 65. Онежская палеопротерозойская структура (геология, тектоника, глубинное строение и минерагения) / З. Л. Афанасьева [и др.]. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2011. 431 с.
- 66. Остащенко, П. И. Отчет о поисково-разведочных работах по оценке Уссурийских железорудных месторождений / П. И. Остащенко, И. П. Остащенко. – Приморский филиал ФБУ «ТФГИ по Дальневосточному федеральному округу», 1973. – Т. 1-2.
- 67. Отчет о результатах геологической, гидрологической съемки масштаба 1:50 000, проведенной в междуречье Уссури-Сунгач-Шмаковской партией в 1969-72 гг. / В. И. Пчелкин [и др.]. – Приморский филиал ФБУ «ТФГИ по Дальневосточному федеральному округу», 1973. – Т. 1, 2, 3, 4, 5, 6.
- 68. Отчет о результатах поисковых, геолого-разведочных работ, проведенных Ильмовской партией в бассейне р. Тамга, Кедровки и на рудопроявлении Ильмовском в 1970-72 гг. / В. А. Никогосян [и др.]. – Приморский филиал ФБУ «ТФГИ по Дальневосточному федеральному округу», 1972.
- 69. Первые данные по Sm-Nd систематике метаморфических пород Ханкайского массива Приморья / М. А. Мишкин [и др.] // Докл. РАН. 2000. Т. 374. № 6. С. 813-815.
- 70. Первые результаты U-Pb-геохронологических исследований пород гранулитового комплекса Ханкайского массива Приморья (метод LA-ICP-MS)
 / А. И. Ханчук [и др.] // Докл. РАН. 2010 Т. 434. №2. С. 212-21.
- 71. Петрищевская, Т. А. Результаты геофизических работ в помощь комплексной гидрогеологической и инженерно-геологической съемке масштаба 1:50 000.
 Отчет геофизической партии о работах, проведенных на участке Малиновском.
 Приморский филиал ФБУ «ТФГИ по Дальневосточному федеральному округу», 1987. Т. 1-3.
- 72. Платина России. Новые нетрадиционные типы платиносодержащих месторождений. Результаты и направления работ по программе «Платина России».

Т. 6.: Сб. науч. тр. / ред. В.П. Орлов [и др.]. – М.: Геоинформмарк, 2005. — 320 с.

- Платина России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов. Т. 1.: Сб. науч. тр. / ред. В.П. Орлов [и др.]. – М.: Геоинформмарк, 1994. – 248 с.
- 74. Платина России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов. Т. 2. Кн. 1.: Сб. науч. тр. / ред. В.П. Орлов [и др.]. – М.: Геоинформмарк, 1995. – 204 с.
- 75. Платина России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов. Т. 2. Кн. 2: Сб. науч. тр. / ред. В.П. Орлов [и др.]. – М.: Геоинформмарк,1995. –206 с.
- 76. Платина России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов. Т. 3.: Сб. науч. тр. / ред. В.П. Орлов [и др.]. – М.: Геоинформмарк, 1999. – 368 с.
- 77. Платина России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов в XXI веке (минералогия, генезис, технология, аналитика). Т. 4.: Сб. науч. тр. / ред. В.П. Орлов [и др.]. – М.: Геоинформмарк, 1999. – 310 с.
- Платина России. Проблемы развития, оценки, воспроизводства и комплексного использования минерально-сырьевой базы платиновых металлов. Т. 5.: Сб. науч. тр. / ред. В.П. Орлов [и др.] – М.: Геоинформмарк, 2004.– 486 с.
- 79. Платина России: состояние и перспективы / Д. А. Додин [и др.] // Литосфера. 2010. № 1. С. 3-36.
- 80. Платиноносность докембрийских черносланцевых толщ Карелии / А. В. Савицкий [и др.] // Платина России. – М.: Геоинформмарк, 1994. – С.55-65.
- 81. Платино-фосфор-углеводородные комплексы в вулканических флюидах первая находка в земной обстановке / В. В. Дистлер [и др.] // Докл. РАН. – 2008. – Т. 420. – № 2. – С. 217-220.
- 82. Плюснина, Л. П. Трансформация битумоиды-графит (по экспериментальным данным) / Л. П. Плюснина, Т.В. Кузьмина, П.П. Сафронов // ДАН. 2009. Т. 425. №1. С. 94-97.

- Плюснина, Л. П. Экспериментальное изучение концентрирования платины битумоидами при 20-400°С, 1 кбар / Л. П. Плюснина, Т. В. Кузьмина // Геохимия. – 1999. – № 5. – С. 506-515.
- 84. Плюснина, Л. П. Экспериментальное моделирование сорбции золота на углеродистое вещество при 20-500°С, 1 кбар / Л. П. Плюснина, Т. В. Кузьмина, О. В. Авченко // Геохимия. 2004. № 6. С. 1-10.
- 85. Прибайкальский коллизионный метаморфический пояс / Т. В. Донская [и др.]
 //Докл. РАН. 2000. Т. 374. № 1. С. 79-83.
- 86. Природа графитизации и благороднометальной минерализации в метаморфитах северной части Ханкайского террейна, Приморье / А. И. Ханчук [и др.]. // Геология рудных месторождений. – 2013. – Т. 55. – №4. – С. 261-281.
- 87. Рафаилович, М. С. Платиноиды недр Казахстана: систематика месторождений, минеральные формы, ресурсы / М. С. Рафаилович // Геология и охрана недр. – 2008. – №4. – С. 9-19.
- 88. Рахматуллаев, Х. Р. Некоторые особенности распределения платины и палладия в породах Центральных Кызылкумов / Х. Р. Рахматуллаев // Узб. геол. журн. – 1984. – №4. – С. 76-79.
- 89. Рудашевский, Н. С. Минералы платиновой группы из черных сланцев КМА / Н. С. Рудашевский, В. В. Кнауф, Н. М. Чернышов // Докл. РАН. – 1995. – Т. 334. – №1. – С. 91-95.
- 90. Рундквист, Д. В. Новые перспективные типы платиноносного оруденения / Д.
 В. Рундквист, Л. И. Гурская // Очерки металлогении. 1986. С. 119-137.
- 91. Рыбалко, В. И. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200000. Серия Ханкайская. Лист L-53-XX. Объяснительная записка / В. И. Рыбалко, Б. А. Лукьянов; под ред. В.А. Бажанова. – М., 2001. – 157 с.
- 92. Рыженко, Б. Н. Химические характеристики системы порода-вода. Система гранитоиды-вода / Б. Н. Рыженко, В. Л. Барсуков, С. Н. Князев // Геохимия. 1996. № 5. С. 436-454.
- 93. Рынков, В. С. Отчет о разведке Лесозаводского месторождения пресных подземных вод для снабжения г. Лесозаводска (с подсчетом запасов по состоянию

на 01.09.1976 г.) / В. С. Рынков, Н. С. Катаенкова – Приморский филиал ФБУ «ТФГИ по Дальневосточному федеральному округу», 1976.

- 94. *Рябчиков, И. Д.* Восстановленные флюиды в гидротермальном рудообразовании / И. Д. Рябчиков, М. И. Новгородова // Докл. АН СССР. 1981. Т. 258. № 6. С. 1453-1456.
- 95. Рязанцева, М. Д. Отчет Тургеневского отряда Кировской партии по результатам работ 1970-72 гг. (поиски цезиевого сырья в юго-западном Приморье). – Приморский филиал ФБУ «ТФГИ по Дальневосточному федеральному округу», 1973.
- 96. Салова Т.П. Перенос платины сухим восстановленным флюидом системы СО-СО₂ при Р=2 кбар / Т.П. Салова, А.Г. Симакин // Взаимодействие в системах флюид-расплав-кристалл: сборник трудов Всероссийского ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии. – Москва: ГЕОХИ РАН, 2016. – С. 67-68.
- 97. Сергеев, В. Б. Геологическое строение и полезные ископаемые бассейна нижнего течения р. Бол. Уссурка. Отчет Звенигородского участка Съемочной партии о результатах проведения групповой геологической съемки и поисков масштаба 1:50 000 в 1985-88 гг. в 3-х книгах. Листы L-53-65-В, Г, L-53-А, Б, L-53-77-А, Б. Приморский филиал ФБУ «ТФГИ по Дальневосточному федеральному округу», 1988. Т. 1, 2, 3.
- 98. Сихарулидзе, Г. Г. Ионный источник с полым катодом для элементного анализа твердых тел / Г. Г. Сихарулидзе // Масс-спектрометрия. – 2004. – Т. 1. – № 1. – С. 21-30.
- 99. Слободской, Р. М. Элементоорганические соединения в магматогенных и рудообразующих процессах / Р. М. Слободской. – Новосибирск: Наука, 1981. – 134 с.
- Смирнов, Б. М. Физика фрактальных кластеров / Б. М. Смирнов. М.: Наука, 1991. – 136 с.
- 101. *Солоненко, В. П.* Геология месторождений графита Восточной Сибири и Дальнего Востока / *В. П. Солоненко.* – М.: Госгеолиздат, 1951. – 384 с.

- 102. Старостин, В. И. Эволюция взглядов на происхождение золоторудного месторождения Витватерсранд / В. И. Старостин, Д. Р. Сакия // Вестн. Моск. ун-та. – 2015. – №2. – Сер. 4. – С.32-38.
- 103. Суминов, С. Н. Поисковые работы на вольфрам масштаба 1:25 000 на участке Ильмовском. Отчет Поисковой партии за 1985-88 гг. – Приморский филиал ФБУ «ТФГИ по Дальневосточному федеральному округу», 1988.
- 104. Танин, Ю. К. Отчет о геолого-поисковых работах на агроруды в южной части Приморского края / Ю. К. Танин, И. А. Боброва – Приморский филиал ФБУ «ТФГИ по Дальневосточному федеральному округу», 1960. – Т.1.
- 105. Тектоника Западного Тянь-Шаня / А. К. Бухарин [и др.]. М.: Наука, 1989. 152 с.
- 106. Термодинамические условия метаморфизма пород Ханкайского массива / Л.
 Л. Перчук [и др.] // Очерки физико-химической петрологии. М.: Наука, 1980.
 Вып. 9. С. 139-167.
- 107. Углеродизация гипербазитов Восточного Саяна и золото-палладий-платиновая минерализация / С. М. Жмодик [и др.]. // Геология и геофизика. 2004. Т. 45. № 2. С. 228-243.
- 108. Углеродизация и геохимическая специализация графитоносных пород северной части Ханкайского террейна, Приморье / А. И. Ханчук [и др.]. // Геохимия. – 2010. – № 2. – С. 115–125.
- 109. Углеродистые породы и золото в них бассейна Витватерсранд, ЮАР исследования с помощью электронного микроскопа / Э. Л. Школьник [и др.]. – М.: Эслан, 2005. – 120 с.
- 110. Углеродсодержащие формации новый крупный источник платиновых металлов XXI века / Д. А. Додин [и др.]. М.: Геоинформмарк, 2007. 130 с.
- 111. Филимонова, Л. Г. Металлоносные микровключения из риолитов как продукты самоорганизации послемагматических аэрозолей / Л. Г. Филимонова, Н. В. Трубкин // Зап. ВМО. – 2001. – Ч. СХХХ. – № 3. – С. 1-15.

- 112. Формы нахождения золота в продуктах кристаллизации современных высокотемпературных газовых флюидов вулкана Кудрявый, Курильские острова / *М. А. Юдовская* [и др.]. // Докл. РАН. – 2003. – Т. 391. – № 4. – С. 535-539.
- 113. Формы нахождения металлов платиновой группы и их генезис в золоторудном месторождении Сухой Лог / В. В. Дистлер [и др.] // Геол. руд. месторождений.
 1996. Т. 38. № 6. С. 467–484.
- 114. Формы нахождения платиновых металлов в рудах золота из черных сланцев / *Н. П. Ермолаев* [и др.] // Геохимия. – 1995. – № 4. – С. 524-532.
- 115. Ханчук, А. И. Новый генетический тип золотой минерализации в графитоносных породах Приморья / А. И. Ханчук, Л. П. Плюснина, А. В. Руслан // Золото Фенноскандинавского щита: материалы междунар. конф. – Петрозаводск: Карельский научный центр, 2013. – С. 176-179.
- 116. Ханчук, А. И. Палеогеодинамический анализ формирования рудных месторождений Дальнего Востока России / А. И. Ханчук // Рудные месторождения континентальных окраин: сб. науч. тр. – Владивосток: Наука, 2000. – 276 с.
- 117. Ханчук, А. И. Первые данные о золото-платиноидном оруденении в углеродистых породах Ханкайского массива и прогноз крупного месторождения благородных металлов в Приморском крае / А. И. Ханчук, Л. П. Плюснина, В. П. Молчанов // Докл. РАН. – 2004. – Т. 397. – №4. – С. 1-5.
- 118. Царько, В. З. Результаты ревизионно-оценочных работ на участке Невском и специализированных работ по массовым поискам в Приморском крае. Отчет Специализированного отряда за 1986-89 гг. – Приморский филиал ФБУ «ТФГИ по Дальневосточному федеральному округу», 1989.
- 119. Чернышов, Н. М. Новые минералы платиноидов в черносланцевых комплексах Тимского типа (КМА) / Н. М. Чернышов, В. Г. Моисеенко, В. В. Абрамов // Вестн. ВГУ. Сер.: Геология. – 2007. – № 2. – С.152-158.
- 120. Чернышов, Н. М. Новый тип платинометального оруденения Воронежской провинции: платиноносные высокоуглеродистые стратифицированные ком-

плексы / *Н. М. Чернышов* // Платина России. Т.2. Кн.2. – М.: Геоинформмарк, 1995.– С.55-83.

- 121. Чернышов, Н. М. Платиноносные формации Курско-Воронежского региона (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов. – Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 2004. – 448 с.
- 122. Чернышов, Н. М. Формационно-генетические типы платинометалльных проявлений Воронежского кристаллического массива / Н. М. Чернышов // Платина России. – М.: Геоинформмарк, 1994. – С. 85-103.
- 123. Шехоркина, А. Ф. Формации рифея и нижнего кембрия Ханкайского массива Приморья / А. Ф. Шехоркина. М.: Наука, 1966. – 95 с.
- 124. *Шумилова, Т. Г.* Алмаз, графит, карбин, фуллерен и другие модификации углерода / *Т. Г. Шумилова* – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 88 с.
- 125. Шумилова, Т. Г. Серебряные сфероиды в графитоносных породах Максютовского комплекса, Южный Урал / Т. Г. Шумилова, Н. П. Юшкин, Е. В. Пушкарев // Докл. РАН. – 2007. – Т. 417. – № 5. – С.682-864.
- 126. Яковлев, В. Н. Кембрийские отложения Приморского края / В. Н. Яковлев // Совещание по разработке унифицированных стратиграфических схем Дальнего Востока: Тезисы докладов и выступлений. – Хабаровск, 1956.
- 127. Armsrong-Altrin, J. S. Critical evaluation of six tectonic setting discrimination diagrams using geochemical data of Neogene sediments from known tectonic settings / J. S. Armsrong-Altrin, S. P. Verna // Sedimentary Geology. – 2005. – V. 177. – No 1. – P. 115-129.
- 128. Berendsen, P. Mineralization potential along the trend of the Keweenawan-age Central North American Rift System in Iowa, Nebraska, and Kansas (USA) // Mining Eng. – 1989. – V. 41. – No 8. – P. 845-848.
- 129. Bhatia, M. R. Trace element characteristics of grauwackes and tectonic setting discrimination of sediments basins / M. R. Bhatia, K. A. W. Crook // Cjntrib. Mineral Petrol. – 1986. – V. 92. – P. 181-193.
- 130. Carbon isotopes of graphite: Implications on fluid history / F.J. Luque [et al.]
 // Geoscience Frontiers. 2012. V. 3. Is. 2. P. 197-207.

- 131. Carville, D. P. Hill gold-platinum-palladium deposits / D. P. Carville [et al.]. // Geology at mineral deposits of Australia and Papua New Guinea. – 1990. – V. 1. – P. 759-762.
- 132. Condie, K. C. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales / K. C. Condie // Chem. Geol. – 1993. – V. 104. – P. 1-37.
- 133. Coveney, R. M. Ni-Mo-PGE rich ores in Chinese black shales and speculations on possible analogues on the USA / R. M. Coveney, C. Nansheng // Mineral. Deposita. – 1991. – V. 26. – No 2. – P. 83-88.
- 134. Effect of sintering on structure of nanodiamond / G. N. Yushin [et al.] // Diamond & Related Materials. 2005. V. 14. Pp.1721-1729.
- 135. Faure, G. Principles of Isotope Geology / G. Faure. New York: John Wiley & Sons, 1986. – 2nd Edn. – 589 p.
- 136. Ferrari, A. C. Raman spectroscopy of amorphous, nanostructured, diamond-like carbon, and nanodiamond / A. C. Ferrari, J. C. Robertson // Phil. Trans. R. Soc. Lond. A. – 2004. – V. 362. – P. 2477-2512.
- 137. Gototsi, Y. G. Pressure-induced phase transformations in diamond / Y. G. Gototsi, A. Kailer, K. G. Nickel // J. Appl. Phys. 1998. V. 84. Iss. 3. P.1299-1304
- 138. Grauch, R. I. Early-middle Proterozoic unconformities: unconventional sources for Pt-group and precious metals / R. I. Grauch // US Geol. Surv. – 1988. – Circ. N 1035. – P. 26.
- 139. Hallbauer, D. K. The fossil gold placer of the Witwatersrand: A review of their mineralogy, geochemistry and genesis / D. K. Hallbauer, J. M. Barton // Gold Bull. 1987. V. 20. No 3. P. 68-79.
- 140. Hoatson, D. M. Geology and economics of platinum-group metals in Australia / D.
 M. Hoatson, L. M. Glover // Bur. Miner. Resour. Australia. 1989. Report № 5.
- 141. Sedimentary nickel, zinc and platinum-group-element mineralization in Devonian black shales at the Nick property, Yukon, Canada: a new deposit type / L. J. Hulbert [et al.] // Explor. Mining Geol. – 1992. – No 1 – P. 39-62.

- 142. *Khanchuk, A.* I. Noble metal and graphite formation in metamorphic rocks of the Khanka terrane, Far East Russia / A. I. *Khanchuk, L. P. Plyusnina, N. V. Berdnikov* // Asian Earth Sciences. 2015. V. 99. Pp. 30-40.
- 143. Kucha, H. Platinum group metals in the Zechstein copper deposits, Poland / H.
 Kucha // Econ. Geol. 1982. V. 77. No 6. P. 1578-1591.
- 144. *Kucha, H.* Precious metal alloys and organic matter in the Zechstein copper deposits, Poland / *H. Kucha* // Tschermarks Min. Petr. Mitt. 1981. V. 28. Is. 1. P. 1-16.
- 145. Kucha, H. Precious metal bearing shale from zechstein copper deposits, Lower Silesia, Poland / H. Kucha // Tschermarks Min. Petr. Mitt. – 1983. – Sec. B. – V. 92. – No 5. – P. B72-79.
- 146. *Kucha, H.* Preliminary report on the occurrence of palladium minerals in the Zechstein rocks of the Fore-Sudetic Monocline / *H. Kucha* // Miner. Pol. 1975. V. 6. No 2. P. 1-16.
- 147. Lechler, P. J. Possible controls on the distribution of hydrothermal platinum group minerals in western North America / P. J. Lechler, L. C. Hsu // Geol. Soc. Amer. Abstr. with Programs 21: A131 1989. No 21.
- 148. Li, X. A mineralogical application of micro-PIXE technique: The Ni–Mo–PGE polymetallic layer of black shales in Zunyi region, South China / X. Д[et al.] // Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Research. Sect. B: Beam Interactions with Materials and Atoms. 2013. V. 308. P. 1-5.
- 149. Lott, D. A. Sedimentary exhalative nickel-molybdenum ores in South China / D. A.
 Lott [et al.]. // Econ. Geol. 1999. V. 94. No 7. P. 1051–1066.
- 150. Nomaszewski, J. B. Comments on the genesis and structure of the copperpolymetallic ore deposits of the Foresudetic monocline, SW Poland / J. B. Nomaszewski // Engl. Zechstein and relat. Top. Oxford. – 1986. – P. 183-194.
- 151. Platinum-group anomalies in the lower Mississippian of southern Oklahoma / Ch. J. Orth [et al.] // Geology. – 1988. – V. 16. – No 7. – P.627-636.
- 152. Prawer, S. The Raman spectrum of amorphous diamond / S. Prawer, K. W. Nugent,
 D. N. Jamieson // Diamond & Related Materials. 1998. V. 7. P.106-110.

- 153. Re-Os isotopes and PGE geochemistry of black shales and intercalated Ni-Mo polymetallic sulfide bed from the Lower Cambrian Niutitang Formation, South China / J. Shaoyong [et al.]. // Progr. Nat. Sci. – 2003. – V. 13. – No 10. – P. 788-794.
- 154. Rollinson, H. R. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation / H. R. Rollinson. – Essex: London Group UK Ltd, 1994. – 352 p.
- 155. Roser, B. P. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio / B. P. Roser, R. J. Korsch // J. Geol. 1986. V. 94. P. 635-650.
- 156. Roser, B. P. Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major element data / B. P. Roser, R. J. Korsch // Cem. Geol. – 1988. – V. 67. – P. 119-139.
- 157. Rudnick, R. L. Composition of the continental crust / R. L. Rudnick, S. Gao // Treatise Geochem. – 2004. – V. 3. – P. 1-64.
- 158. Schidlowski, M. The gold fraction of the Witwatersrand conglomerates from the Orange Free State goldfield (South Africa) / M. Schidlowski // Mineral. Deposita. – 1968. – V. 3. – P. 344-363.
- 159. Tan, P. H. Raman scattering of non-planar graphite: arched edges, polyhedral crystals / P. H. Tan, S. Dimovski, Y. Gotosi // Phil. Trans. R. Soc. Lond. A. – 2004. – V. 362. – P. 2289-2310.
- 160. *Taylor, S. R.* The continental crust: its composition and evolution / S. R. *Taylor, S. M. McLennan.* London, Blackwell, 1985. 312 p.
- 161. Tempelman-Kluit, D. J. Geology and mineral deposits of southern Yukon / D. J. Tempelman-Kluit // Explor. Geol. Serv. Canada – 1981. – P. 7-31.
- 162. The "North American Shale Composite": its compilation, major and trace element characteristics / *L. P. Gromet* [et al.] // Geochim. Cosmochim Acta. 1984. V. 48. P. 2469-2482.
- 163. Tuinstra, F. Raman spectrum of graphite / F. Tuinstra, J. L. Koening // Journal Chem. Phys. – 1970. – V. 53. – P. 1126-1130.

- 164. Wopenka, B. Structural characterization of kerogens to granulite-faces graphite: Applicability of Raman microprobe spectroscopy / B. Wopenka, J. D. Pasteris // Amer. mineralogist. – 1993. – V. 78. – P. 533-557.
- 165. *Zaitsev, A. M.* Optical properties of diamond: A data handbook / *A. M.Zatsev.* Germany: Springer, 2001. 503 pp.
- 166. Zeng, M. Geological feature of the Huangjiawan Ni–Mo deposit in Zunyi of Guizhou and its prospect for development / M. Zeng // Guizhou Geol. – 1998. V. 15. – No 4. – P. 305–310. (in Chinese with English abstract).
- 167. Zhu, C. F, Cl, OH partitioning between biotite and apatite / C. Zhu, D. A. Sverjensky
 // Geochim. Cosmochim. Acta. 1992. V. 56. P. 3435-3467.