

# ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ

№ 5 / 2021

Основан в марте 1933 года

Журнал выходит шесть раз в год

## УЧРЕДИТЕЛИ



Министерство природных ресурсов и экологии  
Российской Федерации



Российское геологическое общество



Центральный научно-исследовательский  
геологоразведочный институт  
цветных и благородных металлов

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор:  
А.И.Иванов

Н.В.Милетенко (зам. главного редактора),  
Т.М.Папеско (зам. главного редактора),  
А.И.Черных (зам. главного редактора)

Е.М.Аксенов, А.И.Варламов, С.С.Вартанян,  
А.И.Жамойда, А.А.Кременецкий, М.И.Логвинов,  
Г.А.Машковцев, Н.В.Межеловский, И.Ф.Мигачев,  
А.Ю.Розанов, Г.В.Седельникова, И.Г.Спиридонов,  
В.И.Старостин, Е.Г.Фаррахов

## Содержание

МЕСТОРОЖДЕНИЯ РУДНЫХ И НЕРУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ	
<i>Дьячков Б. А., Мизерная М. А., Пяткова А. П., Бисатова А. Е., Мирошникова А. П., Кузьмина О. Н., Зимановская Н. А., Ойцева Т. А., Черненко З. И.</i> К проблеме формирования колчеданно-полиметалли- ческих месторождений Рудного Алтая .....	3
ЛИТОЛОГИЯ, ПЕТРОЛОГИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ	
<i>Литвиненко А. К., Романова Е. И.</i> Закономерности образования прозрачной шпинели с ме- сторождения Кухилал, Юго-Западный Памир .....	17
<i>Зинчук Н. Н.</i> Об особенностях исследований постмагматических и ги- пергенных изменений кимберлитовых пород .....	26
ДИСКУССИИ	
Отзыв на статью А. Н. Глухова «Применение плей-ана- лиза при прогнозировании и поисках рудных место- рождений» .....	43
<i>Глухов А. Н.</i> Применение плей-анализа при прогнозировании и по- исках рудных месторождений .....	45
<i>Игнатов П. А., Толстов А. В., Проценко Е. В., Колес- ник А. Ю., Мальцев М. В.</i> Виллюй-Мархинское междуречье Якутии – перспек- тивный район на Cu-Ni с платиноидами оруденение ....	51
КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ	
<i>Авдонин В. В.</i> Погребённые железомарганцевые конкреции дна Ми- рового океана.....	65
ПОЗДРАВЛЕНИЯ	
80-летие Леонида Павловича Антоновича .....	67
80-летие Виктора Дмитриевича Конкина .....	69
80-летие Александра Александровича Кременецкого ....	70
80-летие Виктора Петровича Филиппова .....	72
75-летие Николая Петровича Похиленко .....	73
ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ	
Памяти Евгении Евгеньевны Савари .....	75
Памяти Игоря Борисовича Флёрова .....	77

Редакция: *Т. М. Папеско, А. П. Фунтикова*  
Компьютерная верстка: *А. Д. Юргина*

Решением Высшей аттестационной комиссии Министерства образования науки  
Российской федерации журнал включён в «Перечень ведущих рецензируемых  
научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные  
научные результаты диссертаций на соискание учёной степени доктора  
и кандидата наук»

Свидетельство о регистрации в средствах массовой информации

№ 01217 от 03 июня 1992 г.

Подписано в печать 09.11.2021

Адрес редакции: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1  
Телефон: (495) 315-28-47. Факс: (495) 315-43-47. E-mail: ogeo@tsnigri.ru

Сайт: [http://tsnigri.ru/o\\_geology](http://tsnigri.ru/o_geology)

Сайт электронной библиотеки: <http://elibrary.ru>

Типография ФГБУ «ЦНИГРИ»



## К проблеме формирования колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая

Большинство крупных и средних колчеданно-полиметаллических месторождений Восточного Казахстана многими авторами отнесены к VMS-типу. Их формирование проходило в девонское время, в обстановке рифтогенеза и активного проявления базальт-андезит-риолитового вулканизма. Отмечается чёткая приуроченность рудных тел месторождений к отложениям нескольких геохронологических уровней ( $D_1e-D_3fm$ ). Выделяются гидротермально-осадочные сингенетические и гидротермально-метасоматические руды. Высокие концентрации цветных металлов в рудах (свыше 10 % по сумме металлов) и довольно простой компонентный состав рудных минералов (халькопирит, пирит, галенит, сфалерит) – характерные особенности всех колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая. Также отмечается, что руды являются комплексными с повышенным содержанием примесей благородных металлов и редких элементов (Cd, Se, Bi, Te, Ta, W и др.). Минералогические исследования руд показали сложное соотношение основных рудных минералов (халькопирит, пирит, сфалерит, галенит), имеющих несколько генераций и различную геохимическую специализацию. Минералы Au, Ag, Te, Bi и др. встречаются в виде свободных зёрен или микроскопических включений и просечек в минералах Cu, Pb, Zn. Значительный вертикальный масштаб оруденения (свыше 100 м), сложность и длительность процессов рудообразования, наличие чётко выраженной приуроченности оруденения к определённым геохронологическим уровням позволяют предположить возможность открытия новых рудных залежей или самостоятельных месторождений в пределах уже известных рудных полей казахстанской части Рудного Алтая.

*Ключевые слова:* колчеданно-полиметаллические месторождения, Рудный Алтай, сингенетические руды, колчеданно-метасоматические руды, цветные металлы, геохронологические уровни, модель оруденения, минеральный состав.

**Дьячков Борис Александрович**, доктор геолого-минералогических наук, академик НАН РК, профессор<sup>1</sup>, bdyachkov@mail.ru

МИЗЕРНАЯ МАРИНА АЛЕКСАНДРОВНА, кандидат геолого-минералогических, доцент<sup>1</sup>, mizernaya58@bk.ru

ПЯТКОВА АННА ПАВЛОВНА, докторант<sup>1</sup>, korajiji@mail.ru

БИСАТОВА АЙНЕЛЬ ЕРЖАНОВНА, инженер-геолог<sup>3</sup>, bisatova.ainelya@mail.ru

МИРОШНИКОВА АНАСТАСИЯ ПЕТРОВНА, PhD, старший научный сотрудник<sup>2</sup>, anastasiya-2588@mail.ru

КУЗЬМИНА ОКСАНА НИКОЛАЕВНА, PhD, доцент<sup>1</sup>, kik\_kuzmins@mail.ru

ЗИМАНОВСКАЯ НАТАЛЬЯ АЛЕКСАНДРОВНА, PhD, руководитель школы<sup>1</sup>, NZimanovskaya@ektu.kz

ОЙЦЕВА ТАТЬЯНА АНАТОЛЬЕВНА, PhD<sup>3</sup>, tanhic91@mail.ru

ЧЕРНЕНКО ЗИНАИДА ИВАНОВНА, кандидат геолого-минералогических наук, доцент<sup>1</sup>, zinchernenko@mail.ru

<sup>1</sup> НАО «Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева» (НАО «ВКТУ им. Д. Серикбаева»), г. Усть-Каменогорск

<sup>2</sup> Филиал РГП «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан» «Восточный научно-исследовательский горно-металлургический институт цветных металлов» (Филиал РГП «НЦ КПМС РК» «ВНИИЦВЕТМЕТ»), г. Усть-Каменогорск

<sup>3</sup> ТОО «ГЕОС», г. Усть-Каменогорск

## On genesis of massive sulfide polymetallic ore deposits of Rudny Altai

B. A. DIYACHKOV<sup>1</sup>, M. A. MIZERNAYA<sup>1</sup>, A. P. PYATKOVA<sup>1</sup>, A. E. BISATOVA<sup>3</sup>, A. P. MIROSHNIKOVA<sup>2</sup>, O. N. KUZMINA<sup>1</sup>, N. A. ZIMANOVSKAYA<sup>1</sup>, T. A. OITSEVA<sup>3</sup>, Z. I. CHERNENKO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> NAO Serikbaev Eastern Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk

<sup>2</sup> Filial Branch of RGP "NTs KPMS RK" "VNIItsvetmet", Ust-Kamenogorsk

<sup>3</sup> TOO "GEOS", Ust-Kamenogorsk

Many geologists assign most of large- and medium-sized massive sulfide polymetallic ore deposits of Eastern Kazakhstan to the VMS type. These ore deposits formed in the Devonian, under conditions of rifting and active basalt-andesite-rhyolite volcanism. Ore bodies of these deposits are noted to be clearly confined to formations of several geochronologic levels (D<sub>1e</sub> to D<sub>3fm</sub>). Hydrothermal-sedimentary syngenetic and hydrothermal-metasomatic ores are distinguished. High concentrations of base metals in the ores (above 10 % sum metals) and their rather simple mineral composition (chalcopyrite, pyrite, galena, and sphalerite) are a characteristic feature of all the massive sulfide polymetallic ore deposits of Rudny Altai. The ores are noted to be multicomponental, with elevated contents of the admixtures of precious metals and rare elements (Cd, Se, Bi, Te, Ta, W, etc.). Mineralogical investigations of the ores have demonstrated an intricate relationships of the major ore minerals (chalcopyrite, pyrite, sphalerite, galena) that exhibit several generations and different geochemical specialization. Minerals of Au, Ag, Te, Bi, and other elements are encountered as individual grains or microscopic inclusions and stringers in minerals of Cu, Pb, and Zn. A significant vertical range of the ore mineralization (more than 100 m), the complexity and long duration of the ore-forming processes, the clearly defined confinement of the ore mineralization to certain geochronologic levels, – all these allow us to suppose a possibility of discovery of new ore lodes or individual ore deposits within the already known ore fields of the Kazakhstan segment of Rudny Altai.

*Key words:* Massive sulfide polymetallic ore deposits, Rudny Altai, syngenetic ores, massive sulfide metasomatic ores, base metals, geochronologic levels, ore mineralization model, mineral composition.

В пределах Рудного Алтая сосредоточены многие промышленные месторождения меди, свинца, цинка, золота, серебра и других металлов, которые образуют крупный Рудно-Алтайский медно-полиметаллический пояс, объединяющий Лениногорский, Зыряновский, Прииртышский, Змеиногорский и Рубцовский рудные районы [1, 10].

В изучение геологии и металлогении Рудного Алтая большой вклад внесли многие исследователи (П. П. Буров, Н. П. Курек, А. К. Каюпов, Н. Л. Бубличенко, П. Ф. Иванкин, Г. Н. Щерба, В. В. Попов, Б. А. Чепрасов, Д. И. Горжевский, Г. Ф. Яковлев, В. В. Авдонин, В. И. Старостин, М. Г. Хисамутдинов, В. М. Чекалин, Х. А. Беспаяев, Ю. И. Демин, Н. И. Стучевский, Г. Д. Ганженко и др.). На протяжении всего периода исследований одним из наиболее спорных был вопрос о генезисе крупной рудоносной структуры Рудного Алтая [4, 5].

В связи с ускоренной отработкой известных месторождений в пределах Восточного Казахстана возникла острая проблема укрепления минерально-сырьевой базы цветных металлов для действующих горно-металлургических предприятий. К настоящему моменту фонд легкооткрываемых месторождений уже исчерпан, оставшихся запасов металлов в недрах хватит на первые десятки лет, поэтому обстоя-

тельство диктует необходимость открытия новых месторождений меди, свинца, цинка и сопутствующих металлов (Au, Ag, Pt, Cd, Se и др.). Важнейшая задача фундаментального плана – это разработка новых представлений в геологии и металлогении Рудного Алтая в целях совершенствования технологии прогнозно-поисковых работ и создания научной основы восполнения минерально-сырьевой базы [12, 13].

Цель исследования настоящей статьи – на основе новых данных уточнить и углубить известные ранее общие закономерности формирования колчеданных руд в пределах казахстанской части Рудного Алтая.

**Геотектоническое районирование.** По геотектоническому районированию Рудный Алтай входит в геоструктуру Большого Алтая (БА), относящегося к системе Центрально-Азиатского подвижного пояса [10]. В соответствии с общей геодинамической моделью эволюции палеоазиатского океана БА как единая целостная структура сформировался в герцинский цикл в процессе коллизии и сращивания Сибирского и Казахстанского микроконтинентов. Размещается он на северо-западном фланге Алтае-Алашаньской мобильной зоны дугообразной формы, огибающей с юго-запада Сибирскую платформу. Территория Большого Алтая ограничена северо-западными глубинными разломами: Кара-Иртышским (на северо-востоке)

и Чингиз-Сауртским (на юго-западе), отделяющими его соответственно от Горного Алтая и Чингиз-Тарбагатай [12].

В пределах казахстанской части БА объединяются геологические структуры Рудного Алтая, Калба-Нарыма, Западной Калбы и Жарма-Саура, ограниченные северо-западными глубинными разломами и различающиеся по специфике геодинамического развития, геологического строения и металлогении [10]. Анализ эволюции геологических и рудных формаций рассматриваемого региона (от докембрия до киммерийского и альпийского циклов) показывает, что процессы рудообразования с формированием промышленных месторождений цветных, благородных, редких металлов и других полезных ископаемых в каждом рудном поясе и металлогенических зонах происходили с разной интенсивностью, в определённых геодинамических обстановках и режимах, рассматриваемых в виде благоприятных региональных поисковых критериев.

По металлогеническому районированию в регионе БА выделяются четыре рудных пояса: Рудно-Алтайский медно-полиметаллический (Fe, Mn, Cu, Pb, Zn, Au и др.), Калба-Нарымский редкометалльный (Ta, Nb, Be, Li, Cs, Sn, W), Западно-Калбинский золоторудный (Au, Ag, As, Sb и др.), Жарма-Саурский полиметалльный (Cr, Ni, Co, Cu, Au, Hg и др.).

Рудно-Алтайский пояс ограничен Кара-Иртышским и Иртышским глубинными разломами северо-западного направления (рис. 1). В плане он имеет конусовидную форму с расширением на северо-западе в сторону российского Рудного Алтая и с резким сужением на Южном Алтае вблизи границы с Китаем. Рассматриваемый пояс объединяет три металлогенические зоны: Рудноалтайскую (центральную), Иртышскую и Белоубинско-Сарымсактинскую (краевые). Рудноалтайская зона – главная рудоконцентрирующая структура, в которой сосредоточены многие крупные колчеданно-полиметаллические и медноколчеданные месторождения (Cu, Pb, Zn, Au и др.) вулканогенно-осадочного генезиса. Ведущие типы месторождений сформировались в герцинский цикл в рифтогенной геодинамической обстановке ( $D_1e-D_3fr_1$ ) в генетической связи с дифференцированной группой пород базальт-андезит-риолитового состава и контрастного ряда (табл. 1).

В связи со сменой геодинамического режима в островодужной обстановке образовались более мелкие по масштабам оруденения медно-полиметаллические месторождения, ассоциирующие с дацит-андезитовой формацией ( $D_3fm$ ).

Основные месторождения размещаются в Лениногорском, Зыряновском и Прииртышском рудных

районах. В российской части Рудного Алтая расположены Рубцовский и Змеиногорский рудные районы (см. рис. 1). На юго-западном фланге в Китае известны медноколчеданные месторождения Ащалы, Коктал, Тимурты и др. [10].

В целом Рудно-Алтайский пояс – это крупная рудоносная структура региональной ранговости, характеризующаяся высоким энергетическим потенциалом, перспективы которой ещё не исчерпаны.

**Особенности геодинамического развития Рудного Алтая.** По современным представлениям в среднем палеозое Рудный Алтай представлял собой активную континентальную окраину Алтае-Саянской складчатой области. В начале палеозоя по юго-западному краю Алтайского микроконтинента сформировалась система сближенных субпараллельных и косо секущих глубинных разломов северо-западного направления, проникающих в активизированную верхнюю мантию, падающих на северо-восток под углами  $60-70^\circ$ . Они способствовали формированию специфического, линейно-вытянутого в северо-западном направлении тектоно-магматического литосферного блока Рудного Алтая, заключённого между Иртышской и Северо-Восточной зонами смятия. Рифтогенные зоны, в пределах которых формировались вулканогенно-тектонические поднятия (Рубцовское, Алейское, Синюшинское, Ревнюшинское и др.), являлись областями интенсивного проявления преимущественно средне-верхнедевонского кислого (риолитового) вулканизма. Эти поднятия ограничивались зонами глубинных разломов, в связи с которыми развивались вулканогенно-тектонические депрессии, заполненные преимущественно известково-терригенными толщами с телепирокластическими осадками и вулканическими образованиями базальт-андезит-риолитовой формации ( $D_2gv-D_3fm_1$ ).

Возникшие рудоносные вулканогенно-тектонические структуры при более поздних геодинамических режимах (коллизионные сжатия, субвертикальные растяжения, горизонтальные сбросо-сдвиговые перемещения по тектоническим зонам) были значительно преобразованы и усложнены вместе с рудными телами. Накопление флюидов и концентрированная миграция рудонасыщенных потоков – главные факторы для потенциальной продуктивности всей рудообразующей системы Рудного Алтая, а благоприятные структурные элементы способствуют формированию флюидно-магматогенных комплексов с зональным размещением рудогенных элементов (Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Au др.).

**Модель рудообразования.** Проблемы генезиса колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая рассматривались во многих работах [3–5,

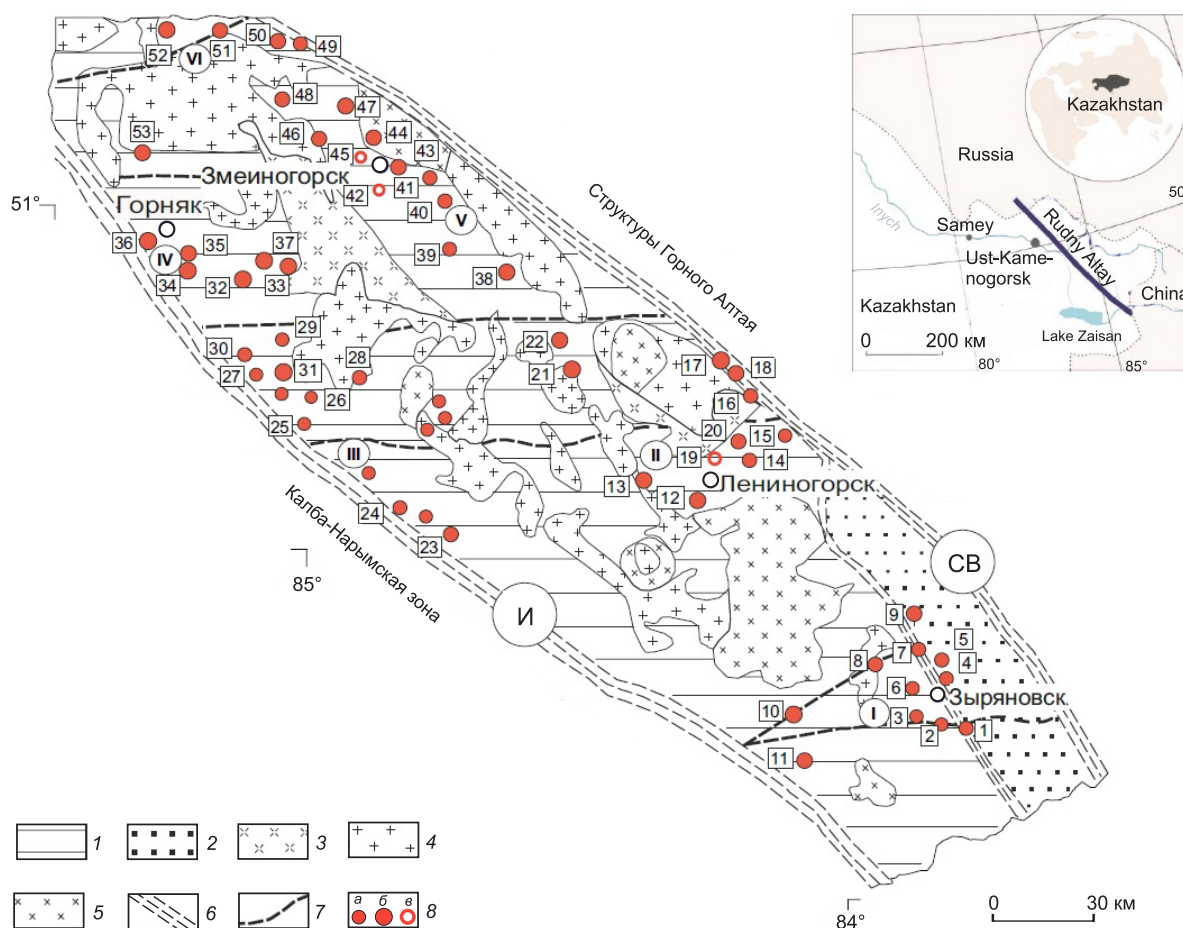


Рис. 1. Структурно-формационная схема Рудного Алтая. Составлена по материалам Рудно-Алтайской экспедиции:

1 – средне-верхнедевонские островодужные вулканогенно-осадочные образования Рудного Алтая; 2 – отложения Белоубинско-Маймырского задугового прогиба; 3 – доэйфельский комплекс ( $D_2$ ): диориты, кварцевые диориты, гранодиориты, плагиограниты; 4 – средне-верхнекаменноугольные ( $C_{2-3}$ ): гранодиориты, диориты, плагиограниты и адемиты (змеиногорский комплекс); 5 – верхнепермские–нижнетриасовые ( $P_2-T_1$ ) порфиридные биотитовые и биотит-роговообманковые граниты (калбинский комплекс); 6 – основные разломы, разделяющие складчатые системы (И – Иртышская, СВ – Северо-Восточная зоны смятия); 7 – поперечные разломы; 8 – месторождения: а, б – колчеданно-полиметаллические и медноколчеданные: а – крупные, б – средние и в – барит-полиметаллические; I–VI – рудные районы: I – Зырянковский, месторождения (числа в квадратах): 1 – Греховское, 2 – Снегиревское, 3 – Зырянское, 4 – Богатыревское, 5 – Осочихинское, 6 – Майско-Зырянское, 7 – Путинцевское, 8 – Парыгинское, 9 – Малеевское, 10 – Заводинское, 11 – Бухтарминское, II – Лениногорский, месторождения: 12 – Риддер-Сокольное, 13 – Тишинское, 14 – Шубинское, 15 – Старковское, 16 – Стрижковское; 17 – Гуслияковское, 18 – Чекмарь, 19 – Ново-Лениногорское, 20 – Успенское, 21 – Анисимов ключ, 22 – Снегирихинское, III – Прииртышский, месторождения: 23 – Белоусовское, 24 – Иртышское, 25 – Березовское, 26 – Новоберезовское, 27 – Николаевское, 28 – Покровское, 29 – Шемонаихинское, 30 – Камышинское, 31 – Артемьевское, IV – Золотушинский, месторождения: 32 – Юбилейное, 33 – Крючковское, 34 – Золотухинское, 35 – Новозолотухинское, 36 – Орловское, 37 – Греховское, 53 – Локтевское, V – Змеиногорский, месторождения: 38 – Воровское, 39 – Семеновское, 40 – Маслянское, 41 – Лазурское, 42 – Змеиногорское, 43 – Корбалихинское, 44 – Среднее, 45 – Зареченское, 46 – Стрижковское, 47 – Майское, 48 – Тушканихинское, VI – Рубцовский, месторождения: 49 – Степное, 50 – Таловское, 51 – Захаровское, 52 – Рубцовское

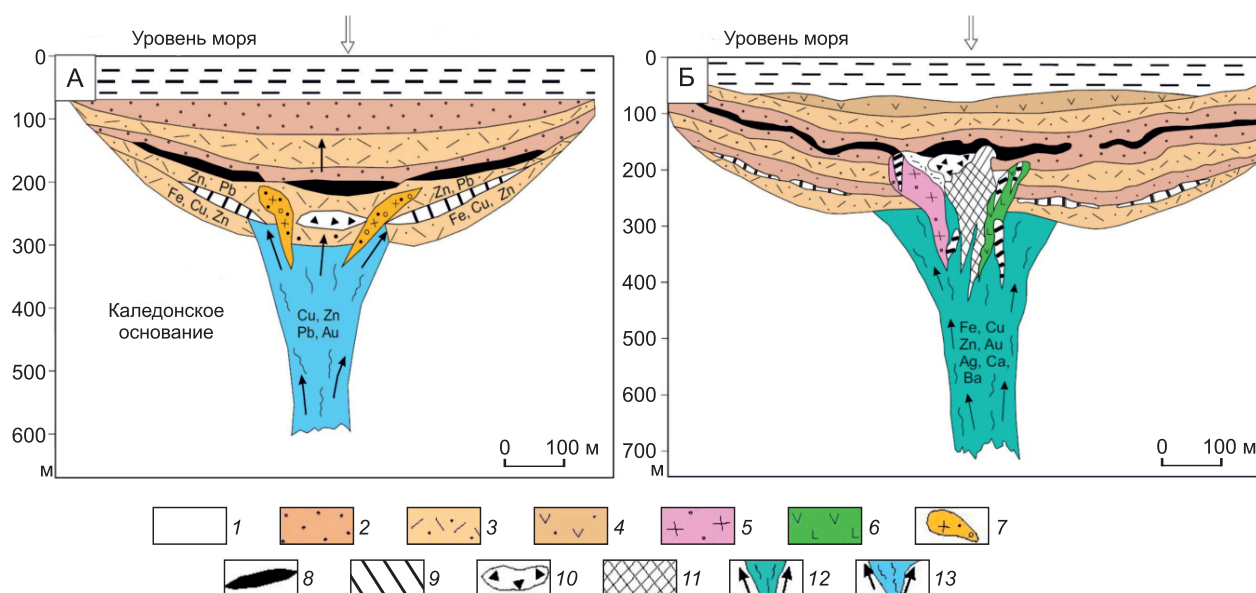
8, 9]. В настоящее время известны три основные гипотезы формирования рудно-алтайских месторождений: интрузивная, эффузивная и принятая в настоящей статье вулканогенно-осадочная. В соответствии с этой гипотезой колчеданно-полиметаллические руды образовались в герцинский цикл в рифто-

генной геодинамической обстановке ( $D_1-D_3$ ) до проявления главной саурской ( $C_1$ ) фазы складчатости, интенсивного многоактного расщелачивания и смятия пород, становления гранитоидных интрузий Змеиногорского, Калбинского комплексов и их дериватов. Главным источником рудоносных растворов



Основные геодинамические обстановки и рудные формации Рудного Алтая

Циклы	Геодинамическая обстановка	Иртышская зона	Рудно-Алтайская зона	Белоубинско-Сарымсактинская зона	
Докембрийский	Океанического рифтогенеза	Медноколчеданная – Cu (Zn, Au); рудовмещающая амфиболито-гнейсовая формация (PR <sub>1</sub> ?); халькопирит-пирротиновый тип; месторождение Карчига			
Герцинский	Рифтогенная		Колчеданно-полиметаллическая (Cu, Pb, Zn, и др.); базальт-андезит-риолитовая (D <sub>1</sub> –D <sub>3</sub> fr); крупные месторождения VMS-типа (Риддер-Сокольное и др.)	Стратиформная железо-марганцевая, Fe, Mn (P), D <sub>1e</sub> –D <sub>2gv</sub> ; Холзунское месторождение, тип Кируна	
			Медно-полиметаллическая (Cu, Zn, Pb); дацит-андезитовая (D <sub>3</sub> fm); средние и мелкие месторождения (Заводинское и др.)	Свинцово-цинковая вулканогенно-осадочная (D <sub>1-2</sub> ); средние и мелкие месторождения (Чекмарь, Никитинское)	
	Островодужная		Золото-свинец-сереброносная; андезитобазальтовая, C <sub>1</sub> ; мелкие объекты (Мурзинцевское и др.)		
	Коллизионная	Золото-лиственитовая (Au, Ag, As); рудовмещающая амфиболито-гнейсовая метаморфизованная (PR <sub>1</sub> ?); зоны минерализации, жилы; средние месторождения (Маралиха)		Золото-теллуридная (Au, As, Bi, Ag); габбро-диорит-плагиогранитовая (C <sub>2-3</sub> ); средние месторождения (Секисовское)	
		Золото-кварц-березитовая (Au); гранодиорит-плагиогранитовая (C <sub>3</sub> ), 305 млн лет; средние месторождения (Манка)		Золото-кварцевая (Au); жильные тела, россыпи; мелкие объекты (Маймырская группа)	
Постколлизионная	Скарново-карбонатно-грейзеновая (Sn, W), кварцево-жильная (W, Mo); гранитовая (P <sub>1</sub> ); мелкие объекты, рудопроявления (Усть-Каменогорское, Каройское и др.)		Скарново-карбонатно-грейзеновая (W, Sn, Mo); гранитовая (P <sub>1</sub> ); карбонатно-шеелит-вольфрамитовый тип; рудопроявления (Ивановское и др.)	Эпимагматическая редкометалльно-редкоземельная (Ta, Nb, TR); щелочногранитовая (P <sub>2</sub> ?); зоны вкрапленников, жилоподобные тела; мелкие объекты (Азутау, Успенское)	



**Рис. 2. Модель стратиформного вулканогенно-осадочного (А) и гидротермально-метасоматического рудообразования (Б) месторождений Рудного Алтая:**

1 – Каледонское основание, зеленосланцевая формация, O–S?; 2–3 – вулканогенно-осадочные отложения, D<sub>1-2</sub>; 2 – известково-кремнисто-терригенные, 3 – вулканит-риолит-базальтового состава; 4 – вулканогенно-осадочные отложения, D<sub>1</sub>–D<sub>3</sub> fr; 5 – субвулканические порфиоровые тела; 6 – субвулканические порфириды; 7 – субвулканические порфиоровые тела с гнездово-вкрапленным оруденением; 8 – стратиформные залежи сплошных колчеданно-полиметаллических руд (Zn, Pb, Au и др.); 9 – прожилково-вкрапленные медноколчеданные и колчеданно-полиметаллические руды преимущественно пирит-халькопиритового состава (Fe, Cu, Zn); 10 – рудные брекчии; 11 – сплошные медноколчеданные руды (Cu, Zn); 12–13 – магмо- и рудоподводящий каналы

являлись сложнодифференцированные глубинные очаги базальтоидного магматизма. Руды сформировались синхронно с образованием девонских вулканогенно-осадочных отложений и флюидно-порфиоровых комплексов (рис. 2). Рудные тела значительной части месторождений претерпели вторичные наложенные тектонические, магматические, гидротермальные преобразования, что существенно усложнило их минеральный состав [10].

По физико-химическим, геолого-структурным и минералого-геохимическим особенностям рудообразования и практической значимости выделены основные генетические типы колчеданно-полиметаллического оруденения: вулканогенно-осадочный (гидротермально-осадочный) и гидротермально-метасоматический. К первому стратиформному вулканогенно-осадочному типу относятся месторождения, рудные тела которых локализуются среди неизменённых или слабоизменённых осадочно-пирокластических и магматических пород (см. рис. 2, А), несущих свинцовое, свинцово-цинковое, золото-колчеданное и колчеданно-полиметаллическое оруденение (2-я Риддерская залежь Риддер-Сокольного месторождения, Календарское, Верх-Убинское, Осеннее, Банное, Ни-

китинское, Никандровское, Пневское месторождения и Южно-Алтайская группа рудопроявлений).

Гидротермально-метасоматический тип колчеданно-полиметаллического и медно-цинкового оруденения является основным на Рудном Алтае. Он тесным образом связан с рифтогенными тектоно-магматическими процессами герцинского цикла среднего–верхнего девона и становлением субвулканических порфиоровых тел, которые сопровождаются мощными ареалами гидротермально-метасоматических пород (до гидротермалитов и метасоматитов) и колчеданным оруденением в виде отдельных рудных тел и залежей (см. рис. 2, Б). К этому типу относятся крупные и уникальные месторождения Рудного Алтая, пространственно и структурно связанные с субвулканическими порфирами (Орловское, Золотушинское, Артемьевское, Николаевское, Тишинское, Зыряновское, Малеевское, Иртышское и др.). Последние занимают до 40–80 % объёма сформированной рудномагматической системы (РМС), имеют преимущественно лополитообразную и субпластовую формы, уходя своими корнями в зоны магмоподводящих глубинных разломов, которые расположены по периферии крупных вулканотектонических поднятий.

Минеральный состав большинства месторождений довольно однообразен: галенит, халькопирит, сфалерит, пирит, золото и др. Отмечаются также блёклые руды, мельниковит-пирит, пирротин, магнетит, многочисленные минералы серебра, теллура и других элементов. Такое постоянство вещественного состава руд позволяет предположить однотипный источник рудного вещества, близость генетических типов месторождений, состава рудообразующих растворов и флюидных потоков. Рудоносные флюиды содержали широкий спектр рудных элементов (Cu, Pb, Zn, Fe, S, As, Au, Bi, Te и др.), литогенных (Si, Mg, Ca, K и др.) и растворённых газов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$ , S, HCl, F, Cl, H,  $\text{H}_2\text{O}$ ).

Стратиформный тип руд сформировался из холодноводных углекислых, сернистых и железистых растворов, обогащённых рудными элементами, в результате смешивания их с морскими водами при температуре менее  $100^\circ\text{C}$  и давлении 10–60 МПа. В рудообразующих растворах по данным водных вытяжек выявлены ионы  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , газы –  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ , S и др. Морская вода играла важную роль физико-химического барьера для рудоносных растворов. Здесь же формировались кремнистые, карбонатные и органогенные осадки с рассеянным типом оруденения. О едином глубинном источнике серы всех типов месторождений и генетической близости руд свидетельствуют показатели изотопного состава серы сульфидов ( $\delta^{34}\text{S}$  от  $-4,5$  до  $+10\%$ ).

Гидротермально-метасоматические руды образованы теми же первичными растворами, но при меньшем влиянии морской воды и усилении изменений режима кислорода и серы и при более высоких *PT*-условиях. Основная масса сульфидов сформирована при температуре 200–350  $^\circ\text{C}$  и давлении 30–150 МПа. Изотопный состав серы сульфидов не отличается от состава серы большинства колчеданно-полиметаллических месторождений и близок к мантийной, варьируется в узком интервале значений ( $\delta^{34}\text{S}$  от  $-4,2$  до  $+5,2\%$ , основная часть проб – от  $-2,2$  до  $+2,0\%$ ).

В целом гидротермально-метасоматические руды имеют более сложный минеральный состав с повышенными концентрациями элементов-примесей (висмута, теллура, золота, серебра, сурьмы и др.), фиксируемых в виде субмикроскопических включений в блёклых рудах, галените, халькопирите, сфалерите с возрастанием содержаний от ранних парагенезисов к поздним. Глубина формирования первичных руд от 0,2 до 3 км.

Приведённые данные воссоздают общую картину рудообразования с восходящей пульсирующей вадозно-гидротермальной системой растворов с ювенильными продуктами (Cu, Pb, Zn, Fe, S, Ag, Au, Bi, Se, Te, Pt и др.) и элементами выщелачивания (Ca,

Mg, Si, K и др.) в неустойчивых термодинамических и физико-химических условиях. С этой точки зрения основные месторождения Рудного Алтая нельзя считать полигенными, так как оруденение сформировано единым источником рудного вещества, генерированного общей рудоносно-флюидной системой [2, 7, 11].

**Основные рудоносные уровни.** Основные рудоносные уровни являются ведущими критериями прогнозирования и поиска колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая [6]. На ряде месторождений в Лениногорском, Зырянском и Прииртышском рудных районах в стратиграфической колонке выделяются так называемые «критические» уровни, на которых размещаются основные рудные залежи (рис. 3). В связи с возрастной миграцией вулканических центров и изменением состава рудообразующих геологических формаций в западном направлении (от Лениногорско-Зырянской подзоны к Прииртышской) происходила вертикальная смена рудоносных уровней в зональной рудной колонне.

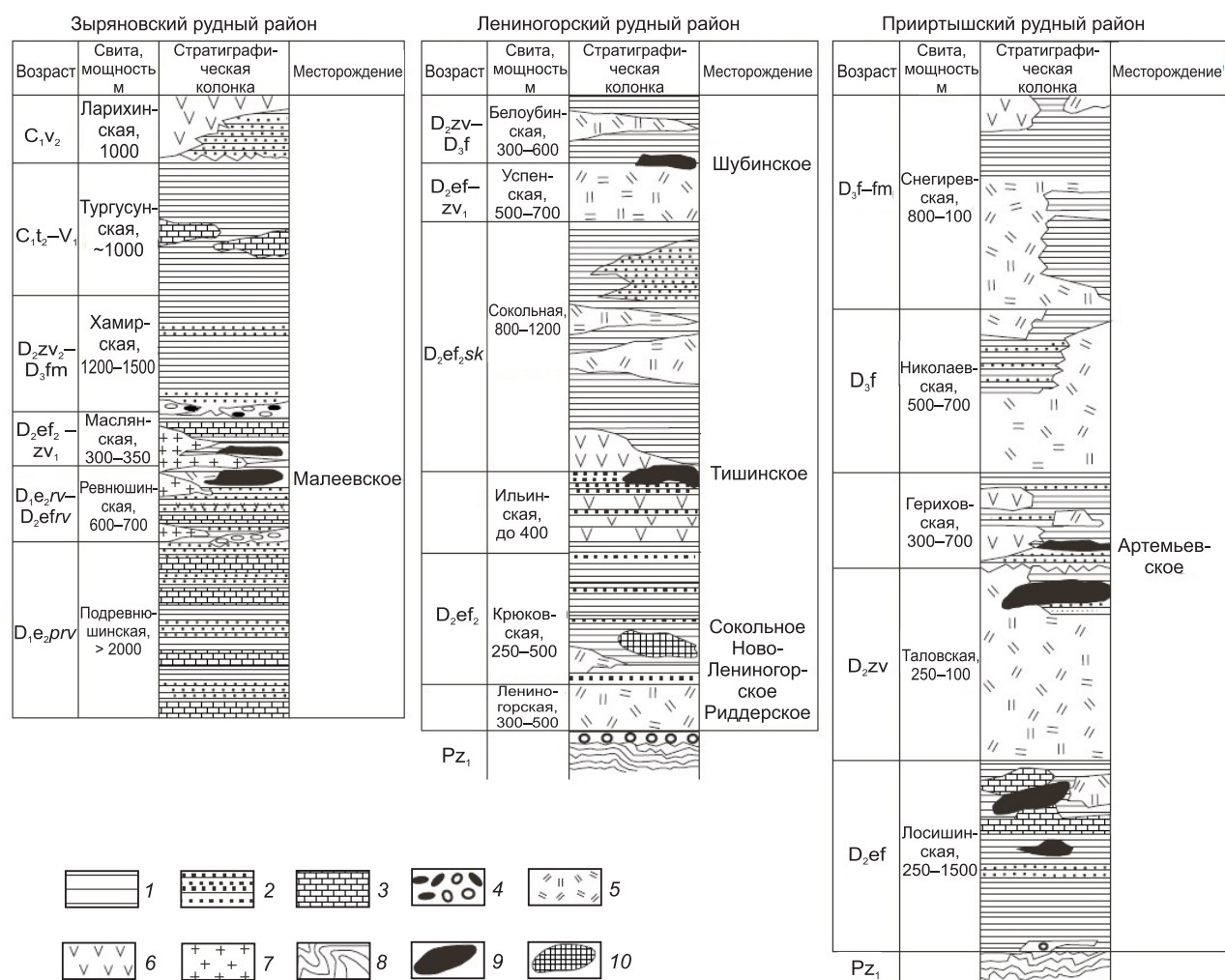
В Лениногорско-Зырянской подзоне в генетической связи с базальт-андезит-риолитовой кремнисто-известково-терригенной формацией ( $D_{1e}-D_{2gv}$ ) сформировались основные колчеданно-полиметаллические месторождения. Здесь выделяются такие рудоносные уровни:

- эмский (Риддер-Сокольное, Ново-Лениногорское месторождения);
- эйфельский (Тишинское, Зырянское, Греховское месторождения);
- эйфель-раннеживетский (Малеевское и др.)

В Прииртышском рудном районе развита базальт-риолитовая контрастная известково-кремнисто-терригенная формация ( $D_{2e}-D_{3fm_1}$ ). Основные месторождения сосредоточены на следующих рудоносных уровнях: эйфельский (Орловское колчеданно-медно-цинковое оруденение, Белоусовское колчеданно-полиметаллическое); поздне-живетский (Николаевское, Артемьевское, Иртышское колчеданно-медно-цинковые месторождения). В рубцовском рудном районе отмечается франский (рубцовско-таловский) уровень (Корбалихинское, Лазурское и другие полиметаллические месторождения) [7, 16].

В Бухтарминском рудном районе рудоносной является дацит-андезитовая терригенная островная формация (пихтовская свита  $D_3fm_2$ ). На выделяемом здесь бухтарминском уровне известны пока мелкие медно-полиметаллические месторождения и рудопроявления жильного и штокверкового типов (Заводинское, Бухтарминское, Орманское).

Анализ материалов геологоразведочных работ указывает на недостаточную изученность выделяемых рудоносных уровней на глубину. Это особенно касается



**Рис. 3. Основные стратиграфические уровни колчеданно-полиметаллического оруденения Рудного Алтая. По материалам И. В. Гаськова, 2015, с доработкой авторов:**

1 – аргиллиты, алевролиты и алевролиты; 2 – песчаники и разномерные туфопесчаники; 3 – известняки и известняковые породы; 4 – базальные конгломераты и песчаники; 5 – туфы и лавы риолитовых и риолит-дацитовых порфиров; 6 – туфы и лавы базальтовых и андезит-базальтовых порфиров; 7 – субвулканические тела риолитовых и риолит-дацитовых порфиров; 8 – метаморфические сланцы; 9 – колчеданно-полиметаллическое оруденение; 10 – золото-серебряно-барит-полиметаллическое оруденение

Прииртышского и Бухтарминского рудных районов, что раскрывает потенциальные возможности для прогнозирования и поиска скрытых месторождений на более глубоких горизонтах (до 500–1500 м).

**Основные типы месторождений.** Предыдущими исследованиями установлено, что рудо локализирующие горизонты наиболее крупных месторождений Рудного Алтая имеют многоярусное расположение. Это может свидетельствовать о пульсационном характере гидротермальных растворов [10, 15]. Наиболее мощные залежи сплошных полиметаллических руд формировались над выходами газогидротермальных рас-

творов (Риддер-Сокольное, Малеевское, Артемьевское месторождения). Места выходов гидротерм на морском дне фиксируются в виде куполо-линзовидных образований с минералого-геохимической зональностью отложений, проявленных сменой по вертикали текстурных особенностей, минерального и химического состава руд. Ниже приведена краткая характеристика основных типов руд месторождений Рудного Алтая.

*Риддер-Сокольное месторождение* расположено в Ленингорском рудном районе. Оруденение приурочено к базальт-андезит-риолитовой, кремнисто-



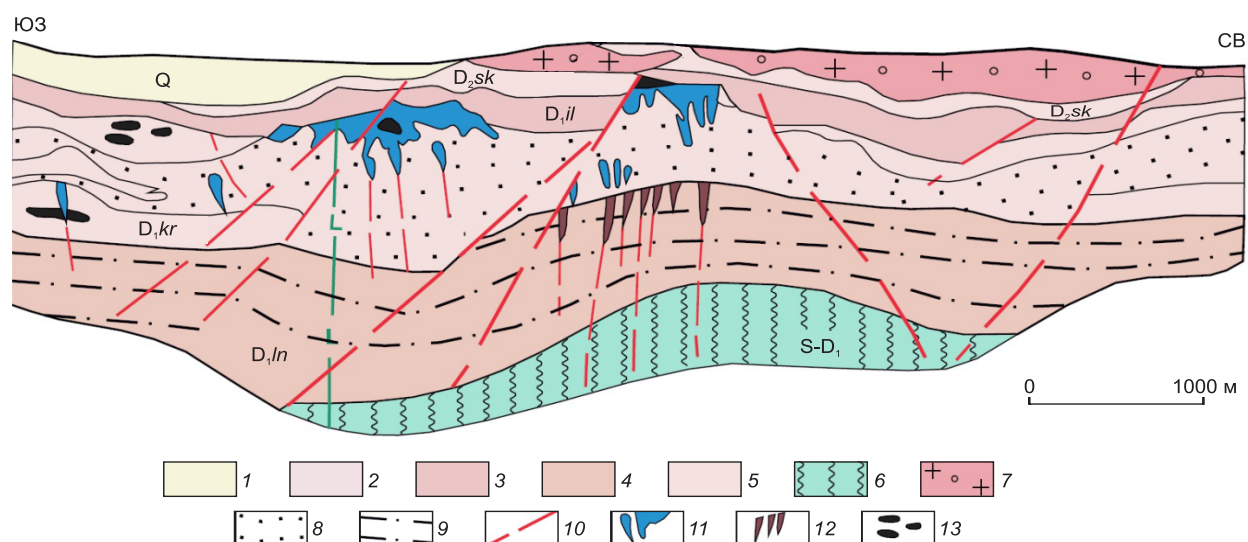


Рис. 4. Геологический разрез Риддер-Сокольного месторождения (юго-западная залежь) [1]:

1 – четвертичные отложения, Q; 2–5 – свиты: 2 – Сокольная,  $D_2sk$ , 3 – Ильинская,  $D_1il$ , 4 – Крюковская,  $D_1kr$ , 5 – Лениногорская,  $D_1ln$ ; 6 – среднедевонские гранитоиды; 7 – метаморфические породы, S- $D_1$ ; 8 – серицитизированные микрокварциты; 9 – микрокварциты; 10 – золото-сульфидно-кварцевые рудные прожилки; 11 – пиритная минерализация; 12 – взрывные брекчи; 13 – серицитизированные глинистые сланцы

известковисто-терригенной формации ( $D_1e$ – $D_2gv$ ), эмскому рудоносному уровню. Тип месторождения золото-колчеданно-полиметаллический.

На месторождении интенсивно и неравномерно проявлены процессы метаморфических изменений вулканогенно-осадочных пород. Наложение разных типов метаморфизма затрудняет выделение отдельных его фаций и выявление зональности.

В пределах месторождения установлено проявление регионального, контактового, динамометаморфического, гидротермально-метасоматического и автометасоматического преобразования пород. Многоуровневый характер оруденения Риддер-Сокольного месторождения проиллюстрирован на рис. 4.

К первому уровню оруденения, приуроченному к средней пачке крюковской свиты, относятся вкрапленное, гнездовое и сплошное полиметаллическое, обогащённое золотом и серебром оруденение, концентрирующееся в привершинных частях куполов и на их периферии непосредственно под «сланцами всячего блока». Ниже, в микрокварцитах, оно сменяется сетчато-штокверковым полиметаллическим, также часто золотосодержащим оруденением. Далее по разрезу выделяются крутопадающие субпараллельные жильные рудные тела полиметаллического состава в верхней части, медно-цинкового и медного в корневой. Морфология рудных залежей в купольных структурах обычно медузообразная. В интервале распространения жильного оруденения достаточно

широко развиты сульфидно-кварцевые жилы с высоким содержанием золота.

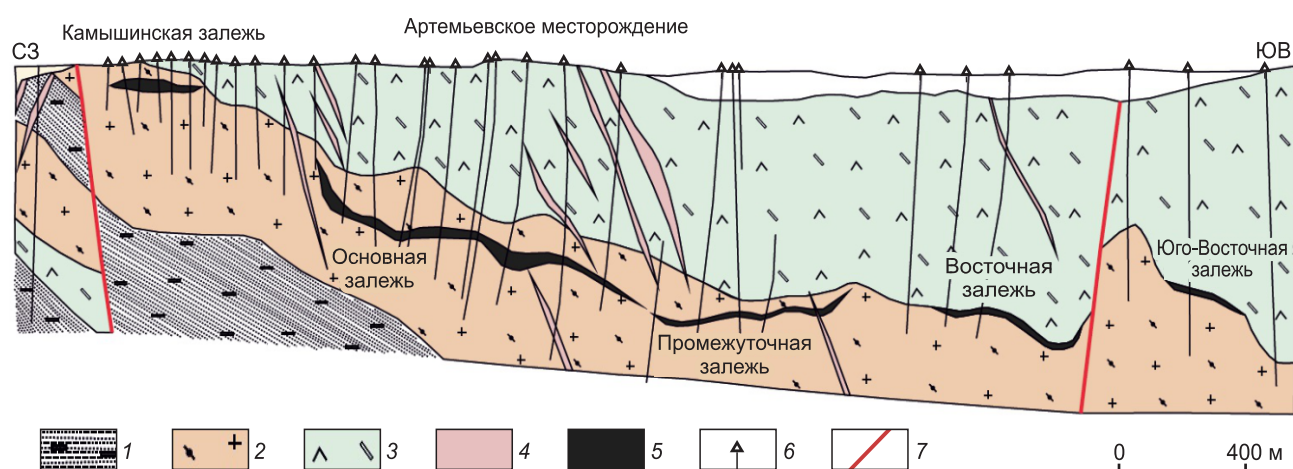
Второй уровень оруденения тяготеет к контакту средней алевролитовой и нижней гравелит-агломератовой пачке крюковской свиты. К рудам этого горизонта относятся корневые части жильных тел, сложенные цинково-медными и медными рудами. Граница между оруденением первого и второго уровней весьма нечёткая и проводится условно.

Руды полиметаллические сплошные и гнездововкрапленные, обогащённые золотом и серебром. На верхнем уровне проявлены сульфидно-кварцевые жилы с высоким содержанием золота. В нижней корневой части месторождения развиты жильные рудные тела с медно-цинковым и медным оруденением. Главные рудные минералы – пирит, галенит, сфалерит, золото.

Месторождение крупное по запасам полиметаллов и золота. За период эксплуатации добыто более чем 500 т золота.

Артемьевское месторождение находится на территории Шемонаихинского района Восточно-Казахстанской области в 8 км юго-западнее Шемонаихи и в 10 км северо-западнее Николаевского месторождения. Артемьевское месторождение относится к колчеданно-медно-цинковому геолого-промышленному типу.

В геологическом строении месторождения принимают участие вулканогенно-осадочные отложения



**Рис. 5. Продольный геологический разрез Артемьевского месторождения (Северо-Восточная залежь):**

структурно-природные парагенезы (СПП): 1 – алевролитно-песчаный, 2 – кремнисто-порфировый, 3 – алевролитно-базальтовый, 4 – дайковый; 5 – колчеданно-полиметаллические руды; 6 – буровые скважины; 7 – разломы

базальт-риолитовой контрастной известково-кремнисто-терригенной формации ( $D_2e-D_3f_1$ ), подразделяемые на лосишенскую, таловскую, гериховскую свиты. Вулканогенно-осадочные отложения прорваны крупными субвулканическими телами кислого и основного состава, а также дайками плагиогранит-порфиров, диабазовых и андезитов-дацитовых порфиров (рис. 5).

Оруденение представлено крупной линзообразной залежью длиной 1000 и шириной 150–300 м, средняя мощность составляет 12 м. Наблюдается отчётливая вертикальная зональность руд (сверху вниз): барит-полиметаллический, колчеданно-полиметаллический, медно-цинковый, медноколчеданный типы.

На месторождении выделяются две полярные минеральные ассоциации: свинцово-цинковая (примеси – барит, Au, Ag, Cd, Hf, Sb, As, Te и др.) висячем боку залежи, медно-висмутовая (с пиритом) в лежащем боку. По запасам относится к крупным месторождениям (Cu, Zn).

*Малеевское месторождение* расположено в пределах Зырянского рудного района. За длительный период освоения и геологического изучения в районе выявлено более 150 рудных проявлений цветных металлов, которые по структурно-формационной приуроченности группируются в рудные узлы, из них основную промышленную ценность представляет Ревнюшинский рудный узел. В его пределах месторождения, рудопроявления и точки минерализации размещаются на четырёх рудных полях: Зырянском, Греховском, Малеевско-Путинцевском и Богатырёвско-Осочихинском.

Месторождения Ревнюшинского рудного узла локализируются в слоистом, вулканогенно-осадочном разрезе ревнюшинской свиты (Зырянское, Греховское, Майское) и в экзоконтакте порфиров среди осадочных пород маслянской свиты (Малеевское месторождение, отдельные рудные залежи Зырянского месторождения, главный участок Путинцевского месторождения) (рис. 6).

На Малеевском месторождении оруденение локализовано в полого лежащей складчатой толще в пределах сравнительно узкого интервала вулканогенно-осадочного разреза маслянской свиты. Месторождение формировалось на склоне конседиментационного экструзивного купола риолитов в локальных протяжённых депрессиях низшего порядка. Сложные границы рудных тел и частые секущие контакты с вмещающими породами говорят о широком развитии перетотложения и замещения рудного вещества в стадию рудообразования.

На данном месторождении установлено несколько уровней локализации оруденения, охватывающих 600–700 м разреза ревнюшинской и маслянской свит. Наиболее мощные и богатые промышленные руды сконцентрированы на малеевском уровне, расположенном внутри отложений маслянской свиты на контакте кварцитов с верхним телом порфиров. Этот уровень пространственно наиболее выдержан, хотя и расчленяется на ряд седловидных, линзообразных или плитовидных залежей. Руды колчеданно-полиметаллические (Cu : Zn : Pb = 2 : 6 : 1). Основные рудные минералы: пирит, пирротин, халькопирит, сфалерит, галенит.

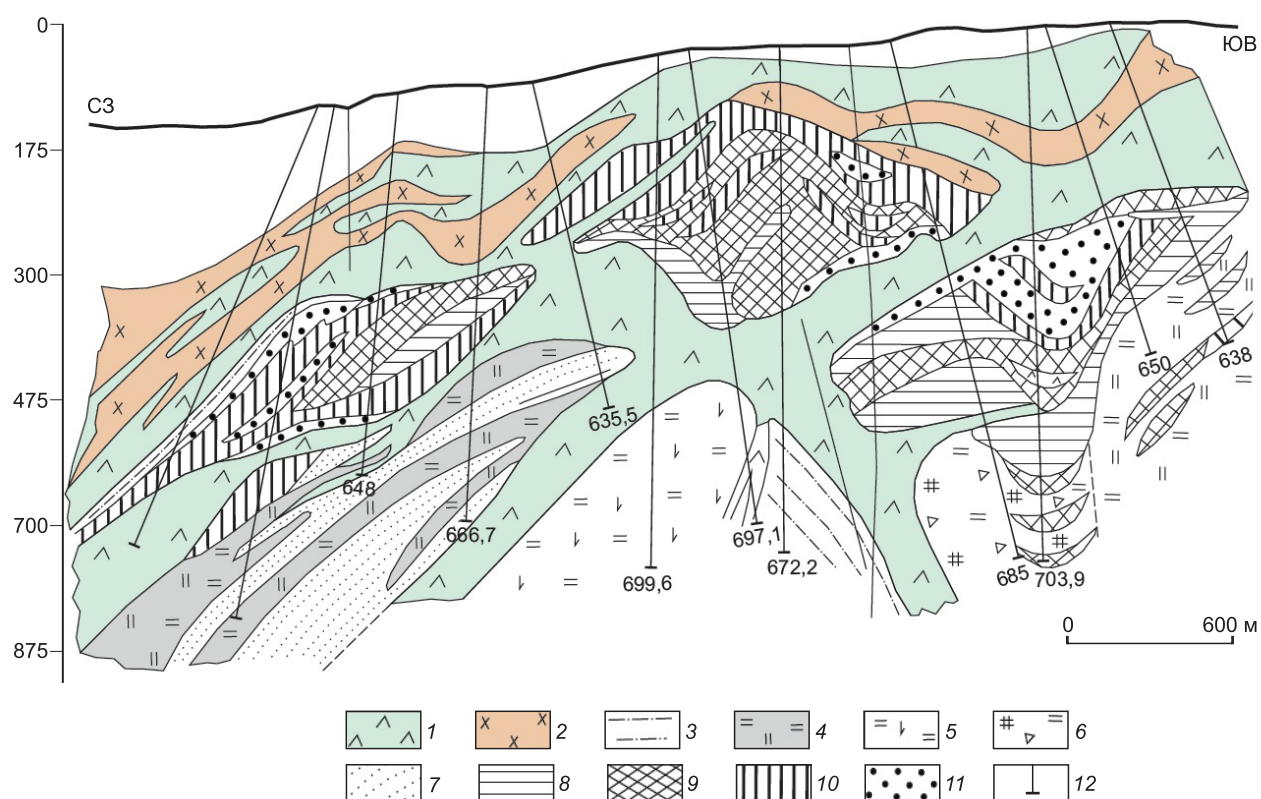


Рис. 6. Геолого-минералогический разрез по профилю XII Родниковой зоны Малеевского месторождения [2]:

1 – диабазы; 2 – порфиры; 3 – алевролиты; 4 – кварциты; 5 – роговики; 6 – брекчии порфиров и кварцитов; 7–11 – руды: 7 – серно-колчеданные, 8 – медноколчеданные, 9 – колчеданно-медно-цинковые, 10 – барит-полиметаллические и цинковые, 11 – свинцово-цинковые и медно-свинцовые; 12 – скважина и её глубина

Рудные тела метаморфизованы под воздействием гранитоидов змеиногорского комплекса ( $C_{2-3}$ ). Метасоматические процессы, сопутствующие рудогенезу, оказывают значительное влияние на закономерности локализации руд. Размеры и формы ореолов гидротермального изменения пород зависят от ряда факторов: состава вмещающих пород, их физико-механических свойств, особенностей строения разрывных нарушений, продолжительности гидротермального процесса, температуры и давления растворов.

**Минералогический и химический состав руд.** Минералогические исследования руд колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая проводились многими геологами (Б. И. Вейц, И. В. Покровская, Г. П. Болгов, Х. А. Беспаяев, Г. Д. Ганженко и др.). Многофазные включения в минералах, изотопы серы, свинца, кислорода и др., особенности колчеданно-полиметаллического оруденения Рубцовского, Змеиногорского, Прииртышского, Лениногорского и Зырянского районов рассматривались в работах В. В. Авдониной, В. М. Чекалина, Г. Ф. Яковлева, А. С. Ла-

пухова, К. Р. Ковалева, И. В. Гаськова, В. В. Попова, Н. И. Стучевского, Ю. И. Демина, О. А. Ковриги и многих других исследователей. Геологические условия формирования и возможные источники рудного вещества месторождений цветных металлов Казахстана на основе изучения флюидных включений рассмотрены в работах Ю. С. Парилова [4].

Работами прошлых лет установлен довольно единообразный минеральный состав руд большинства месторождений. К основным рудным минералам относят галенит, халькопирит, сфалерит, пирит, барит и золото. Из сопутствующих изучены блёклые руды, мельниковит-пирит, пирротин, магнетит, многочисленные минералы серебра, теллура и других элементов.

Современными минералогическими исследованиями (в том числе проведёнными авторами данной статьи) выявлены сложные минеральные ассоциации рудных и сопутствующих минералов. Руды представляют собой различные комплексы сульфидов нескольких генераций (от ранних сингенетических до поздних), существенно отличающиеся содержаниями



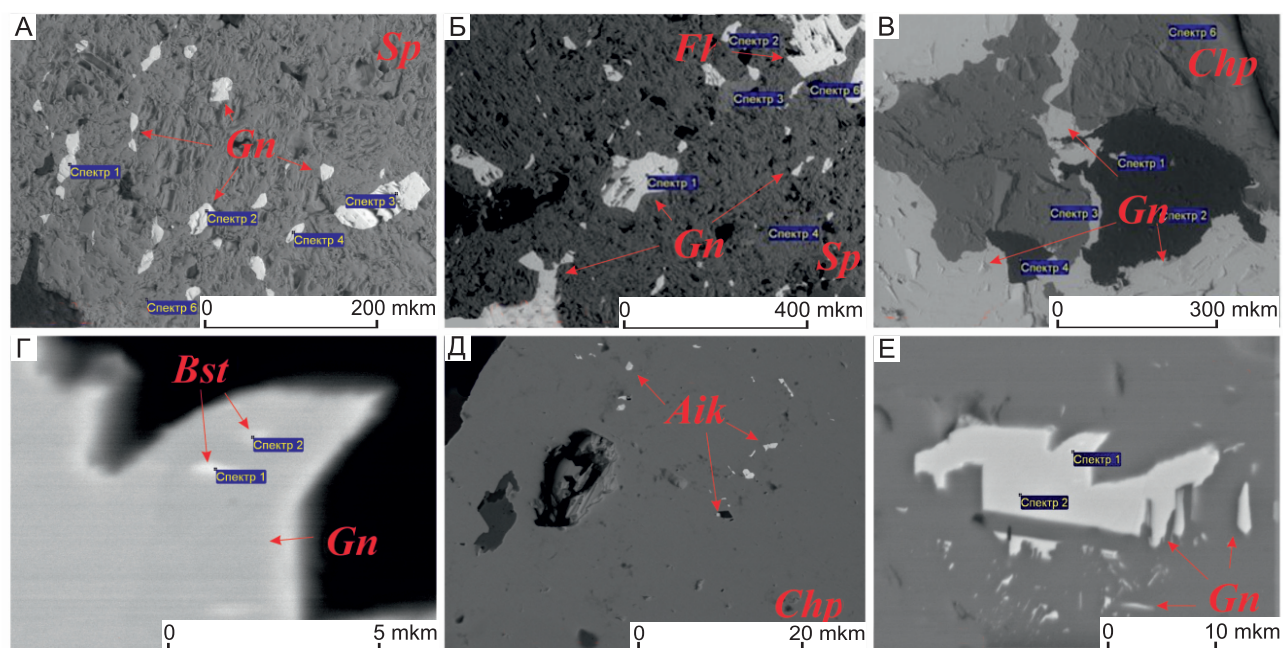


Рис. 7. Соотношения минералов в колчеданно-полиметаллических рудах месторождений Рудного Алтая:

А – эмульсионная вкрапленность галенита (*Gn*) в сфалерите (*Sp*); Б – эмульсионная вкрапленность галенита в сфалерите, в ассоциации с галенитом развиты зёрна блёклой руды (*Fh*); В – сросток халькопирита (*Chp*) с галенитом; Г – микровключения висмутита (*Bst*) в галените (галенит имеет примеси Ta, W); Д – мелкие включения айкинита (*Aik*) в халькопирите; Е – угловатые, зазубренные зёрна галенита в пирите (*Pu*)

основных компонентов, составом примесей и типоморфными характеристиками. В парагенезисе с сульфидами отмечаются многие попутные минералы: висмутит, айкинит, золото, серебро, кадмий и др.

На рис. 7 в аншлифах видны сложные соотношения халькопирита, сфалерита, галенита, висмутита и айкинита ( $\text{CuFeBiS}_3$ ). Размер микровключений минералов варьирует от первых единиц до 100 микрон. Галенит, встречающийся в виде эмульсионных микровключений в зёрнах халькопирита, сфалерита (см. рис. 7, А, Б), пирита и других минералах (см. рис. 7, Е), относится к самой поздней генерации.

В галените обнаружены тончайшие включения висмутинита ( $\text{Bi}_2\text{S}_3$ ), а также примеси (в мас.%): Ta – 3,10, W – 2,17, Se – 6,78, Ba – 1,95 и тонкодисперсная вкрапленность серебра. Айкинит образует прожилковую вкрапленность в халькопирите (см. рис. 7, Д). Эмульсионные каплевидные включения галенита отмечаются в стыках зёрен других сульфидов, по трещинам и дефектам кристаллов, что указывает на его более позднюю генерацию.

Лабораторные исследования современными методами ICP-MS показали многообразие химического состава руд изучаемых месторождений. Можно сделать вывод, что руды колчеданно-полиметалличес-

ких объектов Рудного Алтая в целом имеют сходный по количественному и качественному составу набор основных и сопутствующих компонентов. Однако для месторождений Прииртышского рудного района отмечается преобладание роли медно-цинкового оруденения относительно полиметаллического в Лениногорском районе, профилирующими элементами являются медь, цинк, сера.

Рудные тела значительно обогащены элементами-примесями (Ag, Au, Bi, Cd, As, Sb, Tl, Se, Te, Ga, Ge, Mo, In, Hg, Co). Руды месторождений Лениногорского и Зырянковского рудных районов относятся к собственно колчеданно-полиметаллическому типу, основными промышленными компонентами являются Pb, Zn, Cu, Ba, попутными – Cd, Au, Ag, Se, Te, Mo, Bi, As, Sb, Hg, Ga, Ge, In, Co, Ni.

Для всех месторождений Рудного Алтая отмечаются характерные геохимические признаки. В колчеданно-медно-цинковых месторождениях установлены повышенные содержания Se, Te, Tl, Bi. Для колчеданно-полиметаллических месторождений отмечается накопление Ba, Au, Ag, As, Cd, In, Hg. Отношение среднего содержания Se / Te в колчеданно-медно-цинковых рудах в несколько раз выше, чем в полиметаллических [6, 14]. Средние содержания

основных и попутных компонентов превышают кларковые в тысячи (Bi, Te, Cd, Au), сотни (Pb, Zn, Cu, Au, S, Se, Sb, As), десятки раз (Ba, Mo) или находятся в пределах кларковых значений (Tl, In, Ge). Попутные элементы в рудах фиксируются в виде самостоятельных минералов, микроскопических дисперсных или эмульсионных вкраплений (As, Sb, Bi, Co, Ni, Ag, Au, Te). Нередко при электронно-микроскопических исследованиях (см. рис. 7) наблюдаются изоморфные примеси в сульфидах (Co, Tl, In, Ge, Ag).

**Заключение.** Рудно-Алтайский колчеданно-полиметаллический пояс – это крупная рудоносная структура региональной ранговости, в которой сосредоточены крупные и уникальные месторождения Cu, Pb, Zn, Au, Ag, многие редкие элементы. Месторождения сформировались в герцинский цикл в рифтогенной геодинамической обстановке, генетически связаны с девонским базальт-андезит-риолитовым вулканизмом дифференцированного и контрастного ряда. Большинство месторождений относятся к мировому VMS-типу (вулканогенные массивные сульфидные месторождения). Рудоконтролирующей является система эшелонированных глубинных разломов северо-западного направления, сформированных на активизированной континентальной окраине Горного Алтая. Для осаждения и концентрации оруденения ведущая роль принадлежит рудовмещающей среде кремнисто-известкостно-терригенного состава и субвулканическим порфиловым интрузиям. По происхождению выделяется два типа руд: 1) вулканогенно-осадочный (гидротермально-осадочный), 2) гидротермально-метасоматический. Месторождения располагаются на определённых геохронологических уровнях от  $D_1e$  до  $D_3fm$ .

Модель рудообразования отражает восходящую ритмично-пульсационную водно-гидротермальную систему растворов с ювенильным источником рудного вещества и образованием руд в неустойчивых термально-динамических и физико-химических условиях. С этой точки зрения месторождения Рудного Алтая нельзя считать полигенными, так как оруденение сформировано единым источником рудного вещества, генерированного общей рудоносно-флюидной системой.

Главные рудные минералы – пирит, халькопирит, сфалерит, галенит. Отличительная особенность месторождений – комплексный состав руд, содержащих примеси благородных металлов (Au, Ag, Pt) и редких элементов (Cd, Se, Bi, Te, Ta, W и др.). Характерной особенностью колчеданных месторождений Рудного Алтая являются высокие концентрации в рудах цветных металлов, сумма которых (Cu + Pb + Zn) достигает 10–12%. По результатам минералогических исследований с использованием электрон-

ной микроскопии определена форма нахождения Au, Ag, Te, Bi и др. элементов в колчеданно-полиметаллических рудах. Эти минералы встречаются в виде микроскопических включений в основных рудных минералах. Вполне вероятно, часть благородных металлов в рудах имеет невидимое распределение по аналогии с полиметаллическими месторождениями других регионов. На современном этапе в связи с истощением запасов известных месторождений возникла острая проблема укрепления минерально-сырьевой базы Рудного Алтая.

Исходя из разнообразия механизмов формирования колчеданно-полиметаллических месторождений, длительности проявления процессов рудообразования, пространственной приуроченности оруденения к определённым геохронологическим уровням и значительного вертикального масштаба распространения руд (до 1000–15 000 м), последующего преобразования и трансформации рудных объектов, целесообразно систематизировать обширный геологический материал последних 10–15 лет. Необходимо также продолжить детальное изучение минерального состава рудных ассоциаций с широким использованием высокоточных методов исследований и на этой основе прогнозировать поиски и оценку глубокозалегающих объектов. Рекомендуется увеличение глубинности геологического изучения территории в важнейших горнорудных районах Рудного Алтая (Зырянский, Лениногорский, Прииртышский, Бухтарминский и др.) с внедрением современных научно-методических технологий для составления прогнозно-металлогенических карт нового поколения.

*Статья подготовлена по результатам работ и финансированию по грантам Министерства экологии, геологии и природных ресурсов РК (BR 10264558) и Министерства образования и науки РК (AP 08856325)*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беспяев Х.А.* Атлас месторождений полезных ископаемых Казахстана. – Алматы, 2004. – 141 с.
2. *Ганженко Г.Д., Юдовская М.А., Викентьев И.В.* Золото-полиметаллическая минерализация Риддер-Сокольского месторождения на Рудном Алтае (Восточный Казахстан) // *Минералогия.* – 2018. – № 4 (1). – С. 8–31.
3. *Еремин Н.И., Дергачев А.Л., Сергеева Н.Е., Позднякова Н.В.* Типы колчеданных месторождений вулканических ассоциаций // *Геология рудных месторождений.* – 2000. – Т. 42, № 2. – С. 177–190.
4. *Паршилов Ю.С.* Генезис основных типов полиметаллических месторождений (основанный на результатах флюидных включений). – Алматы, 2012. – 266 с.

5. *Проблемы* генезиса колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая // Труды совещания. – Алма-Ата, «Наука» КазССР, 1977. – 304 с.
6. *Таусон Л. В., Гундобин Г. М., Зорина Л. Д.* Геохимические поля рудно-магматических систем. – Новосибирск: Наука, 1987.
7. *Чекалин В. М.* Основные закономерности размещения и принципиальная модель формирования колчеданно-полиметаллических месторождений северо-западной части Риддер-Сокольного месторождения // Геология и геофизика. – 1991. – № 10. – С. 75–89.
8. *Чепрасов Б. А., Покровская И. В., Ковриго О. А.* О полигенном характере оруденения Риддер-Сокольного месторождения // Геология рудных месторождений. – 1972. – № 6. – С. 30–45.
9. *Щерба Г. Н.* Проблемы генезиса колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая // Советская геология. – 1968. – № 6. – С. 49–64.
10. *Щерба Г. Н., Беспаев Х. А., Дьячков Б. А.* и др. Большой Алтай (геология и металлогения). Кн. 2. Металлогения. – Алматы: РИО ВАК РК, 2000. – 400 с.
11. *Яковлев Г. Ф.* Вулканогенные структуры месторождений полезных ископаемых. – М.: Недра, 1984. – 208 с.
12. *Dyachkov D. A., Titov D. V., Sapargaliev E. M.* Ore belts of the Greater Altai and ore resource potential // *Geology of Ore Deposits*. – 2009. – V. 51, № 3. – P. 197–211. dx.doi.org/10.1134/S1075701509030027.
13. *Dyachkov B., Mizernaya M., Kuzmina O., Zimanovskaya N., Oitseva T.* Tectonic and Metallogeny of East Kazakhstan // *Tectonics – Problems of regional settings*. – 2018. – P. 67–84. dx.doi.org/10.5772/intechopen.72745.
14. *Dyachkov B. A., Bissatova A. Y., Mizernaya M. A., Zimanivskaya N. A., Kuzmina O. N.* Scientific Basis for the Development of Promising Directions of Geological Exploration of Geological Exploration in Order to Strengthen the Mineral and Raw Material Base of East Kazakhstan Region // *Aspects in Mining and Mineral Science*. – 2021. – V. 6, I. 3. – P. 727–728.
15. *Letnikov F.* Ultradeep fluid systems of the Earth and problems of ore formation // *Geology of Ore Deposits*. – 2001. – V. 43. – P. 259–273.
16. *Chekalin V. M., Dyachkov B. A.* Rudny Altai base-metal belt: localization of massive sulfide mineralization // *Geology of Ore Deposits*. – 2013. – V. 55, I. 6. – P. 438–454.
4. *Yeremin N. I., Dergachev A. L., Sergeeva N. Ye., Pozdnaykova N. V.* Tipy kolchedannykh mestorozhdeniy vulkanicheskikh assotsiatsiy [Types of pyrite deposits of volcanic associations]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 2000, V. 42, No. 2, P. 177–190. (In Russ.)
5. *Parilov Yu. S.* Genезis osnovnykh tipov polimetallicheskikh mestorozhdeniy (osnovanny na rezul'tatakh flyuidnykh vklyucheniye) [Genesis of the main types of polymetallic deposits (based on the results of fluid inclusions)]. Alma-Ata, 2012, 266 p. (In Russ.)
6. *Problemy genезisa kolchedanno-polimetallicheskikh mestorozhdeniy Rudnogo Altaya: trudy soveshchaniya* [Problems of the genesis of pyrite-polymetallic deposits in Rudny Altai: proceedings of the meeting]. Alma-Ata, Nauka KazSSR publ., 1977, 304 p. (In Russ.)
7. *Tauson L. V., Gundobin G. M., Zorina L. D.* Geokhimi-cheskiye polya rudno-magmaticheskikh sistem [Geochemical fields of ore-magmatic systems], Novosibirsk, Nauka publ., 1987, 200 p. (In Russ.)
8. *Chekalin V. M.* Osnovnyye zakonomernosti razmeshcheniya i printsipial'naya model' formirovaniya kolchedanno-polimetallicheskikh mestorozhdeniy severo-zapadnoy chasti Ridder-Sokol'nogo mestorozhdeniya [Main patterns of distribution and a fundamental model of the formation of pyrite-polymetallic deposits in the northwestern part of the Ridder-Sokolny deposit]. *Geologiya i geofizika*, 1991, No. 10, P. 75–89. (In Russ.)
9. *Cheprasov B. A., Pokrovskaya I. V., Kovriго O. A.* O poligenom kharaktere оруdeneniya Ridder-Sokol'nogo mestorozhdeniya [On the polygenic nature of mineralization of the Ridder-Sokolny deposit]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 1972, No. 6, P. 30–45. (In Russ.)
10. *Shcherba G. N.* Problemy genезisa kolchedanno-polimetallicheskikh mestorozhdeniy Rudnogo Altaya [Problems of the genesis of pyrite-polymetallic deposits in Rudny Altai]. *Sovetskaya geologiya*, 1968, No. 6, P. 49–64. (In Russ.)
11. *Yakovlev G. F.* Vulkanogennyye struktury mestorozhdeniy poleznykh iskopayemykh [Volcanogenic structures of mineral deposits]. Moscow, Nedra publ., 1984, 208 p. (In Russ.)
12. *Chekalin V. M., Dyachkov B. A.* Rudny Altai base-metal belt: localization of massive sulfide mineralization. *Geology of Ore Deposits*, 2013, Vol. 55, No. 6, P. 438–454.
13. *Dyachkov B. A., Mizernaya M. A., Kuzmina O. N., Zimanovskaya N., Oitseva T.* Tectonics and metallogeny of East Kazakhstan. *Tectonics. Problems of Regional Setting*. IntechOpen Limited. London, 2018, P. 67–84, dx.doi.org/10.5772/intechopen.72745
14. *Dyachkov B. A., Mizernaya M. A., Zimanivskaya N. A., Kuzmina O. N., Bissatova A. Y.* Scientific Basis for the Development of Promising Directions of Geological Exploration of Geological Exploration in Order to Strengthen the Mineral and Raw Material Base of East Kazakhstan Region. *Aspects in Mining and Mineral Science*, Vol. 6, Issue 3, 2021.
15. *Dyachkov D. A., Titov D. V., Sapargaliev E. M.* Ore belts of the Greater Altai and ore resource potential. *Geology of Ore Deposits*, 2009, 51, P. 197–211 dx.doi.org/10.1134/S1075701509030027
16. *Letnikov F.* Ultradeep fluid systems of the Earth and problems of ore formation. *Geology of Ore Deposits*, 2001, Vol. 43, P. 259–273.

### REFERENCES

1. *Bespayev Kh. A.* Atlas mestorozhdeniy poleznykh iskopayemykh Kazakhstana [Atlas of mineral deposits in Kazakhstan]. Alma-Ata, Tsentr po informatsionnomu obespecheniyu Vooruzhennykh Sil RK publ., 2004, 141 p. (In Russ.)
2. *Bol'shoy Altay: (geologiya i metallogeniya)* [Big Altai: (geology and metallogeny)]. V 3 kn. Kn. 2. Metallogeniya [Metallogeny]. Shcherba G. N., Bespayev Kh. A. et al. Almaty, RIO VAK RK publ., 2000, 400 p. (In Russ.)
3. *Ganzhenko G. D., Yudovskaya M. A., Vikent'yev I. V.* Zoloto-polimetallicheskaya mineralizatsiya Ridder-Sokol'nogo mestorozhdeniya na Rudnom Altaye (Vostochnyy Kazakhstan) [Gold-polymetallic mineralization of the Rid-



## Закономерности образования прозрачной шпинели с месторождения Кухилал, Юго-Западный Памир

На месторождении Кухилал выделены две группы кристаллов шпинели: полногранные и безгранные. Последние представляют прозрачное кристаллосырьё. Установлено, что предпосылками образования безгранных прозрачных шпинелей послужило формирование реакционных минералов (гидроталькита и Mg-хлорита) в форме оболочек между форстеритом и шпинелью. Эти оболочки явились началом образования магалов. Они рассматриваются как биметасоматические минеральные ассоциации, возникшие в контактах кристаллов шпинели и форстерита. Выявлено, что новообразованные минералы (гидроталькит, Mg-хлорит, серпентин, брусит и др.) благодаря своим пластичным свойствам сохранили реликты хрупкой шпинели от тектонических деформаций альпийского орогенеза. Гидроталькит-хлоритовой части магалов обязано сохранение прозрачной шпинели. Предлагается рассматривать магалы как рудные тела ювелирной шпинели.

Приводятся микронзондовые и рентгеноструктурные анализы шпинели, форстерита, гидроталькита, хлорита и серпентина.

*Ключевые слова:* Кухилал, шпинель, форстерит, хлорит, гидроталькит, серпентин, брусит.

ЛИТВИНЕНКО АНДРЕЙ КИМОВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, ak11954@yandex.ru

РОМАНОВА ЕКАТЕРИНА ИВАНОВНА, eiromanova@hotmail.com

ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ), г. Москва

## Patterns of transparent spinel formation at Kukhilal deposit, south-western Pamir

A. K. LITVINENKO, E. I. ROMANOVA

Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow

Two groups of spinel crystals, holohedral and anhedral, were recognized at Kukhilal deposit. The latter are transparent raw crystals. It was found that anhedral transparent spinels formed due to reaction minerals (hydrotalcite and Mg chlorite) formation as envelopes between forsterite and spinel. These envelopes generated magals. They are viewed as bimetasomatic mineral associations produced in contacts of spinel and forsterite crystals. It was found that neogenic minerals (hydrotalcite, Mg chlorite, serpentine, brucite, etc.) preserved fragile spinel relics from Alpine orogenesis tectonic deformations due to their ductility. Transparent spinel was preserved in hydrotalcite-chlorite magal part. Magals are proposed to be regarded as jewelry spinel orebodies.

Microprobe and X-ray structural analyses of spinel, forsterite, hydrotalcite, chlorite and serpentine are presented.

*Key words:* Kukhilal, spinel, forsterite, chlorite, hydrotalcite, serpentine, brucite.

**Постановка задачи.** Кухилал – крупное коренное месторождение благородной шпинели, клиногумита, форстерита и талька. Оно находится на Юго-Западном Памире, в Горно-Бадахшанской автономной области Республики Таджикистан. Тектоническая позиция, минеральные ассоциации, *PT*-условия образования месторождения рассмотрены ранее [6, 9, 10].

Постановка исследовательской задачи базировалась на двух главных минералогических особенностях шпинели с месторождения Кухилал.

1. Шпинель представлена отдельными кристаллами от долей миллиметров до 18 см и агрегатами до нескольких десятков сантиметров в поперечнике, от светло-розового, розового и тёмно-розового, редко красного цветов. Она локализована в белых форстеритовых, реже в светло-серых энстатитовых скарнах и в меньшем количестве в магнетитовых и доломитовых мраморах [8]. В форстеритовых скарнах наблюдаются залежи пирита и пирротина до первых десятков см в поперечнике, которые также вмещают

друзовидные срастания кристаллов розовой и тёмно-розовой шпинели до 5 см по ребру. Данная шпинель представляет собой непрозрачное, не ювелирное кристаллосырьё. Непрозрачность обусловлена большим количеством трещин. Эти кристаллы обладают хорошо сформированными гранями, острыми рёбрами и вершинами. Их можно определить как «плоскогранные» (рис. 1).

2. Прозрачная шпинель встречается редко. Для неё характерно почти полное отсутствие кристалломорфологических элементов: граней, рёбер и вершин. Шпинель имеет изометричную или уплощённую форму обломков с матовой поверхностью. Эту разновидность шпинели можно определить как безгранную (рис. 2).

Установление генетических закономерностей образования прозрачной, безгранной шпинели составляет главную задачу исследования. Она решалась на основе анализа кристалломорфологических признаков шпинели и определения её ранних и поздних парагенезисов.

**Материалы и методы исследования.** В работе исследовались образцы форстеритовых скарнов со шпинелью, отобранные с пятого участка в полевых сезонах 2009 и 2012 годов. Основу исследований составили морфологический и парагенетический анализы. Минеральный состав определялся методом рентгенофазового анализа на приборе ДРОН-3 М (аналитик А. В. Фёдоров, МГРИ им. Серго Орджоникидзе). Химический состав минералов исследовался методом микрорентгеноспектрального анализа на приборе «Самеса» SX 100 в режиме съёмки 15 kV, 30 nA (аналитик Н. Н. Кононова, ГЕОХИ РАН). Определение химических составов магалов проводилось



**Рис. 1. Октаэдрический кристалл шпинели со слабо развитыми гранями куба в крупнозернистом агрегате форстерита с графитом:**

на гранях октаэдра – фрагменты плёнок графита и многочисленные линии трещин



**Рис. 2. Безгранный кристалл шпинели со слоями растворения:** тёмный агрегат – пирротин, светло-серый – хлорит, белый – гидроталькит; образец из музея «Самоцветы», г. Москва

при помощи рентгеноспектрального флуоресцентного спектрометра AXIOS Advanced с рентгеновской трубкой, оснащённой Rh анодом, мощностью 3 kW, сканирующим каналом по Соллеру с кристаллами-анализаторами и детонирующим устройством, состоящим из проточного и запаянного счётчиков и сцинтиллярного детектора (аналитик Т. Г. Кузьмина, ГЕОХИ РАН).

**Морфология и парагенезис плоскогранных кристаллов.** Шпинель встречается в виде одиночных кристаллов и сростков. На кристаллах в основном проявлены грани октаэдра, в значительно меньшей степени выражены грани куба и ромбододекаэдра. Грани кристаллов блестящие, часто с фигурами травления. Кристаллы бывают искажены: удлинены по оси второго порядка (рис. 3). Среди них наблюдаются простые двойники по шпинелевому закону с плоскостью двойникования по (111).

Кристаллы шпинели представляют собой непрозрачные, полупрозрачные в тонких сколах индивиды (см. рисунки 1, 3). В них редко встречаются твёрдые включения: апатит, циркон, форстерит, графит, бадделит, а также неустановленный минерал с высоким содержанием Zr, Y, V и U. Малые количества твёрдых включений являются типоморфной особенностью шпинели [10].

В шпинели часто наблюдаются многочисленные разнонаправленные трещины, а периферия некоторых кристаллов осложнена ортогональной системой тонких, длиной 0,5–2 мм, трещинок, делающих её непрозрачной.





Рис. 3. Сильно удлинённый кристалл шпинели, в агрегате доломита, форстерита и клиногумита

В хорошо образованных кристаллах на гранях октаэдра отмечаются скульптуры растворения в виде вогнутых округлённых треугольников глубиной до 1 мм, слоёв, лёгкой ряби, ступенчатости и желобков (рис. 4). Наши данные по кристалломорфологии шпинели не противоречат опубликованным исследованиям [5], которыми установлено, что 85% кристаллов имеют октаэдрическую форму, а 15% осложнены гранями ромбододекаэдра.

Ровные, зеркальные поверхности граней покрыты желобками глубиной до 2 мм, шириной до 1,5 мм и длиной до 2,5 см на фоне углублённых тригонов (см. рис. 4). Желобки являются расширенным выходом трещин на поверхность шпинели. Их дно бывает

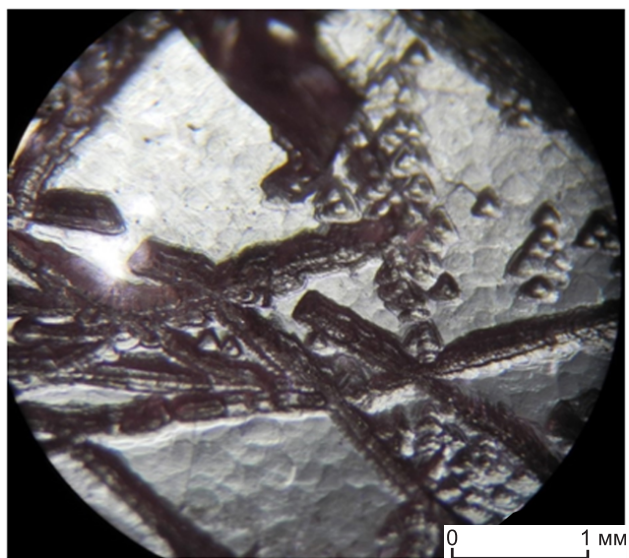


Рис. 4. Грань октаэдра шпинели с тригонами и желобками травления:

желобки маркируют выходы трещин на поверхность

покрыто плёнкой оксидов железа. На сильно трещиноватых участках желобки образуют густую сеть. Между пересекающимися трещинами расположены прозрачные монообласти ювелирного качества размером 3–5 мм в поперечнике.

Особенностями химического состава шпинели являются низкое содержание FeO от 0,14 до 0,6 и в некоторых зёрнах высокие значения  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и  $\text{V}_2\text{O}_5$  соответственно до 0,57 и 0,45 мас. % (см. таблицы 1, 2).

Кристаллы шпинели внутри форстеритового агрегата во многих случаях покрыты двумя тонкими мономинеральными оболочками (рис. 5). Первая, со стороны шпинели, образована параллельно-волокнистым или мелко-среднезернистым, часто чешуйчатым белым плотным гидроталькитом. Её толщина составляет от десятых долей до 5 мм. Она толще рядом с трещинами на шпинели. Оболочка гидроталькита плотно облекает шпинель, и на ней отпечатаны морфологические элементы поверхности последней. Оболочки гидроталькита вокруг шпинели были выявлены ранее [7].

Его рентгенограмма характеризуется следующими межплоскостными расстояниями в Å: 7,87 (100), 3,91 (60), 2,59 (40), 2,31 (25).

Главными элементами в составе гидроталькита являются MgO – 46 и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 33 мас.%, анионная часть представлена  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . В нём также установлены невысокие содержания FeO,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$  и NiO соответственно до 0,34, 0,12, 0,20 и 0,02 мас. % (см. табл. 1).

Вторая оболочка образована бесцветными чешуйками магнезиального хлорита (клинохлора) размером от долей до 3 мм. В крупных скоплениях он представляет собой плотный однородный агрегат белого цвета с жирным опаловидным блеском. С внешней стороны оболочка хлорита контактирует с форстеритом, замещая его, а часто и шпинель по периферии (см. рис. 5).

Межплоскостные расстояния на рентгенограмме хлорита, в Å, совпадают с эталоном клинохлора: 14,16 (60), 7,10 (100), 4,74 (60), 3,55 (80), 2,84 (55), 2,03 (16).

Главными элементами в его составе являются (в %): MgO – 32–35,  $\text{SiO}_2$  – 27–31 и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 20–26. В нём также установлены (в мас. %): FeO – до 0,26,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  – до 1,17,  $\text{V}_2\text{O}_5$  – до 0,45, NiO – до 0,05, F – до 0,59 (см. таблицы 1, 2).

Шпинель с оболочками локализуется в сильно трещиноватом, белом форстеритовом агрегате. Его зёрна варьируют в размерах от долей до 10 мм, достигая 5 см в поперечнике. Форстерит наблюдается в виде обломков различной формы (угловатых, окатанных, плоских и изометричных) в серпентиновом и карбонатном матриксе, образуя пойкилобластовую структуру или однородную массу с гранобластовой структурой. Некоторые сохранившиеся фрагменты

1. Химические составы (в мас.%) и кристаллохимические формулы шпинели, форстерита, серпентина, гидроталькита и хлорита

№ п/п	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	FeO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NiO	Сумма
Шпинель													
1	0,03	0,01	69,29	0,05	0,25	–	28,21	0,07	0,02	0,04	0,45	н.о.	98,42
2	0,05	–	72,22	–	0,14	0,01	29,02	–	0,02	0,11	0,03	н.о.	101,60
3	0,04	–	71,59	0,02	0,60	0,01	28,67	0,01	–	0,57	0,02	0,02	101,55
Форстерит													
1	42,58	0,02	0,04	0,08	0,28	0,03	57,17	0,08	0,02	–	0,08	0,01	100,39
2	41,92	0,02	0,02	–	0,30	0,03	57,62	0,07	0,04	0,05	0,12	0,02	100,21
3	43,83	0,01	0,02	0,01	0,52	–	58,19	–	–	0,01	0,04	0,02	102,65
Серпентин													
1	42,59	0,02	0,11	0,03	0,22	0,14	40,88	0,03	0,01	0,21	0,03	н.о.	84,27
2	41,95	–	0,72	0,05	0,04	0,04	40,37	0,01	0,01	0,32	–	н.о.	83,51
Гидроталькит													
1	0,04	–	32,29	0,01	0,34	0,09	46,19	0,01	–	0,12	0,15	0,02	79,26
2	0,05	–	33,36	0,06	0,09	0,06	46,61	–	0,01	0,05	0,20	н.о.	80,49
Хлорит													
1	30,17	0,07	20,45	0,01	0,06	0,24	32,83	0,16	0,14	1,17	0,41	н.о.	86,05
2	30,58	0,06	21,16	–	0,07	–	34,92	0,05	0,04	0,07	0,13	0,05	87,50
3	31,04	0,09	20,68	–	0,03	0,04	34,37	0,06	0,09	0,08	0,45	н.о.	87,07
4	26,84	0,04	26,48	–	0,26	0,03	32,37	0,17	–	0,07	0,04	н.о.	86,30

Примечание. н.о. – химический элемент не определялся, «–» – химический элемент не обнаружен; в хлоритах 1, 2, 3 установлен F соответственно 0,34, 0,37 и 0,14 мас.%.

кристаллов форстерита ограничены зеркальными гранями, представляя кристаллы. В них по трещинам развиваются тонкие зональные жилки мощностью до нескольких миллиметров. Осевая часть сложена серпентином, а краевая – хлоритом. В форстерите, не связанном пространственно со шпинелью, по трещинам развивается только серпентин.

Химической особенностью форстерита являются (в мас.%): низкие значения FeO до 0,52, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – до 0,05, V<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – до 0,12, NiO – до 0,02 (см. таблицы 1, 2).

Серпентин в многочисленных жилках, секущих форстерит, белого цвета и легко диагностируется в шлифах. Его межплоскостные расстояния на рентгенограмме, в Å: 7,31 (100), 4,55 (50), 3,65 (80), 2,10 (40). Особенностью его химического состава являются низкое содержание FeO – 0,22 и высокое Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,32 мас.% (см. таблицы 1, 2).

Белый цвет форстерита, гидроталькита, хлорита и серпентина, скрывая структурные признаки минералов, придаёт магнезиальным скарнам однородность.

Представленные выше морфологические детали шпинели (см. рисунки 2, 4, 5) указывают на растворение её поверхности. Результатом этого является образование гидроталькита и магнезиального хлорита в форме оболочек, обрамляющих шпинель. Они наблюдаются между зёрнами шпинели и форстерита. Очевидно, что первичный парагенезис шпинели с форстеритом в определённый момент геологического времени стал неравновесным. Между ними произошла обменная реакция и их периферические части были замещены гидроталькитом и магнезиальным хлоритом (см. рис. 5). Это получило отражение в химическом составе новообразованных минералов

2. Кристаллохимические формулы минералов

№ п/п	Минералы
Шпинель рассчитана на 3 катиона	
1	$Mg_{1,00}(Al_{1,98}Fe^{3+}_{0,01}V_{0,01})O_4$
2	$Mg_{1,00}Al_{2,00}O_4$
3	$Mg_{1,00}(Al_{1,98}Fe^{3+}_{0,01}Cr_{0,01})_{2,00}O_4$
Форстерит рассчитан на 3 катиона	
1	$(Mg_{1,99}Fe^{2+}_{0,01})_{2,00}Si_{1,00}O_4$
2	$(Mg_{1,99}Fe^{2+}_{0,01})_{2,00}Si_{1,00}O_4$
3	$(Mg_{1,99}Fe^{2+}_{0,01})_{2,00}Si_{1,00}O_4$
Серпентин рассчитан на 5 катионов	
1	$(Mg_{2,86}Fe^{2+}_{0,01}Al_{0,01}Cr_{0,01})_{2,89}Si_{2,00}[O_{4,80}(OH)_{0,20}]_{5,00}(OH)_{4,00}$
2	$(Mg_{2,87}Al_{0,04})_{2,91}Si_{2,00}[O_{4,86}(OH)_{0,14}]_{5,00}(OH)_{4,00}$
Гидроталькит рассчитан на 6 катионов, по [4]	
1	$[Mg_{3,85}Fe^{2+}_{0,02}Al_{2,13}(OH)_{12} \cdot (CO_3^{2-})_{1,13}(H_2O)_3]$
2	$[Mg_{3,83}Al_{2,17}(OH)_{12}] \cdot (CO_3^{2-})_{1,17}(H_2O)_3$
Хлорит рассчитан на 5 катионов	
1	$(Mg_{2,35}Al_{0,61}Cr_{0,03}V_{0,01})_{3,00}(Si_{1,45}Al_{0,55})_{2,00}O_5(O_{0,05}OH_{3,95})_{4,00}$
2	$(Mg_{2,42}Al_{0,58})_{3,00}(Si_{1,42}Al_{0,58})_{2,00}O_5OH_{4,00}$
3	$(Mg_{2,39}Al_{0,59}V_{0,02})_{3,00}(Si_{1,45}Al_{0,55})_{2,00}O_5(O_{0,06}OH_{3,94})_{4,00}$
4	$(Mg_{2,26}Fe^{2+}_{0,01}Al_{0,73})_{3,00}(Si_{1,26}Al_{0,74})_{2,00}(O_{4,99}O_{0,01})_{5,00}OH_{4,00}$

из оболочек. Основой их состава явилось вещество шпинели и форстерита, а также привнесённые летучие элементы (см. таблицы 1, 2).

**Морфология и парагенезис безгранных кристаллов.** Внутри форстеритовых скарнов хаотично размещаются скопления белых, мягких пород, которые вмещают «безгранные» кристаллы прозрачной шпинели. Эти породы имеют разнообразную форму: от эллипсоидной с резкими контактами до шарообразной с ответвлениями и изолированными участками, похожими на жилы, карманы, гнёзда с нечёткими, размытыми границами. Размеры этих тел состав-

ляют до одного метра в поперечнике. Наибольший объём прозрачной шпинели, по данным разведки, сконцентрирован на пятом участке. В настоящее время на нём проводятся добычные работы экспедицией «Чамаст».

Ювелирная шпинель локализуется только внутри белой, мягкой породы, которая в XI в. получила название магал [1]. После длительного забвения магалы и вместе с ними ювелирная шпинель были обнаружены советскими геологами в конце 1960-х годов (Памирская ГРЭ) при проведении подземных горных выработок.

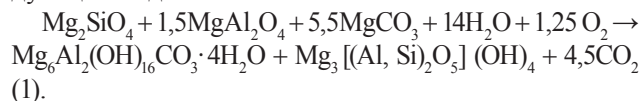
Магалы можно определить как рудное тело ювелирной шпинели. Они представляют основной интерес при отработке месторождения на ювелирную шпинель, содержание которой может достигать 295 карат/м<sup>3</sup> [3].

Магалы белого цвета, имеют лепидобластовую, с фрагментами гранобластовой структуру, разнородную, пористую текстуру и являются жирными на ощупь. В их строении главную роль играют магнезиальный хлорит и гидроталькит средне-крупночешуйчатой формы, отмечаются тальк, серпентин, брусит, а также установленные нами нордстрандит и гиббсит (водные оксиды алюминия), мейкснерит (водосодержащий оксид магния и алюминия), доломит и этрингит (водный сульфат кальция).

Шпинель в магалах характеризуется отсутствием граней и рёбер (рис. 6), имеет матовую поверхность, всегда прозрачная, иногда с редкими трещинами. Размеры безгранных (прозрачных) кристаллов варьируют от первых мм до 10 см в поперечнике (см. рис. 2).

Магалы представляют результат максимального развития процесса реакционного взаимодействия между шпинелью и форстеритом, который привёл к её частичному растворению с полной потерей граней и рёбер.

Их можно рассматривать как результат реакции между шпинелью и форстеритом. Гидроталькит и хлорит являются новообразованным парагенезисом вместо более раннего: шпинель + форстерит. Образование этой ассоциации может быть описано реакцией: форстерит + 1,5 шпинели + 5,5 магнезита + 14 воды = гидроталькит + магнезиальный хлорит + 5,5 углекислоты. Её можно воспроизвести в следующем виде:



Она по *PT*-условиям может быть сопоставлена с моновариантным равновесием [11]: энстатит + форстерит + шпинель = магнезиальный хлорит. Данная минеральная ассоциация редко наблюдается на месторождении [6, 7].



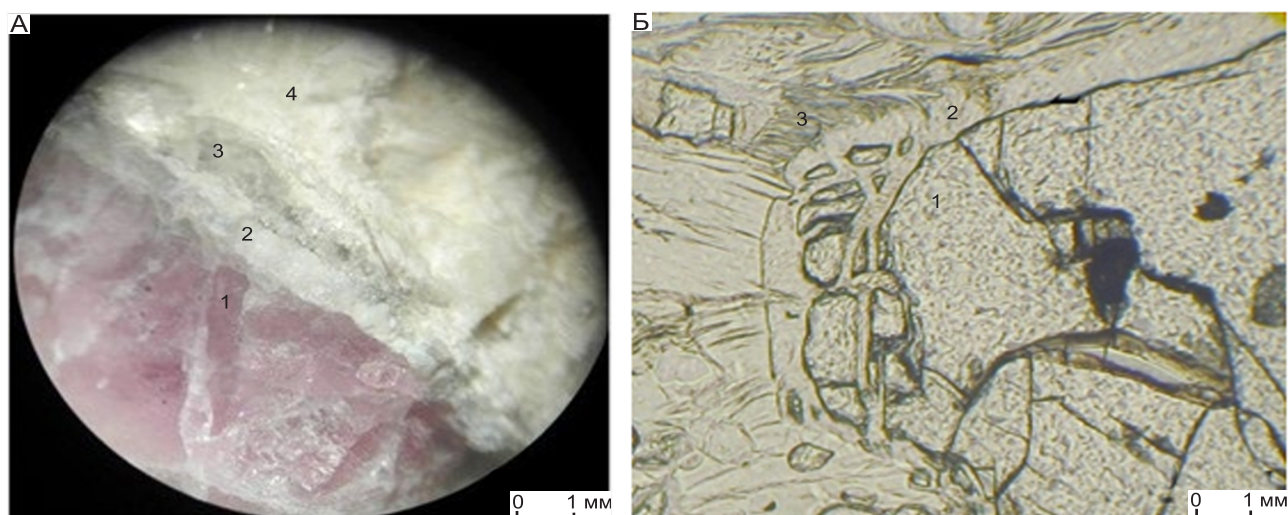


Рис. 5. Оболочки вокруг кристаллов шпинели:

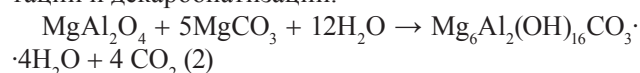
А – под бинокляром в отражённом свете; Б – шлиф: 1 – шпинель, 2 – гидроталькит, 3 – хлорит, 4 – серпентинизированный форстерит

**Генезис прозрачной шпинели.** Шпинель – один из самых ранних минералов месторождения Кухилал [8]. Она сформировалась в первый цикл регионального метаморфизма, соответствующий гранулитовой фации. Значения *PT*-условий лежат в контуре А (рис. 7). Крупные полногранные кристаллы шпинели первоначально, вполне вероятно, были прозрачными. Тектонические деформации, сопровождавшие второй метаморфический цикл (диафторез амфиболитовой фации по гранулитовой), создали «паутину» трещин, нарушивших прозрачность самоцвета. Этот цикл протекал в *PT*-условиях амфиболитовой фации. Их величины оконтурены полем Б (см. рис. 7), к которому приурочено возникновение неравновесных физико-химических условий между шпинелью и форстеритом. Этому способствовали метаморфогенные растворы, которые легко мигрировали по возникшим трещинам, способствуя растворению минералов.

Началом процесса растворения можно считать скульптуры в форме борозд, треугольников и слоёв растворения на гранях кристаллов. Дальнейшее его развитие привело к возникновению двух оболочек, сложенных соответственно гидроталькитом и магнезиальным хлоритом. Их образование было одновременным, поэтому моновариантную линию III (см. рис. 7) можно скоррелировать с вышеприведённой реакцией (1).

По трещинам внутри раздробленных кристаллов шпинели происходило её замещение гидротальки-

том, которое, вероятно, протекало по реакции гидратации и декарбонатизации:

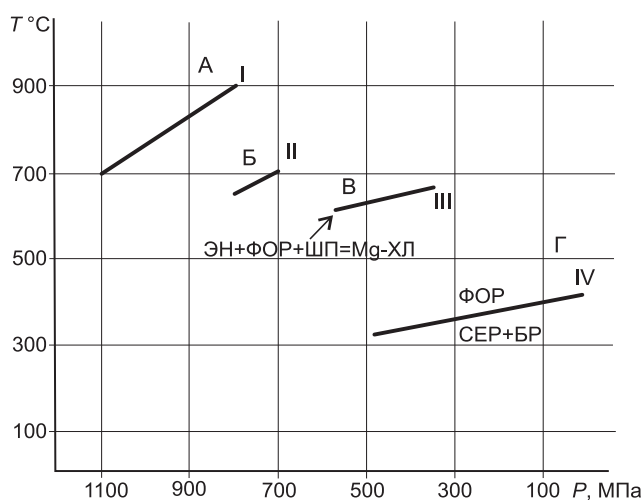


Результаты приведённых реакций (1) и (2), наблюдаемых в штуфах и шлифах, свидетельствуют о двух обстановках образования гидроталькита: первая – в контактах шпинели с форстеритом, вторая – по трещинам внутри шпинели.



Рис. 6. Образец магала:

безгранные кристаллы шпинели в гидроталькит-хлоритовом агрегате



**Рис. 7. Термодинамические условия образования и развития минеральных ассоциаций месторождения Кухилал:**

I–II – верхние границы метаморфических циклов, по [2]: I – первого, II – второго; III–IV – моновариантные равновесия, по [11]: III – энстатит + форстерит + шпинель = форстерит = серпентин + брусит, при давлении воды 0,3 МПа; ЭН – энстатит, ФОР – форстерит, ШП – шпинель, Mg-ХЛ – магнезиальный хлорит, СЕР – серпентин, БР – брусит; А, Б, В, Г – поля формирования минералов: А, Б – полногранных кристаллов шпинели, В, Г – магалов с безгранной, прозрачной шпинелью

Замещение форстерита серпентином произошло позже образования гидроталькита и хлорита (см. рис. 7). Оно протекало по реакции гидратации с образованием серпентина и брусита:



Анализируя составы анионных групп гидроталькита и хлорита (см. таблицы 1, 2), можно предположить состав минералообразующих растворов, который определяли  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , F и Cl. Последние два

элемента определены в апатите в количестве соответственно 1,4 и 2,3, а в клиногумите и флогопите установлен фтор соответственно 4,4 и 1,6 мас.%.  
 В составе магалов были определены S – 4,49 и Cl – 0,84 мас.% (табл. 3). Эти химические элементы также можно включить в состав флюидов. Их высокая активность привела к описанным выше реакциям в устойчивых к растворению минералах магнезиальных скарнов. Исследования водных вытяжек и фазового состава газовой-жидких включений в этих минералах показал хлоридный состав [12, 13]. Мы его можем расширить сульфатным, уголекислотным, фторным и гидроксильным компонентами.

Образование оболочек вокруг шпинели (см. рис. 5) явилось началом формирования магалов (см. рис. 6). Многочисленные трещины в шпинели, форстерите и других минералах способствовали этому, облегчая движение метаморфогенных растворов. Их вещество также послужило основой для образования новых минералов.

Замещение шпинели и форстерита представляет собой звено в многоцикличной и многоэтапной эволюции месторождения. Его началом явилось образование шпинель-форстеритового парагенезиса, значения *P-T*-условий которого локализуются в поле А – первый цикл, гранулитовая фация (см. рис. 7). Значения *P-T* параметров поля Б коррелируются со вторым циклом регионального метаморфизма. Появление гидроталькит-хлоритовых оболочек происходило в третьем цикле метаморфизма, обусловленном альпийским орогенезом, который привёл к тектоническим деформациям, создавшим в минералах сложную систему трещин. Пластичные и упругие минералы магалов (гидроталькит, хлорит, тальк, серпентин, брусит и др.) сохранили от деформаций реликты нерастворившихся кристаллов шпинели. Благодаря маглам тектонические движения не повредили шпинелевое кристаллосырьё и была сохранена первичная прозрачность. Минералообразующие процессы этого

**3. Химический состав магалов (в мас.%)**

№ п/п	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MgO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	Cl	Zn	Ga	Cs	Ba	Ni	Сумма
1	3,56	–	35,19	5,22	–	–	–	–	51,27	–	–	0,81	0,59	–	–	–	–	–	0,60	97,24
2	11,39	–	26,46	0,22	0,03	0,52	0,13	0,36	54,94	0,10	–	0,08	4,49	0,84	0,03	0,02	0,21	0,07	–	99,89

Примечание. «–» – химический элемент не обнаружен.

метаморфического цикла протекали в *PT*-условиях ниже линии III в контурах полей В, Г. Существенного разрушающего воздействия на шпинель они не имели.

Образование минералов в магалах соответствует значениям *PT*-условий в контурах полей В и Г (см. рис. 7): В – начало образования, Г – завершение. Граница между ними имеет условный характер и проведена на основе значений моновариантного равновесия: форстерит = серпентин + брусит [11]. Эта минеральная ассоциация широко проявлена на месторождении.

По представленным материалам можно сделать следующие **выводы**.

1. На месторождении Кухилал выделяются две группы кристаллов шпинели: плоскогранные и безгранные. Первая представлена непрозрачными, сильно-трещиноватыми индивидами и сростками, а вторая – прозрачным, ювелирным кристаллосырьём.

2. Формирование гидроталькита и Mg-хлорита в форме оболочек вокруг шпинели явилось началом образования магалов.

3. Магалы можно рассматривать как реакционно-метасоматические минеральные ассоциации, возникшие в контактах кристаллов полногранной шпинели и форстерита.

4. Новообразованные минералы – гидроталькит, Mg-хлорит, серпентин, брусит и др. – благодаря своим пластичным свойствам сохранили реликты твёрдой, но хрупкой шпинели от тектонических деформаций альпийского орогенеза.

5. Магалы можно рассматривать как рудные тела ювелирной шпинели. Они представляют главный интерес для горняков при отработке месторождения на ювелирную шпинель.

6. Плоскогранные формы кристаллов шпинели являются более ранними по сравнению с кривогранными.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бируни А. Р.* Собрание сведений для познания драгоценностей. – Л.: Изд-во АН СССР, 1963. – 518 с.
2. *Буданов В. И., Буданова К. Т.* Геолого-петрологическая характеристика обнажённого кристаллического фундамента // Земная кора и верхняя мантия Таджикистана. – Душанбе: Дониш, 1981. – С. 56–112.
3. *Гуревич Я. А.* Особенности геологического строения и разведки месторождений благородной шпинели Кухи-Лал (ЮЗ Памир) // Геология, поиски и разведка месторождений цветных камней Таджикистана. – Душанбе, 1987. – С. 17–20.
4. *Житова Е. С.* Кристаллохимия природных слоистых двойных гидроксидов // Дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – СПб: СПб. гос. ун-т, 2016. – 289 с.

5. *Калачёв В. Н., Дорохова Г. И.* Сравнительная кристалломорфология шпинели из форстеритового скарна месторождения Кухи-Лал (ЮЗ Памир) // ЗВМО. – 1991. – Ч. СХХ, № 2. – С. 73–78.
6. *Киселёв В. И., Буданов В. И.* Месторождения докембрийской магнезиально-скарновой формации Юго-Западного Памира. – Душанбе: Дониш, 1986. – 222 с.
7. *Колесникова Т. А.* Благородная шпинель, клиногумит и манассеит месторождения Кухилал (Памир) // Драгоценные и цветные камни. – М.: Наука, 1980. – С. 181–198.
8. *Литвиненко А. К.* Генетическая позиция благородной шпинели в магнезиальных скарнах Юго-Западного Памира // ЗВМО. – 2003. – Ч. СХХХII, № 1. – С. 76–81.
9. *Литвиненко А. К.* Нуристан-Южнопамирская провинция докембрийских самоцветов. – Геология рудных месторождений. – 2004. – Т. 46, № 4. – С. 305–312.
10. *Литвиненко А. К., Романова Е. И.* Роль пустот в образовании кристаллов на месторождении благородной шпинели Кухи-Лал, Юго-Западный Памир // Отечественная геология. – 2020. – № 1. – С. 80–87.
11. *Маракушев А. А.* Термодинамика метаморфической гидратации минералов. – М.: Наука, 1968. – 198 с.
12. *Морозов С. А., Гуревич Я. А.* О физико-химических условиях образования месторождения благородной шпинели Кухилал на Памире // ДАН ТаджССР. – 1973. – Т. 16, № 3. – С. 47–50.
13. *Файзиёв А. Р., Эльназаров С. А.* Термобарохимические условия формирования Кухилальского месторождения благородной шпинели // Известия АН Республики Таджикистан Отделение физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. – 2013. – № 1(150). – С. 99–106.

#### REFERENCES

1. *Biruni A. R.* Sobraniye svedeniy dlya poznaniya dragotsennostey [Collection of information for the knowledge of jewelry]. Leningrad, AN SSSR publ., 1963, 518 p. (In Russ.)
2. *Budanov V. I., Budanova K. T.* Geologo-petrologicheskaya kharakteristika obnazhonnoy kristallicheskogo fundamenta [Geological and petrological characteristics of the exposed crystalline basement]. Zemnaya kora i verkhnyaya mantiya Tadjikistana, Dushanbe, Donish publ., 1981, P. 56–112. (In Russ.)
3. *Gurevich Ya. A.* Osobennosti geologicheskogo stroeniya i razvedki mestorozhdeniy blagorodnoy shpineli Kukhi-Lal (YUZ Pamiir) [Features of the geological structure and exploration of deposits of the noble spinel Kuhi-Lal (South-West Pamiir)]. Geologiya, poiski i razvedka mestorozhdeniy tsvetnykh kamney Tadjikistana, Dushanbe, 1987, P. 17–20. (In Russ.)
4. *Zhitova Ye. S.* Kristallokhimiya prirodnykh sloistykh dvoynykh gidroksidov [Crystal chemistry of natural layered double hydroxides]. Dis. ... kand. geol.-min. nauk. St. Petersburg, SPb-gos. un-t publ., 2016, 289 p. (In Russ.)
5. *Kalachov V. N., Dorokhova G. I.* Sravnitel'naya kristallogomorfologiya shpineli iz forsteritovogo skarna mestorozh-

- deniya Kukhilal (YUZ Pamir) [Comparative crystallo-morphology of spinel from forsterite skarn of the Kukhilal deposit (southwestern Pamir)]. ZVMO, 1991, Ch. CXX, No. 2. P. 73–78. (In Russ.)
6. *Kiselov V. I., Budanov V. I.* Mestorozhdeniya dokembriyskoy magnezialno-skarnovoy formatsii Yugo-Zapadnogo Pamira [Deposits of the Precambrian magnesian-skarn formation of the Southwestern Pamirs]. Dushanbe, Donish publ., 1986, 222 p. (In Russ.)
  7. *Kolesnikova T. A.* Blagorodnaya shpinel, klinogumit i manasseit mestorozhdeniya Kukhi-Lal (Pamir) [Noble spinel, clinohumite and manasseite of the Kuhl-Lal deposit (Pamir)]. Dragotsennyye i tsvetnyye kamni, Moscow, Nauka publ., 1980, P. 181–198. (In Russ.)
  8. *Litvinenko A. K.* Geneticheskaya pozitsiya blagorodnoy shpineli v magnezialnykh skarnakh Yugo-Zapadnogo Pamira [Genetic position of noble spinel in magnesian skarns of the Southwestern Pamirs]. ZVMO publ., 2003, Ch. CXXXII, No. 1, P. 76 – 81. (In Russ.)
  9. *Litvinenko A. K.* Nuristan-Yuzhnopamirskaya provintsiya dokembriyskikh samotsvetov [Nuristan-South Pamir province of Precambrian gems]. Geologiya rudnykh mestorozhdeniy, 2004, V. 46, No. 4, P. 305–312. (In Russ.)
  10. *Litvinenko A. K., Romanova Ye. I.* Rol pustot v obrazovanii kristallov na mestorozhdenii blagorodnoy shpineli Kukhi-Lal, Yugo-Zapadnyy Pamir [The role of voids in the formation of crystals at the Kukhi-Lal noble spinel deposit, Southwest Pamir]. Otechestvennaya geologiya, 2020, No. 1, P. 80–87. (In Russ.)
  11. *Marakushev A. A.* Termodinamika metamorficheskoy gidratatsii mineralov [Thermodynamics of metamorphic hydration of minerals]. Moscow, Nauka publ., 1968, 198 p. (In Russ.)
  12. *Morozov S. A., Gurevich Ya. A.* O fiziko-khimicheskikh usloviyakh obrazovaniya mestorozhdeniya blagorodnoy shpineli Kukhilal na Pamire [On the physicochemical conditions of the formation of the Kukhilal noble spinel deposit in the Pamirs]. DAN TadzhSSR publ., 1973, V. 16, No. 3, P. 47–50. (In Russ.)
  13. *Fayziyev A. R., Elnazarov S. A.* Termobarokhimicheskiye usloviya formirovaniya Kukhilalskogo mestorozhdeniya blagorodnoy shpineli [Thermobarochemical conditions of the formation of the Kuhlilalsky deposit of noble spinel]. Izvestiya AN Respubliki Tadzhikistan Otdeleniye fiz.-mat., khim., geol. i tekhn. Nauk, 2013, No. 1(150), P. 99–106. (In Russ.)

Журнал «Отечественная геология» принимает участие в геологических конференциях, совещаниях, съездах в качестве информационного партнёра, освещая на своих страницах важные события отрасли.

Приглашаем к сотрудничеству представителей геологических, горно-геологических, горнодобывающих организаций и предприятий, отраслевых научно-исследовательских, академических и образовательных институтов по вопросам размещения рекламы или издания целевого номера.



## Об особенностях исследований постмагматических и гипергенных изменений кимберлитовых пород

Охарактеризованы методы изучения постмагматического и гипергенного изменения кимберлитовых пород, а также идентификации вторичных минералов и их ассоциаций. Показано, что процессы вторичного минералообразования проходили в большом интервале температур и при вызванном их спадом изменении реакции среды: от щелочной к кислой с последующей нейтрализацией. Это зафиксировалось в форме растворения, дорастания и возникновения новых генераций вторичных минералов.

*Ключевые слова:* кимберлиты, постмагматические и гипергенные процессы, вторичные минералы, алмазодносные провинции.

ЗИНЧУК НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, председатель ЗЯНЦ АН РС (Я), nnzinchuk@rambler.ru

Западно-Якутский научный центр (ЗЯНЦ) Академии наук Республики Саха (Якутия), г. Мирный

## Specific features of postmagmatic and hypergene kimberlite rock alteration research

N. N. ZINCHUK

West Yakutia Scientific Center, Republic of Sakha (Yakutia) Academy of Sciences

Methods of studying postmagmatic and hypergene kimberlite rock alteration, as well as identifying secondary minerals and their associations are characterized. It is shown that secondary mineral formation processes took place in a wide temperature range and they are caused by their downward change of medium reaction from alkaline to acidic followed by neutralization, which resulted in dissolution, additional growth and emergence of new secondary mineral generations.

*Key words:* kimberlites, postmagmatic and hypergene processes, secondary minerals, diamondiferous provinces.

При изучении кимберлитов главное внимание исследователями уделяется реликтовым структурам и текстурам исходной породы, по которым построены практически все классификации кимберлитовых пород, кратко рассмотренные нами раньше [5, 29]. Основное внимание обычно придаётся изучению псевдоморфоз, их форм и расположению в породе. В то же время незаслуженно малая роль отводится исследованию цементирующей массы этих уникальных природных магматитов. В кимберлитовых породах, где сохранилось реликтовое строение, цементирующая масса в основном представлена субмикроскопическим серпентином, пелитоморфным карбонатом и стекловатым веществом [1–7, 19–25, 30–33]. Многие исследователи считают, что серпентин цемента представляет собой апостекло. Однако в свежем виде в кимберлитах оно никем и никогда не описывалось. Стекло не обнаружено также в обломочном материале этих пород. К постмагматическим преобразо-

ваниям кимберлитов обычно относятся изменения, которые претерпели магматические породы в пневматолиито-гидротермальную стадию метаморфизма [8–14, 26–29]. Верхней температурной границей обычно указывается 600 °С, то есть температура, при которой от магматического расплава отщепляется флюид, а нижней можно условно считать температуру кипения воды, хотя некоторые минералы возникают и при более низких температурах. Наряду с автотаморфическими процессами, которые протекают в обстановке, близкой к изохимической, в кимберлитовых телах широко распространён метасоматоз (автотаморфизм). Под новообразованиями кимберлитов мы [9–18, 29–31] понимаем все минералы, сформировавшиеся из термальных растворов, под которыми подразумеваются не только постмагматические ювенильные, но и растворы, образовавшиеся как в период формирования трубки, так и на более поздних этапах её становления, в том числе и в гипергенных



условиях. Химические анализы кимберлитов, кроме выяснения петрохимических особенностей пород, использовались для пересчётов на минеральный состав по методике, разработанной нами [15–18] для минералого-петрохимического картирования кимберлитовых диатрем. Для эффективного использования этого метода важным является параллельное изучение этих же проб с помощью рентгенодифрактометрического метода, дающего для общего контроля фазовый перечень присутствующих в породах минералов. При пересчётах химических анализов кимберлитов учитывались не только вторичные минералы, но и некоторые реликтовые. В первую очередь при таких пересчётах определяются компоненты кальциевых минералов, поскольку для них характерны различные радикалы и обычно нетипичны широкие изоморфные замещения. Из кальциевых минералов в кимберлитовых породах установлены кальцит, доломит, гипс, перовскит и апатит. Поскольку последний является обычным образованием кимберлитов (редко встречающийся в этих породах франколит предварительно уверенно диагностируется рентгеновскими исследованиями), то при перерасчётах всё количество  $P_2O_5$  соединяется с эквивалентной для этого минерала частью  $CaO$ , которая вычисляется из общего содержания компонента. Так же поступаем с «образованием» гипса, соответственно соединяя  $CaO$  с сульфатным ангидритом и водой. Поскольку целестин и барит имеют локальное распространение (и приурочены они в основном к жильным образованиям), а другие минералы этой группы для кимберлитов изученных нами диатрем нехарактерны, то количество сульфата кальция, полученное путём пересчёта, является довольно точным даже при незначительном содержании этого компонента в породе. Оставшаяся часть  $CaO$  вместе с  $CO_2$  идёт на карбонат кальция, который здесь представлен двумя модификациями – кальцитом и арагонитом, причём последний встречается в этих породах редко. Если  $CO_2$  в избытке, то, добавляя  $MgO$ , рассчитываем кальцит и доломит. Оставшийся  $CaO$  вместе с  $TiO_2$  образует перовскит. Определённое количество  $MgO$  после вычета, расходуемого на доломит, идёт на флогопит, расчёт которого проводится по концентрации в кимберлите  $K_2O$ . Поскольку других калийсодержащих минералов в кимберлитовых породах нами не установлено, то на «образование» слюды идёт не только весь  $K_2O$ , но и соответствующие количества  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $FeO$  и  $H_2O$ . Оставшееся после этого количество  $MgO$  пересчитывается на серпентин. Можно потом по оставшемуся количеству  $Al_2O_3$  предварительно рассчитать и хлорит. При расчёте серпентина соответствующая часть  $MgO$ ,  $FeO$  и  $Fe_2O_3$  объединялась с эквивалентными количествами  $SiO_2$

и  $H_2O$ . Избытки  $MgO$  (по отношению к  $SiO_2$ ) и  $H_2O$  пересчитывались на брусит. Избыток  $SiO_2$  выделялся в виде отдельной фазы, которая в кимберлитах обычно представлена кварцем и халцедоном. Поскольку доминирующим сульфидом железа является пирит, то сульфидную серу «связывали» с соответствующей частью  $FeO$  в персульфид. Остальные сульфиды рассчитывались в зависимости от результатов рентгенографического и химического анализов. Количество  $FeO$ , оставшееся после вычитания на «образование» пирита, идёт вместе с  $Fe_2O_3$  на магнетит. Следует отметить, что обычно  $FeO$  не хватает для «образования» ильменита и магнетита, поэтому оставшиеся  $Fe_2O_3$  и  $H_2O$  учитываются при расчёте аутигенных гидроксидов железа (гётит, гидрогётит, маггемит и др.). Полученные таким образом (при пересчёте химических анализов с рентгеновским контролем минеральных фаз) количественные данные по каждому из преобладающих минералов основной массы кимберлитов нами наносились на планы погоризонтальных опорных горизонтов, построенных обычно по материалам эксплоразведочных горных выработок, пройденных по сетке  $40 \times 40$  м (рисунки 1 и 2), а также на геолого-петрографические разрезы, построенные по результатам комплексного изучения керна разведочных скважин (рисунки 3 и 4), что позволило получить объективные количественные данные по распределению основных материалов и выделению геолого-технологических типов руд. Остальные применяемые в настоящей работе методы петрофизических, петрохимических, минералогических, геохимических и других видов исследований детально описаны в работах [12–18], в которых отмечены и отдельные незначительные усовершенствования и изменения в зависимости от типов изучаемых геологических объектов. Большое значение при изучении кимберлитовых пород уделялось обработке материалов комплексного изучения вещественного состава с применением широкого спектра современных методов и подходов [26–29]. Для обработки как химических анализов в различной степени изменённых кимберлитов, так и развитых в алмазоносных регионах древних кор выветривания (КВ) на породах различного состава был использован развиваемый нами [30] многомерный непараметрический кластер-анализ. Обобщающие особенности и закономерности, полученные с использованием этого метода, можно представить (в том числе и на плоскости) посредством взаимосвязанных индексов их валового химического состава – LM и ОК. Первый «лейко-мелано» индекс (LM) определяется алгебраической суммой рангов содержания (в процентах,  $n = 10$ ) породообразующих оксидов в образце ( $R_i = 1, 2, \dots, i, \dots, 10; M = S_+ + S_-$ ), взятых со знаком «+» для светлоокрашенных компонентов,

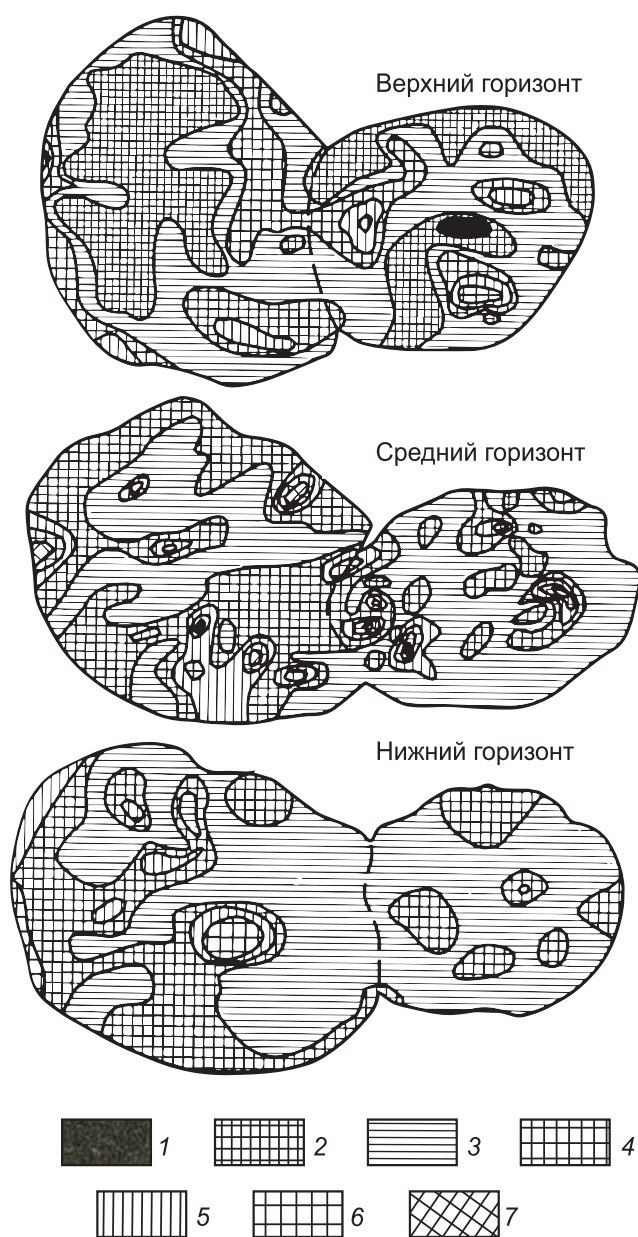


Рис. 1. Распределение серпентина в кимберлитовых породах трубки Удачная:

в % от общего содержания установленных минералов: 1 – > 70, 2 – 60–70, 3 – 50–60, 4 – 40–50, 5 – 30–40, 6 – 20–30, 7 – < 20

содержание которых возрастает в глобальном процессе эволюции горных пород от ультраосновных к кислым ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  и  $\text{H}_2\text{O}^+$ ), и со знаком «←» для темноокрашенных компонентов, содержание которых соответственно уменьшается в указанном ряду пород ( $\text{MgO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  и  $\text{TiO}_2$ ). Второй индекс – окисленности, выветривания (ОК) –

по этому методу определяется алгебраической суммой рангов содержания (в процентах) шести избранных породообразующих оксидов в той же породе, причём используются численные значения рангов  $R_i$ , полученные при первом, общем ранжировании:  $\text{OK} = S''_+ + S''_- \dots$ . Здесь  $S''_+$  – сумма рангов по оксидам, преимущественно накапливающимся в изменённых (в том числе и выветривающихся) продуктах ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}^+$ ), а  $S''_-$  – сумма рангов по оксидам, выносимым из исходных пород при постмагматических и гипергенных изменениях пород ( $\text{FeO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ).

Вторичные минералы кимберлитов составляют обычно более 90% объёма пород и представлены свыше 60 минеральными видами. Результаты комплексного диагностического изучения вторичных минералов кимберлитов и особенностей их влияния на состав и облик пород показывают, что главными вторичными минералами кимберлитов являются серпентин и карбонаты, которыми в основном сложены эти породы. К второстепенным отнесены все остальные минералы, образовавшиеся на разных стадиях становления кимберлитовых трубок. Различные минералы проявляют свойственные только им особенности концентрации и распределения в породах, приводя к различному облику и составу кимберлитов. Проведёнными исследованиями установлено [14–18] своеобразие качественно-количественного распределения в кимберлитовых породах силикатов (серпентин, флогопит, хлорит, вермикулит, тальк, монтмориллонит, сепиолит, таумасит), карбонатов (кальцит, доломит, арагонит, пироаурит, шортит, стронцианит, магнезит, гидромагнезит, хантит), оксидов и гидроксидов (магнетит, гематит, гётит, амакинит, кварц, халцедон, брусит), сульфидов (пирит, сфалерит, галенит, миллерит, пирротин, пентландит, халькопирит, точилинит), сульфатов (ангидрит, гипс, целестин, барит, эпсомит, метабазалюминит, брошантит), галогенидов (галит), фосфатов (франколит), боратов (екатеринит, ферросайбелиит) и битумов.

Распределение одного из характернейших вторичных минералов – серпентина (см. рисунки 1, 3 и 4) – в телах кимберлитовых трубок зависит не только от состава исходной магматической породы, но и от количества и природы ксенолитов, а также вторичных инфильтрационных процессов. Ксенолиты мантийных ультраосновных пород серпентинизируются одинаково: как и кимберлит (то есть первичные оливины и пироксены) частично или полностью замещаются серпентином, содержание которого определяется количеством этих исходных минералов в породе и степенью замещения. Для определения влияния на серпентинизацию кимберлитов гипергенных процессов, проводилось сравнение минералогических карт различных опорных горизонтов. Так, по трубке Удачная

построены такие карты (см. рис. 1) для горизонтов 190 (нижний), 250 (средний) и 295 (верхний) метров, по сути представляющие собой соответственно плотные, частично дезинтегрированные и выветрелые породы. Пространственное распределение серпентина в породах нижнего горизонта восточного тела трубки Удачная свидетельствует о достаточно равномерном содержании его в центральной части тела. При этом повышенные значения тренда приурочены к контактам с вмещающими породами. К центру трубки содержание минерала постепенно уменьшается. Отчётливо фиксируется субширотная зона с более низкими значениями тренда, достигающими минимумов к контактам с западным телом и вмещающими породами на востоке. В западном теле содержание серпентина постепенно возрастает к контактам с восточным телом и убывает к юго-западным и западным границам. Вверх по разрезу (горизонт 250 м) содержание серпентина в восточном теле в среднем несколько уменьшается, но существенно возрастает неоднородность и разброс значений (дисперсия увеличивается более, чем в два раза). Кимберлиты западного тела на этом опорном горизонте характеризуются некоторыми общими снижениями концентрации серпентина, при этом меняется его распределение (см. рис. 1). Заметное уменьшение концентрации минерала в восточном теле самого верхнего сравниваемого горизонта по отношению к более глубоким его частям характеризуется одновременно и сменой специфики его распространения по площади. Верхний горизонт пород западного тела характеризуется более высокой степенью серпентинизации и чётко выраженной концентрической зональностью распределения минерала с максимумом в центре трубки с постепенным снижением к периферии. Распределение серпентина на глубину трубки (см. рисунки 3 и 4) подчёркивает степень серпентинизации оливина и других включений ксенолитов в кимберлитовой диатреме. Количество серпентина в ксенолитах осадочных пород определяется содержанием в исходном материале силикатов (особенно со слоистой структурой). Следовательно, содержание серпентина в кимберлите представляет собой сумму количеств различных по происхождению составляющих компонентов данного довольно сложного образования, отвечающего формуле:  $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  или  $\text{Mg}_3(\text{OH})_4\text{Si}_2\text{O}_5$ .

Морфология агрегатов серпентина определяет структуру мономинеральной породы, то есть серпентинитов, представляющих в отдельных трубках (Ботубинская, Нюрбинская и др.) продукты преобразования ультраосновных нодулей, а в большинстве случаев – только определённый участок породы, поскольку значительная её часть сложена другими минералами, имеющими свою форму индивидов и аг-

регатов. Чисто серпентиновые агрегаты чаще всего видны у большинства псевдоморфоз по оливину, а также на некоторых участках цементирующей массы. Полностью серпентиновыми являются многие жилы, прожилки и неправильной формы выделения серпофита. Морфология агрегатов серпентина определяется размером частиц, их формой, расположением и взаимодействием между собой. Подавляющее большинство частиц серпентина представлено субмикроскопических размеров индивидами. Исключение составляет антигорит. Размер частиц хризотила и особенно лизардита бывает настолько малым, что приближается к микронному, а агрегаты становятся оптически изотропными или субизотропными. И только рентгенограммы фиксируют наличие упорядоченности в расположении отдельных слагающих данные частицы атомов и позволяют проводить уверенную диагностику этого составного компонента кимберлитов. Нередко серпентин представлен смесью хризотила и лизардита, при этом доля первого выше в верхних часто выветрелых частях диатрем, а его выделения сосредоточены в жильных серпофитах, лизардит – в ядрах псевдоморфоз.

При комплексном исследовании кимберлитовых пород Африканской платформы в отдельных диатремах нами [7, 14–16] установлены различные соотношения ассоциации лизардита с сапонитом. При рентген-дифрактометрических исследованиях изменённых кимберлитов из верхних частей трубки Катока (Ангола) отмечено присутствие в области 060 менее интенсивного, чем в лизардите, отражения со значением 0,1526 нм ( $b = 0,916$  нм). Это указывает на содержание в структуре смешанослойной фазы сапонитовых слоёв. Исходя из высот сапонитового (~ 1,5 нм) и лизардитового (0,730 нм) слоёв в верхней части диатремы, наряду с присутствием собственно лизардита, слои его входят в структуру впервые идентифицированного нами [7, 14] упорядоченного лизардит-сапонитового смешанослойного образования с общей высотой его кристаллической решётки примерно в 2,2 нм. Мелкие чешуйчатые выделения этого упорядоченного смешанослойного образования, кроме Si и Mg, содержат небольшое количество Fe, Al и Ca. На микродифракционной картине, полученной с помощью сканирующего микроскопа JSM-5300 (Япония), оснащённого энергодисперсионным спектрометром Kevex-5100 (США), выделено в основном два типа частиц. Сравнительно широкие пластинки относятся к лизардиту, скопления мелких частиц – к смешанослойной фазе. На микродифракционной картине от загнутых краёв частиц этой смешанослойной фазы с учётом обезвоженного состояния разбухающих минералов в вакууме электронного микроскопа фиксируются базальные отражения с  $d = 0,838$



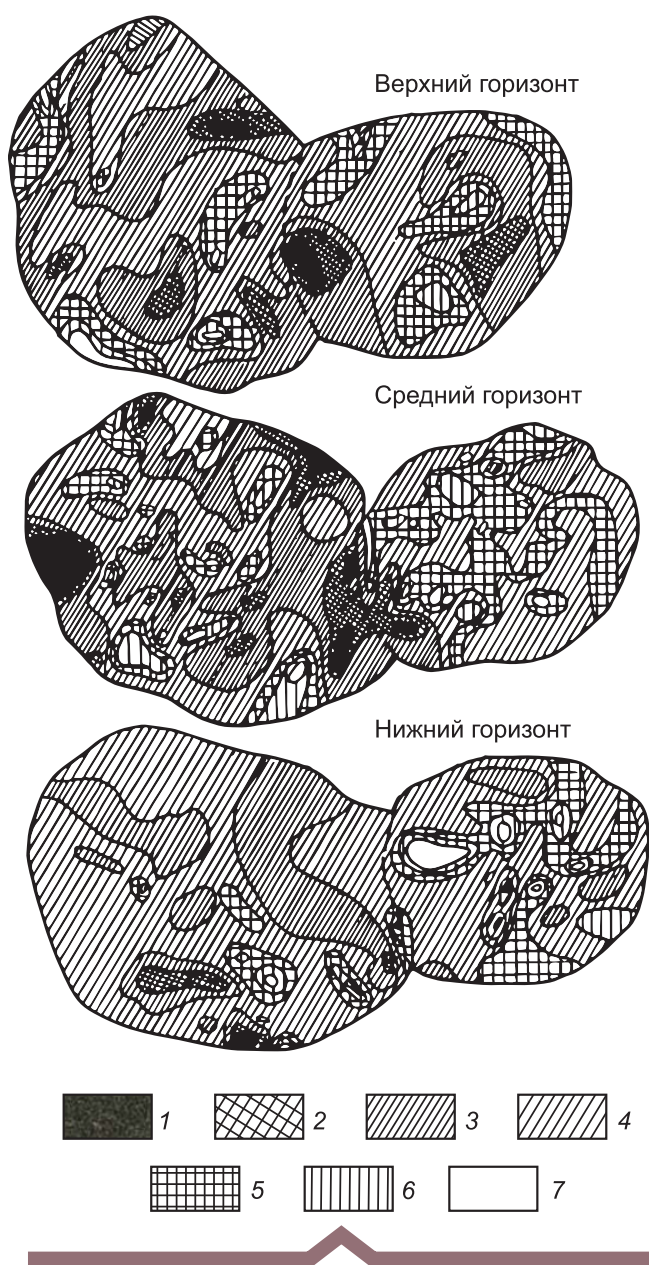


Рис. 2. Распределение кальцита в кимберлитовых породах трубки Удачная:

в % от общего содержания установленных минералов: 1 – > 30, 2 – 25–30, 3 – 20–25, 4 – 15–20, 5 – 10–15, 6 – 5–10, 7 – < 5

и 0,336 нм. От загнутого края отдельных частиц была получена последовательность рефлексов  $00l$  с семью порядками. Анализ этой картины показал [7, 14], что второе ( $d = 0,838$  нм) и пятое ( $d = 0,336$  нм) отражения выделяются своей интенсивностью. Эти отражения, полученные на дифрактограммах и микродифракционных картинах таких образцов, четко соответствуют индексам этого впервые идентифицированного смешанослойного образования.

Следующим по распространённости компонентом кимберлитовых пород являются карбонаты, среди которых доминирует кальцит, характеризующийся широким многообразием форм выделений. Основная его масса, как известно, вместе с минералами группы серпентина составляет (см. рисунки 2–4) основную объём пород большинства кимберлитовых тел, «цементируя» дезинтегрированные породы и минералы различного происхождения. Резко меняется концентрация минерала в зависимости от степени постмагматического и гипергенного изменения кимберлитов, что также можно рассмотреть на примере трёх упомянутых опорных горизонтов диатремы Удачная. Так, в восточном теле диатремы вверх по разрезу содержание кальцита постепенно возрастает, а доломита убывает. При этом нижний горизонт (190 м) характеризуется существенным разбросом значений, которые могут быть следствием как неравномерной карбонатизации кимберлитов, так и различного распределения в трубке ксеногенного материала вмещающих диатрему пород. В западном теле содержание карбонатов также характеризуется существенным разбросом значений. В распределении кальцита наблюдается (см. рис. 2) обратная по сравнению с восточным телом закономерность – на верхнем горизонте содержание кальцита ниже, чем на двух предыдущих. На горизонте 190 м в восточном теле максимальные значения тренда кальцита тяготеют в основном к приконтактовым зонам трубки, свидетельствуя о частичной инфильтрации карбонатного материала из вмещающих кимберлиты пород. В западном теле этого горизонта распределение кальцита имеет довольно сложное строение и характеризуется (см. рис. 2) северо-западной ориентировкой элементов поверхностей тренда. Увеличение содержания кальцита фиксируется в приконтактовых зонах на северо-востоке и юго-западе трубки, причём непосредственно к контактам с вмещающими оно постепенно падает. В породах центральной части диатремы начиная от юго-восточных контактов с восточным телом и до её северо-западных границ кальцит распределён более равномерно и его содержание несколько ниже. К следующему среднему горизонту (250 м) в восточном теле трубки ситуация существенно меняется. Наиболее высокие содержания кальцита зафиксированы на этом горизонте в приконтактовой зоне на западе, а остальная часть трубки характеризуется достаточно равномерным распределением этого минерала с постепенным убыванием к её восточным границам. В западном теле этого горизонта распределение карбонатов существенно меняется. И более значительно меняются особенности распределения минерала на самом верхнем горизонте (295 м) и характеризуются (см. рис. 2) в восточном теле тремя

зонами экстремумов северо-западного простирания – максимумы на восточном фланге и у контакта с западным телом разделены зоной пониженного и относительно равномерного распределения кальцита. По-разному ведёт себя минерал и на глубину описываемого месторождения (см. рисунки 3 и 4), что связано с различной степенью карбонатизации пород диатремы. Часть кальцита выполняет пустотно-трещинные образования, формируя в кимберлитах прожилки и друзы, жеоды и щётки. В качестве позднего аксессуарного минерала кальцит установлен нами [10–14] и в некоторых типах глубинных пород, в частности, в ильменит-титан-клиногумитовых дунитах (парагенетическая ассоциация Ti-клиногумит + К-рихтерит + кальцит + апатит + пирротин), в рутил-цирконовых сростках (циркон + флогопит + кальцит), в рутиловых эклогитах (амфибол + флогопит + кальцит + апатит ± кварц), в ильменит-амфиболовых вебстеритах (амфибол + циркон + апатит + кальцит) и в некоторых глиммеритах (флогопит + кальцит ± амфибол). Кальцит известен также в виде включений в цирконах, гранатах и оливинах, кроме того, микровключения кальцита зафиксированы в некоторых алмазах Заира, Ботсваны [13–15]. На данном этапе изученности этого минерала можно выделить: а) ранний (глубинный) первичномагматический кальцит (включения в глубинных минералах), образующийся из первичной водно-силикатно-карбонатной магмы, б) глубинный метасоматический кальцит (продукт верхнемантийного метасоматоза глубинных пород) и в) собственно «кимберлитовый» кальцит, кристаллизация которого связана с различными процессами формирования кимберлитовых тел. Последний по способу и времени образования можно подразделить на «кимберлитовый» кальцит, слагающий основную массу пород, «метасоматический» кальцит (продукт карбонатизации некоторых минералов и пород) и поздний гидротермальный кальцит, выполняющий пустотно-трещинные образования. Следовательно, кальцит с полным основанием можно отнести к «сквозным», но полигенным минералам «кимберлитового» процесса, всестороннее исследование которых может дать новую информацию о природе и специфике этого процесса на различных этапах его эволюции. Однако при этом важно выяснить, несёт ли кальцит того или иного этапа или стадии кимберлитобразования информацию о составе глубинного водно-силикатно-карбонатного флюида или отражает только геохимическую специализацию вмещающих пород. В то же время в числе открытых или весьма дискуссионных ещё остаются вопросы об устойчивости и равновесности минерального состава кальцитсодержащих ассоциаций. Один из таких вопросов – являются ли они закономерными продук-

тами кристаллизации той или иной стадии кимберлитобразования или представляют собой случайные неравновесные (наложенные) ассоциации нескольких постмагматических стадий этого процесса? Не менее принципиальными на сегодняшний день можно считать вопросы информативности и типоморфного значения микросостава и свойств кальцита из кимберлитов, что до сих пор затрудняет их использование в качестве генетических индикаторов условий кимберлитобразования. Необходимо отметить, что к настоящему времени в пустотно-жилковых образованиях из кимберлитов установлено большое количество кальцитсодержащих ассоциаций, в том числе: кальцит + пирит ± (сепиолит); кальцит + пирротин ± (сепиолит); кальцит + пирит + пирротин ± (сепиолит); кальцит + (сепиолит) + (талък); кальцит + целестин + пирит ± серпентин ± (сепиолит); кальцит + целестин + кварц ± (сепиолит); кальцит + целестин ± (сепиолит); кальцит + серпентин + кварц ± (сепиолит); кальцит + серпентин ± (сепиолит); кальцит + халькопирит + серпентин ± (сепиолит); кальцит + доломит + серпентин ± (сидерит); кальцит + пирит + сфалерит ± (сепиолит); кальцит + магнетит + пирит; кальцит + магнетит + серпентин; кальцит + арагонит ± магнетит; кальцит + гетит + магнетит; кальцит + пирроаурит + пирит + магнетит. Наиболее устойчивыми и часто встречающимися являются ассоциации: кальцит + пирит ± (сепиолит), кальцит + пирит + пирротин ± (сепиолит); кальцит + пирит + пирротин ± (сепиолит); кальцит + (сепиолит), кальцит + целестин + пирит ± серпентин ± (сепиолит) и кальцит + магнетит + серпентин. Редки кальцитсодержащие ассоциации с халькопиритом и сфалеритом. Сепиолит, талък и сидерит – более поздние минералы этих ассоциаций и не связаны единым процессом минералообразования с кальцитом и сосуществующими с ним минералами, то есть не являются парагенетическими. Помимо органического вещества в кристаллах кальцита рентгеновскими методами и методами ИК-спектроскопии диагностированы включения серовато-зелёного серпентина таблитчатого облика, кристаллы и сростки пирита, пирротина, магнетита, игольчато-пластинчатый целестин, а в агрегатном кальците – сростки и двойники кристаллов сфалерита. Особый интерес представляют кальцитсодержащие ассоциации из «плавающих рифов» – крупных мегаксенолитов вмещающих карбонатных пород в кимберлитах. Степень перекристаллизации разных их блоков и участков была различной, поэтому такого рода мегаксенолиты благодаря своему объёму как бы «растянули» во времени и «сохранили в памяти» все особенности процесса взаимодействия «кимберлитовых» расплавов с вмещающими породами. Один из таких мегаксенолитов известен у контакта западного

тела трубки Удачная. О нём неоднократно упоминалось в литературе, но детального описания всех его минеральных ассоциаций и характеристики условий их образования пока не приводилось, хотя, по нашему мнению, это – уникальный модельный объект для всестороннего изучения вышеупомянутого процесса. В результате исследований в пустотно-трещинных образованиях этого мегаксенолита нами были установлены следующие кальцитсодержащие ассоциации: кальцит (ранний-I) + опал + халцедон + кварц ± пирит; кальцит-I ± опал + кварц; кальцит-I + кварц + кальцит (поздний-II); кальцит + магнетит + кальцит-II; кальцит-II + магнетит + арагонит; опал + кварц + кальцит-II ± пирит; кальцит-II + флюорит (последний первоначально был принят нами за кальцит-II, так как визуально практически ничем не отличался от крупных обломков этого минерала в разрушенном взрывом мегаксенолите). Как видим, по минеральному составу (так же как и по форме выделений) перечисленные выше ассоциации существенно отличаются от таковых в кимберлитах. Встречаются ассоциации, в объёме которых преобладает кальцит, но чаще всего – минералы группы кварца, нарастающие на «ониксоподобные» сферы коричневого кальцита ранней генерации. Отметим важность изучения в кальците спектра редкоземельных (TR) элементов, что может способствовать определению природы этих компонентов в кимберлитах. Однако фазовая неоднородность кальцита и наличие в нём микровключений других минеральных фаз не позволяют корректно провести такого рода исследования с помощью классических видов спектрального и других анализов вещества. Более объективное изучение микросостава и закономерностей распределения TR-элементов в кальцитах из кимберлитов можно выполнить с помощью известных люминесцентных методов исследования минералов, отличающихся высокой чувствительностью к самым незначительным (0,000n %) концентрациям примесных элементов и оптически активных центров (ОАЦ) в минералах. ОАЦ не только несут информацию о структурно-химическом состоянии минерала, но и являются генетическими индикаторами эволюции минерального вещества, прослеживаемой на атомно-электронном уровне строения кристаллов. По данным электронно-зондового анализа, наиболее характерными примесями в кальцитах из кимберлитов являются: марганец (MnO – 0–0,37%), магний (MgO – 0,04–0,34%), железо (FeO – 0–0,13%), кобальт (CoO – 0–0,46%), свинец (PbO – 0–0,22%) и медь (CuO – 0,09%). Почти во всех изученных выделениях кальцита обнаружена примесь Sr, Ba, Ti, Ni, V, Ce, La и Y.

В ряде кимберлитовых трубок (Интернациональная и др.) значительную долю состава пород составляет

*доломит*. По имеющимся минералогическим данным образование доломита охватывает достаточно широкий интервал во времени: от начала процессов метасоматоза верхнемантийных пород (наличие включений доломита в титан-клиногумите и К-рихтерите) до заключительных стадий гидротермальных процессов в пустотно-трещинных образованиях остывающего «кимберлитового» расплава. Согласно классическим представлениям о закономерностях кристаллизации доломита в природе, своеобразными катализаторами доломитообразования в кимберлитах могут быть различные соли и сульфаты. В первую очередь этим можно объяснить повышенную частоту встречаемости доломита в виде тонкоагрегатных сростаний с ангидритом, целестином и кальцитом и чрезвычайную редкость его самостоятельных выделений в кимберлитах в целом. Менее распространённым карбонатом в кимберлитах является арагонит.

В целом по изучению карбонатов из гидротермальных пустотно-трещинных образований в кимберлитах Сибирской платформы (СП) представляется возможным сделать один из основных выводов: различные ассоциации сосуществующих минеральных фаз (серпентин + кальцит ± магнетит ± пирит ± пирротин ± целестин ± арагонит ± кварц ± гипс ± халькопирит ± сфалерит ± гетит ± пироаурит) в пустотно-трещинных образованиях из различных кимберлитовых тел, горизонтов и участков следует рассматривать в качестве устойчивых и закономерных парагенетических ассоциаций, отражающих общий характер физико-химических процессов данной стадии гидротермального минералообразования при формировании кимберлитов. Из числа изученных карбонатов наиболее информативным в генетическом отношении является кальцит и в первую очередь его рентгенолюминесцентные характеристики. Присутствие TR-центров излучения в кальцитах из пустотно-трещинных образований в кимберлитах однозначно свидетельствует о том, что даже на заключительном этапе гидротермального процесса этот минерал сохраняет информацию о составе глубинного водно-силикатно-карбонатного флюида. Каких-либо структурно-химических признаков, обусловленных геохимической специализацией вмещающих карбонатных пород в изученных кальцитах, пока не установлено. По полученным данным анализа форм выделений кальцитсодержащих ассоциаций, в кимберлитах наиболее поздними являются прожилки кальцита (часто мономинеральные).

Одним из весьма интересных вторичных минералов является *пироаурит*, который впервые был установлен [16–18] в кимберлитах трубки Удачная в виде прожилков и гнёзд волокнистого и кристаллического пироаурита, ассоциирующего с кальцитом, магнетитом и серпофитом. Во включениях ультраосновных



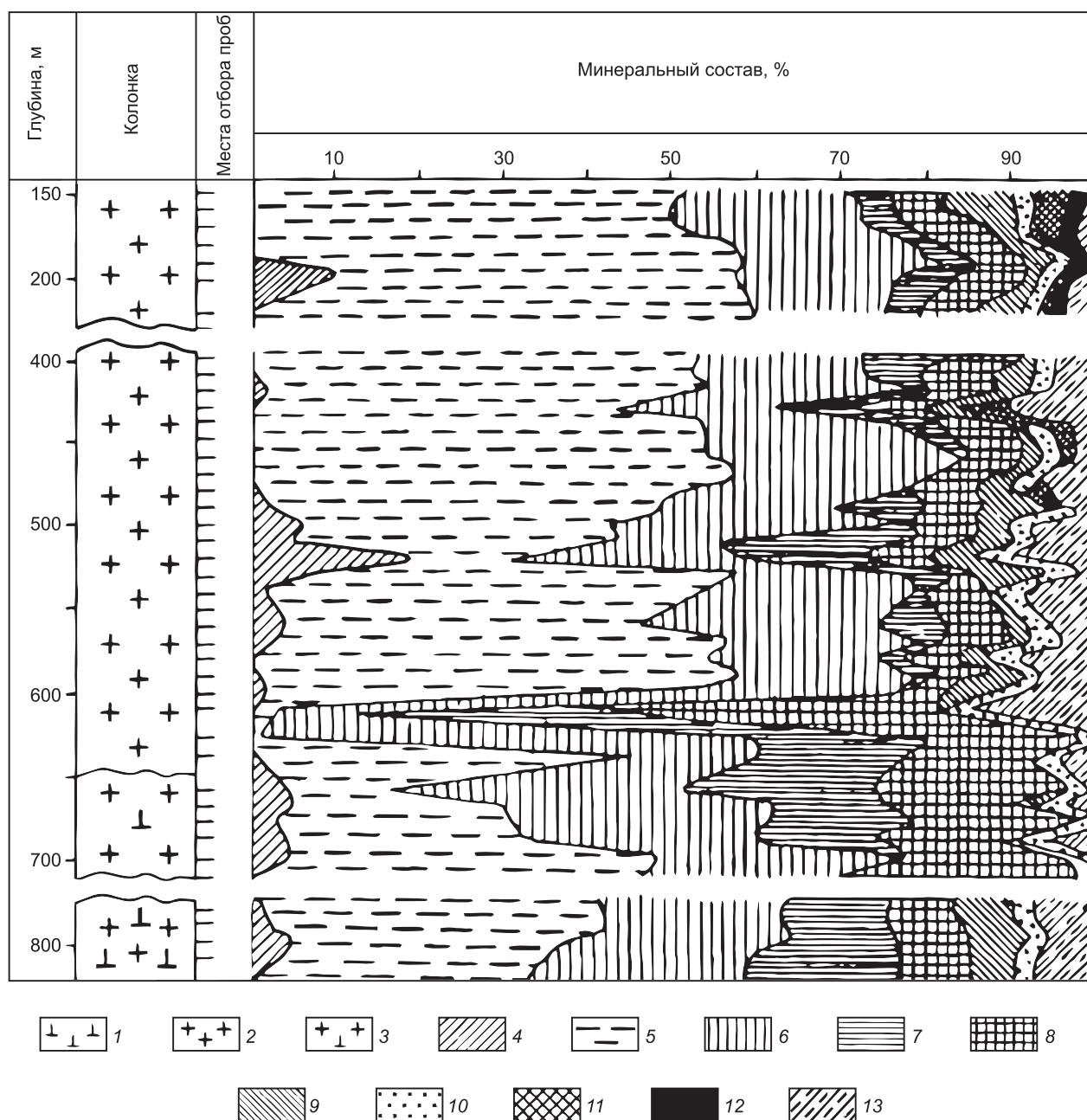


Рис. 3. Распределение минералов в основной массе кимберлитов трубки Удачная. По разведочной скважине 207:

1–3 – петрографическая колонка: 1 – порфировый кимберлит первого этапа внедрения, 2 – кимберлитовая брекчия второго этапа внедрения, 3 – кимберлитовая брекчия второго этапа внедрения с автолитами первого этапа; 4–13 – минералы: 4 – оливин, 5 – серпентин, 6 – кальцит, 7 – доломит, 8 – флогопит, 9 – хлорит, 10 – оксиды и гидроксиды железа, 11 – брусит, 12 – гипс + галит, 13 – прочие минералы

пород этой же трубки был позднее диагностирован пластинчатый пироаурит. Комплексное исследование вещественного состава разрабатываемых месторождений алмазов Сибирской платформы позволило нам получить новые данные об особенностях распре-

деления и генезиса рассматриваемого минерала. Как в мономинеральных выделениях, так и в смеси новообразований пироаурит уверенно идентифицируется по серии устойчивых к насыщению органическими наполнителями диагностических рефлексов. Параметры

элементарной ячейки минерала ( $a_0 = 0,3103$  нм,  $c_0 = 2,340$  нм) хорошо согласуются с литературными данными. На кривых ДТА дериватограмм таких образцов пирроауриту соответствуют чёткие эндотермические эффекты в области температур 210–285 °С и 460–485 °С. Показатели преломления минерала ( $n_o = 1,563$ ,  $n_e = 1,539$ ) очень близки к приводимым для пирроаурита в литературе. Различные кимберлитовые трубки характеризуются специфическими особенностями вторичного минералообразования, что в значительной степени связано с геологическим строением месторождений, их составом, влиянием вмещающих пород, гидрогеологическими условиями и др. Так, например, в разрезе глубоких горизонтов трубки Мир наблюдается довольно частая смена петрографических типов пород, но при этом чёткой закономерности в распределении по типам кимберлитов всего изученного разреза трубки (до 1200 м) как реликтовых, так и вторичных минералов не отмечено. Вместе с тем анализ смены на глубину прожилковой минерализации показал, что нередко вместо исчезнувших новообразований появляются другие, например, гипс установлен в верхней части трубки (до глубины примерно 625 м), на средних горизонтах (615–660 м) отмечается целестин, ассоциирующий, как правило, с огранённым кальцитом, а на более глубоких горизонтах трубки часто встречается галит в ассоциации с ангидритом и реже гипсом. Здесь же на глубоких горизонтах довольно характерным прожилковым минералом кимберлитов трубки Мир является пирроаурит. Часто голубоватые и голубовато-зелёные выделения последнего наблюдаются в прожилках (мощностью до 3–5 см) вместе с галитом. Волокнистые агрегаты пирроаурита в таких случаях выросли на стенках трещин и впоследствии были цементированы галитом. Длина уплощённых волокон минерала здесь достигает 0,5 см. Не все волокна расположены перпендикулярно к субстрату, часть из них находится под небольшим углом, другие залегают почти параллельно стенкам, хотя их «корни» перпендикулярны к основанию. Изучение таких участков в штуфах позволяет предположить, что до того, как отложилась соль, произошли смещение блоков вдоль трещин и загибание волокнистых агрегатов пирроаурита, образовавшихся раньше. Следует отметить, что указанные агрегаты в ассоциации с галитом нередко обохрены. При этом иногда гидроокислы железа цементируют волокна пирроаурита. В этих случаях на плоскости трещин параллельно расположены лейстовидно-волокнистые выделения пирроаурита синевато-зелёного цвета, который в отдельных участках переходит в белую асбестовидную разность минерала. Волокна последнего обычно параллельны друг другу в плоскости стенки трещин, на которых спо-

радически встречаются конусовидные выделения гидроксидов железа. Нередко минерал вместе с серпентином слагает крупные (до 6 см) зеленовато-серые жеоды. В ряде разрезов отмечено зональное строение псевдоморфоз серпентина. Так, иногда центральная часть таких выделений имеет тёмно-зелёную густую окраску, а периферическая – более светлую (чаще всего серовато-зелёную). Внутри обеих зон таких псевдоморфоз отмечены мелкие (до 3–5 мм) выделения пирроаурита. Последний часто встречается и среди жильных образований в серпофитизированных кимберлитовых брекчиях, где ассоциирует с галитом, кальцитом и ангидритом. Пирроаурит здесь образует полусферы, которые покрыты бесцветными более поздними минералами. Существенные концентрации пирроаурита отмечены нами также при изучении состава кимберлитовых тел Далдыно-Алаkitского района (трубки Сытыканская, Удачная, Юбилейная и другие). Заметно повышенные концентрации этого минерала зафиксированы в породах трубки Сытыканская [12–16]. Пирроаурит в отдельных горизонтах кимберлитов данной трубки выполняет многочисленные прожилки, линзочки и пустоты различной формы и размеров, иногда достигающие до 3–4 см в поперечнике. Минерал характеризуется голубоватой и голубовато-зелёной окраской, изменяющейся в зависимости от степени изменённости и его парагенезисов (с кальцитом, серпентином и другими новообразованиями). В отдельных интервалах (300–500 м) кимберлит разбит многочисленными тонкими (волоковидными) прожилками и микропрожилками, выполненными пирроауритом и кальцитом. Частое расположение таких прожилков (через 3–4 см друг от друга), а также их непостоянная мощность (отмечаются многочисленные пережимы и раздувы) придают отдельным участкам породы петельчатый и пятнистый облик. Пирроаурит здесь имеет тонкочешуйчатое строение. Фиксируются также прожилки голубоватого пирроаурита, ассоциирующего с тонкозернистым магнетитом и буроватым серпентином. Магнетит обычно в этих участках выполняет центральную часть прожилков (или пустот) и нередко покрыт буроватыми гидроокислами железа. Довольно часто в кимберлитах глубоких горизонтов трубки встречаются концентрически зональные стяжения (до 3 см в поперечнике), сложенные пирроауритом, серпентином и кальцитом, а иногда – только пирроауритом и кальцитом. В основной массе кимберлитовых брекчий отдельных горизонтов трубки Сытыканская существенно увеличивается (до 40%) концентрация пирроаурита, что придаёт породе в целом голубоватый оттенок и макроскопически отличает от других типов кимберлитов. В кимберлитовых породах трубок Удачная и Юбилейная пирроаурит также отмечен



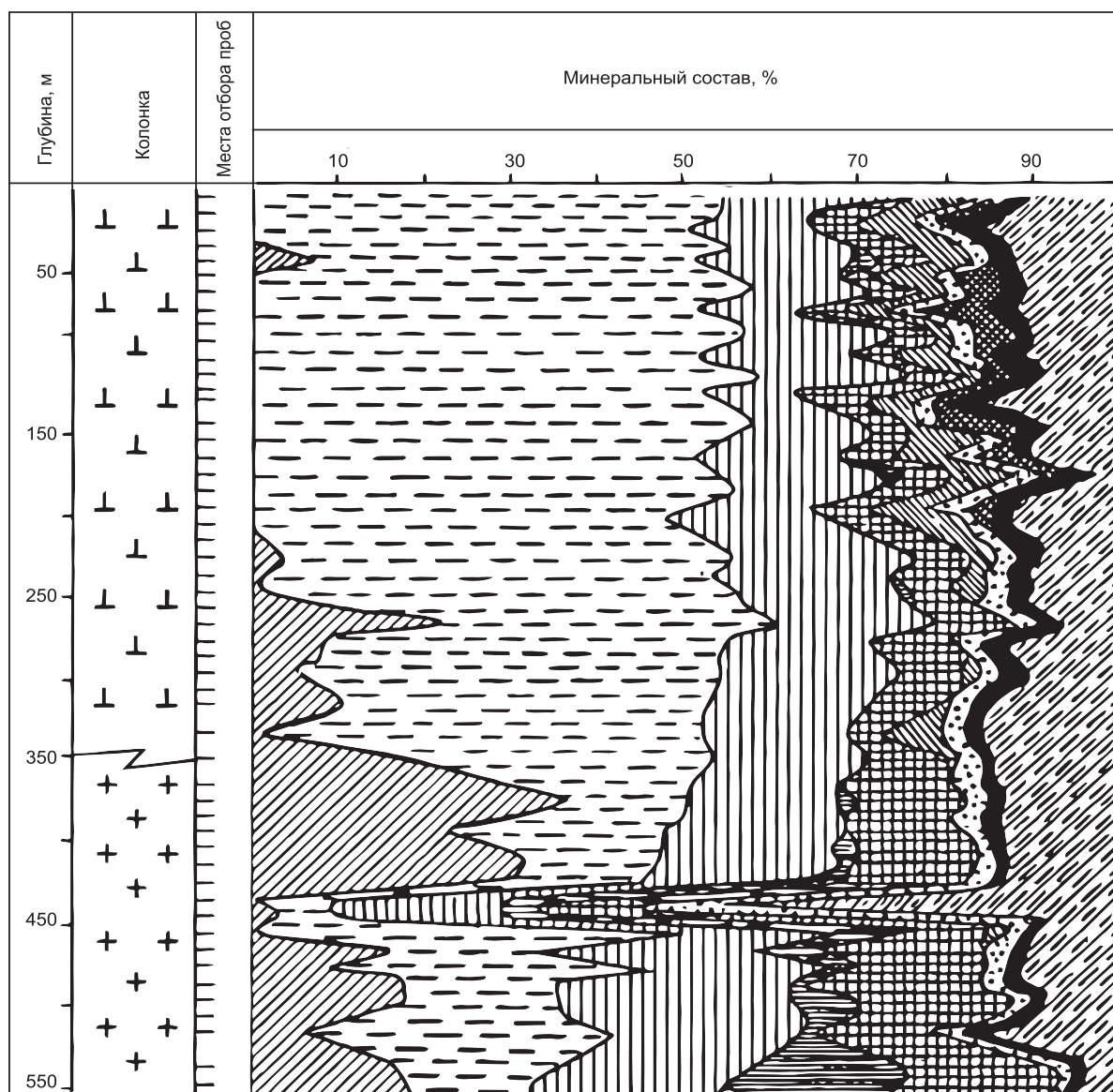


Рис. 4. Распределение преобладающих вторичных минералов в основной массе кимберлитов трубки Удачная. По разведочной скважине 225: см. услов. обозн. к рис. 3

в парагенетической ассоциации с кальцитом и серпентином. В этих телах минерал встречается в виде отдельных голубовато-зелёных ромбических кристаллов, а также сферических и волокнистых образований. Последние иногда образуют маломощные прожилки и мелкие жёоды. Наибольшие концентрации пироаурита отмечены в кимберлитовых породах восточного тела трубки Удачная, где он нередко образует мелкие серовато-коричневые прожилки, мелкочешуйчатые выделения на поверхности в грязно-серых изменённых кимберлитах, а в отдельных учас-

тках им обогащена основная масса пород. Образование пироаурита происходит из углекислых растворов магния при взаимодействии их с растворимыми солями окисного железа. Наиболее вероятной формой окисного железа в растворе является сульфатная. Пироаурит является неустойчивым минералом и при разрушении замещается гидроокислами железа. Разрушение жильного пироаурита часто происходит уже на значительных глубинах. Поэтому в верхних горизонтах разрабатываемых месторождений неизменный пироаурит встречается сравнительно редко.

Следовательно, пироаурит широко распространён в кимберлитовых породах Сибирской платформы, причём наиболее характерна пироауритизация для глубоких горизонтов месторождений, где минерал нередко является породообразующим компонентом. Учитывая большую роль минерала в процессе технологической отработки месторождений, вопросам изучения пироауритизации кимберлитовых тел следует уделять пристальное внимание. Этого можно добиться при комплексном изучении вещественного состава (особенно при использовании современных физических методов исследований). Остальные карбонаты (шортит, стронцианит, гидромагнетит, хантит) встречаются в кимберлитовых породах Сибирской платформы в резко подчинённом количестве.

В кимберлитах Алакит-Мархинского (АМКП), Далдынского (ДКП), Верхне-Мунского (ВМКП) и других полей часто фиксируется *магнетит* в количестве от долей процента до 2–3, реже 5%, образующийся в период становления кимберлитовых тел и на последующих этапах их эволюции. По данным рентгеновских исследований, особенностью рассматриваемого магнетита является разная степень развития по нему *маггемита* или  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  ( $d = 0,252, 0,2087$  и  $0,1606$  нм). Минералы когерентно связаны друг с другом и имеют сходные структуру и состав. Маггемит в кимберлитах представляет промежуточную стадию процесса гипергенного окисления магнетита в гематит. В соответствии с этим у маггемита значение  $a = 0,8340$ , тогда как у магнетита оно составляет  $0,8397$  нм [8–10, 20]. Указанные изменения дифракционной картины свидетельствуют о начале структурных преобразований исходного минерала. По данным изучения кимберлитов из ряда трубок основных алмазоносных районов Сибирской платформы в целом можно констатировать, что магнетит в них по степени окисленности представляет ряд, в пределах которого условно могут быть выделены три группы: а) магнетит в виде крупных выделений с хорошей степенью окристаллизованности и с отсутствием признаков перехода в маггемит (трубки Невидимка, Молодёжная и др.), б) мелкокристаллические разновидности магнетита, встреченные либо в виде гнёзд и линзовидных скоплений, либо в виде зёрен, равномерно распределённых в породе, в) «пылевидные» разновидности магнетита, почти равномерно пропитывающего кимберлитовую породу.

Во многих кимберлитовых трубках среди вторичных новообразований встречаются *кварц* и его разновидность халцедон, которые детально изучены на примере трубки Удачная и могут влиять на надёжность процессов извлечения алмазов из кимберлитов. Повышенные концентрации кварца приурочены не только к самым верхним горизонтам трубки (осо-

бенно к сильно выветрелым частям западного тела), но и к приконтактным зонам на более глубоких горизонтах. Кварц часто встречается вместе с кальцитом и другими вторичными минералами, образуя щётки, жилы и прожилки. Нередко кристаллы кварца на кварц-опал-халцедоновой подложке можно наблюдать непосредственно на изменённой в различной степени кимберлитовой породе. Размеры кварцевых индивидов самые разнообразные. Характерной особенностью большинства изученных кристаллов кварца является скульптурированность всех граней, обусловленная, скорее всего, процессами растворения, а также наличием многочисленных включений пирита, марказита, гётита и других вторичных минералов. В кимберлитовых породах трубки Удачная кварц встречается как бесцветный, так и окрашенный в различные оттенки бурого, серого и фиолетового цветов. Бурые и серые цвета минерала аллохроматические и обусловлены механическими примесями гидроксидов железа (бурые) или микровключениями сульфидов железа (серые). Во всех случаях больше окрашены головки кристаллов. Присутствие среди кварцев из кимберлитов значительного числа окрашенных в аметистовидный цвет образцов позволяет нам с полным основанием отнести их к низкотемпературным образованиям, которыми является большинство природных аметистов. На низкотемпературный характер кристаллизации кварца в кимберлитах этой трубки указывает также присутствие во многих изученных кристалликах включений гётита – минерала, обычно образующегося при температурах ниже  $200^\circ\text{C}$ . Эти данные хорошо согласуются и с некоторыми результатами исследований температур гомогенизации газозо-жидких включений в кальците из этого же месторождения, по которым верхний температурный интервал кристаллизации кальцита обычно не превышает  $350^\circ\text{C}$ . Для халцедона не свойственно образование кристаллов. Нередко агрегаты этого минерала встречаются в виде псевдоморфоз по другим, не содержащим кремнезёма минералам, что наблюдается в верхней части кимберлитовой трубки Удачная. Обычно из халцедона начинают расти кристаллы кварца, головки которых создадут друзы. В случае образования псевдоморфоз самые мелкие (пелитоморфные) частицы халцедона расположены на поверхности первых. Довольно часто выделения кварца из трубки Удачная обволакиваются вязким битумом или его тонкой плёнкой. Плёнки битумов имеются и на стыках отдельных шестоватых агрегатов или нередко густым слоем покрывают кварцы.

К широко распространённым минералам кимберлитовых пород относится *флогопит*, а при его содержании более 15–20% объёма выделяется слюдястый или лампрофировый тип кимберлитов. В кимберлитах

установлено три генерации флогопита. Первая генерация представлена вкрапленниками, которые образовались, по-видимому, в протоматматический (подкоровый) этап кристаллизации кимберлитовых минералов. Возможно, часть вкрапленников флогопита образовалась при метасоматическом замещении других протоматматических минералов кимберлитовой породы, например, граната в условиях верхней мантии. Флогопит второй генерации образует в основной массе кимберлитов мелкие пластинчатые и чешуйчатые кристаллы с хорошо сформировавшейся огранкой (часто с характерным флюидальным расположением). Эта генерация минерала связана с заключительным этапом кристаллизации кимберлитового расплава в условиях земной коры в трубках и жилах. Третья генерация представлена чешуйчатым флогопитом метасоматического происхождения, образовавшимся при воздействии остаточных постмагматических растворов на консолидированные кимберлитовые породы. Флогопит метасоматического происхождения образуется также по ксенолитам осадочных пород. Кроме того, флогопит входит в состав определённого типа ксенолитов глубинных пород, встречающихся в кимберлитовом материале. Наиболее часто он является порообразующим минералом ильменит-гранатовых гипербазитов, пироксенитов, реже перидотитов, иногда образует почти мономинеральные породы – глиммериты. Судя по характеру структур и по взаимоотношениям с другими минералами ксенолитов, флогопит в ряде случаев является первичным минералом, возникшим в условиях равновесия с пиропом. Этот вывод не противоречит и результатам экспериментальных работ, согласно которым флогопит устойчив при высоких давлениях вплоть до 6,6 МПа. В условиях автотематоморфизма кимберлитов флогопит, как и в других типах ультраосновных пород, подвергается различным изменениям, в том числе вермикулитизации и хлоритизации. Особенно интенсивно флогопит изменён в кимберлитах Малоботуобинского (МБАР), Далдыно-Алакитского (ДААР) и Средне-Мархинского (СМАР) алмазных районов. Здесь в ряде трубок флогопит превращён либо в желтовато-бурый, серовато-зелёный или белёсый вермикулит, либо в буровато-зелёный хлорит. В кимберлитах более северных районов степень изменения флогопита не столь велика, но и здесь в ряде трубок и жил значительная часть этого минерала превращена в вермикулит и хлорит. С глубиной степень вторичного изменения флогопитов снижается.

В целом в кимберлитовых породах Сибирской платформы доля слюдястых образований обычно [12–17] не превышает 10 % (в африканских трубках их содержание нередко достигает 40 % объёма породы).

Довольно часто в кимберлитах наблюдается сонахождение триоктаэдрических слюд с оксидами железа. Часто триоктаэдрические слюдястые образования приурочены к приконтактовым с карбонатами участкам, а также к мелким и маломощным кимберлитовым жилам, главным минералом которых является кальцит. В отношении изменения слюд установлено три варианта: а) полное замещение исходного минерала другими компонентами (например, карбонатами), б) преобразование в другие силикаты слоистого строения (хлоритизация, вермикулитизация, смектитизация), в) постепенное разрушение, сопровождаемое последовательным выщелачиванием оснований с конечным образованием каолинита кремне- или кислородного каркаса. Образование промежуточных форм (типа гидробиотита) нельзя приравнивать к вермикулитизации триоктаэдрических слюд, поскольку последняя проходит в гидротермальных условиях и, как правило, по всему объёму подвергшейся данному процессу породы с образованием устойчивой фазы (а значит и среды, в которой она находится). Флогопит в восстановительной обстановке преобразуется в хлорит от Fe<sup>2+</sup>-Mg- до практически Mg-типа, а в окислительной – в вермикулит и последующие продукты преобразования последнего.

В большинстве случаев вторичные минералы отмечаются в виде отдельных ассоциаций, сложенных двумя или тремя минералами. Наиболее распространены в кимберлитах [10–14, 16–18] следующие ассоциации вторичных минералов: серпентин-карбонат-магнетит, серпентин-хлорит, серпентин-брусит-доломит, кальцит-оксиды-гидроксиды железа, кальцит-сульфиды железа, кальцит-кварц-сепиолит, кальцит-пироаурит, кальцит-гипс и гидромагнезит-эпсомит. Большинство перечисленных ассоциаций парагенетические. Входящие в их состав минералы возникли из пересыщенных водных растворов непосредственно на месте (в кимберлитах), замещая исходные минералы, либо отложились по трещинам. Выпадение последних произошло за счёт растворимых в воде солей. Преобладающая часть вторичных минералов в кимберлитах возникла в процессе гидролиза силикатов и других солей магния. В зависимости от конкретных условий на каждом отдельном участке трубок по исходным магнезиальным силикатам возникли вторичные минералы, образование которых происходило либо без выноса вещества из материнской породы, либо с выносом (частично или полностью) магния или кремнекислоты. Обилие воды в системе способствовало появлению серпентина, брусита и других богатых водой минералов.

В кимберлитовых породах СП определённую роль во вторичном минералообразовании сыграл сероводород, связавший железо в сульфиды и тем самым

заблокировавший образование не свойственных кимберлитам карбонатов железа. Сероводород в некоторых случаях послужил источником возникновения серной кислоты, сыгравшей большую роль в процессе вторичного минералообразования. Однако образование гипса происходило не только в результате воздействия серной кислоты на карбонатные породы, но и при выпадении этого минерала из раствора сульфата кальция в связи с его пересыщением из-за испарения или вымерзания воды. Исследованиями показано [10, 17], что среда вторичного минералообразования была сравнительно бедна  $\text{CO}_2$ , в связи с чем возникли основные водные карбонаты (пироаурит и гидромагнезит). Углекислота в первую очередь расходовалась на образование карбонатов кальция и кальций-магниевого минералов. Чисто магниевые безводные карбонаты в целом для кимберлитов не характерны. Излишек в системе минералообразования магния определил в известной мере образование более богатых слоистых силикатов (серпентина вместо талька), а также гидроксидов (брусита). Повышенные кальций-магневые отношения во многих случаях способствовали образованию вместе с доломитом карбоната кальция, обычно представленного арагонитом, возникновение которого в данном случае энергетически более выгодно, чем кальцита.

Таким образом, проведёнными комплексными исследованиями кимберлитовых диатрем древних платформ мира отмечено, что в их кратерных отложениях отмечается высокое содержание вмещающих диатремы пород. Для Сибирской платформы такими ксенолитами в вулканогенно-осадочных образованиях кратерной части являются терригенно-карбонатные и карбонатные образования нижнего палеозоя, для которых обычно не характерны обильные вторичные образования. Содержание ксенолитов вмещающих пород и карбонатов постепенно уменьшается вниз по разрезу в кимберлитовых туфах, в которых (как и в кимберлитовых брекчиях) встречаются скопления крупных друз и прожилков кварца (аметиста), кальцита, магнетита, пирита и других новообразований. С глубиной масштабы минерализации данного типа постепенно уменьшаются, и в эруптивной кимберлитовой брекчии более глубоких горизонтов сохраняются лишь маломощные жилы и прожилки гидротермальных минералов. Степень карбонатизации и серпентинизации кимберлитов с глубиной снижается. Только в редких случаях (например, восточное тело трубки Удачная, Зарница и др.) на глубоких горизонтах отмечены практически несерпентинизированные кимберлиты со свежим оливином и высоким содержанием карбонатного вещества. Для верхних горизонтов диатрем (до глубин 150–200 м) установлено снижение концентрации флогопита и увеличение

вверх по разрезам хлорита, вызванное замещением первого вторым. Хлоритизация флогопита сопровождается выносом значительного количества  $\text{K}_2\text{O}$ . В средних и нижних частях изученных разрезов диатрем отмечены также максимальные концентрации амакинита и пироаурита.

Большое влияние на особенности вторичной минерализации и её распределение в разрезах диатрем оказывают вмещающие породы. Несмотря на локализацию всех кимберлитовых полей СП в пределах терригенно-карбонатных пород нижнего палеозоя, состав последних всё же существенно изменяется как по вертикали, так и по латерали. В районе трубок Мир и Интернациональная до глубины 380–450 м распространена терригенно-карбонатная толща нижнего палеозоя с большим количеством кластогенного материала. Глубже залегают галогенно-карбонатные породы с ограниченным количеством терригенного материала, содержащего пласты гипса и ангидрита. Этими особенностями вмещающих пород обусловлена специфичность вторичной минерализации упомянутых диатрем МКП: наличие здесь галита, ряда минералов бора (екатеринита, ферросайбелиита и даголита). На уровне соленосных толщ в разрезе вмещающих пород широко развиты амакинит и пироаурит, а вторичная переработка кимберлитов здесь особенно интенсивна, причём масштабы их проявлений не уменьшаются до разведанной глубины разведки диатрем (до 1 км и более).

В процессе многолетних исследований установлены отличия в минеральном составе новообразований не только в разных трубках, но и в плане отдельных тел или блоков одной и той же трубки. Так, в кимберлитах западного тела трубки Удачная вторичные процессы проявились более интенсивно, отчего породы здесь иногда полностью переработаны. Вторичные изменения пород восточного тела выражены слабо, что подчёркивается неполной серпентинизацией оливина в отдельных блоках, меньшим содержанием других вторичных минералов и сравнительно небольшим приконтактным изменением. По-разному ведут себя вторичные минералы и на разведанную глубину коренных месторождений алмазов. В одних случаях (трубка Удачная) пока не установлены чёткие закономерности смены ассоциаций как порообразующих компонентов, так и минералов-примесей. Однако установлена неравномерность серпентинизации оливина, связанная с чередованием в разрезах блоков пород с различной трещиноватостью. Это привело к слабому замещению реликтовых минералов в одних блоках и более интенсивной их серпентинизации в других. Процессы наложенной карбонатизации привели к образованию блоков плотных кимберлитов. В других случаях установлены



довольно чёткие закономерности в распределении как породообразующих новообразований основной массы пород, так и прожилковой гидротермальной минерализации. Это позволяет использовать отмеченные закономерности в распределении минералов-новообразований для типизации кимберлитовых пород. В большинстве случаев на Сибирской платформе и в других алмазонасных районах породы, слагающие трубки, сильно изменены. В них в первичном виде сохранилось незначительное количество некоторых породообразующих и аксессуарных минералов, а структуры и текстуры носят реликтовый характер. Проведёнными исследованиями отмечены существенные изменения состава кимберлитовых пород в процессе их постмагматической и гипергенной эволюции. Обычно в верхних частях диатрем присутствуют минералы различного происхождения: а) относящиеся только к ксенолитам фундамента или траппов (полевые шпаты), б) гидротермального происхождения (серпентины, хлориты и тальк), в) экзогенные образования (смектиты, каолинит, большинство мелкозернистого кварца и халцедон, гидроксиды железа и сидерит). На примере диатрем Сибирской платформы разработан комплекс методов для идентификации, количественного подсчёта и картирования постмагматических и гипергенных минералов кимберлитовых пород. Полученные новые данные по типоморфизму вторичных минералов и их ассоциаций в кимберлитовых породах показали, что процессы вторичного минералообразования проходили в большом интервале температур и при вызванном их спадом изменении реакции среды: от щелочной до кислой с последующей нейтрализацией. Это зафиксировалось как в особенностях их распространения, так и в формах растворения, дорастания и возникновения новых генераций вторичных минералов. Большинство вторичных минералов в кимберлитах возникло в процессе гидролиза силикатов и других солей магния. В зависимости от конкретных условий минералообразования на каждом конкретном участке диатрем по исходным магниезиальным силикатам возникли вторичные минералы, образование которых происходило либо без выноса вещества из материнской породы, либо с выносом (частично или полностью) магния или кремнекислоты. Обилие воды в системе способствовало образованию серпентина, брусита и других богатых водой минералов. Определённую роль во вторичном минералообразовании в кимберлитах Сибирской платформы сыграл сероводород, которым обогащены нижнепалеозойские толщи, вмещающие диатремы. Сероводород связывал железо в сульфиды и тем самым блокировал образование не свойственных кимберлитам карбонатов железа. Сероводород в ряде случаев послужил источником возник-

новения серной кислоты, которая, воздействуя на карбонаты, способствовала образованию гипса и других новообразований. Среды минералообразования были сравнительно бедны  $\text{CO}_2$ , в связи с чем возникли основные водные карбонаты (пироаурит и гидромагнетит). Углекислота расходовалась также на образование карбонатов кальция и кальций-магниевого новообразования. Излишек в системе минералообразования магния определил в некоторой степени образование им более богатых слоистых силикатов (серпентина вместо талька) и гидроксидов (брусита). Исследованиями установлены отличия в минеральном составе новообразований не только в разных трубках, но также в плане отдельных тел или блоков одной и той же диатремы. По-разному ведут себя вторичные минералы и на глубину трубок.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н.* Основные литодинамические типы ореолов индикаторных минералов кимберлитов и обстановки их формирования // Геология рудных месторождений. – 1999. – Т. 41, № 3. – С. 281–288.
2. *Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Коптиль В. И.* Полигенез алмазов в связи с проблемой коренных россыпей северо-востока Сибирской платформы // Доклады Академии наук. – 1998. – Т. 361, № 3. – С. 366–369.
3. *Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Логинова А. Н.* Особенности распределения россыпных алмазов, связанных с докембрийскими источниками // Записки Российского минералогического общества. – 2009. – Т. 138, № 2. – С. 1–13.
4. *Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Тычков С. А.* Проблема алмазонасности Сибирской платформы // Вестник Воронежского государственного университета. Геология. – 2002. – № 1. – С. 9–36.
5. *Василенко В. Б., Зинчук Н. Н., Кузнецова Л. Г.* Геодинамический контроль размещения кимберлитовых полей центральной и северной частей Якутской кимберлитовой провинции (петрохимический аспект) // Вестник Воронежского государственного университета. Геология. – 2000. – № 3. (9). – С. 37–55.
6. *Гладков А. С., Борняков С. А., Манаков А. В., Матросов В. А.* Тектонофизические исследования при алмазопоисковых работах. Методическое пособие. – М.: Научный мир, 2008. – 175 с.
7. *Горшков А. И., Зинчук Н. Н., Котельников Д. Д., Шлыков В. Г., Жухлистов А. П., Мохов А. В., Сивцов А. В.* Новый упорядоченный смешанослойный минерал лизардит-сапонит из кимберлитов Южной Африки // Доклады РАН. – 2002. – Т. 382, № 3. – С. 374–378.
8. *Дукардт Ю. А., Борис Е. И.* Авлакогенез и кимберлитовый магматизм. – Воронеж: ВГУ, 2000. – 161 с.

9. Зинчук Н. Н. Сравнительная характеристика вещественного состава коры выветривания кимберлитовых пород Сибирской и Восточно-Европейской платформ // Геология и геофизика. – 1992. – № 7. – С. 99–109.
10. Зинчук Н. Н., Борис Е. И., Яныгин Ю. Б. Особенности минерогенеза алмаза в древних осадочных толщах (на примере верхнепалеозойских отложений Сибирской платформы). – М.: МГТ, 2004. – 172 с.
11. Зинчук Н. Н., Зинчук М. Н., Котельников Д. Д., Шлыков В. Г., Жухлистов А. П. Структурно-кристаллохимические преобразования слоистых минералов на разных стадиях гипергенного изменения кимберлитов // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2002. – № 1. – С. 47–60.
12. Зинчук Н. Н., Зуев В. М., Коптиль В. И., Чёрный С. Д. Стратегия ведения и результаты алмазопромышленных работ // Горный вестник. – 1997. – № 3. – С. 53–57.
13. Зинчук Н. Н., Коптиль В. И., Борис Е. И., Липашиова А. Н. Типоморфизм алмазов из россыпей Сибирской платформы как основа поисков алмазных месторождений // Руды и металлы. – 1999. – № 3. – С. 18–30.
14. Зинчук Н. Н., Котельников Д. Д., Горшков А. И. Идентификация и генезис лизардит-сапонитового смешанослойного образования в кимберлитах одной из трубок Южной Африки // Литология и полезные ископаемые. – 2003. – № 1. – С. 87–96.
15. Зинчук Н. Н., Котельников Д. Д., Соколов В. Н. Изменение минерального состава и структурных особенностей кимберлитов Якутии в процессе выветривания // Геология и геофизика. – 1982. – № 2. – С. 42–53.
16. Зинчук Н. Н., Мельник Ю. М., Серенко В. П. Апокимберлитовые породы // Геология и геофизика. – 1987. – № 10. – С. 66–72.
17. Зинчук Н. Н., Савко А. Д., Крайнов А. В. Кимберлиты в истории Земли // Труды НИИ геологии ВГУ. – Вып. 68. – Воронеж: ВГУ, 2013. – 99 с.
18. Зинчук Н. Н., Спеццус З. В., Зуенко В. В., Зуев В. М. Кимберлитовая трубка Удачная. Вещественный состав и условия формирования. – Новосибирск: НГУ, 1993. – 147 с.
19. Квасница В. Н., Зинчук Н. Н., Коптиль В. И. Типоморфизм микрокристаллов алмаза. – М.: Недра, 1999. – 224 с.
20. Котельников Д. Д., Домбровская Ж. В., Зинчук Н. Н. Основные закономерности выветривания силикатных пород различного химического и минералогического типа // Литология и полезные ископаемые. – 1995. – № 6. – С. 594–601.
21. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н. Об аномалии общей схемы преобразования разбухающих глинистых минералов при погружении содержащих их отложений в стратиферу // Вестник Воронежского государственного университета. Серия геология. – 2003. – № 2. – С. 57–68.
22. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н. Особенности глинистых минералов в отложениях различных осадочных формаций // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 1997. – № 2. – С. 53–63.
23. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н. Типоморфные особенности и палеогеографическое значение слюдяных минералов // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 1996. – № 1. – С. 53–61.
24. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н. Условия накопления и постседиментационного преобразования глинистых минералов в осадочном чехле земной коры // Вестник Воронежского университета. Геология. – 2001. – № 12. – С. 45–51.
25. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н. Условия накопления и постседиментационного преобразования глинистых минералов в отложениях терригенной формации // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. – 2001. – Т. 76, № 1. – С. 45–53.
26. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н., Кузьмин В. А. Морфогенетические разновидности каолинита в корях выветривания и осадочном чехле земной коры. Статья 1. Механизм образования каолинита в корях выветривания различных петрохимических типов пород // Известия ВУЗов. Геология и разведка. – 2006. – № 5. – С. 19–25.
27. Мацюк С. С., Зинчук Н. Н. Оптическая спектроскопия минералов верхней мантии. – М.: Недра, 2001. – 428 с.
28. Симоненко В. И., Толстов А. В., Васильева В. И. Новый подход к геохимическим поискам кимберлитов на закрытых территориях // Разведка и охрана недр. – 2008. – № 4–5. – С. 108–112.
29. Харьков А. Д., Зуенко В. В., Зинчук Н. Н. и др. Петрохимия кимберлитов. – М.: Недра, 1991. – 304 с.
30. Хитров В. Г., Зинчук Н. Н., Котельников Д. Д. Применение кластер-анализа для выяснения закономерностей выветривания пород различного состава // Доклады АН СССР. – 1987. – Т. 296, № 5. – С. 1228–1233.
31. Grachanov S. A., Zinchuk N. N., Sobolev N. V. The age of Predictable primary diamond sources in the Northeastern Siberian platform // Doklady Earth Sciences. – 2015. – V. 465, № 2. – P. 1297–1301.
32. Serov I. V., Garanin V. K., Zinchuk N. N., Rotman A. Ya. Mantle Sources of the kimberlite Volcanism of the Siberian Platform // Petrology. – 2001. – V. 9, № 6. – P. 576–588.
33. Vasilenko V. B., Kuznetsova L. G., Volkova N. I. et al. Diamond potential estimation based on Kimberlite major element chemistry // Journal of Geochemical Exploration. – 2002. – V. 76, № 2. – P. 93–112.

## REFERENCES

1. Afanasyev V. P., Zinchuk N. N. Osnovnyye litodinamicheskiye tipy oreolov indikatornykh mineralov kimberlitov i obstanovki ikh formirovaniya [The main lithodynamic types of halos of indicator minerals of kimberlites and the setting of their formation], *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 1999, V. 41, No. 3, P. 281–288. (In Russ.)
2. Afanasyev V. P., Zinchuk N. N., Koptil V. I. Poligenez almazov v svyazi s problemoy korennykh rossypey severovostoka Sibirskoy platformy [Polygenesis of diamonds in connection with the problem of bedrock placers in the northeastern Siberian platform], *Doklady Akademii nauk*, 1998, V. 361, No. 3, P. 366–369. (In Russ.)

3. *Afanasyev V. P., Zinchuk N. N., Loginova A. N.* Osobnosti raspredeleniya rossypnykhalmazov, svyazannykh s dokembriyskimi istochnikami [Features of the distribution of placer diamonds associated with Precambrian sources], *Zapiski Rossiyskogo mineralogicheskogo obshchestva*, 2009, V. 138, No. 2, P. 1–13. (In Russ.)
4. *Afanasyev V. P., Zinchuk N. N., Tychkov S. A.* Problema almazonosnosti Sibirskoy platformy [The problem of diamond content of the Siberian platform], *Vestnik Voronezhskogo gosuniversiteta, Geologiya*, 2002, No. 1, P. 19–36. (In Russ.)
5. *Vasilenko V. B., Zinchuk N. N., Kuznetsova L. G.* Geodinamicheskiy kontrol razmeshcheniya kimberlitovykh poley tsentralnoy i severnoy chastey Yakutskoy kimberlitovoy provintsii (petrokhimicheskiy aspekt) [Geodynamic control of the location of kimberlite fields in the central and northern parts of the Yakutsk kimberlite province (petrochemical aspect)], *Vestnik Voronezhskogo gosuniversiteta, Geologiya*, 2000, No. 3(9), P. 37–55. (In Russ.)
6. *Gladkov A. S., Bornyakov S. A., Manakov A. V., Matrosov V. A.* Tektonofizicheskiye issledovaniya pri almazoposkovykh rabotakh. Metodicheskoye posobiye [Tectonophysical research during diamond prospecting], Moscow, Nauchnyy mir publ., 2008, 175 p. (In Russ.)
7. *Gorshkov A. I., Zinchuk N. N., Kotelnikov D. D., Shlykov V. G., Zhukhlistov A. P., Mokhov A. V., Sivtsov A. V.* Novyy uporyadochennyy smeshanosloynny mineral lizardit-saponit iz kimberlitov Yuzhnoy Afriki [New ordered mixed-layer lizardite-saponite mineral from kimberlites South Africa]. *Doklady RAN*, 2002, V. 382, No. 3, P. 374–378. (In Russ.)
8. *Dukardt Yu. A., Boris Ye. I.* Avlakogenez i kimberlitovyy magmatizm [Avlacogenesis and kimberlite magmatism], Voronezh, VGU publ., 2000, 161 p. (In Russ.)
9. *Zinchuk N. N.* Sravnitel'naya kharakteristika veshchestvennogo sostava kory vyvetrivaniya kimberlitovykh porod Sibirskoy i Vostochno-Yevropeyskoy platform [Comparative characteristics of the material composition of the weathering crust of kimberlite rocks of the Siberian and East European platforms], *Geologiya i geofizika*, 1992, No. 7, P. 99–109. (In Russ.)
10. *Zinchuk N. N., Boris Ye. I., Yanygin Yu. B.* Osobnosti mineragenii almaza v drevnikh osadochnykh tolshchakh (na primere verkhnepaleozoyskikh otlozheniy Sibirskoy platformy) [Peculiarities of diamond minerageny in ancient sedimentary strata (on the example of the Upper Paleozoic deposits of the Siberian platform)], Moscow, MGT publ., 2004, 172 p. (In Russ.)
11. *Zinchuk N. N., Zinchuk M. N., Kotelnikov D. D., Shlykov V. G., Zhukhlistov A. P.* Strukturno-kristallokhimicheskiye preobrazovaniya sloistykh mineralov na raznykh stadiyakh gipergennogo izmeneniya kimberlitov [Structural-crystal-chemical transformations of layered minerals at different stages of hypergene alteration of kimberlites]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka*, 2002, No. 1, P. 47–60. (In Russ.)
12. *Zinchuk N. N., Zuyev V. M., Koptil V. I., Chornyy S. D.* Strategiya vedeniya i rezultaty almazoposkovykh rabot [Strategy of conducting and results of diamond prospecting works], *Gornyy vestnik*, 1997, No. 3, P. 53–57. (In Russ.)
13. *Zinchuk N. N., Koptil V. I., Boris Ye. I., Lipashova A. N.* Tipomorfizm almazov iz rossypey Sibirskoy platformy kak osnova poiskov almaznykh mestorozhdeniy [Typomorphism of diamonds from placers of the Siberian platform as a basis for prospecting for diamond deposits], *Rudy i metally*, 1999, No. 3, P. 18–30. (In Russ.)
14. *Zinchuk N. N., Kotelnikov D. D., Gorshkov A. I.* Identifikatsiya i genesis lizardit-saponitovogo smeshanosloynnogo obrazovaniya v kimberlitakh odnoy iz trubok Yuzhnoy Afriki [Identification and genesis of lizardite-saponite mixed-layer formation in kimberlites of one of the pipes of South Africa]. *Litologiya i poleznye iskopayemye*, 2003, No. 1, P. 87–96. (In Russ.)
15. *Zinchuk N. N., Kotelnikov D. D., Sokolov V. N.* Izmeneniye mineralnogo sostava i strukturnykh osobennostey kimberlitov Yakutii v protsesse vyvetrivaniya [Change in the mineral composition and structural features of the kimberlites of Yakutia in the process of weathering]. *Geologiya i geofizika*, 1982, No. 2, P. 42–53. (In Russ.)
16. *Zinchuk N. N., Melnik Yu. M., Serenko V. P.* Apokimberlitovyye породы [Apokimberlite rocks], *Geologiya i geofizika*, 1987, No. 10, P. 66–72. (In Russ.)
17. *Zinchuk N. N., Savko A. D., Kraynov A. V.* Kimberlity v istorii Zemli [Kimberlites in the history of the Earth], *Trudy NII geologii VGU, Is. 68, Voronezh, VGU publ.*, 2013, 99 p. (In Russ.)
18. *Zinchuk N. N., Spetsius Z. V., Zuyenko V. V., Zuyev V. M.* Kimberlitovaya trubka Udachnaya. Veshchestvennyy sostav i usloviya formirovaniya [Udachnaya kimberlite pipe. Substance composition and conditions of formation]. *Novosibirsk, NGU*, 1993, 147 p. (In Russ.)
19. *Kvasnitsa V. N., Zinchuk N. N., Koptil V. I.* Tipomorfizm mikrokristallov almaza [Typomorphism of diamond microcrystals], Moscow, Nedra publ., 1999, 224 p. (In Russ.)
20. *Kotelnikov D. D., Dombrovskaya Zh. V., Zinchuk N. N.* Osnovnyye zakonomernosti vyvetrivaniya silikatnykh porod razlichnogo khimicheskogo i mineralogicheskogo tipa [Main regularities of weathering of silicate rocks of various chemical and mineralogical types], *Litologiya i poleznye iskopayemye*, 1995, No. 6, P. 594–601. (In Russ.)
21. *Kotelnikov D. D., Zinchuk N. N.* Ob anomalii obshchey skhemy preobrazovaniya razbukhayushchikh glinistykh mineralov pri pogruzhении sodержashchikh ikh otlozheniy v stratisferu [About the anomaly of the general scheme of the swelling clay minerals transformation during the immersion of sediments containing them into the stratisphere]. *Vestnik Voronezhskogo gosuniversiteta. Seriya geologiya*, 2003, No. 2, P. 57–68. (In Russ.)
22. *Kotelnikov D. D., Zinchuk N. N.* Osobnosti glinistykh mineralov v otlozheniyakh razlichnykh osadochnykh format-siy [Peculiarities of clay minerals in deposits of various sedimentary formations]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka*, 1997, No. 2, P. 53–63. (In Russ.)
23. *Kotelnikov D. D., Zinchuk N. N.* Tipomorfnyye osobennosti i paleogeograficheskoye znachenie slyudistykh mineralov [Typomorphic features and paleogeographic significance of micaceous minerals]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka*, 1996, No. 1, P. 53–61. (In Russ.)

24. *Kotelnikov D. D., Zinchuk N. N.* Usloviya nakopleniya i postsedimentatsionnogo preobrazovaniya glinistykh mineralov v osadochnom chekhle zemnoy kory [Conditions of accumulation and postsedimentary transformation of clay minerals in the sedimentary cover of the earth's crust]. Vestnik Voronezhskogo universiteta. Geologiya, 2001, No. 12, P. 45–51. (In Russ.)
25. *Kotelnikov D. D., Zinchuk N. N.* Usloviya nakopleniya i postsedimentatsionnogo preobrazovaniya glinistykh mineralov v otlozheniyakh terrigennoy formatsii [Conditions of accumulation and postsedimentary transformation of clay minerals in the sediments of the terrigenous formation]. Byulleten Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel geologicheskoy, 2001, V. 76, No. 1, P. 45–53. (In Russ.)
26. *Kotelnikov D. D., Zinchuk N. N., Kuzmin V. A.* Morfo-geneticheskiye raznovidnosti kaolinita v korakh vyvetrivaniiya i osadochnom chekhle zemnoy kory. Statya 1. Mekhanizm obrazovaniya kaolinita v korakh vyvetrivaniiya razlichnykh petrokhimicheskikh tipov porod [Morphogenetic varieties of kaolinite in weathering crusts and sedimentary cover of the earth's crust. Article 1. The mechanism of kaolinite formation in weathering crusts of various petrochemical types of rocks]. Izvestiya VUZov. Geologiya i razvedka, 2006, No. 5, P. 19–25. (In Russ.)
27. *Matsyuk S. S., Zinchuk N. N.* Opticheskaya spektroskopiya mineralov verkhney mantii [Optical spectroscopy of minerals of the upper mantle], Moscow, Nedra publ., 2001, 428 p. (In Russ.)
28. *Simonenko V. I., Tolstov A. V., Vasilyeva V. I.* Novyy podkhod k geokhimicheskim poiskam kimberlitov na zakrytykh territoriyakh [A new approach to geochemical prospecting for kimberlites in closed areas], Razvedka i okhrana, 2008, No. 4–5, P. 108–112. (In Russ.)
29. *Kharkiv A. D., Zuyenko V. V., Zinchuk N. N.* et al. Petrokhimiya kimberlitov [Petrochemistry of kimberlites], Moscow, Nedra publ., 1991, 304 p. (In Russ.)
30. *Khitrov V. G., Zinchuk N. N., Kotelnikov D. D.* Primene-niye klaster-analiza dlya vyyasneniya zakonmernostey vyvetrivaniiya porod razlichnogo sostava [Application of cluster analysis to elucidate the regularities of weathering of rocks of different composition], Doklady AN SSSR, 1987, V. 296, No. 5, P. 1228–1233. (In Russ.)
31. *Grachanov S. A., Zinchuk N. N., Sobolev N. V.* The age of Predictable primary diamond sources in the Northeastern Siberian platform. Doklady Earth Sciences, 2015, V. 465, No. 2, P. 1297–1301.
32. *Serov I. V., Garanin V. K., Zinchuk N. N., Rotman A. Ya.* Mantle Sources of the kimberlite Volcanism of the Siberian Platform. Petrology, 2001, V. 9, No. 6, P. 576–588.
33. *Vasilenko V. B., Kuznetsova L. G., Volkova N. I.* et al. Diamond potential estimation based on Kimberlite major element chemistry. Journal of Geochemical Exploration. 2002, V. 76, No. 2, P. 93–112.

### К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

Плата с авторов за публикацию (в том числе с аспирантов) не взимается. Гонорар не выплачивается.

Автор, подписывая статью и направляя ее в редакцию, тем самым предоставляет редакции право на её опубликование в журнале и размещение в сети «Интернет».

Направление в редакцию работ, опубликованных ранее или намеченных к публикациям в других изданиях, недопустимо.



## Отзыв на статью А. Н. Глухова: «Применение плей-анализа при прогнозировании и поисках рудных месторождений»

Представленная для публикации статья посвящена возможности использования плей-анализа, разработанного и успешно применяемого для поисков месторождений нефти и газа, при прогнозе и поисках рудных месторождений. Актуальность его применения обоснована необходимостью стандартизации характеристик объектов поисков и комплекса используемых методов ГРП для получения «упорядоченных совместных геолого-технических и экономических оценок», определяющих инвестиционную политику горнорудных компаний и позволяющих избежать экономических потерь из-за необоснованных, даже случайных решений, касающихся проектов на новых территориях.

Автором статьи описаны основы плей-анализа, приведено определение «рудного плея», представляющего собой «совокупность месторождений, рудопроявлений и перспективных участков, имеющих общий генезис, приуроченных к одному структурно-вещественному комплексу (по А. И. Кривцову: рудогенерирующая формация (РГФ) + рудоносная формация (РНФ) + рудовмещающая формация (РВФ)). Поиски и разведка месторождений одного плея ведутся по одной методике и одинаковым набором технических средств; выявленные промышленные месторождения имеют сходные технологические свойства руд.

Результатами рудного плей-анализа должны быть: 1) оценка запасов, прогнозных ресурсов и металлогенического потенциала, 2) определение статистических закономерностей распределения объектов внутри плея по величине запасов и прогнозных ресурсов, 3) браковочные кондиции, 4) оценка рисков, 5) ранжирование плевов по степени перспективности, 6) перечень объектов, подготовленных к проведению ГРП разных стадий, 7) ранжирование объектов в пределах плея по очередности проведения ГРП, 8) программа и бюджет ГРП.

Рассмотренные в статье требования к «рудному плею», включающему как результаты поисковых, оценочных и разведочных работ, так и данные, полученные при региональном геологическом изучении, должны обеспечивать достоверную геолого-экономическую оценку объектов геологоразведки. С учётом больших (сотни км<sup>2</sup>) площадей перспективных участков недр, лицензируемых для проведения поисковых работ, оптимальный выбор плея является ключевой задачей раннего этапа ГРП. Неудачное решение этого вопроса может иметь серьёзные экономические последствия для средней по величине компании, а небольшую компанию привести к гибели.

Таким образом, ключевой идеей автора статьи является необходимость разработки отдельных, формализованных качественно и количественно «рудных плевов» применительно к однотипным рудным месторождениям, локализованным в одних и тех же структурно-вещественных комплексах и характеризующимся сходным набором характеристик, начиная от геолого-структурных условий локализации и заканчивая богатимостью руд.

Возражения такая идея не вызывает, однако, необходимо заметить, что она фактически уже реализована в СССР ещё в 80-е годы прошлого столетия, когда были разработаны прогнозно-поисковые модели (ППМ) и прогнозно-поисковые комплексы (ППК) практически для всех известных геолого-промышленных типов (ГПТ) месторождений. В них были определены требования к моделям разноранговых металлогенических таксонов – металлогенических зон, рудных районов и полей, поисковых участков и комплексам геологических, геофизических, геохимических и др. методов, применяющихся для их изучения на различных стадиях геологоразведочного процесса, а также требования к результатам работ каждой стадии (геологические, геохимические, геофизические, прогнозные и иные карты и разрезы различных масштабов, прогнозные ресурсы ТПИ и т.д). Более того, для всех регионов страны, различающихся геолого-экономическими условиями, были разработаны «пределы нормативов стоимости (ПНС)» для каждой стадии геологоразведки по основным ГПТ ТПИ.

Понятию предлагаемого «рудного плея» соответствует «рудная формация», представляющая собой (см. ст. 4.1 «Металлогенического кодекса России, 2012») «... группу месторождений или рудопоявлений, однотипных по вещественному – элементному и минеральному – составу руд и геологической обстановке нахождения, которая характеризуется связью с определённой геологической формацией (либо сочетанием геологических формаций) и структурными условиями рудонакопления. Рудная формация ассоциирует с геологической формацией, которая фиксирует определённый тектонический режим развития; она характерна для данного режима (геодинамической обстановки)». Поэтому использование «рудного плея» для прогноза и поисков рудных месторождений представляется излишним.

Применяемая в отечественной геологоразведочной практике технология ГРП на ТПИ, которая описана в серии методических руководств, изданных отраслевыми институтами (ВСЕГЕИ, ЦНИГРИ, ВИМС, ИМГРЭ и др.), позволяет (при условии её неукоснительного соблюдения!) получать достоверные результаты и избегать «серьёзных экономических последствий». Естественно, ППК и технология ГРП в целом должны постоянно совершенствоваться в части применения современных методов исследования пород и руд, компьютерной обработки и интерпретации результатов исследований, формализации данных для использования недропользователями и т. п. Поэтому, с точки зрения рецензента, применение плей-анализа при прогнозировании и поисках рудных месторождений никоим образом не заменит уже отработанную технологию ГРП на ТПИ. Тем более для использования такого анализа требуется разработка «рудных плеев» для всех известных рудно-формационных типов месторождений, что практически уже сделано отечественными геологами, но названо «по-другому».

Несмотря на высказанные соображения, рецензент считает, что в материалах представленной статьи есть «рациональное зерно», а именно: высказана необходимость формализации геологических данных по разноранговым металлогеническим таксонам для рудных месторождений, как это сделано в нефтегазовой отрасли. Отчасти это уже сделано и нашло своё отражение в Государственном кадастре месторождений и проявлений полезных ископаемых Российской Федерации, Кадастре прогнозных ресурсов и др. отраслевых информационных ресурсах. Совершенствование такой формализации с привлечением современных IT-технологий способствовало бы повышению качества проектной документации на проведение ГРП и их эффективности в целом.

*Зав. отделом металлогении ФБГУ «ЦНИГРИ»  
канд. геол.-минерал. наук  
В. С. Звездов*

## Применение плей-анализа при прогнозировании и поисках рудных месторождений

Плей-анализ разработан и успешно используется при поисках месторождений нефти и газа. Предлагается применить его для прогнозирования и поисков рудных месторождений. Рудный плей – совокупность месторождений, рудопоявлений и перспективных участков, имеющих общий генезис и приуроченных к одному структурно-вещественному комплексу. Поиски и разведка месторождений одного плея ведутся по одной методике; выявленные месторождения имеют сходные технологические свойства руд. Геолого-генетическая и технологическая однородность плеев упрощает их прогнозную оценку.

*Ключевые слова:* плей, прогнозирование, совокупность, геолого-генетический тип, технологический, геолого-экономическая оценка.

ГЛУХОВ АНТОН НИКОЛАЕВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, gluhov76@list.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н. А. Шило Дальневосточного отделения Российской академии наук (СВКНИИ ДВО РАН), г. Магадан

## Use of play analysis in ore deposit forecasting and prospecting

A. N. GLUKHOV

N.A. Shilo Northeast Integrated Research Institute FEB RAS, Magadan

Play analysis was developed and is successfully used in oil and gas deposit prospecting. It is recommended for use in ore deposit forecasting and prospecting. Ore plays are deposits, mineral occurrences and prospects of common genesis, they are confined to a single structural and formational complex. Within one play, deposits are prospected and explored using the same technique; discovered deposits have similar technological ore properties. Geological/genetic and technological play uniformity simplifies their forecast assessment.

*Key words:* play, forecasting, set, geological and genetic type, technological, geological and economic assessment.

Социально-экономическое развитие регионов Сибири и Дальнего Востока России традиционно связано в первую очередь с добычей природных ресурсов. Так, в Магаданской области доля добывающих отраслей в промышленном производстве составляет 70%, в Чукотском АО – 80% [3]. В данном контексте актуальным является совершенствование научно-методической базы для прогнозирования и поисков рудных месторождений. Несмотря на большое количество литературы, посвящённой прогнозированию и поискам месторождений, в практике работы большинства отечественных горнорудных компаний единые общепринятые и сколько-нибудь научно обоснованные принципы выделения перспективных рудозносных площадей, их оценки, а также составления и ранжирования портфеля геологоразведочных активов не применяются. Подобная ситуация серьёзно препятствует эффективной работе геологов-поисковиков, не имеющих адекватной теоретической базы

для формулирования и аргументации своих предложений по направлению поисков и разведки. В ещё большей степени это пагубно влияет на коммуникацию в профессиональном сообществе геологов-рудников. Не секрет, что геология рудных месторождений как направление научных и прикладных исследований в последние три десятилетия переживает в нашей стране не лучшие времена и испытывает дефицит новых идей. Тому есть разные причины. С одной стороны, многолетнее противостояние приверженцев эмпирического и генетического подходов к выделению геолого-генетических типов месторождений или рудных формаций привело к тому, что, как отмечал ещё В. А. Кузнецов с соавторами, «... в настоящее время нет удовлетворительной классификации рудных месторождений» [11, с. 7]. С тех пор ситуация мало изменилась. С другой стороны, социально-экономический кризис в 1990-х гг. положил конец и этим дискуссиям. Отметим, что значительная доля

актуальных представлений о рудообразовании и геолого-генетических типах месторождений разработаны исследователями Северной Америки и Австралии и опубликованы за рубежом. Большинству российских геологов-поисковиков и разведчиков, работающих в горнорудных компаниях и в так называемых «производственных» геологических предприятиях, они знакомы отрывочно: в основном из переводов различного качества, реферативных пересказов и компиляций. Это часто не позволяет им на должном научном уровне проводить прогнозно-металлогенетические исследования и обоснованно выделять площади для поисковых работ. Последние, как правило, сводятся к исхаживанию или разбурированию участков с известными прямыми поисковыми признаками, а попытки придать им хотя бы подобие научной обоснованности, как правило, встречают неприятие менеджмента предприятий.

Такая ситуация не вызывает удивления. Найдётся немного инвесторов, готовых вкладывать средства в актив, для которого неизвестны количественные и качественные характеристики, а также срок службы. Однако именно это требуется от желающих заниматься поисками, разведкой и освоением новых месторождений. Они должны потратить средства на сбор и анализ информации, предварительные платежи (взносы, бонусы), рекогносцировочные работы при минимальной информации о перспективности объектов. Инвестиции на каждом этапе связаны с затратами на приобретение дополнительной информации, определяющей эволюцию отношения «риск/прибыль». Оптимизировать расходы позволяет стадийность геологоразведочных работ (ГРП), однако на практике она часто нарушается.

В этом контексте более важным и критичным является выбор не рудопроявления или перспективного участка для оценочных горно-буровых работ, а перспективной площади или провинции для поисков. Именно от этого зависит, на что компания потратит миллионы долларов и годы работы. До сих пор подобные решения часто принимаются без упорядоченных совместных геолого-технических и экономических оценок. В практике многих горнорудных компаний есть примеры неудачных проектов, на которых они в течение многих лет несли значительные экономические потери главным образом из-за необоснованных, даже случайных решений, касающихся проектов на новых территориях.

В связи с этим представляется целесообразным обратиться к опыту геологического изучения углеводородного сырья. В современной нефтегазовой геологии в основе прогнозно-поисковых работ лежит так называемый плей-анализ [21]. Термин «плей» широко используется в англоязычной геологической

литературе как обозначение совокупности месторождений одного генетического типа (открытых или предполагаемых), поиски и разведка которых ведутся по одной методике и одинаковым комплексом технических средств, сосредоточенных в одном нефтегазоносном комплексе в пределах одной тектонической зоны, включающей один или несколько смежных структурных элементов [10]. Плей могут сменять друг друга по вертикали или по латерали. Геолого-генетическая однородность группы объектов, образующих плей, обуславливает близость технологических решений, применяемых при их освоении, то есть единство геолого-экономических показателей [5]. Наконец, применение плей-анализа позволяет корректно оценивать геологические риски при ГРП, что представляется наиболее важным для инвесторов.

Плей-анализ начинается с разделения всего геологического пространства, перспективного для поисков, на плей [8]. Изучается их геологическое строение, проводится ретроспективный анализ результатов работ предшественников с определением коэффициента их успешности, масштаба выявленных месторождений, фонда подготовленных к бурению структур и их параметров. Это, в свою очередь, позволяет уточнить объём неразведанных ресурсов, глубину бурения поисковых и разведочных скважин и дать прогноз средних запасов вновь открываемых месторождений (а также всего вероятного набора неоткрытых месторождений при достаточном объёме статистических данных по открытым месторождениям) в плее и эффективности работ в перспективе. К достоинствам плей-анализа относятся простота и ясность выбора главных направлений геологоразведочных работ и конкретных геологических задач для каждого плей, возможность обоснованного выбора частных задач и конкретных объектов в объёме каждого плей [8].

В рудной геологии до второй половины XX в. основным объектом поисков были рудопроявления. Геологоразведчикам были эмпирически известны несколько различных структурно-морфологических и минеральных типов рудных скоплений. Кроме того, опытные геологи знали, что для определённых районов характерны определённые типы рудных скоплений, не встречающиеся в других. Таким же образом в нефтегазовой геологии основное внимание геологоразведчиков было сконцентрировано на перспективных структурных «ловушках». С середины XX в. развитие учения о рудных месторождениях и смежных наук (прежде всего геохимии) позволило сконцентрировать внимание исследователей на структуре рудных и потенциально рудных полей, закономерностях строения сходных магматических



ассоциаций, экспериментальном изучении процессов минералообразования, типизации месторождений. Появился новый инструмент для выбора перспективных территорий – металлогенический анализ.

В 1970-е годы произошла существенная модификация металлогенического анализа главным образом благодаря развитию тектоники плит, технологий изучения геохимии (термобарогеохимия, изотопные методы, высокоточные химические анализы), позволивших увидеть и отобразить конфигурацию и внутреннюю геометрию рудных тел и полей. Это привело к созданию концепций «рудно-магматических систем» [2, 8] или «минеральных систем» [19] (аналогично «нефтегазовым системам» [20]). Они сделали допустимой идентификацию конкретных тектонических структур, магматических комплексов или палеогидротермальных систем как рудогенерирующих и рудораспределяющих источников. Следовательно, появилась возможность оценивать время и пути миграции минерализованных флюидов. Таким образом, геологоразведчики получили давно ожидаемый результат: ассоциирующие месторождения имеют общие историю типов рудоносного флюида, происхождения, размещения и сохранения минерализации. Это определило общность методических подходов к их изучению и близость технологии их освоения. Такие связанные группы месторождений, рудопроявлений и перспективных участков по аналогии с нефтегазовой геологией назовём рудными плеями. Объекты одного рудного плеча имеют единые генезис, состав руд и технико-технологические свойства.

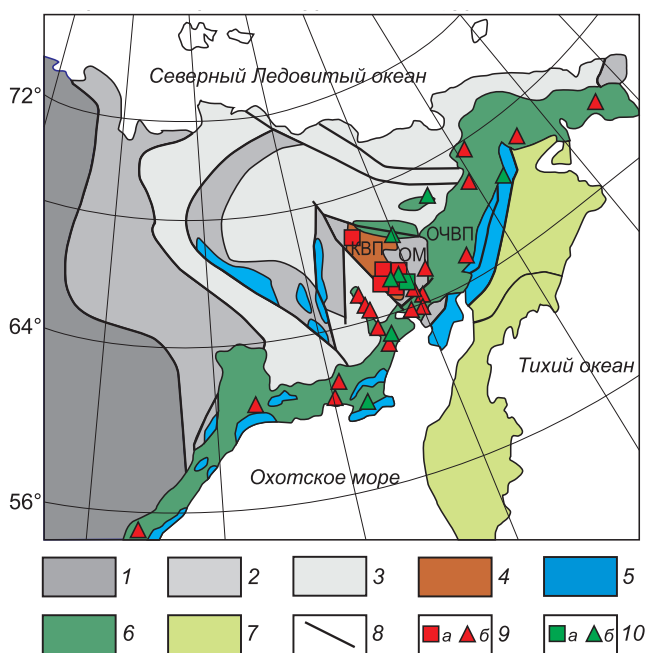
В некоторой степени аналогом термина «рудный плей» является термин «рудный комплекс» в том его значении, в котором он используется В. И. Шпикерманом [17, с. 21]: «... ряд генетически родственных рудных формаций, образовавшихся более или менее одновременно и распространённых в пределах одного района». Близкое значение вкладывает в этот тер-

мин Ю. Н. Стрик [16, с. 10]: «... ансамбль пространственно сопряжённых рудных формаций, входящих в состав определённого структурно-вещественного комплекса». Как известно, интегральным показателем, характеризующим возможность экономического освоения месторождения полезного ископаемого, является доступность. Она определяет возможность эффективного и безопасного (во всех аспектах) использования минерального сырья, полученного из данного источника с учётом состояния запасов (ресурсов), потребности в них и имеющегося технологического уровня [13]. Таким образом, дополнив *рудный комплекс* параметром *доступности*, то есть возможности разведать и рентабельно освоить месторождения данного комплекса, мы и получим «рудный плей». Его информационным выражением является «прогнозно-поисковая модель», которая на основе принципа аналогии даёт ответы на вопросы, как выглядит скопление рудного вещества, в какой геологической обстановке и по каким признакам оно может быть оценено [7]. В контексте рудного плей-анализа для обозначения рудоносных структурно-вещественных комплексов (СВК) является весьма удобным использование термина «металлотект» [4]. Следует упомянуть, что примеры фактического применения рудного плей-анализа в отечественной литературе имеются [1], хотя сами авторы не используют термин «плей». Важно учитывать, что в той же степени, в какой месторождение является экономическим объектом для промышленного освоения, рудный плей является операционным объектом для ГРП (см. таблицу).

Возникает вопрос о месте рудного плеча в таксономии металлогенических подразделений [14]. В зависимости от площади ареала развития структурно-вещественного комплекса, с которым связан плей, он может соответствовать металлогеническому поясу ( $10^4$ – $10^5$  км<sup>2</sup>), металлогенической (рудной) зоне

**Иерархия факторов, влияющих на успех поисковых работ на различных уровнях изучения**

Факторы	Уровни (металлогенические таксоны)			
	Рудная провинция	Рудная зона	Рудный район	Рудный узел, поле
Целевой объект	Рудная зона	Рудный район	Рудный узел, поле	Месторождение
Объект изучения	Региональный металлотект		Локальный металлотект	Рудовмещающая структура
Геолого-экономическая оценка	Необязательна	Необязательна	Необходима	Необходима
Затраты	Очень низкие	Низкие	Высокие	Очень высокие



**Тектоно-металлогеническая схема Северо-Востока Азии.**

По С. В. Соколову, 2010, с упрощениями и дополнениями:

1 – Северо-Азиатский кратон; 2 – структуры пассивной окраины Северо-Азиатского кратона и эпикратонные террейны (ОМ – Омолонский массив); 3 – Верхояно-Чукотская складчатая область; 4–6 – вулканогенные пояса: 4 – девонские (КВП – Кедонский), 5 – позднеюрско-раннемеловые, 6 – ранне-позднемеловые (ОЧВП – Охотско-Чукотский); 7 – кайнозойские террейны и вулканогенные пояса; 8 – разломы; 9–10 – месторождения: 9 – золото-серебряные девон-карбонного (а) и мелового (б) возраста, 10 – медно-порфировые девонского (а) и мелового (б) возраста

( $10^3$ – $10^4$  км<sup>2</sup>), а также рудному району и крупному узлу ( $10^2$ – $10^3$  км<sup>2</sup>). Например, эпитермальные золото-серебряные месторождения адуляр-серицитового типа, известные в пределах Охотско-Чукотского вулканогенного пояса, которые на всём его протяжении ассоциируют с одними и теми же вулcano-плутоническими ассоциациями позднемелового возраста, имеют близкие геологическое строение и состав руд [6]. Последние перерабатываются цианированием, как правило, по технологии Мэррил-Кроу (цианирование с сорбцией на цинковую пыль). Таким образом, в данном случае речь идёт о рудном плее, охватывающем целую металлогеническую провинцию (см. рисунок). Приведём другой пример. Горно-рудная компания работает в регионе, включающем два разновозрастных вулcano-плутонических пояса (девонский и меловой). С обоими поясами ассоциирует как эпитермальное золото-серебряное орудене-

ние адуляр-серицитового типа, так и медно-порфировая минерализация (см. рисунок). Золото-серебряные руды девонского возраста перерабатываются по технологии «уголь в пульпе» (цианирование с сорбцией на уголь), а мелового – Мэррил-Кроу. В свою очередь, технологические свойства медно-порфировых руд различного возраста близки. Очевидно, что здесь мы имеем дело с четырьмя разными рудными плеями. Из них ареалы развития двух (золото-серебряные и медно-порфировые объекты девон-карбонного возраста) ограничены пределами Кедонского вулканогенного пояса, который не выходит за пределы Омолонского массива, и соответствуют рудной зоне. Два других (меловые золото-серебряные и медно-порфировые), как уже указывалось выше, охватывают весь Охотско-Чукотский пояс и соответствуют рудной провинции.

Итак, сформулируем понятие «плей» применительно к поискам рудных месторождений. Рудный плей – набор объектов одного геолого-генетического и геолого-промышленного типа, сосредоточенных в пределах одной региональной тектонической структуры и одного географо-экономического района. То есть это серия объектов конкретного рудного комплекса в конкретном районе, принадлежащих к конкретному структурно-морфологическому и технологическому типам. Адаптируем этот термин к принятой в нашей стране терминологии [12]: рудный плей – совокупность месторождений, рудопроявлений и перспективных участков, имеющих общий генезис, приуроченных к одному структурно-вещественному комплексу (по А. И. Кривцову [8]: рудогенерирующая формация (РГФ) + рудоносная формация (РНФ) + рудовмещающая формация (РВФ)). Поиски и разведка месторождений одного плей ведутся по одной методике и одинаковым набором технических средств; выявленные промышленные месторождения имеют сходные технологические свойства руд.

Результатами рудного плей-анализа являются: 1) оценка запасов, прогнозных ресурсов и металлогенического потенциала, 2) определение статистических закономерностей распределения объектов внутри плей по величине запасов и прогнозных ресурсов, 3) браковочные кондиции, 4) оценка рисков, 5) ранжирование плеев по степени перспективности, 6) перечень объектов, подготовленных к проведению ГРП разных стадий, 7) ранжирование объектов в пределах плей по очередности проведения ГРП, 8) программа и бюджет ГРП.

С учётом того, что перспективные площади, лицензируемые для проведения поисковых работ, имеют большие (сотни км<sup>2</sup>) площади, становится ясно, что именно оптимальный выбор плей является ключевой задачей раннего этапа ГРП. Неудачное решение

может иметь серьёзные экономические последствия для средней по величине компании, а небольшую компанию привести к гибели. Вследствие схожести типов рудоносных структур и морфологии рудных тел, общности процессов рудообразования, однотипности методов разведки и разработки, единообразия географо-экономических условий и обязательств перед государством (один плей – одна лицензия) геолого-экономическую оценку можно производить для всего плея в целом. Она будет включать как результаты поисковых, оценочных и разведочных работ, так и данные, полученные при региональном геологическом изучении [15, 18]. Отмеченная выше геолого-генетическая однородность рудных плеев существенно упрощает их геолого-экономическую оценку, которую можно выполнять по одним и тем же укрупнённым показателям.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Виноградов А. М., Малышев А. И.* Факторы и критерии, прогнозы, направление и методика поисков крупных колчеданных месторождений на Урале // *Литосфера*. – 2017. – № 5. – С. 90–109.
2. *Власов Г. М., Мишин Л. Ф.* Геотектоническая теория и магматогенно-рудные системы. – М.: Наука, 1992. – 230 с.
3. *Гальцева Н. В., Горячев Н. А.* Перспективы комплексного развития крайнего Северо-Востока России // *Геология, география, биологическое разнообразие и ресурсы Северо-Востока России*. – Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2011. – С. 244–246.
4. *Гриненко В. С.* Металлотекты раннего–среднего карбона верхоянского терригенного комплекса (Куранахский антиклинорий, Западное Верхоянье) // *Отечественная геология*. – 2018. – № 5. – С. 87–92.
5. *Емельянова Н. М., Пороскун В. И.* Геолого-экономическая оценка и анализ рисков плеев // *Нефтегазовая геология. Теория и практика*. – 2018. – Т. 13, № 2. – С. 1–17. DOI: [https://doi.org/10.17353/2070-5379/18\\_2018](https://doi.org/10.17353/2070-5379/18_2018).
6. *Золоторудные месторождения России*. – М.: Акварель, 2010. – 349 с.
7. *Кочнев А. П., Юренков Е. Г.* Основы типизации прогнозно-поисковых моделей // *Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАН*. – 2014. – Т. 44, № 1. – С. 74–80.
8. *Кривцов А. И.* Прикладная металлогения. – М.: Недра, 1989. – 288 с.
9. *Крылов Н. А., Кучеря М. С.* Плей-анализ на примере Афгано-Таджикской впадины // *Геология нефти и газа*. – 2008. – № 4. – С. 24–29.
10. *Крылов Н. А., Кучеря М. С.* О корректном применении понятий «плей» и направление геологоразведочных работ // *Актуальные проблемы нефтегазовой геологии*. – 2010. – № 6. – С. 2–7.

11. *Кузнецов В. А., Дистанов Э. Г., Оболенский А. А., Сотников В. И., Шаранов В. Н.* Геолого-генетические модели эндогенных рудных формаций // *Генетические модели эндогенных рудных формаций*. Т. 1. – Новосибирск: Наука, 1983. – С. 5–13.
12. *Металлогенический кодекс России*. – М.: Геокарт-Геос, 2012. – 126 с.
13. *Пешиков А. А., Мацко Н. А.* Доступность минерально-сырьевых ресурсов. – М.: Наука, 2004. – 280 с.
14. *Плющев Е. В., Кашин С. В., Соловьев Н. С.* Месторождения, рудные узлы и металлогенические зоны как компоненты иерархической металлогенической системы // *Региональная геология и металлогения*. – 2016. – № 65. – С. 71–83.
15. *Роуз П. Р.* Анализ рисков и управление нефтегазовыми проектами. – М.: Ижевск: НИЦ «РХД», Ижевский институт компьютерных исследований, 2011. – 304 с.
16. *Стрик Ю. Н.* Некоторые проблемы понятийного основания металлогении // *Вестник Воронежского университета. Геология*. – 2005. – № 1. – С. 7–10.
17. *Шпикерман В. И.* Домеловая минерагеня Северо-Востока Азии. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1998. – 333 с.
18. *Шумилин М. В.* Риски недропользования за рубежом и в России // *Недропользование XXI век*. – 2013. – № 2. – С. 40–44.
19. *Hagemann S. G., Lisitsin V., Huston D. L.* Mineral system analysis: Quo Vadis // *Ore Geology Reviews*. – 2016. – V. 76, № 3. – P. 504–522. DOI: [doi: 10.1016/j.oregeorev.2015.12.012](https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.12.012).
20. *Magoon L. B., Dow W. G.* The Petroleum System-From Source to Trap. American Association of Petroleum Geology Memoire. – 1994. – V. 60. – P. 3–24.
21. *Miller B. M.* Application of Exploration Play-Analysis Techniques to the Assessment of Conventional Petroleum Resources by the USGS // *Journal of Petroleum Technology*. – 1982. – V. 34. – P. 55–64. DOI: <https://doi.org/10.2118/9561-PA>

#### REFERENCES

1. *Vinogradov A. M., Malyshev A. I.* Faktory i kriterii, prognozy, napravleniye i metodika poiskov krupnykh kolchedannykh mestorozhdeniy na Urale [Factors and criteria, forecasts, direction and methods of prospecting for large pyrite deposits in the Urals]. *Litosfera*, 2017, No. 5, P. 90–109. (In Russ.)
2. *Vlasov G. M., Mishin L. F.* Geotektonicheskaya teoriya i magmatogenno-rudnyye sistemy [Geotectonic theory and magmatogenic ore systems], Moscow, Nauka publ., 1992, 230 p. (In Russ.)
3. *Galtseva N. V., Goryachev N. A.* Perspektivy kompleksnogo razvitiya kraynego Severo-Vostoka Rossii [Prospects for the integrated development of the Far North-East

- of Russia]. *Geologiya, geografiya, biologicheskoye raznoobrazie i resursy Severo-Vostoka Rossii*, Magadan, SVNTS DVO RAN publ., 2011, P. 244–246. (In Russ.)
4. *Grinenko V. S.* Metallotekty rannego–srednego karbona verkhoyanskogo terrigenno kompleksa (Kuranakhskiy antiklinoriy, Zapadnoye Verkhoyanye) [Metallotects of the Early – Middle Carboniferous of the Verkhoyansk Terrigenous Complex (Kuranakh Anticlinorium, Western Verkhoyansk)]. *Otechestvennaya geologiya*, 2018, No. 5, P. 87–92. (In Russ.)
  5. *Yemelyanova N. M., Poroskun V. I.* Geologo-ekonomicheskaya otsenka i analiz riskov pleyev [Geological and economic assessment and risk analysis of losses]. *Neftgazovaya geologiya. Teoriya i praktika*, 2018, V. 13, No. 2, P. 1–17. DOI: [https://doi.org/10.17353/2070-5379/18\\_2018](https://doi.org/10.17353/2070-5379/18_2018). (In Russ.)
  6. *Zolotorudnyye mestorozhdeniya Rossii* [Gold ore deposits in Russia]. Moscow, Akvarel publ., 2010, 349 p. (In Russ.)
  7. *Kochnev A. P., Yurenkov Ye. G.* Osnovy tipizatsii prognozno-poiskovykh modeley [Fundamentals of typification of predictive search models]. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektzii nauk o Zemle RAYEN*, 2014, V. 44, No. 1, P. 74–80. (In Russ.)
  8. *Krivtsov A. I.* Prikladnaya metallogeniya [Applied metallogeny]. Moscow, Nedra publ., 1989, 288 p. (In Russ.)
  9. *Krylov N. A., Kucherya M. S.* Pley-analiz na primere Afgano-Tadzhikskoy vpadiny [Play-analysis on the example of the Afghan-Tajik depression]. *Geologiya nefti i gaza*, 2008, No. 4, P. 24–29. (In Russ.)
  10. *Krylov N. A., Kucherya M. S.* O korrektnom primenenii ponyatiy «pley» i napravleniye geologorazvedochnykh rabot [On the correct application of the notions “play” and the direction of geological exploration]. *Aktualnyye problemy neftegazovoy geologii*, 2010, No. 6, P. 2–7. (In Russ.)
  11. *Kuznetsov V. A., Distanov E. G., Obolenskiy A. A.* et al. Geologo-geneticheskiye modeli endogennykh rudnykh formatsiy [Geological and genetic models of endogenous ore formations]. *Geneticheskiye modeli endogennykh rudnykh formatsiy*. V. 1, Novosibirsk, Nauka publ., 1983, P. 5–13. (In Russ.)
  12. *Metallogenicheskiy kodeks Rossii*. Moscow, Geokart-Geos publ., 2012, 126 p. (In Russ.)
  13. *Peshkov A. A., Matsko N. A.* Dostupnost mineralno-syryevykh resursov [Availability of mineral resources]. Moscow, Nauka publ., 2004, 280 p. (In Russ.)
  14. *Plyushchev Ye. V., Kashin S. V., Solovyev N. S.* Mestorozhdeniya, rudnyye uzly i metallogenicheskiye zony kak komponenty iyerarkhicheskoy metallogenicheskoy sistemy [Deposits, ore clusters and metallogenic zones as components of a hierarchical metallogenic system]. *Regionalnaya geologiya i metallogeniya*, 2016, No. 65, P. 71–83. (In Russ.)
  15. *Rouz P. R.* Analiz riskov i upravleniye neftegazoposkovymi proyektami [Risk analysis and management of oil and gas prospecting projects]. Moscow and Izhevsk, NITS «RKHD» and Izhevskiy institut kompyuternykh issledovaniy publ., 2011, 304 p. (In Russ.)
  16. *Strik Yu. N.* Nekotoryye problemy ponyatiynogo osnovaniya metallogenii [Some problems of the conceptual basis of metallogeny]. *Vestnik Voronezhskogo universiteta. Geologiya*, 2005, No. 1, P. 7–10. (In Russ.)
  17. *Shpikerman V. I.* Domelovaya minerageniya Severo-Vostoka Azii [Domelovaya Minerageny of the North-East of Asia]. Magadan, SVKNII DVO RAN publ., 1998, 333 p. (In Russ.)
  18. *Shumilin M. V.* Riski nedropolzovaniya za rubezhom i v Rossii [Subsoil use risks abroad and in Russia]. *Nedropolzovaniye XXI vek*, 2013, No. 2, P. 40–44. (In Russ.)
  19. *Hagemann S. G., Lisitsin V., Huston D. L.* Mineral system analysis: Quo Vadis. *Ore Geology Reviews*, 2016, V. 76, No. 3, P. 504–522. DOI: [doi: 10.1016/j.oregeorev.2015.12.012](https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.12.012).
  20. *Magoon L. B., Dow W. G.* The Petroleum System – From Source to Trap. *American Association of Petroleum Geology Memoire*, 1994, V. 60, P. 3–24.
  21. *Miller B. M.* Application of Exploration Play-Analysis Techniques to the Assessment of Conventional Petroleum Resources by the USGS. *Journal of Petroleum Technology*, 1982, V. 34, P. 55–64. DOI: <https://doi.org/10.2118/9561-PA>



## Вилюй-Мархинское междуречье Якутии – перспективный район на Cu-Ni с платиноидами оруденение

Рассмотрены материалы, указывающие на аналогии в геологическом строении Норильского рудного района (НРР) и района Вилюй-Мархинского междуречья (ВММ), что является предпосылками перспективности последнего на медно-никелевое с платиноидами оруденение. Приведены данные по проявлениям Cu-Ni-Co-Zn минерализации в Ыгыаттинском алмазоносном районе, занимающем центральную часть ВММ. Геологические аналогии НРР и ВММ заключаются в следующем. Оба района расположены в области мезозойской тектоно-магматической активизации на краю крупных прогибов: НРР – в краевом прогибе Сибирской платформы, ВММ – на краю Вилюйской синеклизы. Месторождения НРР локализованы в центриклиналях крупных брахисинклиналей на склонах Пясинского купольного поднятия. В ВММ перспективные площади расположены на склонах Сюльдюкарского купольного поднятия в краевых частях крупных мульд. В НРР и ВММ наблюдаются палеозойские мергельно-сульфатно-карбонатные толщи, перекрытые угленосными карбон-пермскими отложениями, материал которых мог быть ассимилирован базальтоидной магмой в мезозое, что способствовало её рудной дифференциации. Аналогом Норильско-Хараелахской рудоносной интрузии в ВММ может быть Холомолохская судьфидоносная интрузия, от которой предполагаются протяжённые «рукава» рудоносных силлов. Наблюдается близость их состава и строения, включая наличие пегматоидов. Аналогом рудоконтролирующего Норильско-Хараелахского разлома может оказаться Хатырык-Холомолохский разлом, который по данным бурения прослежен на 24 км и является одним из швов кимберлитоконтролирующей Вилюйско-Мархинской зоны глубокого заложения. В зоне влияния этого разлома расположены концентрационные геохимические аномалии и Хомустахское рудопоявление Cu-Ni-Co-Zn с платиной, золотом и серебром. Это послужило основанием для выделения перспективных площадей на медно-никелевые месторождения Норильского типа в ранге потенциального рудного узла и трёх рудных полей.

*Ключевые слова:* Cu-Ni оруденение, Норильский рудный район, Вилюй-Мархинское междуречье, прогноз месторождений.

ИГНАТОВ ПЁТР АЛЕКСЕЕВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой геологии месторождений полезных ископаемых<sup>1</sup>, академик РАН, petrignatov@gmail.com

ТОЛСТОВ АЛЕКСАНДР ВАСИЛЬЕВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, профессор, директор<sup>2</sup>, TolstovAV@alrosa.ru

ПРОЦЕНКО ЕЛЕНА ВИКТОРОВНА, кандидат геолого-минералогических наук, заведующая отделом<sup>2</sup>, ProtsenkoEV@alrosa.ru

КОЛЕСНИК АЛЕКСАНДР ЮРЬЕВИЧ, научный сотрудник, заведующий лабораторией<sup>2</sup>, KolesnikAYu@alrosa.ru

МАЛЬЦЕВ МИХАИЛ ВИКТОРОВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, зам. главного геолога<sup>3</sup>, MaltsevMV@alrosa.ru

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва

<sup>2</sup> НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный

<sup>3</sup> Вилюйская геологоразведочная экспедиция (ВГРЭ) АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный

## Vilyui-Markha interfluve of Yakutia: a region prospective for Cu-Ni-PGM mineralization

P. A. IGNATOV<sup>1</sup>, A. V. TOLSTOV<sup>2</sup>, A. Yu. KOLESNIK<sup>2</sup>, E. V. PROTSENKO<sup>2</sup>, M. V. MALTSEV<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow

<sup>2</sup> NIGP AK «ALROSA» (PAO), Mirny

<sup>3</sup> Vilyuisk Geological Exploration Expedition (VGRE) of JSC ALROSA (PJSC), Mirny

Materials are discussed on geologically similar structure of Norilsk ore district (NOD) and Vilyui-Markha interstream area (VMIA), which implies the latter prospects for Cu-Ni-PGM mineralization. Data is provided on Cu-Ni-Co-Zn mineral occurrences within Ygyattinsky diamondiferous region centered on VMIA. Geological similarities of NOD and VMIA are summarized below.

Both regions are located in Mesozoic tectonomagmatic activation domain at the edge of large troughs: NOD is localized in the Siberian platform foredeep, and VMIA lies at Vilyui syncline margin. NOD deposits are hosted by centroclines of large brachysynclines at slopes of Pyasinskoye dome. Within VMIA, prospects are located at Syuldyukarskoye dome slopes in marginal parts of large troughs. NOD and VMIA comprise Paleozoic marl-carbonate strata overlain by carbonaceous Carboniferous-Permian overburden, which could be assimilated by basaltic magma in Mesozoic contributing to its ore differentiation. Norilsk-Kharaelakh ore-bearing intrusion in VMIA appears to be similar to Kholomolokh sulfide-rich intrusion with its inferred extensive ore-bearing sills. They have similar composition and structure including presence of pegmatites. Ore-controlling Norilsk-Kharaelakh fault is believed to be similar to Khatyryk-Kholomolokh fault, which was traced for 24 km by drilling and is one of sutures within deep-seated kimberlite-controlling Vilyui-Markha zone. This fault's impact zone host concentrated geochemical anomalies and Cu-Ni-Co-Zn-Pt-Au-Ag Khomustakh occurrence. Based on this, Norilsk-type Cu-Ni prospects ranked as a potential ore cluster and three ore fields were identified.

*Key words:* Cu-Ni mineralization, Norilsk ore district, Vilyui-Markha interfluves, deposit forecast.

Норильский рудный район, включающий уникальные по составу и масштабам комплексные медно-никелевые с платиноидами месторождения, находится в области мезозойской тектоно-магматической активизации и проявлений глубинного траппового магматизма Восточно-Сибирской платформы. Его геологическое строение и закономерности локализации месторождений хорошо изучены и отражены в трудах А. Е. Воронцова, А. Д. Генкина, М. Н. Годлевского, Д. А. Додина, В. В. Дистлера, О. А. Дюжинова, Е. С. Заскинда, В. В. Золотухина, П. Н. Кабанова,

А. А. Кордакова, В. К. Котульского, О. М. Конкиной, В. И. Кочнева-Первухова, Н. А. Криволицкой, В. Ф. Кравцова, А. П. Лихачева, В. А. Люлько, Г. М. Маслова, Л. К. Мирошниковой, Г. Г. Моора, А. В. Радько, Г. Б. Роговера, Б. Н. Рожкова, В. В. Рябова, В. М. Струнина, А. В. Тарасова, В. К. Степанова, Д. М. Туровцева, Н. Н. Урванцева, В. А. Федоренко и многих других исследователей.

В пределах Западной Якутии известны сопоставимые по масштабу с НРР районы, в которых также проявлен мезозойский трапповый магматизм

### 1. Соотношение рудовмещающих и потенциально рудоносных геологических формаций Норильского рудного района и Вилуй-Мархинского междуречья

Норильский рудный район		Вилуй-Мархинское междуречье	
Формации	Возраст	Формации	Возраст
Континентальная вулканогенная трапповая	Пермо-триасовый	Континентальная вулканогенная трапповая	Пермо-триасовый
Лимническая угленосная	Среднекарбонный-пермский	Лимническая угленосная	Среднекарбонный-пермский
Сульфатно-карбонатная, карбонатная	Средне-позднедевонский	Карбонатная	Раннеордовикский
Терригенно-карбонатная	Раннедевонский	Сульфатно-терригенно-карбонатная	Позднекембрийский

и глубинные образования, содержащие кимберлиты. Часть из них входит в хорошо изученные алмазоносные районы Западно-Якутской провинции. Эти обстоятельства послужили основой для оценки перспектив на Cu-Ni с EPG оруденение одного из таких районов – Виллюй-Мархинского междуречья (ВММ). В нём, как будет показано ниже, имеется наибольшее число аналогий с НРР и признаки таких месторождений.

Виллюй-Мархинское междуречье (ВММ) включает Ыгыаттинский кимберлитовый район с недавно открытым Сюльдюкарским алмазоносным полем. Он охватывает краевую часть Виллюйской синеклизы, что соответствует расположению НРР в крупном краевом прогибе Сибирской платформы, и считается прогнозным критерием [3, 9, 11]. Имеющиеся геолого-геофизические материалы включают результаты сейсмических и магнитометрических съёмок и поискового бурения на алмазы. Эти данные позволили выделить в ВММ разноранговые тектонические разрывные и пликативные структуры, в том числе проявленные во время мезозойской тектоно-магматической активизации.

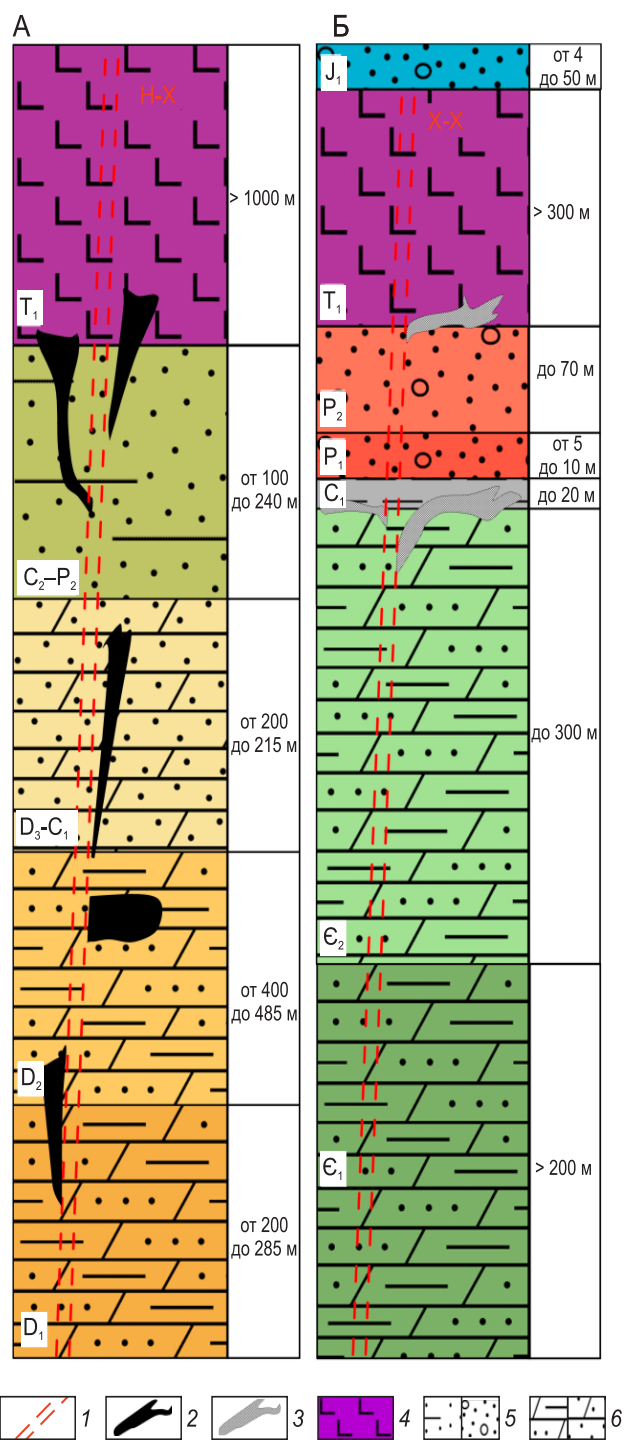
Предположение о перспективах медно-никелевого оруденения Виллюй-Мархинского междуречья базируется на ряде аналогий в его геологическом строении с Норильским районом и подтверждается имеющимися проявлениями Cu, Ni, Co и благородных металлов.

*Общие черты геологического строения НРР и ВММ и истории их развития* заключаются в ряде положений.

В Норильском рудном районе имеются палеозойские мергельно-сульфатно-карбонатные толщи (под угленосными карбон-пермскими отложениями), в целом перекрытые пермо-триасовыми траппами [3, 4, 9, 10, 11, 12–14, 18 и др.]. По мнению ряда исследователей, ассимиляция сульфатной серы и органического вещества мезозойской базальтоидной магмой предопределила формирование сульфидных рудных расплавов и в конечном счёте месторождений [2, 19, 24].

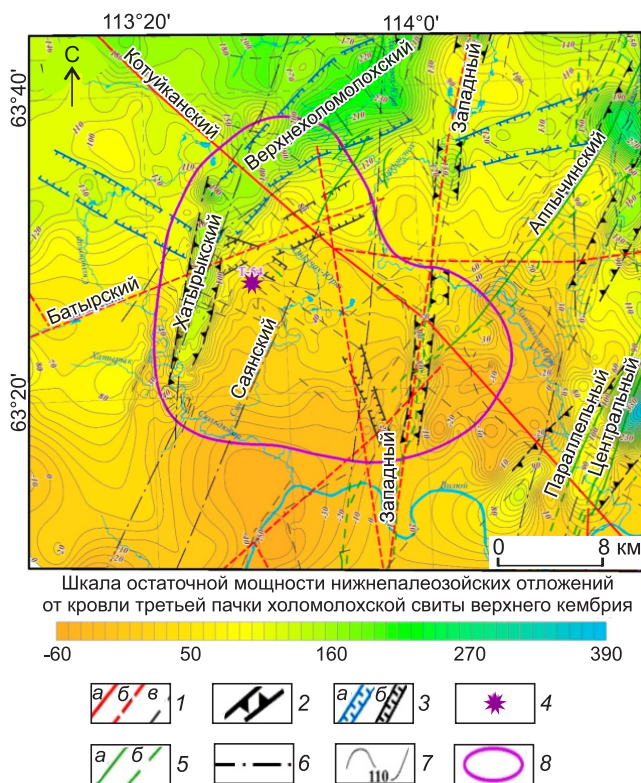
В Виллюй-Мархинском междуречье под траппами распространены кембрийские мергельно-сульфатно-карбонатные породы и карбон-пермские угленосные отложения, которые могли быть переработаны расплавами основного состава во время формирования триасовых траппов. Ряды геологических формаций двух районов приведены в табл. 1, позиция месторождений на рис. 1.

Уникальные Норильское, Октябрьское и Талнахское месторождения Cu, Ni, Pt и Pd с попутными Co и Au приурочены к центриклиналям крупных Норильской и Хараелахской брахисинклиналей,



**Рис. 1. Позиция рудоносных интрузий траппов в разрезах осадочного чехла: А – в Норильском районе, по [14], Б – в районе Холомолахской интрузии:**

1 – разломы (НХ – рудоносный Норильско-Хараелахский, ХХ – потенциально рудоносный Хатырык-Холомолахский); интрузии: 2 – рудоносные, 3 – предполагаемые рудоносные; 4 – платобазальты и туфы основного состава; 5 – угленосные терригенные отложения; 6 – карбонатные породы, содержащие гипс и ангидрит



**Рис. 2.** Палеотектоническая схема Сюдьюкарского кимберлитового поля по результатам комплексной интерпретации геолого-геофизических данных [22]:

1 – разрывные нарушения платформенного чехла, выделенные геолого-геофизическими методами: *а* – глубинные, *б* – основные, *в* – предполагаемые; 2–3 – линейные прогибы в структуре нижнепалеозойских пород: 2 – грабены сложного строения ВМЗ, 3 – предполагаемые грабены Батырской ветви: *а* – среднепалеозойского и *б* – мезозойского возрастов; 4 – кимберлитовое тело; 5–6 – дайки долеритов среднепалеозойского возраста: 5 – выделяемые уверенно: *а* – выходящие на поверхность кимберлитовмещающих пород, *б* – «слепые», *б* – трассируемые по косвенным признакам; 7 – изопакиты нижнепалеозойских отложений от кровли третьей пачки холмолохской свиты верхнего кембрия, м; 8 – контур Сюдьюкарского кимберлитового поля

выполненных каменноугольно-пермскими угленосными отложениями и вулканитами перми–триаса.

Месторождения приурочены к местам осложнения мульд антиклиналями и располагаются на их крыльях [3, 4, 6, 9, 11, 13, 24 и др.]. Так, Норильский, Талнахский и Вологочанский рудные узлы находятся на склонах Пясинского куполовидного поднятия. В сульфатно-карбонатных толщах девона эти структуры выражены флексурами. Считается, что пликативные структуры сформировались в рифтогенном пермо-триасовом Норильско-Хараелахском

прогибе в результате последующего горизонтального сжатия [3, 4, 6, 11, 13, 26 и др.].

В Виллой-Мархинском междуречье сопоставимыми по размерам с двумя названными брахисинклиналиями являются Сунтарская впадина и серия сближенных мульд, включая Хатырьскую и Холмолохскую (Верхнехолмолохскую) впадины, выделенные геологами НИГП и ВГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО) в Сюдьюкарском поле по структурным поверхностям кембрийской толщи (рис. 2). Имеется в этом районе и сопоставимый с Пясинским поднятием Сюдьюкарский купол [1].

Основные рудные залежи месторождений Норильского района сосредоточены в приосевой части, углублениях дна и фронтальных частях силлов [3, 9, 6, 14 и др.]. Они внедрялись как в угленосные породы карбона–перми, так и по межформационной границе между угленосными отложениями и подстилающей девонской карбонатной толщей.

Источником рудоносных силлов служила специализированная обогащённая сульфидами и летучими компонентами магма, которая поступала из интрузивных центров [3, 4, 10, 12, 13, 19 и др.].

В Виллой-Мархинском междуречье известна силлоподобная Холмолохская интрузия пермо-триасового возраста. На удалении от центра мощность этой вулcano-структуры достигает 280 м. В целом она имеет сходный с рудоносными интрузиями Норильского района состав и строение. По данным И. Г. Коробкова, В. Л. Масайтиса, Е. В. Тугановой, она сложена троктолитовыми долеритами, долеритами, обогащёнными оливином, габбродолеритами, пегматоидными долеритами и долерит-пегматитами. Важно подчеркнуть, что эта последовательность отмечается снизу вверх по разрезу интрузии [1]. В одном из разрезов в составе пегматоидных габбродолеритов определены (в %): плагиоклаз – 50, моноклинный пироксен – 25, магнетит – 5–8, мезостазис – 18–20 [1], что практически соответствует лейкократовым габбро НРР.

Вопросы сравнения петрохимического состава пород Холмолохской интрузии и силлов Норильского района требуют специального рассмотрения. Тем не менее имеется ряд близких характеристик Норильско-Хараелахского силла и Холмолохской интрузии (табл. 2.)

Важно отметить присутствие сульфидов в Холмолохской интрузии в отличие от большинства других крупных одновозрастных вулcano-структур региона [8]. Также надо подчеркнуть и отличия Холмолохской интрузии от Норильско-Хараелахской. Они заключаются в отсутствии пикритов и меньшей магнезиальности (MgO – около 6 %) пород Холмолохской интрузии. Кроме того в породах этого массива



2. Соотношение пород в разрезах Норильско-Хараелахского силла и Холомолохской интрузии (снизу вверх)

Норильско-Хараелахский силл [24]	Холомолохская интрузия [17, 27]
1. Пикриты	1. Троктолитовые долериты и долериты, обогащённые оливином
2. Такситовые габбродолериты	2. Среднезернистые долериты
3. Габбродолериты нормального ряда	3. Габбродолериты
4. Лейкогаббро	4. Пегматоидные габбродолериты и долерит-пегматиты
5. Габбродиориты и пегматоиды	5. Эндоконтактные микродолериты и долеритовые порфириды

содержание никеля в два раза ниже кларка основных пород [1]. Возможно, это указывает на значительное перераспределение никеля, а магматические породы, обогащённые никелем и другими рудными элементами, сосредоточены в основании Холомолохской интрузии, которое практически не изучено.

Центральная часть этой интрузии намечена по ореолу прямого и обратного намагничивания, расположенному на водоразделе р. Кюельлях и правого притока р. Холомолох-Юрях [8]. По представлениям И.Г. Коробкова [8] силлы этой интрузии распространяются вдоль палеодолин карбон-пермского возраста.

Силлы распространялись от центра Холомолохской интрузии, вероятно, в виде «лепёшек» и вытянутых «языков». Они внедрялись в разные стороны, в том числе на юг в сторону унаследованной в перм-триасе Холомолохской впадины (рис. 3). Отдельные силлы могли протягиваться вдоль разломов в юго-западном и южном направлениях. Юго-западное направление предопределяется дайками долеритов, выделенными по магнитометрии, южное устанавливается по резким литолого-фациальным границам, приведённым на картах по ботубобинской и ахтарандинской свитам угленосного карбона–перми [16].

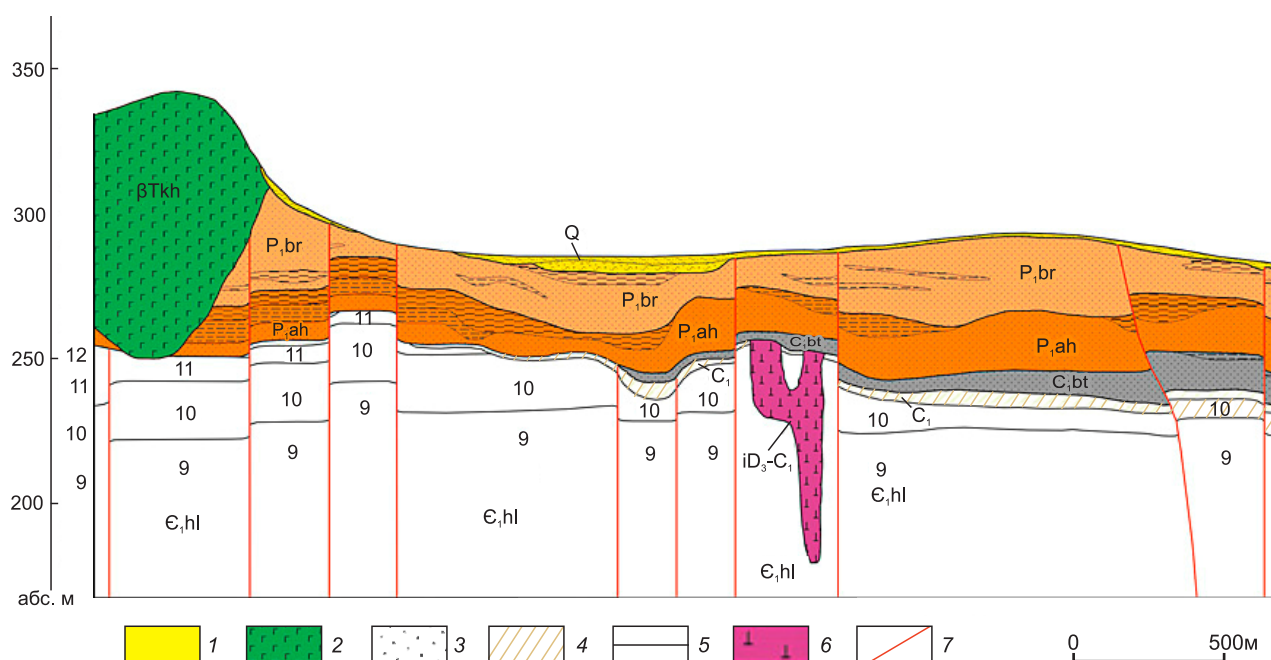
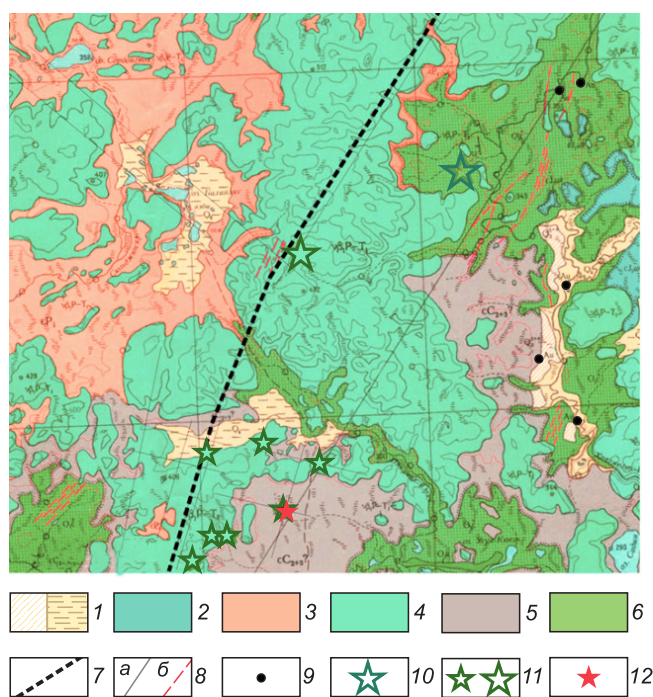


Рис. 3. Фрагмент геологического профиля по центральной части Сюдьюкарского кимберлитового поля:

1 – четвертичные отложения; 2 – силл долеритов пермо-триасового возраста; 3 – угленосные песчанки и аргиллиты перми; 4 – терригенные угленосные породы нижнего карбона; 5 – пакки глинисто-карбонатных пород холомолохской свиты нижнего кембрия; 6 – кимберлиты; 7 – разломы



**Рис. 4.** Положение разломов Вилуй-Мархинской и других зон глубокого заложения, прослеженных по данным бурения, и позиция Cu-Ni-Co-Zn проявлений на геологической карте масштаба листа Р-50-1 1 : 200 000 [1]:

1 – четвертичные отложения; 2 – юрские угленосные терригенные отложения; 3 – туфы основного состава перми–триаса; 4 – силлы долеритов перми–триаса; 5 – терригенные угленосные отложения среднего–верхнего карбона–перми; 6 – терригенно-карбонатные породы верхнего кембрия; 7 – зона предполагаемого Хатырык-Холомолохского разлома; 8 – другие разломы: а – установленные по данным изучения керна в кембрийской толще, б – предполагаемые по интерпретации магнитометрии; 9 – проявления россыпного золота; 10 – Хомыстахское рудопроявление Cu-Co-Ni-Zn; 11 – концентрационные аномалии Cu-Co-Ni-Zn; 12 – кимберлиты

Следует предположить, что как и в НРР [6, 9 и др.] отдельные «языки» силлов должны были проникать в осадочную толщу вдоль осей крупных флексур. Последние устанавливаются по стратоизогипсам кембрийской толщи и маркируют разломы Вилуйско-Мархинской зоны [16, 22].

Один из вероятных протяжённых от центра Холомолохской интрузии силлов мог выполнять меридиональную впадину, пересекающую широтный фрагмент долины р. Сордонгнох. Ширина впадины составляет 1,7–1,8 км, а её протяжённость от центра Холомолохской интрузии – 11 км. Другой силл мог продвигаться в юго-западном направлении и распространяться в Хатырыкскую грабен-синклиналь карбон-пермского возраста. Фрагменты «языков» сил-

лов устанавливаются по данным бурения, что видно на геологическом профиле, построенном по центральной части Сьюльдюкарского кимберлитового поля (см. рис. 3).

Есть основания полагать, что в ВММ во время внедрения силлов перми–триаса хотя бы часть из известных «трапповых окон» являлась палеоподнятиями. На это указывают разрезы по скважинам в Сьюльдюкарском поле, в которых пермо-триасовые туфы и базальты имеют нарушенное залегание, а подстилающие угленосные отложения карбона–перми и нижнего палеозоя – горизонтальное. В этой связи краевые части таких окон могли быть участками выклинивания вблизи поднятий силлов Холомолохской интрузии. Они представляются перспективными для обнаружения Cu-Ni оруденения.

Известно, что распространение рудоносных силлов Норильского района контролируется Норильско-Хараелахским глубинным разломом. Их осевые рудоносные части простираются вдоль центрального тектонического шва этого нарушения. Положение месторождений в углублениях дна силлов и их фронтальных зонах предопределены наличием поперечных тектонических структур [6, 9, 14, 24 и др.].

В районе Вилуй-Мархинского междуречья имеются разломы Вилуйско-Мархинской зоны глубокого заложения, которые контролируют положение девонских даек и кимберлитов Сьюльдюкарского алмазоносного поля [15, 16, 22, 23]. Изучение тектонических признаков разломов по керну поисковых скважин показало длительное развитие нарушений в качестве сбросов в среднем палеозое во время внедрения силлов и даек девонских траппов, сдвигов во время формирования кимберлитов и подновления во время образования траппов пермо-триаса [7].

При картировании по равномерной сети отдельных швов этой зоны на основании ряда признаков в керне скважин, вскрывших разрезы нижнего палеозоя, установлено, что в центральной части Сьюльдюкарского поля имеются как минимум три тектонических шва север-северо-восточного простирания (рис. 4).

Один из них контролирует ось Хатырыкской грабен-синклинали и соответствующую палеодолину карбон-пермского возраста. В узле пересечения другого с субширотно-северо-западным сдвигом локализованы Сьюльдюкарские кимберлиты. Предполагается, что этот разлом был подновлён в пермо-триасовый этап тектоно-магматической активизации региона.

Роль рудоконтролирующего Норильско-Хараелахского разлома в рассматриваемом районе ВММ мог играть разлом, ограничивающий с востока Хатырыкскую грабен-синклиналь каменноугольного возраста и с северо-запада Холомолохскую впадину. Его можно обозначить как Хатырык-Холомолохский

## 3. Содержания Co, Ni, Cu, Zn (в г/т) в породах кембрия и карбонатных и пирит-карбонатных новообразованиях Сьюльдюкарского поля

№ пп	Образец	Глубина, м	Состав	Co	Ni	Cu	Zn
1	143.825-100.975	89,7	Мергель	4,8	19,4	3,98	31,5
2	143.825-100.975	89,1	<b>Известняк</b>	<b>27,5</b>	<b>113,8</b>	<b>745,2</b>	<b>440,2</b>
3	143.825-100.975	72,5	Мергель	7,5	25,4	12,7	30,7
4	143.825-100.975	50,5	Мергель	6,3	17,4	16,8	24,4
5	20-24	63	Цемент карбонатной брекчии	9,9	46,9	18,9	31,9
6	<b>20-24</b>	<b>71,5</b>	<b>Цемент карбонатной брекчии</b>	<b>32,8</b>	<b>317,5</b>	<b>45,6</b>	<b>328,0</b>
7	20-24	83	Кальцит-доломитовый прожилок	20,1	99,8	50,3	52,0
8	146,5-98,5	147	Прожилок кальцита	2,7	4,8	10,9	35,0
9	146,5-96	126,6	Прожилок кальцита	3,4	8,7	10,6	38,24
10	<b>147,5-100</b>	<b>112</b>	<b>Прожилок кальцита</b>	<b>120,6</b>	<b>350,7</b>	<b>42,9</b>	<b>20,8</b>
11	147,5-96	73	Прожилок кальцита	2,1	1,2	11,5	25,4
12	<b>147-97</b>	<b>45,7</b>	<b>Пирит-карбонатный прожилок</b>	<b>22,88</b>	<b>89,38</b>	<b>1020,0</b>	<b>19,98</b>
13	164,5-108	125,0	Кальцит-доломитовый прожилок	2,7	4,9	23,4	<b>231,8</b>
14	<b>164,5-108</b>	<b>115,3</b>	<b>Пиритизированный роговик</b>	<b>626,9</b>	<b>998,11</b>	<b>832,7</b>	<b>4255</b>
15	168,5-110	173,0	Прожилок осветления	11,5	42,45	26,63	46,62

Примечание. Жирным выделены концентрационные аномалии.

разлом. В центральной части кимберлитового поля этот разлом прослежен в север-северо-восточном направлении по сети бурения  $0,5 \times 0,5$  км на 8 км, далее на северо-восток по сети  $2 \times 4$  км на 20 км. Например, в одной из скважин, расположенной в краевой части Холмолохской впадины и в оси флексуры северо-восточного простирания, вскрыт разрез кембрия с углами падения слоёв  $75^\circ$ .

*Признаки Cu-Ni оруденения в ВММ.* Отмеченные выше предпосылки находят подтверждение в виде признаков медно-никелевых месторождений –

Хомустанского рудопроявления и концентрационных аномалий, расположенных в южном обрамлении Холмолохской интрузии.

По пробам прожилковой карбонатной минерализации, отобраным в Сьюльдюкарском поле в породах нижнего палеозоя, нацеленным на обнаружение признаков кимберлитовмещающих структур, в лаборатории рентгеновских и спектральных методов НИГП АК АЛРОСА (ПАО) выполнено 122 ICP AES анализа на приборе iCAP 6300 Duo производителя Thermo Scientific. Из них лишь в нескольких случаях

4. Содержания некоторых рудных элементов (в г/т) в кальцитовых прожилках из габбро-долеритов пермо-триаса центральной части Сюдьюкарского поля

№ пп	№ скважины	Глубина, м	Co	Ni	Cu	Zn
1	141-96,25	20,5	4,484	9,923	31,1	27,98
2		32	5,666	7,9542	104,1	18,19
3		<b>14,5</b>	<b>38,14</b>	<b>93,364</b>	<b>178,8</b>	<b>93</b>
4	141-96,5	10	8,881	22,823	10,92	4,617
5	142,5-96,75	16	13,25	21,971	50,02	22,91
6		19,5	19,18	27,627	49,79	31,29
7		24,5	8,759	17,911	96,4	12,89
8		25	19,75	33,989	106	66,98
9		29	20,28	35,024	75,23	42,48
10	<b>142,5-97,25</b>	35	23,84	26,625	107	49,38
11		<b>36</b>	<b>59,97</b>	<b>99,487</b>	<b>188,5</b>	<b>143,9</b>
12	<b>142,5-98,25</b>	<b>21</b>	<b>58,48</b>	<b>119,8</b>	<b>187,1</b>	<b>147,8</b>
13	145,5-102	27	19,52	50,449	53,99	30,16
14	146,5-102,5	12	5,433	6,4885	25,49	14,55
15	146,5-103	6	14,02	36,514	47,61	19,86
16		22,5	10,63	30,09	58,15	21,25
17	146-102,5	4	5,143	12,563	19,49	14,06
18		5	7,345	14,321	23,3	29,17
19	146-105	15	11,89	24,188	16,79	28,07
20*	<b>146,5-103</b>	<b>128,5</b>	<b>77,88</b>	<b>148,34</b>	<b>82,13</b>	<b>440,20</b>
21	147,5-102,5	8	5,948	7,0503	31,77	10,48
22	147-102,5	17,5	11,7	26,606	43,31	23,37

Примечание. \* проанализированы сульфиды из силла пермо-триасового долерита.

обнаружены комплексные концентрационные аномалии Cu-Ni-Co-Zn.

Так, в прожилке зелёного и белого кальцита, отобранного из доломитов кембрия с глубины 112 м из скв. 147,5-100, получены высокие концентрации Ni – 0,035 и Co – 0,012 %. Эта скважина расположена в зоне влияния север-северо-восточного разлома Виллойско-Мархинской зоны, в котором имеются упомянутые кимберлиты. Скважина находится в 536 м на запад-северо-запад от геофизической аномалии ан-Vtem14 S 3/1. Этот разрез вскрывает краевую часть долеритов перми-триаса.

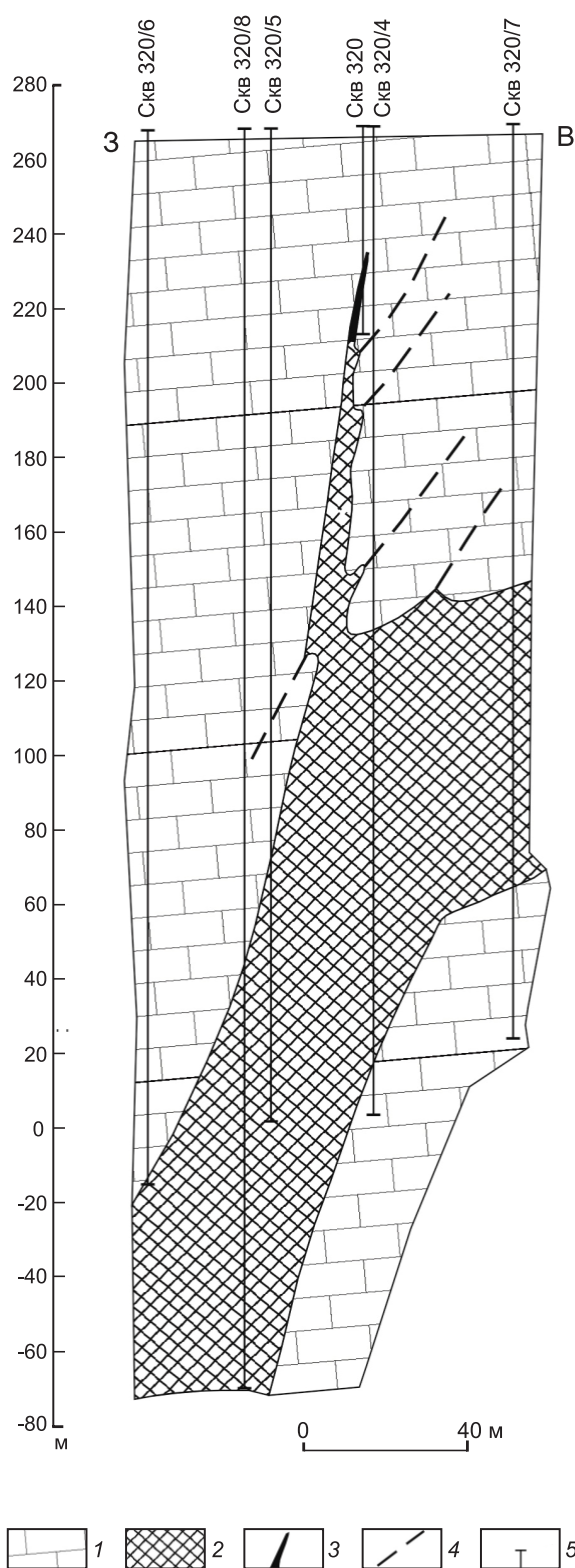
В образце пирит-карбонатного прожилка в доломите, взятого с глубины 45,7 м из скв. 147-97, установлены концентрации Cu – 0,1 и Ni – 0,009 %. В этом участке в породах кембрия имеет место ком-

плексная аномалия, включающая концентрации Ni, Co и др., установленная по данным литогеохимического опробования и рентген-флюоресцентных анализов геологами Виллойской ГРЭ АК АЛРОСА (ПАО). Скв. 147-97 находится в Хатырык-Холомолохском разломе Виллойско-Мархинской зоны.

Примеры фоновых и аномальных содержаний названных рудных элементов приведены в табл. 3.

Комплексные геохимические аномалии Cu-Ni-Co-Zn обнаружены в прожилках кальцита и кальцита с сульфидами, отобранных из пермо-триасовых силлов габбро-долеритов по 13 скважинам, пройденным в центральной части Сюдьюкарского поля (табл. 4). Скважины расположены на расстоянии до 4,5 км от кимберлитов. В двух образцах кальцита из скважин 142,5-97,25 и 142,5-98,25 установлена концентрация





**Рис. 5. Разрез Хомустахского рудопоявления [1]:**

1 – доломиты; 2 – тектонические брекчии с вкрапленностью сульфидов; 3 – халькопирит-сфалеритовая жила (место отбора пробы на химический анализ); 4 – тектонические трещины; 5 – скважины и их номера

отмеченных элементов. Эти разрезы также расположены в зоне влияния Хатырык-Холомолохского разлома.

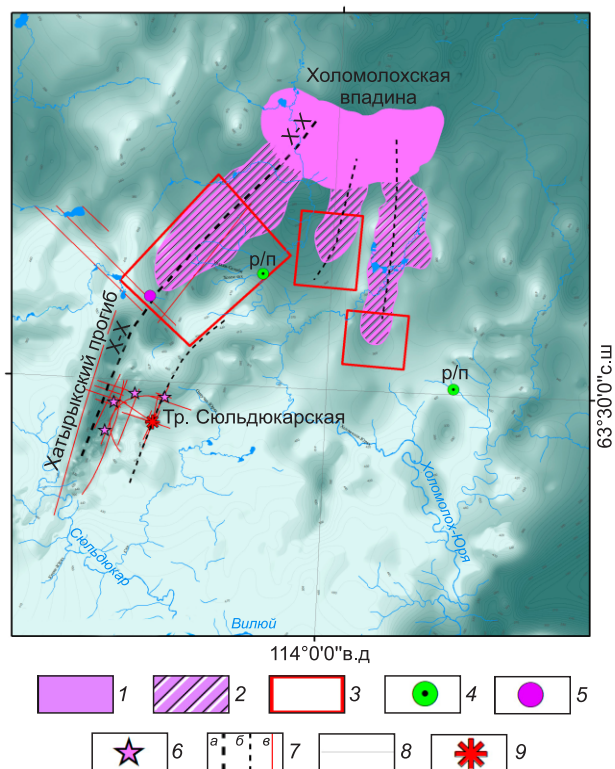
В скв. 146,5-103 на глубине 128,5 м в кровле разреза нижнего палеозоя под угленосными пермскими отложениями вскрыт силл долеритов мощностью 15 см, в котором имеются массивные мощностью 5 мм и вкрапленные выделения сульфидов. В них по данным ИСР АЕС анализа оказались аномальные концентрации (в %): Ni – 0,0148, Cu – 0,0082, Co – 0,0077 и Zn – 0,044.

Намного севернее в образце пиритизированного чёрного, ороговикованного доломита, отобранного из скв. 164,5-108 с глубины 115,3 м, установлено (в %): Ni – 0,0998, Cu – 0,0833, Co – 0,0627, Zn – 0,426 (см. табл. 2). В этом разрезе наблюдаются признаки тектонических нарушений и скарнирования. В цементе брекчии карбонатных пород, на глубине 124 м рентгенофазовый анализ, выполненный в лаборатории НИГП АК АЛРОСА (ПАО) кандидатом геолого-минералогических наук Л.В. Лисковой, показал наличие 87 % сапонита. Пробы взяты из кровли нижнепалеозойской толщи.

Во многих скважинах на этой площади в прикровельной части нижнепалеозойских разрезов отмечены силлы долеритов. Эти разрезы расположены в поле распространения пермо-триасовых долеритов, которые следует отнести к Холомолохской интрузии. Важно отметить, что во многих поисковых скважинах этой площади именно в кровле нижнепалеозойских разрезов встречены и чёрно-серые роговики, и проявления скарноидов, охватывающих десятки метров мощности разрезов кембрия.

В рассматриваемом районе известно Хомустахское рудопоявление, в котором встречена вкрапленная и прожилковая сульфидная минерализация в цементе брекчий и жиле в карбонатных породах холомолохской свиты (рис. 5).

Установлены наибольшие содержания (в %): Ni – 1,3–1,5, Cu – 2,1–3,8, Co – 0,43, Zn – 0,7–26,5, As до 2,0, а также (в г/т): Ag – 192, Au – 0,05, Pt – 1,5 [1, 5]. Среди рудных минералов определены пирит, халькопирит, сфалерит, франклинит, никелин, арсенопирит, коринит, раммельсбергит, оксиды меди и др. Рудопоявление вскрыто бурением и не оконтурено. Оно расположено в Вильюско-Мархинской зоне разломов и по составу полезных компонентов его следует считать прямым признаком медно-никелевых с платиноидами месторождений. Напомним, что на Октябрьском месторождении НРР медно-никелевые руды частично располагаются в подстилающих силл ороговикованных карбонатных породах девона [18, 24]. Позиция Хомустахского рудопоявления в верхней части кембрийской карбонатной толщи и отмеченного



**Рис. 6. Перспективные на Cu-Ni оруденение площади в Ыгыаттинском районе Вилуй-Мархинского междуречья:**

1 – условный контур Холомолохской интрузии; 2 – предполагаемые контуры рудоносных триасовых силлов; 3 – перспективные площади; 4 – Cu-Ni Хомустанское рудопоявление; 5 – точка минерализации Cu-Ni в скважине 164,5-108; 6 – концентрационные аномалии Cu-Co-Ni-Zn; 7 – разломы: а – предполагаемый главный Хатырык-Холомолохский (Х-Х), б – установленные по данным бурения и анализу магнитометрии, в – установленные по признакам в керне в кембрийской толще; 8 – цветной рельеф кровли кембрия; 9 – кимберлитовая трубка Сьюльдюкарская

выше проявления Cu-Ni-Co в роговиках кембрия в скв. 164,5-108 очень схожа с оруденением Октябрьского месторождения.

Следует подчеркнуть, что медно-никелевые руды краевых частей Октябрьского месторождения сопровождаются концентрациями цинка [18, 25]. Это же характерно и для Хомустанского рудопоявления и отмеченных выше аномалий ВММ.

Надо указать, что Хомустанское рудопоявление, судя по минеральному составу руд (арсениды никеля и др.) и ассоциации с кальцитом, слагающим жилы и цемент тектонических брекчий карбонатных пород, по-видимому, относится к наиболее поздним гидротермальным концентрациям. Они сформированы в широком ореоле от предполагаемых богатых собственно магматических руд. При этом Хомустанское

рудопоявление находится на площади, где пермотриасовые долериты встречаются в виде эрозионных останцов небольших (в первые км<sup>2</sup>) тел, то есть в районе палеоподнятий, а не в окончании и углублениях «языка» силла, где предполагаются месторождения.

Следует отметить закономерное увеличение содержания типичных для руд Норильского типа аномальных концентраций Cu, Ni, Co и Zn в направлении с юго-запада на северо-восток, по мере приближения к центру Холомолохской интрузии. Так, например, концентрация Ni на протяжении 24 км меняется следующим образом (в %): 0,0148–0,035–0,0998–1,5. То есть имеет место составляющая направленного рудно-геохимического ореола.

Признаком Cu-Ni с платиноидами руд является присутствие золота и платины в аллювии рассматриваемого района, при этом по платине не установлены коренные источники [28].

Таким образом, имеются прямые рудно-геохимические признаки Cu-Ni оруденения, в том числе в краевой части Холомолохской дифференцированной интрузии, где вероятны протяжённые рудовмещающие силлы.

*Перспективные на Cu-Ni оруденение площади в ВММ.* Изложенные данные заставляют ставить вопрос о пересмотре геолого-геофизических данных по Вилуй-Мархинскому междуречью с позиций прогноза медно-никелевых с платиноидами месторождений. По имеющимся материалам наиболее интересной в этом отношении территорией надо считать северо-восточный фланг Сьюльдюкарского кимберлитового поля, где на склоне одноимённого купольного поднятия предполагаются окончания протяжённых, вероятно, рудоносных силлов, ответвляющихся от центра Холомолохской интрузии.

В целом перспективная территория соответствует рангу рудного узла и составляет порядка 50 × 50 км с условным центром у устья р. Хомустан, впадающей в р. Холомолох-Юрях. Она включает Хомустанское рудопоявление и часть Верхне-Сьюльдюкарской поисковой на алмазы площади, где имеется указанная Cu-Ni-Co-Zn аномалия в породах кембрия.

Внутри потенциального рудного узла можно локализовать три площади (рис. 6).

Первая западная перспективная площадь определена предполагаемым протяжённым на юго-запад силлом и его вероятным окончанием. Эта фронтальная часть должна быть в 10–12 км юго-западнее истоков р. Хомустан. В её пределах расположены одноимённое рудопоявление и отмеченная выше Cu-Ni-Co-Zn аномалия.

Судя по структурным картам, один из силлов, отходящих от Холомолохской интрузии, мог продвигаться

и вдоль меридиональной грабен-синклинали и заканчиваться на юге в 10–11 км южнее впадения р. Кюельях в р. Холомолох-Юрях. Это вторая перспективная площадь.

Третья перспективная площадь расположена южнее. Здесь силл предполагается над локальной мульдой, выделенной по стратоизогипсам кембрия [23]. Её центр расположен в 9,5 км на восток-северо-восток от впадения р. Холомолох-Юрях в р. Сордонгнох. Примерно в 10 км юго-западнее условного контура этой площади в долине правого притока р. Аппыча известно проявление меди, цинка и серебра [1].

Нельзя исключать и перспективы северного фланга центральной части Сьюльдюкарского алмазонасного поля, где вскрыты концентрации меди, кобальта, никеля и цинка в сульфидах в пермо-триасовом силле долеритов (скв. 146,5-103). Здесь, судя по геологической позиции, площади на окончании Хатырыкской синклинали, можно ожидать месторождения типа норильских.

Согласно геологической карте масштаба 1 : 200 000 предполагаемые силлы во многом эродированы. Следствием этого могут быть россыпные месторождения платины и палладия. На них косвенно указывают проявления россыпного золота, распространённые вдоль меридиональной полосы с запада, севера и юга от центра Холомолохской интрузии [1]. Известно, что в золотых россыпях долины р. Виллюй имеется платина [5, 20, 21, 28]. В первую очередь надо оценить наличие платиноидов в двух россыпных проявлениях золота, расположенных южнее изгиба р. Холомолох-Юрях и южнее слияния р. Холомолох-Юрях и р. Сордонгнох.

Cu-Ni с EPG оруденение следует ожидать в нижних эндо- и экзоконтактах, углублениях дна приосевой и фронтальной зон предполагаемых силлов. Их предполагаемая протяжённость более 12 км, ширина 2,5 км. Выделенные три площади их вероятного окончания представляются потенциальными рудными полями, занимающими десятки квадратных километров.

Второй возможный перспективный рудный узел может быть в центриклинальном замыкании Сунтарской впадины, поскольку её северо-западный борт захватывают разломы Виллюйско-Мархинской зоны глубокого заложения.

**Заключение.** Представленный материал по геологическому строению и условиям локализации медно-никелевых с платиноидами руд Норильского рудного района и Виллюй-Мархинского междуречья, включающего Ыгыаттинский алмазонасный район, позволяет сделать следующие выводы.

Оба района имеют ряд принципиально схожих элементов геологического строения:

- районы располагаются в области мезозойской тектоно-магматической активизации на краю региональных крупных прогибов;
- месторождения НРР и перспективные площади ВММ локализованы в центриклиналях брахисинклиналей на склонах соответственно Пясинского и Сьюльдюкарского поднятий;
- в обоих районах имеются палеозойские мергельно-сульфатно-карбонатные толщи, перекрытые угленосными карбон-пермскими отложениями;
- аналогом Норильско-Хараелахской рудоносной интрузии НРР в ВММ может быть Холомолохская судьфидоносная интрузия, от которой предполагаются протяжённые «рукава» рудоносных силлов; имеется близость их состава и строения, включая наличие пегматоидов;
- аналогом рудоконтролирующего Норильско-Хараелахского разлома может оказаться Хатырык-Холомолохский разлом, который по данным бурения прослежен на 24 км и является одним из швов кимберлитоконтролирующей Виллюйско-Мархинской зоны глубокого заложения;
- в зоне влияния Хатырык-Холомолохского разлома располагаются концентрационные геохимические аномалии Cu-Ni-Co-Zn и Хомустанское рудопроявление Cu-Ni-Co-Zn с платиной, золотом и серебром, которые следует считать прямыми признаками оруденения норильского типа.

На этом основании выделены перспективные площади на медно-никелевые месторождения норильского типа в ранге потенциального рудного узла и трёх рудных полей. Минерализация с концентрациями Cu, Co, Ni и Zn в скв. 164,5-108 находится в непосредственной близости до сотни метров от предполагаемой рудной залежи.

Возможно оруденение на севере центральной части Сьюльдюкарского поля, где в сульфидах мало-мощного силла долерита установлены аномалии Co-Cu-N-Zn.

Необходимо проверить проявления россыпного золота в долине р. Холомолох-Юрях на платину и палладий.

Рекомендуется провести анализ имеющихся геолого-геофизических материалов по Виллюй-Мархинскому междуречью с целью обоснования постановки поисковых работ, включая бурение, на медно-никелевое с платиноидами оруденение норильского типа.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блажкун Д. В. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Серия Верхневиллюйская (новая серия). Лист Р-50-1. Объяснительная записка. – М.: МФ ВСЕГЕИ, 2013. – 142 с.



2. *Гриненко Л. Н.* Источники серы никеленосных и безрудных интрузий габбро-долеритов на северо-западе Сибирской платформы // Геология рудных месторождений. – 1985. – № 1. – С. 3–15.
3. *Додин Д. А.* Металлогения Таймыро-Норильского региона. – СПб.: Наука, 2002. – 813 с.
4. *Дюжиков О. А., Дистлер В. В., Струнин Б. М.* и др. Геология и рудоносность Норильского района. – М.: Наука, 1988. – 279 с.
5. *Емельянов В. С., Толстов А. В., Борис Е. И.* и др. К вопросу о коренном источнике платины в бассейне среднего течения р. Вилюй // Геологические аспекты минерально-сырьевой базы АК «АЛРОСА»: современное состояние, перспективы, решения: дополнительные материалы по итогам региональной научно-практической конференции «Актуальные проблемы геологической отрасли АК «АЛРОСА» и научно-методическое обеспечение их решений», посвящённой 35-летию ЯГНИГП ЦНИГРИ АК «АЛРОСА». – Мирный, 2003. – С. 331–333.
6. *Звездов В. С.* Механизмы внедрения базитовой магмы в многослойную толщу чехла Восточно-Сибирской платформы и влияние деформационных свойств пород на размещение и морфологию рудоносных трапповых интрузивов (на примере Норильского района) // Отечественная геология. – 2020. – № 4. – С. 47–74.
7. *Игнатов П. А., Колесник А. Ю., Толстов А. В., Мальцев М. В.* Геологические признаки рудовмещающих структур Сьюльдюкарского кимберлитового поля Якутии // Горный журнал. – 2019. – № 10. – С. 67–71.
8. *Коробков И. Г.* Тектоника, палеогеография и базитовый магматизм алмазоносных районов восточного борта Тунгусской синеклизы. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2015. – 353 с.
9. *Криволицкая Н. А.* Эволюция траппового магматизма и Pt-Cu-Ni рудообразование в норильском районе. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. – 64 с.
10. *Кривцов А. И., Кочнев-Первухов В. И., Конкина О. М.* и др. Cu-Ni-МПГ месторождения Норильского типа (серия «Модели месторождений благородных и цветных металлов»). – М.: ЦНИГРИ, 2001. – 180 с.
11. *Критерии* прогнозной оценки территорий на твёрдые полезные ископаемые // под ред. Д. В. Рундквиста. – Л.: Недра, 1986. – 751 с.
12. *Лихачев А. П.* Опоискованность Норильского района и перспективы открытия в нем новых Pt-Cu-Ni месторождений // Отечественная геология. – 2020. – № 2. – С. 3–16.
13. *Лихачев А. П.* Платино-медно-никелевые и платиновые месторождения. – М.: Эслан, 2006. – 496 с.
14. *Лихачев А. П.* Условия образования медно-никелевых месторождений // Советская геология. – 1982. – № 6. – С. 31–46.
15. *Максимкина Л. В.* Структурно-тектоническое строение Сьюльдюкарской площади по сейсмоотражающим горизонтам КВ и К2 м. Эффективность геологоразведочных работ на алмазы: прогнозно-ресурсные, методические, инновационно-технологические пути её повышения. – Мирный: НИГП АО АЛРОСА, 2018. – С. 119–123.
16. *Мальцев М. В.* Критерии локализации и вещественно-индикационные признаки Сьюльдюкарского кимберлитового тела как основа прогнозирования месторождений алмазов в Ыгыаттинском районе (Западная Якутия) // Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Новосибирск: ИГМ СО РАН, 2019. – 24 с.
17. *Масайтис В. Л.* Трапповая формация бассейна р. Вилюй // Петрография Восточной Сибири. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – Т. 1. – С. 208–255.
18. *Мирошникова Л. К.* Геолого-геохимические предпосылки и признаки локализации медно-никелевого с платиноидами оруденения рудно-магматической системы Талнахского рудного узла // Автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. – М.: МГРИ-РГГРУ, 2017. – 52 с.
19. *Налорет А. Дж.* Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометалльных руд. – СПб.: СПбГУ, 2003. – 487 с.
20. *Округин А. В., Костянов А. И., Шевченко С. С., Лазаренков В. Г.* Модельный RE-OS возраст минералов платиновой группы из вилюйских россыпей Востока Сибирской платформы // Доклады Академии наук. – 2006. – Т. 410, № 3. – С. 372–375.
21. *Округин А. В., Якубович О. В., Эрнст Р. И.* и др. Парагенезисы платиновых металлов в россыпях Сибирской платформы, их возраст и связь с крупными изверженными событиями // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-востока России: мат-лы VIII Всеросс. науч.-практ. конф. В 2-х томах. – 2018. – С. 117–121.
22. *Проценко Е. В.* Структурно-тектонические закономерности локализации разноранговых кимберлитовых таксонов в пределах Вилюйско-Мархинской минералогической зоны (Западная Якутия) // Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – М.: ФГБУ ЦНИГРИ, 2020. – 24 с.
23. *Проценко Е. В., Горев Н. И.* Сьюльдюкарское кимберлитовое поле, его границы и перспективы коренной алмазоносности по результатам тектонического анализа. Эффективность геологоразведочных работ на алмазы: прогнозно-ресурсные, методические, инновационно-технологические пути её повышения. – Мирный: НИГП АО АЛРОСА, 2018. – С. 148–151.
24. *Радько В. А.* Фации интрузивного и эффузивного магматизма Норильского района. – СПб.: картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2016. – 226 с.
25. *Рябов В. В., Шевко А. Я., Гора М. П.* Магматические образования Норильского района. В 2-х томах. – Новосибирск: Изд-во «Нонпарель», 2000. – 408 с.
26. *Спирidonov Э. М.* Генетическая модель месторождений Норильского рудного района // Смирновский сборник 2019. – М.: МАКС, 2019. – С. 41–113.
27. *Туганова Е. В.* Дифференцированная интрузия в бассейне р. Холмолох // Материалы ВСЕГЕИ. Нов. серия. – Л.: ВСЕГЕИ, 1959. – Вып. 24. – С. 114–124.
28. *Okrugin A. V., Yakubovich O. V., Ernst R. E., Druzhinina Zh. Yu.* Platinum-bearing placers: mineral associations and their <sup>190</sup>Pt-<sup>4</sup>He and re-os ages, and potential links with large igneous provinces in the Siberian craton // *Int. Economic Geology*. – Society of Economic Geologists. – 2020. – V. 115, No. 8. – P. 1835–1853.



## REFERENCES

1. *Blazhkun D. V.* Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1: 200 000. Seriya Verkhnevilyuyskaya (novaya seriya). List P-50-I. Obyasnitelnaya zapiska [State geological map of the Russian Federation at a scale of 1: 200,000. Verkhnevilyuyskaya series (new series). Sheet P-50-I. Explanatory letter]. Moscow, MF VSEGEI publ., 2013, 142 p. (In Russ.)
2. *Grinenko L. N.* Istochniki sery nikelenostnykh i bezrudnykh intruziy gabbro-doleritov na severo-zapade Sibirskoy platformy [Sources of sulfur in nickel-bearing and barren intrusions of gabbro-dolerites in the northwest of the Siberian platform]. Geologiya rudnykh mestorozhdeniy, 1985, No. 1, P. 3–15. (In Russ.)
3. *Dodin D. A.* Metallogeniya Taymyr-Noril'skogo regiona [Metallogeny of the Taimyr-Noril'sk region]. St. Petersburg, Nauka publ., 2002, 813 p. (In Russ.)
4. *Dyuzhikov O. A., Distler V. V., Strunin B. M.* et al. Geologiya i rudonosnost Noril'skogo rayona [Geology and ore content of the Noril'sk region]. Moscow, Nauka publ., 1988, 279 p. (In Russ.)
5. *Yemelyanov V. S., Tolstov A. V., Boris Ye. I.* et al. K voprosu o korennom istochnike platiny v bassejne srednego techeniya r. Vilyuy [To the question of the primary source of platinum in the basin of the middle reaches of the river Vilyuy]. Geologicheskiye aspekty mineralno-syryevoy bazy AK "ALROSA": sovremennoye sostoyaniye, perspektivy, resheniya. Dop. M-ly po itogam region. Nauch.-prakt. Konf. "Aktualnyye problemy geologicheskoy otrasli AK "ALROSA" i nauchno-metodicheskoye obespecheniye ikh resheniy", posv. 35-let. YAGNIGP TSNIGRI AK "ALROSA", 2003, P. 331–333. (In Russ.)
6. *Zvezdov V. S.* Mekhanizmy vnedreniya bazitovoy magmy v mnogoslouynuyu tolshchu chekhla Vostochno-Sibirskoy platformy i vliyaniye deformatsionnykh svoystv porod na razmeshcheniye i morfologiyu rudonosnykh trappovykh intruzivov (na primere Noril'skogo rayona) [Mechanisms of intrusion of basic magma into the multilayer strata of the cover of the East Siberian platform and the influence of deformation properties of rocks on the location and morphology of ore-bearing trap intrusions (by the example of the Noril'sk region)]. Otechestvennaya geologiya, 2020, No. 4, P. 47–74. (In Russ.)
7. *Ignatov P. A., Kolesnik A. Yu., Tolstov A. V., Maltsev M. V.* Geologicheskiye priznaki rudovmeshchayushchikh struktur Syuldyukarskogo kimberlitovogo polya Yakutii [Geological features of ore-bearing structures of the Syuldyukar kimberlite field in Yakutia]. Gornyy zhurnal, 2019, No. 10, P. 67–71. (In Russ.)
8. *Korobkov I. G.* Tektonika, paleogeografiya i bazitovyy magmatizm almazonosnykh rayonov vostochnogo borta Tunguskoy sineklizy [Tectonics, paleogeography and basic magmatism of diamondiferous regions of the eastern flank of the Tunguska syncline]. Irkutsk, IZK SO RAN, 2015, 353 p. (In Russ.)
9. *Krivolutskaya N. A.* Evolyutsiya trappovogo magmatizma i Pt-Cu-Ni rudoobrazovaniye v Noril'skom rayone [Evolution of trap magmatism and Pt-Cu-Ni ore formation in the Noril'sk region]. Moscow, Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK publ., 2014, 64 p. (In Russ.)
10. *Krivtsov A. I., Kochnev-Pervukhov V. I., Konkina O. M.* et al. Cu-Ni-MPG mestorozhdeniya Noril'skogo tipa (seriya "Modeli mestorozhdeniy blagorodnykh i tsvetnykh metallov") [Cu-Ni-PGM deposits of the Noril'sk type (series "Models of deposits of noble and non-ferrous metals")]. Moscow, TSNIGRI publ., 2001, 180 p. (In Russ.)
11. *Kriterii prognoznoy otsenki territoriy na tverdyye poleznyye iskopayemye* [Criteria for predictive assessment of territories for solid minerals]. Pod red. D. V. Rundkvista, Leningrad, Nedra publ., 1986, 751 p. (In Russ.)
12. *Likhachev A. P.* Opoiskovannost Noril'skogo rayona i perspektivy otkrytiya v nem novykh Pt-Cu-Ni mestorozhdeniy [Prospecting of the Noril'sk region and the prospects for the discovery of new Pt-Cu-Ni deposits in it]. Otechestvennaya geologiya, 2020, No. 2, P. 3–16. (In Russ.)
13. *Likhachev A. P.* Platino-medno-nikelevyye i platinovyye mestorozhdeniya [Platinum-copper-nickel and platinum deposits]. Moscow, Eslan publ., 2006, 496 p. (In Russ.)
14. *Likhachev A. P.* Usloviya obrazovaniya medno-nikelevykh mestorozhdeniy [Formation conditions of copper-nickel deposits]. Sovetskaya Geologiya, 1982, No. 6, P. 31–46. (In Russ.)
15. *Maksimkina L. V.* Strukturno-tektonicheskoye stroyeniye Syuldyukarskoy ploshchadi po seismootrazhayushchim gorizontam KV i K2m. Effektivnost geologorazvedochnykh rabot na almazy: prognozno-resursnyye, metodicheskkiye, innovatsionno-tekhnologicheskkiye puti yeye povysheniya [Structural-tectonic structure of the Syuldyukarskaya area along the seismic-reflecting horizons KV and K2m. The efficiency of geological exploration for diamonds: predictive resource, methodological, innovative and technological ways to improve it]. Mirnyy, NIGP AO ALROSA, 2018, P. 119–123. (In Russ.)
16. *Maltsev M. V.* Kriterii lokalizatsii i veshchestvenno-indikatornyye priznaki Syuldyukarskogo kimberlitovogo tela kak osnova prognozirovaniya mestorozhdeniy almazov v Ygyattinskom rayone (Zapadnaya Yakutiya) [Criteria for localization and material-indicator signs of the Syuldyukar kimberlite body as the basis for forecasting diamond deposits in the Ygyattinsky region (Western Yakutia)]. Avtoreferat. dis. ... kand. geol.-mineral. nauk, Novosibirsk, IGM SO RAN publ., 2019, 24 p. (In Russ.)
17. *Masaytis V. L.* Trappovaya formatsiya basseyna river Vilyuy [Trap formation of the basin]. Petrografiya Vostochnoy Sibiri. Moscow, AN SSSR publ., 1962, V. 1, P. 208–255. (In Russ.)
18. *Miroshnikova L. K.* Geologo-geokhimicheskkiye predposylki i priznaki lokalizatsii medno-nikelevogo s platino-idami orudneniya rudno-magmaticheskoy sistemy Talnakhskogo rudnogo uzla [Geological and geochemical prerequisites and signs of localization of copper-nickel with platinum mineralization of the ore-magmatic system of the Talnakh ore cluster]. Avtoreferat. dis. ... d-ra geol.-mineral. nauk. Moscow, MGRI-RGGRU publ., 2017, 52 p. (In Russ.)
19. *Naldret A. Dzh.* Magmaticheskkiye sulfidnyye mestorozhdeniya medno-nikelevykh i platinometallicheskikh rud [Magmatic sulfide deposits of copper-nickel and platinum-metal ores]. SPbGU, 2003, P. 37–43. (In Russ.)

20. *Okrugin A. V., Kostoyanov A. I., Shevchenko S. S., Lazarenkov V. G.* Modelnyy RE-OS vozrast mineralov platinovoy gruppy iz vilyuyskikh rossypey Vostoka Sibirskoy platformy [Model RE-OS age of platinum group minerals from the Vilyui placers of the East of the Siberian platform]. *Doklady Akademii nauk*, 2006, V. 410, No. 3, P. 372–375. (In Russ.)
21. *Okrugin A. V., Yakubovich O. V., Ernst R. I.* et al. Paragenезisy platinovykh metallov v rossypyakh Sibirskoy platformy, ikh vozrast i svyaz s krupnymi izverzhennymi sobyitiyami [Parageneses of platinum metals in the placers of the Siberian platform, their age and connection with major igneous event]. *Geologiya i mineralno-syryevyye resursy Severo-vostoka Rossii. Mat-ly VIII Vseross. Nauch.-prakt. konf.*, 2018, P. 117–121. (In Russ.)
22. *Protsenko Ye. V.* Strukturno-tektonicheskiye zakonomernosti lokalizatsii raznorangovykh kimberlitovykh taksonov v predelakh Vilyuysko-Markhinskoy mineragenicheskoy zony (Zapadnaya Yakutiya) [Structural-tectonic patterns of localization of different-rank kimberlite taxa within the Vilyui-Markha mineragenic zone (Western Yakutia)]. *Avtoreferat. dis. ... kand. geol.-mineral. nauk. Moscow, FGBU TSNIGRI publ.*, 2020, 24 p. (In Russ.)
23. *Protsenko Ye. V., Gorev N. I.* Syuldyukarskoye kimberlitovoye pole, yego granitsy i perspektivy korennoy almazonosnosti po rezultatam tektonicheskogo analiza. *Effektivnost geologorazvedochnykh работ na almazy: prognozno-resursnyye, metodicheskiye, innovatsionno-tekhnologicheskiye puti yeye povysheniya* [The efficiency of geological exploration for diamonds: predictive resource, methodological, innovative and technological ways to improve it]. *Mirnyy, NIGP AO ALROSA publ.*, 2018, P. 148–151. (In Russ.)
24. *Radko V. A.* Fatsii intruzivnogo i effuzivnogo magmatizma Noril'skogo rayona [Facies of intrusive and effusive magmatism of the Norilsk region]. *St. Petersburg, Karto-graficheskaya fabrika VSEGEI publ.*, 2016, 226 p. (In Russ.)
25. *Ryabov V. V., Shevko A. Ya., Gora M. P.* Magmaticheskiye obrazovaniya Noril'skogo rayona [Magmatic formations of the Norilsk region]. *Novosibirsk, Nonparel publ.*, 2000, 408 p. (In Russ.)
26. *Spiridonov E. M.* Geneticheskaya model mestorozhdeniy Noril'skogo rudnogo rayona [Genetic model of deposits of the Norilsk ore region]. *Smirnovskiy sbornik 2019, Moscow, MAKS*, 2019, P. 41–113. (In Russ.)
27. *Tuganova Ye. V.* Differentsirovannaya intruziya v basseynе river Kholomolokh [Differentiated intrusion in the basin of the river. Holomolokh]. *Materialy VSEGEI, Nov. seriya. Leningrad, VSEGEI publ.*, 1959, Is. 24, P. 114–124. (In Russ.)
28. *Okrugin A. V., Yakubovich O. V., Ernst R. E., Druzhinina Zh. Yu.* Platinum-bearing placers: mineral associations and their  $^{190}\text{Pt}$ - $^4\text{He}$  and re-os ages, and potential links with large igneous provinces in the Siberian craton. 2020 *Society of Economic Geologists Inc. Economic Geology*, V. 115, No. 8, P. 1835–1853.

## Погребённые железомарганцевые конкреции дна Мирового океана

Формация железомарганцевых конкреций океанского дна является продуктом мезокайнозойской глобальной эпохи накопления железомарганцевых оксидных руд. Погребённые конкреции формировались в позднем палеоцене–эоцене, конце позднего мела, сеномане.

*Ключевые слова:* железомарганцевые конкреции, мезокайнозойская эпоха накопления оксидных руд, погребённые конкреции.

АВДОНИН ВИКТОР ВАСИЛЬЕВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, профессор, vvavdonin@mail.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова»

## Buried Fe-Mn nodules on the World ocean floor

V. V. AVDONIN

M. V. Lomonosov Moscow State University

Ocean floor Fe-Mn nodule sequence is a product of Mesozoic-Cenozoic global epoch of Fe-Mn oxide ore accumulation. Buried nodules formed in Late Paleocene-Eocene, Late Cretaceous, Cenomanian.

*Key words:* Fe-Mn nodules, Mesozoic-Cenozoic epoch of oxide ore accumulation, buried nodules.

Оксидные железомарганцевые руды представлены двумя формациями – формацией железомарганцевых конкреций (ЖМК) океанского дна (онколиты) и формацией кобальтоносных железомарганцевых корок (строматолиты).

Образование оксидных руд совпадает с формированием современной структуры Мирового океана. Интенсивное развитие базальтового магматизма определило начало мезокайнозойской глобальной эпохи накопления железомарганцевых руд (Авдонин В. В., Еремин Н. И., Мельников М. Е., Сергеева Н. Е., 2013).

Железомарганцевые строматолиты возникли, предположительно, вследствие геологических событий эпохи «Великого мезозойского вымирания» и получили широкое распространение в виде корковых покровов на подводных горах. Корковые слои сложены чередованием бактериальных матов. Каждый слой характеризуется индивидуальными ассоциациями микротекстурных форм. Эволюция микротекстурных элементов, основой которых служат столбчатые индивиды, является следствием изменчивости организмов – строителей строматолитов под влиянием разнообразных геологических факторов. Последовательность слоёв отражает эволюцию процессов рудообразования.

Погребённые конкреции – особая группа конкреционных образований. Это сферические, эллипсо-

идальные индивиды, ядра которых представлены обломками различных пород: базальтов, вулканических брекчий, известняков и др. Оболочки – строматолитовые корковые слои. Размеры конкреционных образований от 1 до 8 см, толщина рудной оболочки 2,5–3 см.

В глинистых, кремнисто-глинистых, карбонатно-глинистых четвертичных осадках, подстилающих поля абиссальных ЖМК Тихого океана, встречаются как единичные конкреции, так и горизонты погребённых конкреций. В ядрах скважин глубоководного бурения конкреции весьма часто встречаются в отложениях позднего мела, эоцена, миоцена и плейстоцена как в пределах глубоководных котловин, так и подводных гор и поднятий.

Чаще горизонты погребённых конкреций в литифицированных породах встречаются на подводных горах.

Конкреции располагаются или в виде хорошо выраженных слоёв на одном уровне, или относительно свободно, без очевидной закономерности. Их размеры изменяются от 1 до 8, а иногда и до 12 см. Преобладают сферический или эллипсоидальный морфотипы. Состав ядер весьма разнообразен – базальты, известняки, вулканокластиты, эдафогенные брекчии. Ядра занимают до 30% площади центрального среза конкреции. Толщина рудной оболочки достигает 2,5–3 см.

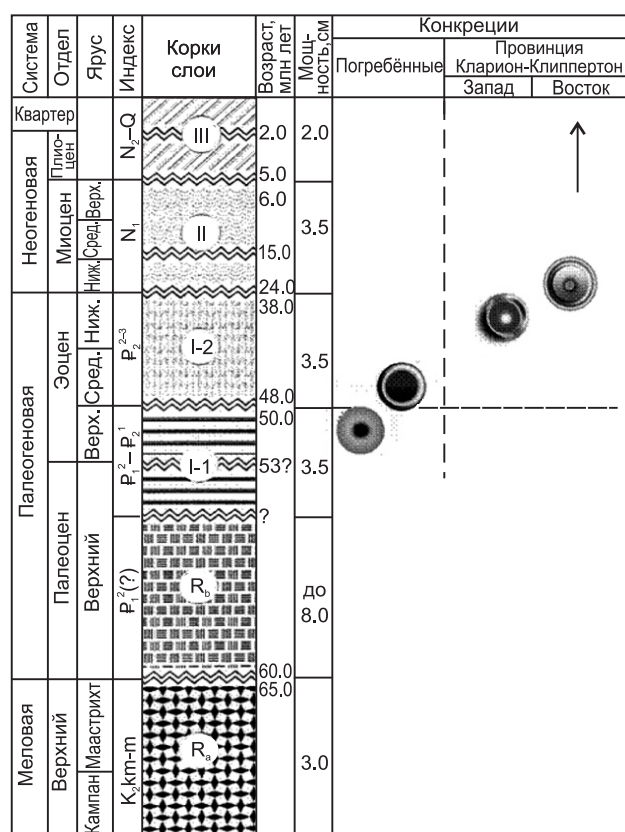


Рис. 1. Схема эволюции от погребённых конкреций через промежуточные к современным

В результате многолетних исследований М.Е. Мельников пришёл к выводу о том, что широко распространённые на гайтах Магеллановых гор погребённые конкреции и их горизонты наблюдаются обычно на периферии вершинных поверхностей гайотов, на гребневых поверхностях отрогов, в седловинах, то есть на участках, где наиболее вероятна частая смена гидро- и литодинамических условий рудоотложения, которая, очевидно, и является причиной образования подобных горизонтов и перекрытия их железомарганцевыми корками. Горизонты погребённых конкреций формировались в позднем палеоцене–эоцене, конце позднего мела, сеномане (рис. 1).

Признаки продолжения роста конкреций после погребения наблюдаются в самой внешней их зоне. Даже при визуальном наблюдении отчётливо видны крупные столбчатые выросты с поверхности конкреций в цементирующую массу (рис. 2).

Иногда рост погребённых конкреций продолжается достаточно интенсивно, и они успевают образовать фестончатой каймой. По мере затухания роста на кайме образуются одиночные почковидные выросты. Рост конкреций после погребения происхо-

дит только в нелитифицированном осадке. Об этом наглядно свидетельствуют признаки структуризации вмещающего осадка.

После погребения конкреции могут разрушаться, консервироваться и даже продолжать рост. В восстановительных условиях происходит растворение конкреций, в окислительных наблюдаются признаки продолжения их роста.

По нашим наблюдениям, рост конкреций после их захоронения в подавляющем большинстве случаев продолжается в течение некоторого времени.

Самые древние из погребённых конкреций отнесены к протоонколитам. Главная особенность погребённых конкреций заключается в том, что наблюдаются отчётливые признаки продолжения роста их после погребения.



Рис. 2. Лапчатый выступ погребённой конкреции с признаками роста после погребения

**Выводы.** Железомарганцевые конкреции дна Мирового океана – одна из основных формаций оксидных руд (наряду с формацией железомарганцевых корок подводных поднятий). ЖМК возникли после крупного олигоценевого вымирания и широко распространились в пределах абиссальных котловин.

Обнаружение и изучение погребённых конкреций имеют важное значение для понимания этапов эволюции конкреционных образований, для выяснения времени и форм зарождения онколитов. Это один из основных этапов эволюции структурных форм бактериальных сообществ.



## 80-летие Леонида Павловича Антоновича



Председатель Президиума ООО «Ветеран-геологоразведчик», Заслуженный геолог Российской Федерации Леонид Павлович Антонович 10 октября 2021 года отметил 80-летний юбилей.

За плечами Леонида Павловича яркая, полная замечательных событий жизнь. Он принимал участие в открытии месторождений алмазов, золота, угля, железных руд, апатита. Леонид Павлович Антонович – крупный специалист в сфере проведения геологоразведочных работ и великолепный организатор, обладающий уникальным опытом работы с людьми.

Возглавляя Президиум Общероссийской общественной организации «Ветеран-геологоразведчик», Леонид Павлович всемерно содействует работе региональных ветеранских организаций геологоразведочной отрасли России, с большим вниманием относится к задаче социальной и моральной поддержки ветеранов-геологоразведчиков нашей страны.

Леонид Павлович Антонович принадлежит к поколению, на долю которого выпали тяжёлые испытания в детские годы. Его отец, имея бронь как многодетный родитель (Леонид Павлович восьмой ребёнок в семье), ушёл добровольцем на фронт и погиб, защищая Ленинград от налёта фашистских бомбардировщиков. Мама в условиях крайнего севера вырастила детей, из которых шестеро получили высшее и среднее специальное образование. Памяти родителей Павла Григорьевича и Прасковьи Семёновны Леонид Павлович посвятил свой очерк в книге «Геологи –

дети войны». Желая как можно быстрее помочь семье, он в 15 лет поступил в Алданский горный техникум. Так начался путь Леонида Павловича в геологии.

Целеустремлённость юного ученика горного техникума, профессионализм преподавателей, три сложнейшие производственные практики в шахтах Западной Сибири помогли Леониду Антоновичу к окончанию техникума получить очень хорошие знания и навыки практической работы. А ещё он завершил первый этап обучения с удостоверениями бурильщика, проходчика подземных горных выработок, машиниста электровоза и породопогрузочной машины! И эти документы очень пригодились в последующей работе.

По распределению, состоявшемуся в 1960 году, молодой техник Леонид Антонович с женой Валентиной попал в Аллах-Юньскую экспедицию Якутского геологического управления, где на разведке Буларского золоторудного месторождения вначале трудился проходчиком, а через три месяца стал горным мастером. Приступив к работе на слюдяном руднике Эмельджак, Леонид Павлович проявил себя как прекрасный специалист и организатор: через пять лет он уже был начальником участка эксплуатационной разведки со штатом 460 человек.

В 1965 году Леонид Павлович Антонович стал студентом Якутского государственного университета и почти одновременно приступил к работе в Якутском ПГО – самом крупном в стране не только по территории (3,1 млн км<sup>2</sup>) и численности работников (около 30 тыс.), но и по выполняемым ежегодно физическим объёмам геологоразведочных работ. В этой мощной организации Леонид Павлович прошёл путь от инженера до заместителя генерального директора. В 1992 году, в период смены общественных формаций в нашей стране, он создал и возглавлял государственное предприятие Республики Саха (Якутия) «Якутгеолснаб», в последующем – ОАО «Геотекс», администрация которого ежеквартально индексировала и своевременно выплачивала работникам зарплату.

В 1996–1998 гг. Л. П. Антонович возглавлял Управление экономики и инвестиций Министерства промышленности Республики Саха (Якутия). Затем он занял должность заместителя Генерального директора по производству ЗАО «Якутстройматериалы» и в дополнение к основной продукции организовал выпуск изделий из камнесамоцветного сырья. В 2001 году в Париже эти произведения были удостоены международного приза Европы «За качество». Леониду

Павловичу Антоновичу вручили почётный золотой нагрудный знак.

В 2003 году в жизни Леонида Павловича начался этап работы в Москве. Вплоть до 2012 г. он был руководителем проекта, главным инженером–заместителем генерального директора ОАО «Первая горно-рудная компания», участвуя в разведке месторождений Сардана в Якутии и Павловского на архипелаге Новая Земля, а затем (2012–2015 гг.) Леонид Павлович Антонович стал советником генерального директора ОАО «Росгеология». Именно в начале 2000-х гг. в Москве он стал активным участником ветеранского движения геологов России – после избрания в 2004 г. председателем Совета ветеранов региональной общественной организации ПГО «Якутскгеология» и заместителем председателя Президиума Общероссийской общественной организации (ООО) «Ветеран-геологоразведчик».

В 2010 году Леонид Павлович Антонович был избран Председателем Президиума ООО «Ветеран-геологоразведчик», в составе которой в то время работали межрегиональные (Московская, Санкт-Петербургская и Ярославская) и 56 региональных организаций, объединяющих в краях, областях и Республиках РФ свыше 40 тысяч ветеранов (пенсионеров) геологической отрасли в первичных ячейках на предприятиях геологического профиля. Леонид Павлович принял ответственный пост от видного геолога и общественного деятеля Владимира Борисовича Мазура.

За время работы Леонида Павловича Антоновича Председателем Президиума ООО «Ветеран-геологоразведчик» успешно реализованы две пятилетние программы организации, одобренные Федеральным агентством «Роснедра», выполняется третья, намеченная на 2021–2025 гг.

Большую работу проводят Президиум ООО «Ветеран-геологоразведчик» и лично Леонид Павлович

Антонович, выпуская книги серии «Жизнь замечательных людей. Геологи». Изданные под эгидой ООО «Росгеология» 25 томов сборника «Геология – жизнь моя» на 90% написаны ветеранами-геологоразведчиками.

Особое направление работы Президиума ООО «Ветеран-геологоразведчик» и объект большой заботы Леонида Павловича Антоновича – детско-юношеское геологическое движение. Совместно с активистами Советов ветеранов межрегиональных, региональных и первичных геологических организаций Леонид Павлович и члены Президиума участвуют в подготовке команд и проведении полевых олимпиад ДЮГД, составляют минералогические коллекции и передают их в школы и геологические кружки, проводят с ребятами занятия.

И, конечно, сын героя Великой Отечественной войны Леонид Павлович Антонович вместе с членами Президиума ООО «Ветеран-геологоразведчик», председателями и ветеранами региональных организаций и геологических предприятий участвует в создании и пополнении галереи Бессмертного полка, обновлении и открытии мемориалов, аллеи памяти, делает всё возможное для патриотического воспитания новых поколений.

Плодотворный труд Леонида Павловича Антоновича высоко оценён Родиной: юбиляр удостоен звания Заслуженного работника народного хозяйства Республики Саха (Якутия), награждён орденом «Знак Почёта», медалями «Ветеран труда», «За строительство БАМ», «100 лет геологической службы», серебряной и бронзовой медалями ВДНХ СССР, нагрудными знаками «Отличник разведки недр», «Почётный разведчик недр», «300 лет геологической службы России».

Мы сердечно поздравляем Леонида Павловича с замечательной датой и желаем крепкого здоровья, счастья, успеха в его благородной работе!

*Редколлегия журнала*

## 80-летие Виктора Дмитриевича Конкина



Известный специалист в области металлогении и геологии месторождений цветных и благородных металлов, ведущий научный сотрудник ЦНИГРИ, доктор геолого-минералогических наук Виктор Дмитриевич Конкин 1 сентября 2021 года отметил 80-летний юбилей.

Виктор Дмитриевич в течение многих лет работал в Карелии, Северном Прибайкалье, Джунгарском Алатау, на Енисейском кряже, в Приморском крае, Бодайбинском районе, Юго-Восточной Якутии; выезжал в качестве эксперта в зарубежные страны. Его исследования посвящены изучению месторождений полиметаллических и золотых руд, разработке критериев и признаков, прогнозирования, выявления и оконтуривания рудных объектов. Выпускник геологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова Виктор Дмитриевич Конкин с 1972 года трудится в Центральном научно-исследовательском геологоразведочном институте цветных металлов и золота, пройдя путь

от младшего научного сотрудника до заведующего лабораторией.

Виктор Дмитриевич Конкин участвовал в составлении средне- и крупномасштабных карт прогноза с выделением перспективных площадей и определением направлений поисковых работ в изученных им районах; его рекомендации используют специалисты Иркутской области, Республики Бурятия, Красноярского края, решая поисковые задачи.

По материалам многолетних исследований Виктор Дмитриевич Конкин защитил кандидатскую и докторскую диссертации. Результаты проведённых им изысканий стали основой разработки важных для геологов-практиков методических рекомендаций по прогнозу и поискам колчеданно-полиметаллических месторождений на территории РФ в различных разновозрастных комплексах, созданы прогнозно-поисковые модели таких месторождений.

Виктор Дмитриевич Конкин – знаток рудной геологии многих регионов нашей страны, автор более 150 научных публикаций, в том числе 10 монографий. В последние годы Виктор Дмитриевич в качестве эксперта осуществляет научно-методическое сопровождение ГРР на золото, выполняемых за счёт федерального бюджета в Сибирском регионе. К нему обращаются за консультациями сибирские геологи, используя для решения возникших вопросов его эрудицию и опыт.

Труд Виктора Дмитриевича Конкина высоко оценён: он удостоен почётных званий Отличник разведки недр, Почётный разведчик недр, за участие в разведке крупнейшего Холоднинского полиметаллического месторождения награждён медалью «За доблестный труд».

Поздравляем Виктора Дмитриевича с юбилеем, желаем здоровья и успехов в любимой работе!

*Редколлегия*

## 80-летие Александра Александровича Кременецкого



Крупный учёный в области геологии и геохимии, доктор геолого-минералогических наук, профессор Александр Александрович Кременецкий 16 ноября 2021 года отметил 80-летний юбилей.

Александр Александрович родился 16 ноября 1941 г. в Махачкале. После окончания в 1959 г. средней школы он поступил в Крымский педагогический институт (ныне Таврический университет) на химико-биологический факультет. В 1961 г. А. А. Кременецкий перевёлся на геологический факультет в Воронежский государственный университет, который окончил в 1966 г. по специальности геология и разведка месторождений полезных ископаемых, получив при этом квалификацию «инженера-геолога-разведчика».

С 1966 г. по настоящее время А. А. Кременецкий работает в Институте минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ РАН и МПР РФ).

В 1966–1969 гг. Александр Александрович обучался в очной аспирантуре института, а в середине 1970-х годов защитил диссертацию на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук. Темой работы было изучение «Метаморфизма основных пород докембрия и некоторые вопросы генезиса амфиболитов на примере обрамления Пенченгской структуры».

Круг научных интересов Александра Александровича очень широк: генезис рудных месторождений, петролого-геохимическое изучение редких элементов в процессах поро- и рудообразования, геохимические поиски рудных месторождений. Значительное место в его научной деятельности занимают выявление и изучение новых нетрадиционных геолого-промышленных типов редкометалльных месторождений: цезий-биотитовых околопегматитовых метасоматитов, цезиеносных вулканических стёкол, литиеносных флюорит-полилитонитовых метасоматитов, аутигенных европиеносных монацитов, рениеносных вулканических газов. В 1999–2002 гг. под его руководством разработана и апробирована новая технология получения рения из высокотемпературных вулканических газов, не имеющая аналогов в мире.

А. А. Кременецкий является одним из создателей и ведущим исполнителем нового научного направления – геолого-геохимического изучения глубинных зон коры с помощью сверхглубокого бурения, которое позволило выявить и изучить ряд малоизвестных или неизвестных ранее явлений и закономерностей формирования и локализации рудного и углеводородного сырья: метаморфогенно-водородное разуплотнение глубинных горизонтов коры, пирит-пирротинное превращение в черносланцевых толщах как эффективный источник серы и механизм локализации золотого оруденения.

Значительное место в научной деятельности Кременецкого А. А. занимают проблемы генезиса и условий формирования гигантских золоторудных месторождений, локализованных в терригенных и черносланцевых толщах (Мурунтау, Узбекистан; Витватерсранд, Южная Африка; Пиббл, Северная Америка и др.).

Александр Александрович также занимался геолого-геохимическим изучением разрезов глубоких и сверхглубоких скважин (Кольской, Саатлинской, Мурунтауской, Кубанской, Тюменской, Криворожской, Тырнаузской, Уральской). В 1992 г. он защитил докторскую диссертацию «Метаморфизм и рудообразование в глубинных зонах земной коры (по данным глубоких и сверхглубоких скважин)».

А. А. Кременецкий был ответственным исполнителем и возглавлял международные проекты INTAS и IAGOD («Рудоносные граниты России и сопредельных стран», «Эколого-геохимические исследования рудных районов»), осуществлял научно-техническое сотрудничество с учёными Испании, Англии, Германии, Франции, Австралии, Южной Африки,



Индонезии, Узбекистана, Казахстана, Белоруссии, Украины.

В 2001–2014 гг. А. А. Кременецкий – директор Института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ МПР РФ). А в настоящее время, являясь научным руководителем ИМГРЭ и обладая колоссальным опытом исследовательской и административной работы, А. А. Кременецкий возглавляет проект по геолого-геохимическому и изотопно-геохронологическому изучению пород дна Северного Ледовитого океана, руководит проектом по дополнению сводной геолого-картографической основы недр России и её континентального шельфа геохимическими картами по территории российского сектора Арктики и прилегающих территорий.

А. А. Кременецким опубликовано более 250 научных работ, в том числе 10 монографий, защищено 17 авторских свидетельств и патентов на изобретения. Александр Александрович является автором ряда научно-популярных и художественных книг – «Арктида», «Адские жаровни», «ВГУ – моя альма-матер» и других.

Александр Александрович член редколлегии геологических журналов «Отечественная геология»,

«Разведка и охрана недр», «Геология и охрана недр Республики Казахстан» и др.

Он участник нескольких Международных геологических конгрессов, многих научных форумов.

А. А. Кременецкий «Заслуженный деятель науки Российской Федерации», «Почётный разведчик недр», «Заслуженный геолог Российской Федерации»; он награждён орденом Дружбы, знаком «Отличник разведки недр», знаком «Первооткрыватель месторождения», медалью «В память 850-летия Москвы», медалью «За возвращение Крыма», медалью «300 лет Российскому флоту», знаком «300 лет горно-геологической службе России», лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники за участие в разработке и создании «Российской геологической энциклопедии», лауреат премии имени А. В. Сидоренко «За лучшую популяризацию профессии геолога».

Дирекция, сотрудники Института и друзья поздравляют Александра Александровича Кременецкого с юбилеем, желают крепкого здоровья, успехов, новых открытий и интересной, увлекательной работы!

*Редколлегия*

## 80-летие Виктора Петровича Филиппова



Известный исследователь месторождений золота, кандидат геолого-минералогических наук, ветеран ЦНИГРИ Виктор Петрович Филиппов отметил 80-летний юбилей.

Виктор Петрович трудился в ЦНИГРИ на протяжении полувека, и с его именем связаны важные страницы изучения экзогенной золотоносности и выявления коренных источников золота. После окончания МГРИ он начал работать в Берелехской геологоразведочной экспедиции, сотрудничал с прекрасными магаданскими геологами. Затем принимал участие в поисках россыпных месторождений золота в Афганистане. И, придя в ЦНИГРИ в 1974 году совсем молодым геологом, он уже обладал глубокими знаниями и кругозором в интереснейшей области исследований, которой посвятил потом несколько десятилетий.

В. П. Филиппову удалось собрать и проанализировать весьма значительные материалы для определения перспектив россыпной и коренной золотоносности центральных районов Магаданской области; он принял участие в открытии нового рудопроявления Глухариное в пределах Наталкинского рудного поля. И в 1987 году за работу «Типы коренных источников россыпей золота и их прогнозно-поисковое значение (юго-восточная часть Яно-Колымского

пояса)» В. П. Филиппову была присвоена учёная степень кандидата геолого-минералогических наук.

Затем вместе с коллегами Виктор Петрович готовил комплект карт и пояснительную записку «Экзогенная золотоносность и платиноносность Российской Федерации», удостоенные в 2001 г. премии Правительства РФ. В рамках исследований по оценке золотоносности терригенных и черносланцевых толщ руководил составлением карт экзогенной золотоносности Магаданской области, Республики Саха (Якутия), Чукотского АО. Благодаря его работе заполнены многие пробелы в научных представлениях о связи коренных источников и россыпей, выявлен ряд закономерностей пространственного размещения россыпеобразующих формаций Магаданской области, Хабаровского края и Приморья, Таймыра, Урала, Бурятии, Кемеровской области, других регионов России.

Важным этапом исследований В. П. Филиппова стала оценка золотоносности мезо-кайнозойского чехла платформенных областей Русской платформы. Под его руководством в ряде областей центральных районов России выделены перспективные площади на аллювиальные россыпи и золотосодержащее песчано-гравийное сырьё, в котором было найдено самородное золото.

Виктор Петрович Филиппов – один из лучших экспертов в своей сфере, значителен его вклад в научно-методическое сопровождение работ на объектах рудного и россыпного золота Таймырского АО, Хабаровского края, Республики Саха (Якутия), Забайкальского края, Иркутской, Амурской, Пермской областей, Центрального и Северо-Западного федеральных округов. Его знания и опыт были востребованы при оценке ресурсного потенциала цветных и благородных металлов в восточных районах Северного, Приполярного и Полярного Урала.

Как руководитель Виктор Петрович всегда умел создать в коллективе благоприятный климат. Его доброжелательность, замечательное знание людей, чудесное чувство юмора помогали решать поставленные задачи.

Мы желаем Виктору Петровичу крепкого здоровья и успехов во всех делах!

*Редколлегия*

## 75-летие Николая Петровича Похиленко



Академик РАН, доктор геолого-минералогических наук, профессор, крупный специалист в области минералогии и геохимии литосферной мантии, геологии алмазных месторождений, методов их прогнозирования и поисков Николай Петрович Похиленко 7 октября 2021 года отметил своё 75-летие.

Н. П. Похиленко родился 7 октября 1946 г. в селе Мамонтово Поспелихинского района Алтайского края. В 1965 г. он поступил на геолого-геофизический факультет недавно созданного Новосибирского государственного университета. Уже в 1968 г. Н. П. Похиленко пригласили на работу в Институт геологии и геофизики СОАН СССР в состав исследовательской группы Н. В. Соболева, занимающегося минералогией алмазов. Он же стал научным руководителем студента. Первые научные публикации позволили Н. П. Похиленко быть избранным в 1973 г. на должность младшего научного сотрудника. Кандидатскую диссертацию Николай Петрович защитил в 1974 г., а уже в 1977 г. вступил в должность старшего научного сотрудника. В мае 1985 г. он возглавил вновь созданную в ИГиГ СО АН СССР лабо-

раторию методов поисков алмазных месторождений, а в 1990 г. защитил диссертацию и получил степень доктора геолого-минералогических наук.

Н. П. Похиленко добился высоких научных результатов мирового класса, к которым относятся выяснение эволюции глубинных зон литосферы древних платформ и образовании алмазоносных перидотитов верхней мантии. В частности, им было показано, что резкое увеличение мощности литосферы Сибирской платформы и Капваальского кратона (от 50 км до как минимум 150 км) произошло в среднем архее. Проведённые им комплексные исследования строения кратона Слейв впервые показали наличие блоков со сверхмощной литосферой (> 300 км) в пределах древних кратонов. Большой резонанс вызвали полученные Н. П. Похиленко результаты комплексного изучения уникальной коллекции алмазоносных мантийных перидотитов, позволившие по-новому взглянуть на проблему происхождения природных алмазов. Кроме того, научной общественности широко известны результаты исследования состава, строения и происхождения литосферной мантии Сибирской платформы, которые Николай Петрович получил совместно с выдающимся американским петрологом Ф. Р. Бойдом во время работы в Геофизической лаборатории Института Карнеги. Н. П. Похиленко первым показал масштаб и характер воздействия Сибирского суперплюма на строение и состав литосферной мантии платформы и обосновал определяющее значение характера и интенсивности мантийных метасоматических процессов на уровень алмазоносности разновозрастных кимберлитов Сибирской платформы.

В период с 2007 по 2012 гг. он руководил крупными проектами ревизионно-оценочного характера на территории Сибирской платформы в рамках государственных контрактов с Минприроды РФ и федеральным агентством по недропользованию – Роснедра. Эти исследования позволили обосновать в регионе новые прогнозные ресурсы алмазов в 145 млн карат. Начиная с 2010 г. Н. П. Похиленко руководит межведомственными проектами Роснедр и Росгеологии, целью которых является локализация невыявленных источников алмазов на территории Лено-Анабарского междуречья в Якутии, а также геологическое обоснование освоения ресурсов уникальных месторождений лонсдейлитового сырья Попигаийской астроблемы и редких земель карбонатитового массива Томтор.

В 2016 г. Н. П. Похиленко организовал тесное сотрудничество ряда профильных институтов СО РАН

с научными организациями Белорусской академии наук по исследованию технологических свойств импактных алмазов Попигаической астроблемы. В результате проведённых работ были получены результаты, свидетельствующие о наличии у импактных алмазов уникальных технологических характеристик, существенно превышающих таковые для обычных природных и синтетических алмазов. С 2020 г. Н. П. Похиленко руководит блоком в крупном научном проекте по приоритетным направлениям научно-технологического развития Российской Федерации «Создание теоретической и экспериментальной платформы для изучения физико-химической механики материалов со сложными условиями нагружения».

Николай Петрович вёл и ведёт значительный объём научно-организационной и педагогической работы. С 2008 по 2017 гг. он являлся директором Института геологии и минералогии имени В. С. Соболева СО РАН. С 2017 г. работает в должности научного руководителя Института. В 2008 г. он был избран членом Президиума Сибирского отделения РАН, в 2012 г. – вице-президентом Ассоциации геологов Сибири, в 2013 г. – заместителем председателя Сибирского отделения РАН по науке, членом Высшего горного совета РФ, членом Совета по алмазам при Правительстве РС (Я), редколлегии ряда журналов. В 2016 г. Н. П. Похиленко назначен заместителем председателя научно-технического Совета АО «Росгеология» по твёрдым полезным ископаемым. Он является членом ряда научных советов и комитетов РАН, Американского геофизического союза, Ассоциации поисковиков и промышленников Канады. Н. П. Похиленко организовал и много лет руководил подготовкой специалистов по геологии алмазных

месторождений на геолого-геофизическом факультете НГУ. Среди его учеников 15 кандидатов наук. Также он консультировал подготовку трёх докторских диссертаций. Николай Петрович – автор и соавтор около 450 научных публикаций, соавтор четырёх монографий и четырёх авторских свидетельств.

За выдающиеся результаты в области наук о Земле Н. П. Похиленко в 2006 г. был избран членом-корреспондентом, в 2011 г. – действительным членом Российской академии наук, в 2014 г. – почётным академиком Академии наук Республики Саха (Якутия). В 2010 и 2015 гг. Николай Петрович Похиленко – депутат Законодательного собрания Новосибирской области 5 и 6 созывов, где в качестве заместителя председателя профильного комитета координировал работы в области науки и инноваций.

Заслуги Николай Петровича отмечены не только высокими государственными наградами, но и рядом профессиональных и общественных наград. За успехи в прогнозировании и открытии ряда алмазоносных объектов в Сибири Н. П. Похиленко удостоен звания «Заслуженный геолог Российской Федерации», а его участие в открытии Архангельской алмазоносной провинции отмечено медалью «За трудовое отличие». Заслуги Н. П. Похиленко в алмазной геологии были отражены вручением ему в 2007 г. Международной алмазной награды Хьюго Дамметта, впервые присуждённой российскому геологу.

Сердечно поздравляем Николая Петровича с Юбилеем, желаем крепкого здоровья, удачи, новых творческих успехов на благо России.

*Учёный совет ЦНИГРИ  
Редколлегия журнала*



## Памяти Евгении Евгеньевны Савари



1945–2021

Известный специалист в области технологического изучения минерального сырья, ветеран Центрального научно-исследовательского института цветных и благородных металлов, кандидат технических наук Евгения Евгеньевна Савари скончалась на 77 году жизни.

Евгения Евгеньевна, так же как и её отец, крупный организатор и руководитель технологического изучения минерального сырья в СССР Евгений Андреевич Савари, окончила Московский институт стали и сплавов (до 1958 г. Институт цветных металлов и золота им. М.И. Калинина). В 1974 году она поступила на работу в ЦНИГРИ и достойно продолжила семейную династию. Она стала очень высококвалифицированным специалистом в области биогидрометаллургической переработки упорного золотосодержащего сырья. Начав работать в должности старшего инженера, Евгения Евгеньевна приступила к собственным научным исследованиям и прошла путь от младшего научного сотрудника до заведующей лабораторией биотехнологии руд цветных и благородных металлов отдела обогащения минерального сырья.

Евгения Евгеньевна плодотворно работала по целому ряду направлений технологического изучения минерального сырья. Она вела пионерные исследо-

вания отечественных ионообменных смол для сорбции золота и участвовала в их испытаниях на Балейской золотоизвлекательной фабрике в Забайкалье, что позволило в дальнейшем повсеместно внедрить передовую ионообменную технологию в золотодобычу.

В 1980-е годы остро встал вопрос о разработке эффективных технологий извлечения благородных металлов из упорного сырья, и Евгения Евгеньевна вместе с коллегами предложила применить новый подход. Она развернула изыскания новых реагентов для подавления сорбционной активности природного органического углерода, осложняющего процесс цианирования золота. Её лаборатория также начала исследования гидрометаллургической переработки продуктов бактериального выщелачивания минерального сырья. Результаты этих изысканий явились основой кандидатской диссертации Е.Е. Савари (1988 г.). Под её руководством выполнены теоретические и прикладные исследования процессов бактериального окисления, разработаны схемы и режимы биогидрометаллургической технологии переработки упорных золотосодержащих руд и концентратов крупных месторождений (Майское, Нежданинское, Олимпиадинское, Ключус и др.). С использованием технологического регламента по переработке концентратов Олимпиадинского месторождения построена первая в стране биогидрометаллургическая установка на золотоизвлекательной фабрике ЗАО «Полюс». Это позволило вовлечь в эксплуатацию упорные золотосодержащие руды месторождения.

За серию научных работ по тематике «Исследование, разработка и внедрение биогидрометаллургической технологии переработки упорного золотосодержащего сырья» Евгения Евгеньевна Савари в 2004 году была удостоена премии им. И.Н. Плаксина.

В дальнейшем Евгения Евгеньевна подготовила методические рекомендации по проведению исследований биогидрометаллургической переработки упорных руд и концентратов. Применительно к концентратам разведываемых месторождений (Попутнинское, Хатчан, Хатыннах, Наледное и др.), характеризующихся двойной упорностью, лаборатория Е.Е. Савари разработала эффективные биотехнологии извлечения благородных металлов с применением ассоциации умеренно-термофильных бактерий. Результаты исследований использованы для обоснования продолжения геологоразведочных работ и составления технико-экономических расчётов.

## Памятные даты

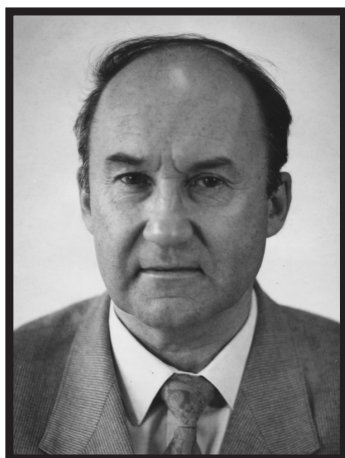
---

Проведённые Евгенией Евгеньевной Савари исследования и полупромышленные испытания малотоксичных растворителей золота, направленные на решение экологических задач, замену высокотоксичного цианида в технологиях цианирования и кучного выщелачивания, стали серьёзным вкладом в развитие теории и промышленной практики переработки упорных и бедных руд золота разведываемых и эксплуатируемых месторождений страны.

Евгения Евгеньевна Савари – автор более 150 научных работ, в том числе семи патентов Российской Федерации на изобретения. Всю свою длинную трудовую жизнь она была предана профессии, ЦНИГРИ, в котором работала со студенческой скамьи. Евгения Евгеньевна была отзывчивым и чутким человеком, она всегда приходила на помощь коллегам, являлась примером для молодого поколения.



## Памяти Игоря Борисовича Флёрова



1934–2021

Ушёл из жизни Игорь Борисович Флёров, крупный исследователь месторождений золота, доктор геолого-минералогических наук, первооткрыватель месторождения золота руч. Глухариный (Магаданская область), лауреат Государственной премии СССР.

Игорь Борисович родился в Днепропетровске в семье легендарного геолога Бориса Леонидовича Флёрова, открывшего на Колыме десятки оловорудных месторождений, в том числе и Бутугычаг. Сын продолжил традицию: окончив в 1958 году МГРИ имени Серго Орджоникидзе, начал работать в поисковой партии Северо-Восточного ТГУ в посёлке Сеймчан Магаданской области и за десять лет прошёл путь до главного геолога партии. Потом стал главным инженером Сеймчанской ГРЭ. Занимался геологической съёмкой масштаба 1:25 000, поисками и оценкой месторождений россыпного золота. В 1971 году Игорь Борисович Флёров защитил кандидатскую диссертацию, а спустя ещё год они вместе с товарищами открыли крупное россыпное месторождение золота руч. Глухариный в Магаданской области.

В 1973 году И. Б. Флёров начал работать в Москве – в ЦНИГРИ, где он организовал сектор геологии, методов поиска и прогнозирования россыпных месторождений золота. С его приходом в институте стало развиваться совершенно новое направление работы – изучение россыпных месторождений с тонким и мелким золотом. Под руководством И. Б. Флёрова в Примагаданье проведены исследования россыпей в различных геолого-геоморфологических обстановках. Сотрудники ЦНИГРИ во главе с руково-

дителем сектора выявили закономерности формирования и сохранения россыпей, составили серию карт, придавая большое значение особенностям распределения золота в россыпях, его типоморфизму, прогнозированию и методике поисков россыпей во впадинах. По этим материалам И. Б. Флёровым с коллегами была написана монография «Геология россыпей Северо-Востока СССР» совместно с геологами Северо-Восточного территориального геологического управления.

И. Б. Флёров внёс значительную лепту в изучение истории формирования и геологического строения крупнейшей россыпи золота Рывеем на Чукотке. Он обосновал рациональную систему разведки и разработки этого уникального месторождения и за это достижение в 1979 году был удостоен Государственной премии.

Как научный куратор по россыпному золоту и эксперт ГКЗ Игорь Борисович обладал огромным авторитетом у специалистов производственных организаций. Он внёс существенный вклад в теорию и практику поисков россыпных месторождений золота в крупных долинах и впадинах, в том числе на шельфе дальневосточных морей. В 1986 году И. Б. Флёрову была присвоена степень доктора геолого-минералогических наук.

Игорь Борисович Флёров – видный учёный, автор более 100 научных работ, в том числе редактор монографии «Методика разведки россыпей золота и платиноидов» (1992), ставшей настольной книгой геологов-россыпников. Он был талантливым руководителем, в 1981–1989 гг. выполнял ответственную и трудную работу заместителя директора по научной работе в Центральном научно-исследовательском геологоразведочном институте цветных и благородных металлов, в 1992 г. организовал компанию АО «Русское золото».

Не только для коллег, но для значительно более широкого круга людей Игорь Борисович был и останется в числе самых ярких авторов публицистических статей о проблематике изучения и освоения месторождений золота и великолепным популяризатором профессии геолога. Его последняя книга «Страсти по золоту и не только» – убедительное тому подтверждение.

Работы Игоря Борисовича Флёрова останутся важной вехой в истории отечественных исследований экзогенной золотоносности. Он был настоящим геологом, творческой личностью, романтиком, не боялся перемен, с оптимизмом смотрел в будущее. Коллеги сохранят память об Игоре Борисовиче Флёрове.

## Требования к авторам статей

1. Рукопись представляется с установленными сопровождающими документами: письмом (решением на опубликование) руководителя учреждения и экспертным заключением о возможности публикации в открытой печати. В конце статьи ставятся подписи всех авторов. В том случае, если автор не один, надо указать фамилию автора, с которым будет вестись переписка.
2. К материалам, направляемым в редакцию, должна быть приложена справка об авторе (авторах) с указанием: фамилии, имя, отчества, ученой степени, звания, должности, места работы, адреса для переписки (почтового), телефона, e-mail каждого автора.
3. Научные статьи, поступившие в редакцию, подлежат обязательному рецензированию с целью их экспертной оценки. В случае отклонения статьи (отрицательная рецензия) редакция направляет авторам рецензию или мотивированный отказ за подписью главного редактора; редколлегия не вступает в дискуссию с авторами отклоненных статей; статьи, отклоненные редколлегией, повторно не рассматриваются.
4. В журнале не публикуются статьи, излагающие обобщения и предположения, не вытекающие из публикуемого оригинального фактического материала; серийные и излагающие отдельные этапы исследований.
5. Объем статьи не должен превышать 20 страниц, включая таблицы и список литературы. Следует выставлять поля: сверху (2 см), снизу (2 см), справа (1 см) и слева (3 см). Все страницы рукописи нумеруются. Текст предоставляется в формате MS Word (\*.doc) с использованием шрифта Times New Roman (размер 12, полуторный межстрочный интервал). В отдельные файлы помещаются статья, таблицы. Возможна передача статей по электронной почте: ogeo@tsnigri.ru
6. Для набора математических формул и химических символов рекомендуется использовать Microsoft Equation 2.0.
7. Список литературы дается сквозной нумерацией в алфавитном порядке. Иностранная литература помещается после отечественной. Ссылки в тексте на источник из списка литературы приводятся соответствующим порядковым номером в квадратных скобках. В список не включаются неопубликованные работы.
8. Рисунки и другие графические материалы (не более 7) представляются в цветном или черно-белом варианте. Размер оригиналов рисунков не должен превышать формата страницы журнала (170×237 мм). Каждый рисунок помещается в отдельный файл в одном из следующих форматов: графический редактор Corel Draw, JPEG, TIFF (только для фото), диаграмма Microsoft Excel. Графика должна быть связана с текстом и способствовать его сокращению. Оформление и содержание иллюстративного материала должны обеспечивать его читаемость после возможного уменьшения. Ксерокопии и сканированные ксерокопии не принимаются. Подрисуточные подписи печатаются на отдельной странице (текстовый файл, после списка литературы). Рисунки, не удовлетворяющие требованиям редакции, возвращаются автору.
9. Редакция оставляет за собой право сокращать и редактировать название статьи, текст, рисунки.
10. Статьи, превышающие установленный объем или не отвечающие данным требованиям, возвращаются автору.