

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ

№ 2 / 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

Главные редакторы: С.А.Аксенов
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

НОВОСТИ, СОБЫТИЯ

Состоялось заседание Коллегии Федерального агентства по недропользованию..... 3

МИНЕРАГЕНИЯ

Иванов А. И., Агеев Ю. Л., Мезенцев А. В., Молочный В. Г., Конкин В. Д.
Золотое оруденение в гранитоидах в Икибзякском рудном поле – новая веха в исследовании золотоносности Байкало-Патомской металлогенической провинции 4

МЕСТОРОЖДЕНИЯ РУДНЫХ И НЕРУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Алексеев Я. В., Заскин Д. Е. С., Конкина О. М.
К вопросу выделения минерально-сырьевых центров твёрдых полезных ископаемых..... 19

Безруков В. И.
Основные направления и предварительные результаты прогнозирования золоторудных месторождений в восточной (российской) части Фенноскандинавского щита 28

Зинчук Н. Н.
Типоморфные свойства индикаторных минералов кимберлитов и их использование при прогнозировании месторождений алмаза на Сибирской платформе..... 41

Мельников А. В., Моисеенко В. Г., Степанов В. А.
Самородное золото, добытое в Приамурье за 150 лет..... 57

ЛИТОЛОГИЯ, ПЕТРОЛОГИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ

Габлина И. Ф.
Роль геохимических барьеров при формировании сульфидных руд в различных геологических обстановках..... 63

ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ

Сидорова Е. В.
Стратег и новатор в организации системных исследований руд для освоения месторождений алмазов, благородных и цветных металлов..... 74
Памяти Владимира Дмитриевича Крюкова..... 90

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 25.05.2021

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

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

Типография ФГБУ «ЦНИГРИ»

Состоялось заседание Коллегии Федерального агентства по недропользованию



9 апреля 2021 года под председательством заместителя Министра природных ресурсов и экологии Российской Федерации – руководителя Федерального агентства по недропользованию Е. А. Киселева состоялось заседание Коллегии Роснедр. В связи со сложившейся эпидемиологической ситуацией мероприятие прошло в режиме видео-конференц-связи.

В заседании принимали участие представители Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, руководители территориальных органов, а также учреждений, подведомственных Роснедрам, работники центрального аппарата Федерального агентства по недропользованию.

На Коллегию были приглашены председатель Комитета Государственной Думы по природным ресурсам, собственности и земельным отношениям Николай Петрович Николаев, член Комитета Совета Федерации по аграрно-продовольственной политике и природопользованию Геннадий Иванович Орденов, заместитель начальника Контрольного управления Президента Российской Федерации Валентин Васильевич Летунковский и заместитель начальника Управления Генеральной Прокуратуры РФ по надзору за исполнением законодательства в экологической сфере – начальник отдела по надзору за исполнением законодательства в сфере использования природных ресурсов Главного управления по надзору за исполнением федерального законодательства

Генеральной Прокуратуры РФ Канунцев Александр Александрович.

Среди основных вопросов повестки дня заседания – рассмотрение Итогового доклада о работе Федерального агентства по недропользованию в 2020 году и планов на 2021–2023 гг., с которым выступил заместитель Министра природных ресурсов и экологии Российской Федерации – руководитель Федерального агентства по недропользованию Е. А. Киселев, а также Публичной декларации целей и задач Федерального агентства по недропользованию на 2021 год.

В обсуждении представленных материалов приняли участие:

- председатель Общественного совета при Роснедрах Евгений Гатович Фаррахов;
- заместитель руководителя Роснедр Сергей Алексеевич Аксёнов;
- руководитель Департамента по недропользованию по Центрально-Сибирскому округу Юрий Алексеевич Филиппов;
- генеральный директор ФБУ «ГКЗ» Игорь Викторович Шпуров.

В завершение мероприятия члены Коллегии Роснедр единогласно утвердили итоги работы Федерального агентства по недропользованию в 2020 году и планы на 2021–2023 гг., а также Публичную декларацию целей и задач Федерального агентства по недропользованию на 2021 год.

Золотое оруденение в гранитоидах в Икибзякском рудном поле – новая веха в исследовании золотоносности Байкало-Патомской металлогенической провинции

Приводятся новые данные по золотому оруденению южной части Байкало-Патомской металлогенической провинции – Икибзякскому рудному полю, расположенному в зоне Право-Мамаканского глубинного разлома, отделяющего Патомскую складчатую область от Байкало-Витимского вулcano-плутонического пояса. Впервые в металлогенической провинции рудные жильно-прожилковые зоны с богатой золоторудной сульфидно-кварцевой минерализацией с промышленными параметрами выявлены в гранитоидах. Оруденение локализовано в пределах разломных зон расланцевания с проявлением интенсивных процессов березитизации и лиственизации (в ксенолитах метабазитов).

Ключевые слова: Байкало-Патомская металлогеническая провинция, Икибзякское рудное поле, глубинный разлом, гранитоиды, зоны расланцевания, березиты, лиственины, золото, рудные зоны, Довгакитское рудопроявление, Ветвистое рудопроявление.

ИВАНОВ АНАТОЛИЙ ИННОКЕНТЬЕВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, научный руководитель¹, a.ivanov@tsnigri.ru

АГЕЕВ ЮРИЙ ЛЕОНИДОВИЧ, заместитель генерального директора², ageev@sibgk.ru

МЕЗЕНЦЕВ АЛЕКСАНДР ВИКТОРОВИЧ, ведущий геолог², mezentsev@sibgk.ru

МОЛОЧНЫЙ ВАСИЛИЙ ГРИГОРЬЕВИЧ, главный геолог², vgmolochny@rusgeology.ru

КОНКИН ВИКТОР ДМИТРИЕВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник¹, konkin@tsnigri.ru

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геолого-разведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»), г. Москва

² Общество с ограниченной ответственностью «Сибирская геологическая компания» (ООО «СибГК»), г. Иркутск

Granitoid-hosted gold mineralization in Ikbzyaksky ore field: a new milestone in Baikal-Patom metallogenic province gold potential study

A. I. IVANOV¹, Yu. L. AGEEV², A. V. MEZENTSEV², V. G. MOLOCHNY², V. D. KONKIN¹

¹ Federal State Budgetary Institution Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow

² LLC Siberian geological company (LLC SibGC), Irkutsk

New data is provided on gold mineralization in the southern Baikal-Patom metallogenic province, Ikbzyakskoye ore field, located in Pravo-Mamakansky deep fault zone separating Patom fold area from Baikal-Vitim volcanic-plutonic belt. For the first time, the metallogenic province was found to comprise granitoid-hosted ore vein-stringer zones with high-grade economic gold sulfide-quartz mineralization. This mineralization is localized within fault shistosity zones manifesting intense beresitization and listvenitization (in metabasite xenoliths).

Key words: Baikal-Patom metallogenic province, Ikbzyakskoye ore field, deep fault, granitoids, shistosity zones, beresites, listvenites, gold, ore zones, Dovgakitkoye occurrence, Vetvistoye occurrence.

Байкало-Патомская металлогеническая провинция (включает Ленскую золотоносную провинцию, по [7]), как было показано ранее [3, 4], характеризуется проявлением промышленной золотоносности в различных структурно-вещественных обстанов-

ках. Одна из таких обстановок (складчато-разрывные «пришовные» комплексы) была выделена в южной части провинции в зоне динамического влияния Право-Мамаканского глубинного разлома, отделяющего Патомскую складчатую область, сформированную

на пассивной континентальной окраине, от Байкало-Витимского вулканоплутонического пояса, образовавшегося на островодужной системе (соответственно миогеосинклиналь и эвгеосинклиналь, по Л. И. Салопу [9]). Здесь выделен Додыхтинско-Уряхский рудный район (рис. 1, врезка), и на момент публикации [3] из золоторудных объектов в его пределах были известны Уряхское месторождение (01.12.2013 г. на баланс поставлено около 8 т запасов категорий C_1 и C_2 по участку Жила-12) и Джалагунское рудопроявление с промышленными параметрами рудных зон.

В последние годы в пределах рудного района на Икибзякском рудном поле (Малоконкудерская площадь) за счёт средств федерального бюджета были проведены поисковые работы, завершившиеся выявлением двух потенциально промышленных объектов – Довгакитского и Ветвистого рудопроявлений.

Додыхтинско-Уряхский рудный район контролируется Право-Мамаканским глубинным разломом, а Икибзякское рудное поле расположено в участке его изгиба (см. рис. 1) в междуречье Малой Конкудеры и Икибзяка (левого притока р. Мамакан). На уровне земной поверхности Право-Мамаканский глубинный разлом представлен сложнопостроенной зоной поверхностных разрывов шириной 10–12 км. Наибольшая амплитуда сдвиго-взбросовых деформаций устанавливается в разрывах в северной (Качиоканской) и южной (Икибзякской) его ветвях (см. рис. 1), между которыми в верхнем рифее сформировался изометричный в плане Довгакитский массив гранитоидов бамбукойского комплекса. Ранее Л. И. Салопом [9], а также по результатам геологосъёмочных работ (ГСР) масштаба 1:50 000 (В. А. Аникин, Ю. К. Варзалов) гранитоиды массива были отнесены к витимскому комплексу, отличающемуся от всех других гранитоидов региона преобладанием в его составе гранофирированных гранитов. Второй подобный массив был откартирован восточнее в верховьях рек Орловка и Каралон (Б. В. Шергин и др.) в зоне Право-Мамаканского глубинного разлома, также в участке его изгиба. В обоих этих участках изгиба разлома в условиях существенно взбросо-левосдвиговых деформаций были сформированы купольные структуры вращения [6], характеризующиеся проявлением россыпной и рудной золотоносности.

Россыпная золотоносность бассейна р. Икибзяк известна с 1896 г. (данные Н. Н. Мунгалова), в связи с чем ещё при ГСР масштаба 1:200 000 (В. М. Тавевский и др.) эта территория рассматривалась как перспективная на выявление месторождений рудного и россыпного золота. При ГСР-50 в 1969–1973 гг. (В. А. Аникин и др.) здесь в геологических маршрутах

в делювии были выявлены многочисленные обломки кварцевых жил, в ряде штучных проб из которых установлены высокие содержания золота (до десятков г/т). В приводораздельной части было выявлено Икибзякское золоторудное проявление (см. рис. 1), представленное развалами золотоносных кварцевых жил среди березитизированных гранитов. В водотоках высоких порядков бассейнов рек Малая Конкудера и Икибзяк установлены шлиховые и геохимические потоки золота. По совокупности данных поисковых признаков в поле гранитов витимского (бамбукойского) комплекса и было выделено Икибзякское рудное поле, в пределах которого рекомендовано проведение поисковых работ на рудное и россыпное золото.

Такие работы проводились в 1973–1976 гг. (Ю. К. Варзалов и др.). В результате чего на площади 40 км² было выявлено 66 кварцевых жил и зон прожилкового окварцевания, 20 из которых изучались в коренном залегании. В нескольких жилах, в том числе Икибзякского проявления, установлена повышенная золотоносность (содержания золота первые г/т). Однако параметры их оказались незначительными, в связи с чем была дана отрицательная оценка изученным жилам, но рекомендовалось продолжить поисковые работы в южной части площади.

В 2001–2004 гг. в пределах Икибзякского рудного поля проводились прогнозно-поисковые работы (Н. В. Пачерский и др.). Положительные результаты не были получены, поэтому в целом была дана отрицательная оценка на выявление здесь промышленных золоторудных объектов.

Таким образом, в результате предшествующих работ сформировалось отрицательное отношение к перспективам выявления промышленных золоторудных объектов в пределах Икибзякского рудного поля, несмотря на наличие прямых поисковых признаков – промышленных россыпей золота, его шлиховых потоков, рудопроявлений по результатам штучного и бороздового опробования, ВОР золота.

Анализ всех геологических, геохимических, геофизических материалов, проведённый ООО «Сибирская геологическая компания» (ООО «СибГК») с участием ЦНИГРИ, позволил в 2014 г. обосновать перспективность Икибзякского рудного поля (Малоконкудерской площади) на выявление промышленных золоторудных объектов и целесообразность проведения поисковых работ за средства федерального бюджета. А основной причиной негативных выводов предшественников, как было показано, являлось расположение рудного поля в очень сложных ландшафтных условиях – это курумные склоны и водоразделы, в нижних частях склонов залесённые, с почти повсеместным развитием многолетней мерзлоты (рис. 2).

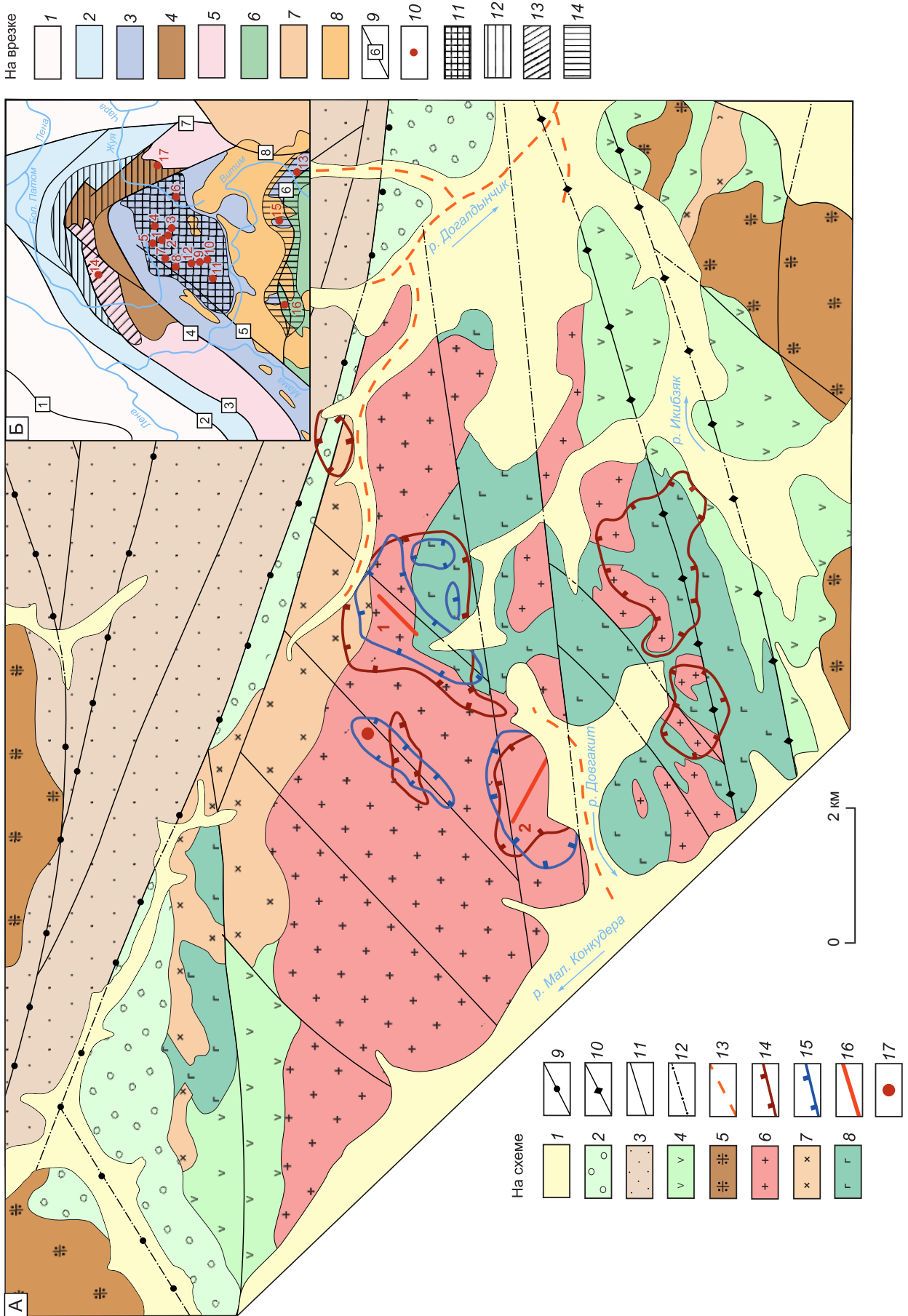


Рис. 1. Геологическая карта Икибзякского рудного поля (А) и схема его расположения (Б):

отложения: 1 – четвертичные нерасчленённые, 2 – вендские терригенные и карбонатные, 3 – рифейские метаморфизованные терригенные, 4 – метаморфизованные риолиты, дациты, андезиты, диабазы, парагнейсы биотитовые, сланцы слюдяно-кварцевые; 5 – верхнепалеозойские гранитоиды конкудеро-мамаканского комплекса; 6 – верхне-рифейские граниты порфировидные, гранофиоровые, граносиениты и гранит-порфиры бамбукойского (витимского) гранитоидного комплекса; 7, 8 – верхнерифейский таллаинский габбро-плагиогранитный комплекс; 7 – вторая фаза (плагиограниты, гранодиориты, кварцевые диориты), 8 – первая фаза (габбро, габбро-диабазы, ортоамфиболиты, ортосланцы); 9–12 – разломы: 9, 10 – системы Право-Мамаканского глубинного разлома; 9 – северная и 10 – южная ветви, 11 – межблоковые «смыкающие», 12 – перекрытые четвертичными отложениями; 13 – промышленные и потенциально-промышленные россыпи золота; 14 – контрастные вторичные ореолы рассеяния золота; 15 – контрастные делювиальные шлиховые ореолы золота; 16 – рудные зоны: 1 – Центральная, 2 – Рыжая; 17 – рудопроявление Кварцевое; на врезке: 1–5 – основные структуры: 1 – Сибирская платформа; 2, 3 – синклинории; 2 – Байкало-Патомский, 3 – Мамско-Бодайбинский, 4, 5 – Чуйско-Нечерский антиклинорий; 4 – часть антиклинория, где фундамент перекрыт рифейскими отложениями, 5 – выступы дорифейского фундамента; 6 – разновозрастные образования Байкало-Муи-ского пояса; 7 – дорифейские образования Алданского щита и Становой зоны; 8 – верхнепалеозойские гранитоиды (Ангаро-Витимский батолит); 9 – главные разломы, разделяющие крупные литосферные блоки (1 – Ленско-Нюйский, 2 – Ачиткано-Джербинский, 3 – Алектано-Мало-Туоюканский, 4 – Чуйский, 5 – Абчадский, 6 – Право-Мамаканский, 7 – Жуинский, 8 – Ничатский); 10 – промышленные месторождения и перспективные рудопроявления золота (1 – Сухой Лог, 2 – Вернинское, 3 – Невское, 4 – Высочайшее, 5 – Угаханское, 6 – Светловское рудное поле, 6–7 – Ожерелье, 8 – Выканское, 9 – Догадлынская Жила, 10 – Копыловское, 11 – Кавказ, 12 – Красное, 13 – Урахское, 14 – Чертово Корято, 15 – Джалагуновское, 16 – Мало-Конкудерское рудное поле, 17 – Ходоканское); 11–14 – рудные районы: 11 – Бодайбинский, 12 – Патомо-Нечерский, 13 – Тонодский, 14 – Додыхтинско-Урахский



Рис. 2. Курумовые развалы на склонах и вершинах водоразделов. Видны курумовые «реки»

Предполагалось, что, как и в других подобных регионах, на склонах курумники представлены дальнеприносными в основном безрудными породами (сохраняются только отдельные обломки кварца, в том числе золотоносного), которые и перекрывают минерализованные зоны в коренном залегании. Поэтому проведение поисковых работ по стандартным методикам не позволяет их локализовать. Для дальнейшего изучения и при проведении работ необходимо использовать «Методику поисков в сложных ландшафтных условиях», разработанную в ООО «СибГК» и развиваемую в ЦНИГРИ [2–4].

В 2015–2017 гг. поисковые работы за средства федерального бюджета были успешно проведены ООО «СибГК» (договор с АО «Росгеология») при участии ЦНИГРИ с применением «Методики...» [3, 5]. В результате были выявлены потенциально-промышленные рудопроявления Довгакитское и Ветвистое, оценены и апробированы в ЦНИГРИ прогнозные ресурсы категорий P_1 и P_2 .

Особенностью проведения поисков являлось то, что из «стандартных» методов площадных опережающих работ использовались только геологические маршруты, причём они проводились преимущественно по водоразделам, где вероятность перекрытия делювия ближнего сноса (информативного слоя) минимальна и получаемая информация наиболее достоверна. А в связи с тем, что на подготовительной стадии по комплексу признаков были выделены потенциальные рудоконтролирующие субширотные и северо-восточные разломы, для их изучения уже на первой стадии поисков использовались горные выработки – шурфы и бульдозерные канавы для вскрытия и опробования информативного слоя

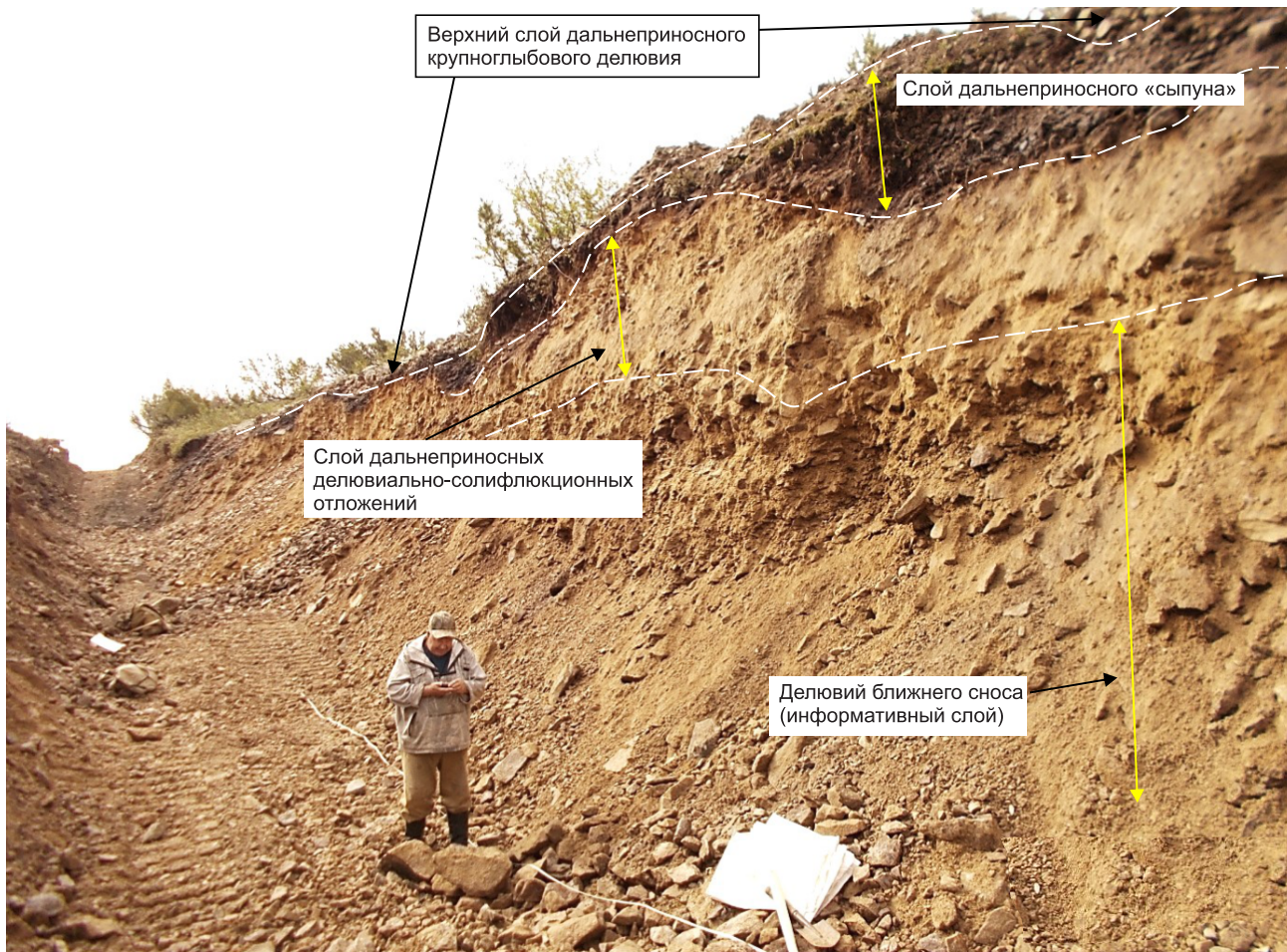


Рис. 3. Типовой разрез рыхлых отложений – перекрытие «слоями» дальнепринесенных делювиальных и делювиально-солифлюкционных отложений делювия ближнего сноса (информативного слоя). Рудопоявление Ветвистое

делювиальных отложений с целью выявления и локализации зон гидротермально-метасоматических преобразований пород и определения степени их золотонности по результатам шлихового и литохимического опробования по вторичным ореолам рассеяния и первичным ореолам.

При проходке шурфов и бульдозерных канав было полностью подтверждено предположение о сложном «слоистом» строении рыхлых склоновых отложений: обычно под верхним дальнепринесенным крупноглыбовым курумником залегает мелкоглыбово-щебенистый слой дальнепринесенного делювия практически без связующего глинисто-песчаного материала («сыпун») – так как высыпается с бортов канавы при её проходке), перекрывающий либо делювий ближнего сноса, либо другие дальнепринесенные делювиальные и делювиально-солифлюкционные «слои» [5] (рис. 3). Также повсеместно развита мно-

голетняя мерзлота, значительно осложняющая проходку горных выработок (рис. 4). Поэтому с помощью геологических маршрутов и стандартного литохимического опробования ранее и не были локализованы рудные зоны.

Геологическое строение. Икибзякское рудное поле расположено в «провесе кровли» в Байкало-Витимском «батолите» («ареал-плутоне») [6, 9], образованном верхнепалеозойскими гранитоидами конкудеро-мамаканского комплекса [3, 6]. В современном срезе они закартированы в виде массивов, штоков, мелких тел и даек, составляющих «раму» рудного поля, в «провесе кровли» вскрываются верхнерифейские образования – осадочно-вулканогенные метаморфизованные породы устькелянской толщи, прорванные интрузиями таллаинского и бамбукойского комплексов, перекрытые терригенными отложениями падроканской свиты венда (см. рис. 1). В северной



Рис. 4. Бульдозерная канава глубиной 1 м (расчистка), пройденная до многолетней мерзлоты (происходит её оттайка)

части рудного поля вскрываются углеродистые песчано-сланцевые отложения, отнесённые при ГСР-50 (В. В. Корж) к патомской серии рифея [6].

Устькелянская толща сложена метаэффузивами кислого и средне-основного составов, слагающими ксенолиты в рифейских гранитоидах. Метавулканыты обычно изменены до тектоно-сланцев и гнейсов метаморфическими, дислокационными и метасоматическими процессами. Возрастное положение толщи определяется обнаружением в её породах за пределами площади работ комплекса микрофоссилий, свойственного жуинскому горизонту позднего рифея [11].

Патомская серия. По данным В. В. Коржа (ГСР-50), разрез серии начинается с базальных конгломератов (10–80 м), выше которых залегают метапесчаники кварц-полевошпатовые и полевошпат-кварцевые иногда известковистые в переслаивании с углеродистыми мусковит-кварцевыми сланцами или двуслюдяными сланцами. В. В. Корж здесь выделял свиты местной стратиграфической шкалы (таличская, спаская), сопоставляемые со свитами баллаганахской подсерии патомской серии [6]. Породы метаморфизованы в условиях зеленосланцевой и эпидот-амфилолитовой фаций.

Венд. В северной части рудного поля ограничено распространены породы падроканской свиты этого возраста. Свита сложена в основном аркозовыми, реже полимиктовыми песчаниками с прослоями гравелитов и тёмно-серых алевросланцев, в основании залегает базальный горизонт полимиктовых конгломератов и гравелитов.

Четвертичные отложения представлены моренными, флювиогляциальными, аллювиальными, элювиальными, элювиально-делювиальными, делюви-

альными, коллювиальными, пролювиальными, делювиально-солифлюкционными отложениями.

Интрузивные образования представлены породами таллаинского, бамбукойского и конкудеро-мамаканского комплексов.

Таллаинский комплекс (муйский, по Л. И. Салопу [9] и ГСР-50) имеет двухфазное строение. Первая фаза сложена метаморфизованными габброидами, обычно рассланцованными и превращёнными в кварц-биотит-хлорит-плагиоклазовые ортосланцы с реликтовой габбро-диабазовой структурой. Они часто лиственизированы, прожилково окварцованы, эпидотизированы, хлоритизированы. Они прорывают метаэффузивы устькелянской толщи и, в свою очередь, прорваны плагиогранитами второй фазы. Вторая фаза сложена плагиогранитами, для которых характерно обилие ксенолитов вулканитов устькелянской толщи и метагабброидов первой фазы, с которыми плагиограниты имеют активные инъекционные контакты, участками переходящие в агматиты. В зоне контакта с габброидами первой фазы нередко образуются гибридные породы, по составу отвечающие диоритам и кварцевым диоритам, которые по мере удаления от контакта постепенно переходят в плагиограниты. В зонах рассланцевания плагиограниты березитизируются, в том числе с формированием кварцевой жильно-прожилковой минерализации. Породы обеих фаз являются вмещающими для золоторудной минерализации. Их позднерифейский возраст подтверждается радиологическими определениями, полученными на смежной с востока территории – 632 и 636 млн лет (U-Pb метод) [1, 8, 10].

Бамбукойский комплекс. Гранитоиды комплекса, относимые ранее к витимскому комплексу, слагают Довгакитский массив, сформировавшийся между Качиоканской и Икибзякской ветвями Право-Мамаканского глубинного разлома. Комплекс является рудовмещающим: рудопроявления и многочисленные пункты минерализации золота в кварцевых жилах установлены как непосредственно в гранитоидах, так и в породах устькелянской свиты и таллаинского комплекса, слагающих ксенолиты. Гранитоиды комплекса с размывом перекрываются терригенными отложениями падроканской свиты венда.

Контакты гранитов с вмещающими их габброидами (габбро-диабазами), как правило, резкие, секущие. В южной части, где в гранитоидах много ксенолитов, в последних наблюдаются многочисленные апофизы в виде разноразмерных жил и прожилков, нередко имеющих сетчатый характер, вплоть до образования магматических брекчий с обломками метагабброидов в гранитоидном субстрате.

Контактовое воздействие гранитоидов Довгакитского массива на вмещающие породы устькелянской

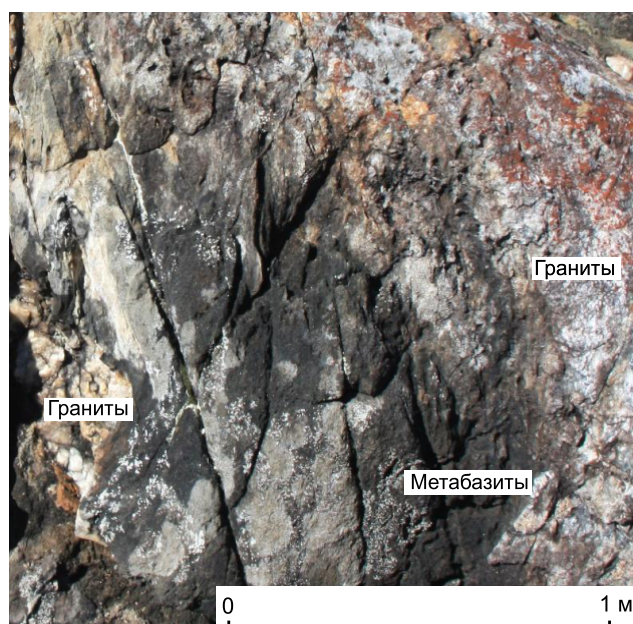


Рис. 5. Строение зоны взброса с крутонаклонным основным сместителем (и в целом разломной зоны) и субвертикальной ориентировкой расланцевания в ксенолите метабазитов в гранитах бамбукойского комплекса. Район рудопроявления Ветвистое

толщи и таллаинского комплекса проявлено с различной интенсивностью в приконтактной зоне шириной в десятки метров. Наиболее характерны биотитизация и интенсивное окварцевание по массе. Интенсивно окварцованные метаэффузивы устькелянской толщи, реже метагабброиды в приконтактной полосе местами имеют роговиковоподобный облик, теряют сланцеватость, становятся плотными, массивными, приобретают полураковистый излом.

Наиболее распространённые разновидности гранитоидов в пределах массива – гранофиновые граниты, гранит-порфиры, порфиroidные гранофиновые граниты – представляют собой светло-серые, серые с розоватым и зеленоватым оттенком массивные породы с порфировой структурой. Кварц-калишпатовая основная масса имеет характерную гранофиловую, микропегматитовую, реже гипидиоморфнозернистую структуру. Для всех разновидностей пород характерно проявление березитизации – от слабопроявленной (мусковитизация и прожилково-вкрапленная анкеритизация) до полнопроявленной. Именно с этим процессом связана золотоносность.

Позднерифейский возраст пород комплекса обосновывается геологическими методами: они прорывают породы верхнерифейского таллаинского комплекса и перекрываются вендскими отложениями.

Конкудеро-мамаканский комплекс. Гранитоиды комплекса, слагающие Ангаро-Витимский ареал-плутон, вскрываются в основном по периферии рудного поля, обрамляя площадь работ с северо-запада, запада и юга. В современном срезе они слагают краевые сегменты крупных массивов.

По вещественному составу и структурно-текстурным особенностям в комплексе выделяются три фазы [6]. На рассматриваемой территории установлены гранитоиды только первой фазы – это светло-серые, серые, реже красновато-серые, свежего облика, часто порфиroidные, субщелочные, лейкократовые, биотитовые, биотит-амфиболовые, мелко-средне-крупнозернистого сложения граниты, реже гранодиориты.

Возраст комплекса, определённый по цирконам из гранитов U-Pb методом, 300–330 млн лет [6].

Структура рудного поля. Наличие в центральной части Икибзякского рудного поля между Качиоканской и Икибзякской ветвями разрывных нарушений рудоконтролирующего Право-Мамаканского глубинного разлома «жесткого» блока – Довгакитского массива гранитоидов – обусловило формирование системы смыкающих и оперяющих разломов преимущественно субширотной и северо-восточной ориентировок (см. рис. 1). В условиях взбросо-сдвиговых деформаций эти системы были благоприятны для рудолокализации. Они формируют зоны интенсивного расланцевания, смятия и брекчирования пород, сопровождающиеся метасоматическими преобразованиями березит-лиственитового ряда и золотоносным жильно-прожилковым окварцеванием. Внутреннее строение разломных зон обычно сложное – наряду с крутопадающими деформационными поверхностями часто формируются пологие оперяющие (рис. 5). Деформации были многостадийными, расланцевание проявлялось неоднократно, в том числе после формирования кварцевых жил и прожилков, в результате чего последние сминались в складки, разлинзовывались (рис. 6). Расслацевание сопровождалось березитизацией (в гранитоидах и кислых эффузивах) или лиственитизацией (в метабазитах) и происходило в условиях сжатия: кварцевые прожилки, сформированные в сколовых трещинах, сминались в складки даже в гранитах, причём интенсивность складчатости отчётливо связана с интенсивностью расланцевания (рис. 7).

Граниты в зонах катаклаза, дробления и брекчирования березитизируются – на начальной стадии процесса формируется несколько систем сколовых и отрывных трещин, обычно взаимно пересекающихся с формированием брекчиевых текстур с обломками неправильной или округло-линзовидной формы вплоть до образования зон дробления (рис. 8).



Рис. 6. Смятые в складки кварцевые жилы (белое) в рассланцованных гранитах и метабазитах. Район рудопроявления Ветвистое

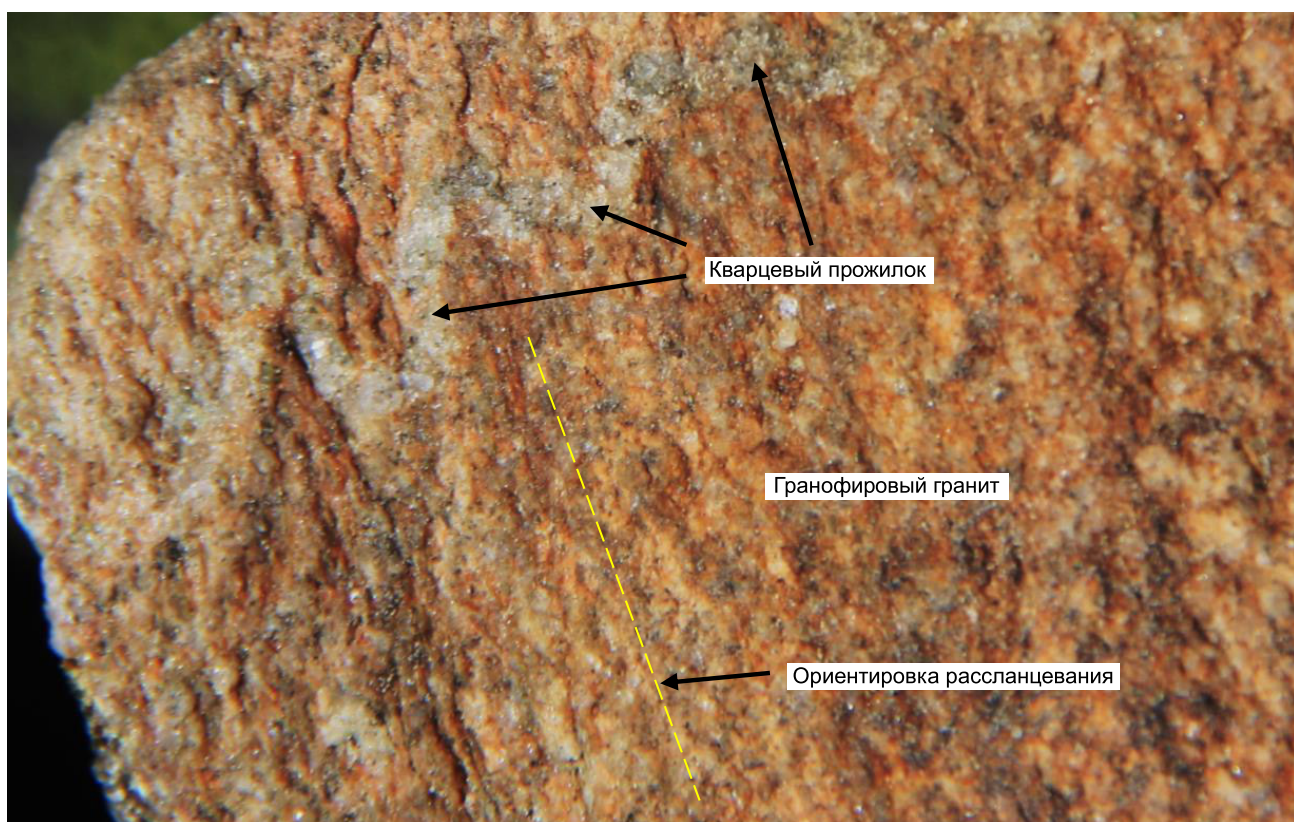


Рис. 7. Смятие в складки кварцевого прожилка при рассланцевании и березитизации гранитов

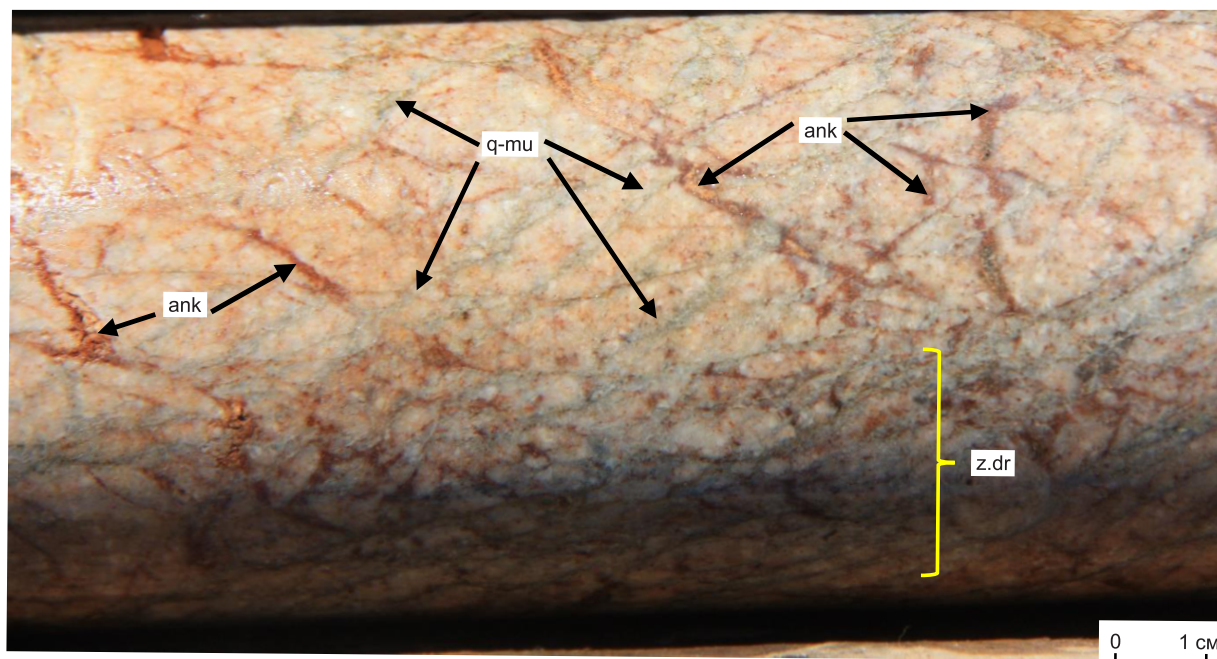


Рис. 8. Деформированные и березитизированные граниты в зонах рассланцевания:

q – кварц, ank – лимонитизированный анкерит, му – мусковит, z.dr – зона дробления

В трещинках сколового типа обычно в процессе деформации происходит мусковитизация пород – образуются зонки мусковитового, кварц-мусковитового, анкерит-хлорит-мусковитового состава, отрывные трещины обычно выполнены кварц-анкеритовым или анкеритовым агрегатом.

Метабазиты в зонах рассланцевания лиственитизируются – превращаются в кварц-мусковит-хлоритовые сланцы с интенсивной железо-магнезиальной карбонатизацией (брейнерит), с хлорит-брейнерит-кварцевым прожилкованием, с вкрапленной магнетитовой, пирротиновой, халькопиритовой и пиритовой минерализацией (рис. 9).

Довгакитское рудопроявление расположено в западной части рудного поля между двумя субширотными рудоконтролирующими разломами. Оба рудоконтролирующих разлома отчетливо дешифрируются на космоснимках. Образованная этими нарушениями узкая тектоническая пластина осложнена серией смыкающих высокопорядковых, кососекущих, также субпараллельных, малоамплитудных взбросов северо-западной ориентировки. Породы в разломных зонах милонитизированы, рассланцованы, часто раздроблены, переработаны гидротермально-метасоматическими процессами: гранитоиды березитизированы, метабазиты лиственитизированы, проявлено жильно-прожилковое окварцевание различной интенсивности.

Здесь по материалам документации информативного слоя делювия в бульдозерных канавах, геологических маршрутов, шлихового и литохимического опробования прогнозируется несколько золоторудных жильно-прожилковых зон, одна из которых (рудная зона Рыжая) вскрыта канавами и скважинами. Зона имеет запад-северо-западное простирание и «смыкает» рудоконтролирующие субширотные разломы (см. рис. 1). Вмещающими породами являются мезократовые биотитовые мелко-среднезернистые граниты с переменным количеством темноцветных минералов, иногда меланократовые до амфибол-биотитовых гранодиоритов. Гранитоиды участка нередко содержат многочисленные мелкие ксенолиты ороговикованных метавулканитов устькелянской толщи и метабазитов таллаинского комплекса. Рудная зона горными выработками прослежена по простиранию на 500 м, скважинами заверена по падению. Простирание зоны северо-западное (290–300°), падение крутое (55–65°) юго-западное. Представляет собой жильно-прожилковую зону в березитах среди березитизированных гранитов, количество кварца по объёму достигает 50 % (рисунки 10, 11). Жилы и прожилки интенсивно деформированы, разлинзованы, отмечаются фрагменты замковых частей складок. Они имеют анкерит-кварцевый состав, отмечается вкрапленность пирита, содержание которого не превышает нескольких процентов.

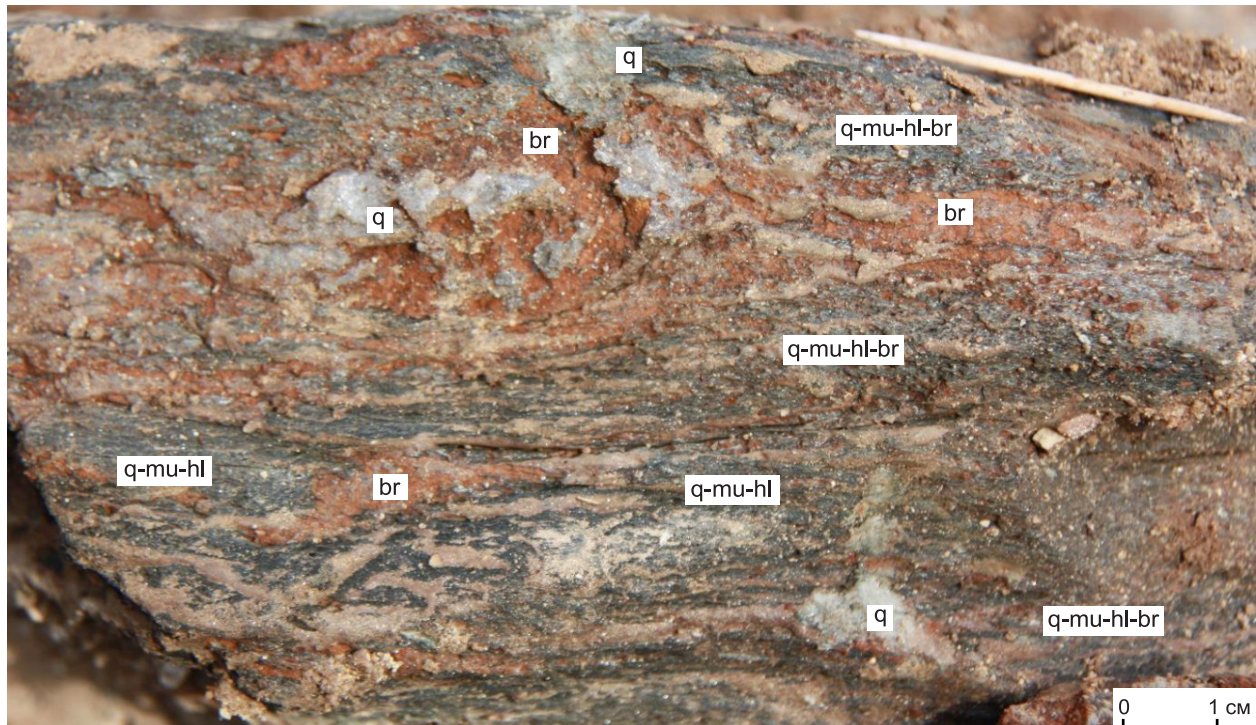


Рис. 9. Листвениты по метабазитам:

q – кварц, mu – мусковит, hl – хлорит, br – лимонитизированный брейнерит

Свое название зона получила из-за рыжего цвета березитов за счёт обильного лимонитизированного анкерита как вкрапленного, так и тонко-прожилкового (см. рис. 10).

Кварц в зоне окисления в канавах сливной, сильно трещиноватый, участками кавернозный, с вкрапленной и гнездовой пиритовой минерализацией. В кавернах мелкосетчатый, ячеистый («ящичный») лимонит, светло-бурые, желтовато-серые и серо-белые охры по вторичным минералам свинца и цинка, корки и игольчато-лучистые агрегаты травяно-зелёного пироморфита, многочисленные знаки золота изометричной комковидной и неправильно пластинчатой формы, размером от 0,1–0,2 до 0,5–0,7 мм. Березиты в пределах зоны интенсивно рассланцованы, превращены в ортосланцы, обильно пиритизированы, прожилково окварцованы, часто отмечается видимое золото.

В скважинах (см. рис. 11) жильный кварц содержит вкрапленную, гнездовую и гнездово-прожилковую пирит-халькопирит-галенитовую и золотую минерализацию. Визуально часто отмечаются знаки золота размером 0,1–0,5 мм.

Минералогическим анализом практически во всех бороздовых и керновых пробах в значимых содер-

жаниях установлены пирит и галенит, отмечаются сфалерит, магнетит, акантит, молибденит, халькопирит, вульфенит. Золото свободное, по результатам минералогического анализа в керновых пробах по весовой доле преобладают золотины класса 0,25–0,5 мм (более 70 %), единичные знаки размером 0,5–1,0 мм (см. рис. 11, врезка). В бороздовых пробах более 70 % золотинок имеют размерность +0,25 мм, но, в отличие от керновых проб, размерность около половины из них составляет +0,5 мм, отмечаются единичные знаки размером более 1 мм. Очевидно, это объясняется весом проб – у бороздовых он в два раза больше керновых. Данный факт свидетельствует о высокой доле крупного золота в рудах. Для достоверного определения содержаний золота в рудной зоне требуется не только увеличивать диаметр керна, но и для контроля достоверности бороздового и кернового опробования использовать валовое опробование [3]. Формы выделений золота разнообразны: преобладают гемидиоморфные формы – комковидные, уплощённые, уплощённо-вытянутые золотины с ограниченными выступами, часто с отростками в виде нечётко выраженных кристаллов, сростков таких кристаллов. Отмечаются сростки золота с пиритом (с лимонитом по пириту) и галенитом.

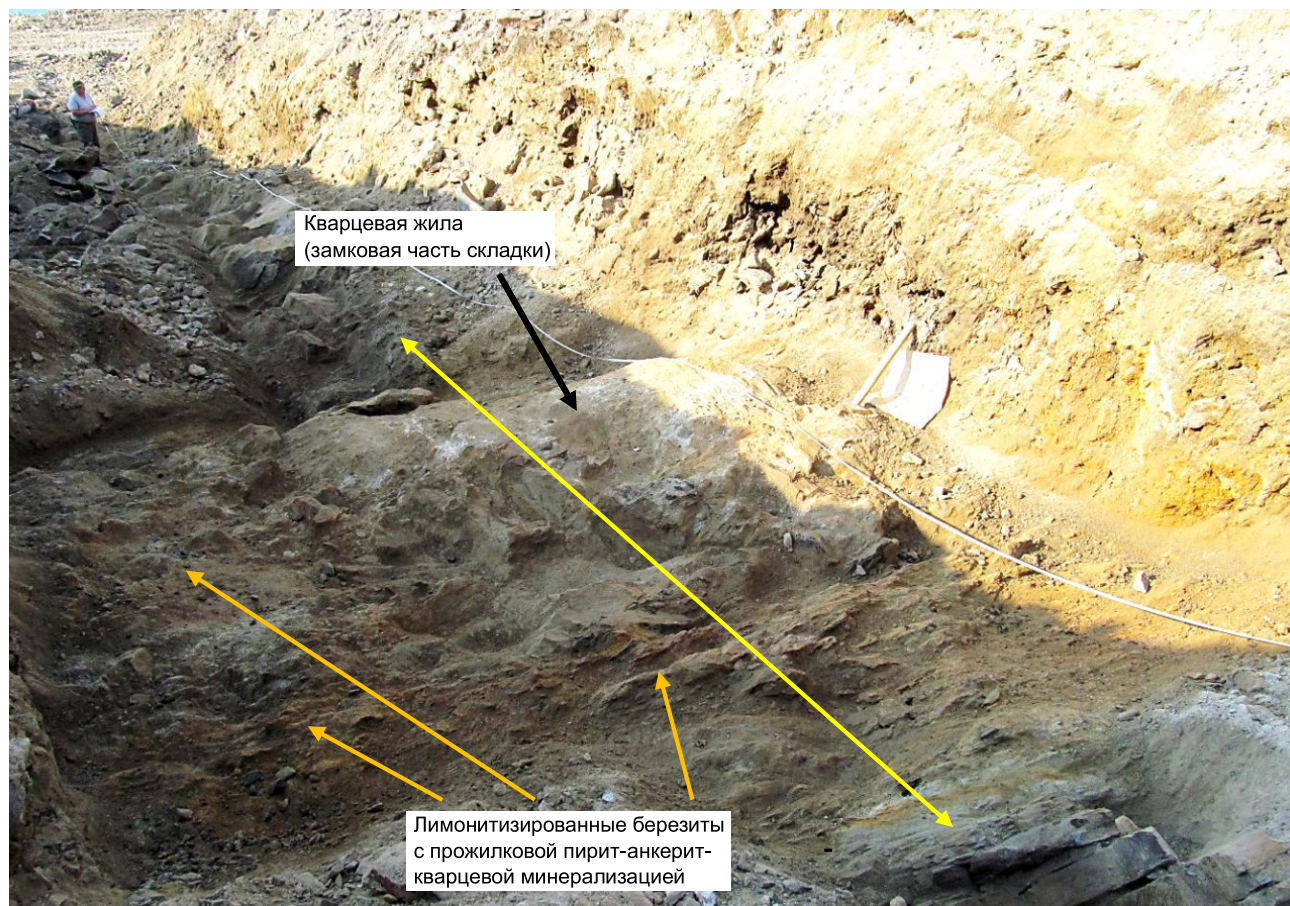


Рис. 10. Вскрытая в канаве рудная жильно-прожилковая зона Рыжая (жёлтая стрелка). Рудопроявление Довгакитское

По данным спектрального анализа, рудная зона характеризуется повышенными содержаниями свинца (до 0,46 %), серебра (до 10 г/т), меди, цинка, олова, молибдена, висмута.

Средняя истинная мощность рудной зоны Рыжая составила 5,0 м, средние содержания золота 5,68 г/т при коэффициенте рудоносности 0,73.

Рудопроявление Ветвистое расположено в восточной части Икибзякского рудного поля и контролируется зоной северо-восточного рудоконтролирующего разлома (см. рис. 1). Он представлен серией сближенных, параллельных, малоамплитудных взбросов и зон интенсивного расланцевания в поле дробленных, сильно катаклазированных и брекчированных пород в экзо-эндоконтакте Довгакитского гранитоидного массива с вмещающими метабазитами таллаинского комплекса и устькелянской толщи.

В результате проведённых работ в пределах рудопроявления установлены золотоносные минерализованные зоны северо-восточной ориентировки,

в которых проявлены гидротермально-метасоматические преобразования лиственит-березитового ряда, жильно-прожилковое окварцевание, березитизация и лиственитизация пород. Наиболее изучена минерализованная зона № 1, в которой выявлена одноимённая рудная зона Центральная с промышленными параметрами (см. рис. 1).

Минерализованная зона № 1 северо-восточного простирания (азимут 50°) пересекает гранитоиды бамбукойского комплекса с многочисленными различного размера ксенолитами метабазитов устькелянской свиты и таллаинского комплекса. Граниты интенсивно катаклазированы, расланцованы, участками брекчированы, березитизированы (до березитов). Метаэффузивы средне-основного состава устькелянской толщи и метагабброиды таллаинского комплекса в ксенолитах расланцованы до ортосланцев и лиственитизированы (до лиственитов). Для березитов характерны интенсивное окварцевание по массе, обильная серицитизация по полевым шпатам по массе и в виде зон, вкрапленность рассеянного

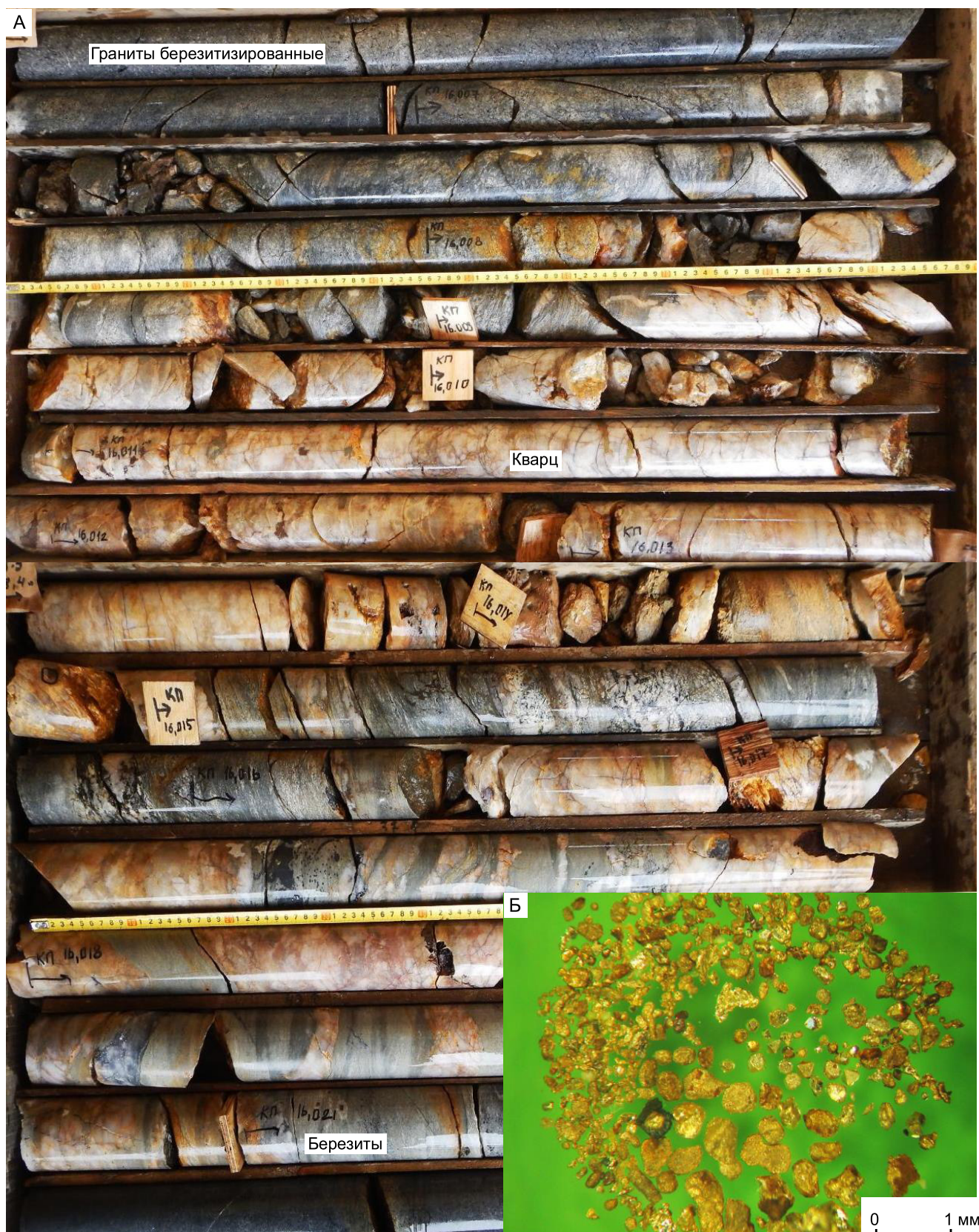


Рис. 11. Строение рудной жильно-прожилковой зоны Рыжая, скв. 16, инт. 20,7–35,7 м, диаметр керна 63 мм (А); выделенное при минералогическом анализе проб-протолок («хвостов» керновых проб) самородное золото (Б)

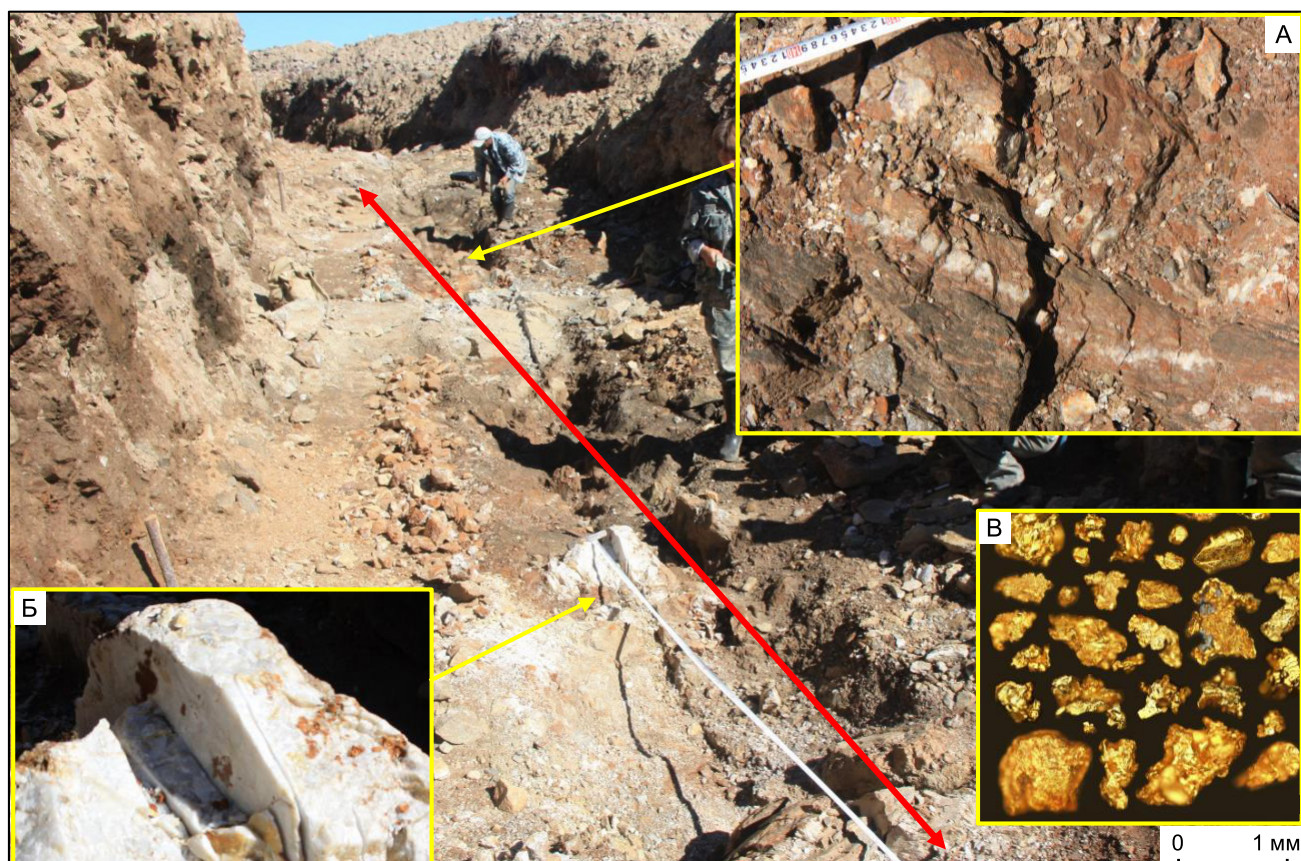


Рис. 12. Рудопоявление Ветвистое, рудная зона Центральная, вскрытая в канаве (красная стрелка):

А – анкерит кварцевые (белые) и брейнерит-кварцевые (бурые) прожилки в лиственитах; Б – анкерит-кварцевая жила с видимым золотом; В – золото из проб-протолок

и мелкогнездового пирита (1–5 %), мелкогнездовая и линзовидно-прожилковая железо-магнезиальная карбонатизация (анкерит – 5–15 %, иногда до 50 %). В метабазитах, особенно в метаэффузивах среднего состава, резко доминируют процессы полиморфной (чаще порфиробластовой и гнездовой) железо-магнезиальной карбонатизации (анкерит, брейнерит – 10–25 %, нередко до 50 %), участками интенсивно проявлено гнездовое и неправильно-линзовидное карбонат-кварцевое прожилкование, характерна рассеянная вкрапленность магнетита и пирита, иногда халькопирита. В зоне окисления породы интенсивно лимонитизированы.

В пределах минерализованной зоны № 1 выделена рудная зона Центральная, по своим параметрам соответствующая промышленному золоторудному объекту. Она выделяется по проявлению жильно-прожилкового окварцевания, представленного отдельными деформированными кварцевыми жилами мощностью до 0,6 м и интенсивным прожилкова-

нием с различной мощностью прожилков (рис. 12). Степень насыщенности пород жильным кварцем в различных частях рудной зоны варьирует от 3–5 % до 15–25 % и более. Жилы и прожилки имеют (анкерит, брейнерит)-кварцевый состав, для них характерна убогая сульфидная минерализация, представленная пиритом, халькопиритом, галенитом, часто отмечается видимое самородное золото (см. рис. 12). Большинство кварцевых жил минерализованной зоны имеет северо-восточное простирание (30°–60°) и крутое (50°–90°) северо-западное падение. Прожилки мощностью от 0,1 до 10,0 см имеют разнообразную ориентировку.

В кварцевых жилах анкерит, часто лимонитизированный, обычно встречается в виде гнёзд размером до нескольких сантиметров. Пирит отмечается как в приконтактных частях, так и в средних частях жил в виде отдельных кубических кристаллов или их сростков. Самородное золото обычно видно в кварце на контакте с гнёздами анкерита или окисленном пирите.

Тонкопрожилковая брейнерит-кварцевая минерализация характерна для лиственитов, представляющих собой буровато-тёмно-зелёные, мелкозернистые, биотит-хлоритовые сланцы по метабазитам обильно карбонатизированные (брейнерит + кальцит). При выщелачивании брейнерит лимонитизируется, вследствие чего породы приобретают рыжий цвет (см. рисунки 9, 12).

По березитам и березитизированным гранитам сформированы ортосланцы, интенсивно обохренные в поверхностных условиях в канавах. В ортосланцах наблюдается вкрапленность пирита и халькопирита, реже пирротина и магнетита. Анкерит-кварцевые разноориентированные прожилки, занимающие обычно 10–20 % объёма породы, содержат вкрапленность халькопирита, галенита.

По результатам исследования обогатимости технологической пробы, проведённого АО «Тулское НИГП», одностадийное гравитационное обогащение руды позволяет извлечь в концентрат 85,86 % золота. Разработано три варианта технологических схем: прямое цианирование руды, гравитационная, флотационно-цианистая. Все три технологии обеспечивают показатели извлечения золота на уровне 84–86 %. Полученные гравитационный и флотационный концентраты являются кондиционными по содержанию золота.

По данным минералогического анализа, золото рудной зоны Центральная представлено в основном уплощёнными и удлинёнными выделениями неправильной формы (см. рис. 12). Преобладают комковидные, уплощённые, уплощённо-вытянутые золотины с ограниченными выступами, часто с отростками в виде нечётко выраженных кристаллов. Распределение золота по размерам достаточно неравномерно: –0,05–0,1 мм – от 2 до 65 %; –0,1–0,25 мм – от 30 до 60 %; –0,25–0,5 мм – от 5 до 35 %; –0,5–1,0 мм – от 0 до 2 %; >–1 мм – единичные знаки. Отмечается, что золотины размером 0,05–0,1 мм преобладают в пробах с высокими содержаниями халькопирита и галенита. В целом весовая доля золота крупностью более 0,1 мм находится в пределах 96–100 %. До 40 % (в отдельных пробах) обнаруженных золотин находятся в сростках с кварцем и лимонитом по пириту. Встречаются сростки золота с мусковитом (серицитом), слюдисто-кварцевой породой, в редких и единичных случаях с галенитом и сильно окисленным халькопиритом. Совместно с золотом всегда встречаются пирит, часто магнетит, халькопирит, галенит, сфалерит, блёклые руды, акантит, телуровисмутит, висмутин, гематит и гематит-мартит, ильменит.

При бортовом содержании 0,5 г/т средняя мощность рудной зоны составила 14,4 м, средние содер-

жания золота 5,4 г/т при коэффициенте рудоносности 0,53.

Резюме. Таким образом, в Байкало-Патомской металлогенической провинции впервые выявлен потенциально-промышленный золоторудный объект, локализованный в гранитоидах. Это свидетельствует о необходимости проведения специального анализа всех геологических, геохимических и геофизических материалов с целью локализации участков, перспективных на выявление новых подобных золоторудных объектов. Один из таких участков, Верхне-Орловский, уже выделен ООО «СибГК» и ФГБУ «ЦНИГРИ» в качестве перспективного, и в 2020 г. на нём начаты поисковые работы за средства федерального бюджета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булдыгеров В. В., Срывцев Н. А., Исаков Ю. А. О раннепалеозойском вулканизме центральной части Байкальской горной области // Геология и геофизика. – 1995. – № 1. – С. 31–38.
2. Иванов А. И. Закономерности формирования золоторудных месторождений Бодайбинского рудного района и новые аспекты их поисков // Разведка и охрана недр. – 2004. – № 8–9. – С. 17–23.
3. Иванов А. И. Золото Байкало-Патомы (геология, оруденение, перспективы). – М.: ЦНИГРИ, 2014. – 215 с.
4. Иванов А. И. Золотоносность Байкало-Патомской золоторудной провинции // Автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. – М., 2010. – 50 с.
5. Иванов А. И., Конкин В. Д., Агеев Ю. Л., Молочный В. Г. Особенности поисков золоторудных месторождений в районах развития делювиальных курумных развалов // Отечественная геология. – 2017. – № 6. – С. 14–24.
6. Иванов А. И., Лившиц В. И., Перевалов О. В. и др. Докембрий Патомского нагорья. – М.: Недра, 1995. – 353 с.
7. Казакевич Ю. П., Шер С. Д. и др. Ленский золотоносный район. Т. 1.: Стратиграфия, тектоника, магматизм и проявления коренной золотоносности. – М.: Недра, 1971. – 164 с.
8. Неймарк Л. А., Ларин А. М., Немчин А. А. и др. Геохимические, геохронологические (U-Pb) и изотопные (Pb, Nd) свидетельства анорогенного характера магматизма Северо-Байкальского вулканоплутонического пояса // Петрология. – 1998. – Т. 6, № 2. – С. 139–164.
9. Салоп Л. И. Геология Байкальской горной области. Т. 2: Магматизм, тектоника, история геологического развития. – М.: Недра, 1967. – 699 с.

10. Срывцев Н. А., Халилов В. А., Булдыгеров В. В., Переляев В. И. Геохронология гранитоидов Байкало-Муйского пояса // Геология и геофизика. – 1992. – № 9. – С. 15–24.
11. Станевич А. М., Переляев В. И. К стратиграфии позднего докембрия Средне-Витимской горной страны (Делюн-Уранский горный хребет) // Геология и геофизика. – 1997. – Т. 38. – С. 1642–1652.

REFERENCES

1. Buldygerov V. V., Sryvtsev N. A., Isakov Yu. A. O ranepaleozoyskom vulkanizme tsentral'noy chasti Baykal'skoy gornoy oblasti [Early Paleozoic volcanism in the central part of the Baikal mountain region], *Geologiya i geofizika*, 1995, No. 1, P. 31–38. (In Russ.)
2. Ivanov A. I. Zakonomernosti formirovaniya zolotorudnykh mestorozhdeniy Bodaybinskogo rudnogo rayona i novyye aspekty ikh poiskov [Regularities of the formation of gold deposits in the Bodaibo ore region and new aspects of their search], *Razvedka i okhrana nedr*, 2004, No. 8–9, P. 17–23. (In Russ.)
3. Ivanov A. I. Zoloto Baykalo-Patoma (geologiya, orudneniye, perspektivy) [Gold of Baikal-Patom (geology, mineralization, prospects)], Moscow, FGUP TSNIGRI publ., 2014. 215 p. (In Russ.)
4. Ivanov A. I. Zolotonosnost' Baykalo-Patomskoy zolotorudnoy provintsii [Gold content of the Baikal-Patom gold ore province], *Avtoref. diss....d-ra geol.-mineral. nauk*, M., 2010, 50 p. (In Russ.)
5. Ivanov A. I., Konkin V. D., Ageyev Yu. L., Molochnyy V. G. Osobennosti poiskov zolotorudnykh mestorozhdeniy v rayonakh razvitiya delyuvial'nykh kurumovykh razvalov [Peculiarities of prospecting for gold ore deposits in areas of deluvial kurum breakdowns], *Otechestvennaya geologiya*, 2017, No. 6, P. 14–24. (In Russ.)
6. Ivanov A. I., Livshits V. I., Perevalov O. V. et al. Dokembriy Patomskogo nagor'ya [Precambrian of the Patom Upland], Moscow, Nedra publ., 1995. 353 p. (In Russ.)
7. Kazakevich Yu. P., Sher S. D. et al. Lenskiy zolotonosnyy rayon. T. 1.: Stratigrafiya, tektonika, magmatizm i proyavleniya korennoy zolotonosnosti [Lensk gold-bearing region. T. 1: Stratigraphy, tectonics, magmatism and manifestations of indigenous gold content], Moscow, Nedra publ., 1971. 164 p. (In Russ.)
8. Neymark L. A., Larin A. M., Nemchin A. A. et al. Geokhimicheskiye, geokhronologicheskiye (U-Pb) i izotopnyye (Pb, Nd) svidetel'stva anorogennogo kharaktera magmatizma Severo-Baykal'skogo vulkano-plutonicheskogo poyasa [Geochemical, geochronological (U-Pb) and isotopic (Pb, Nd) evidence of the anorogenic character of magmatism in the North-Baikal volcano-plutonic belt], *Petrologiya*, 1998, V. 6, No. 2, P. 139–164. (In Russ.)
9. Salop L. I. Geologiya Baykal'skoy gornoy oblasti. T. 2: Magmatizm, tektonika, istoriya geologicheskogo razvitiya [Geology of the Baikal Mountain Region. Vol. 2: Magmatism, tectonics, history of geological development], Moscow, Nedra publ., 1967. P. 699. (In Russ.)
10. Sryvtsev N. A., Khalilov V. A., Buldygerov V. V., Perelyayev V. I. Geokhronologiya granitoidov Baykalo-Muysskogo poyasa [Geochronology of granitoids of the Baikal-Muya belt], *Geologiya i geofizika*, 1992, No. 9, P. 15–24. (In Russ.)
11. Stanевич А. М., Переляев В. И. К стратиграфии позднего докембрия Средне-Витимской горной страны (Делюн-Уранский горный хребет) [On the Late Precambrian stratigraphy of the Middle Vitim mountainous country (Delyun-Uran mountain range)], *Geologiya i geofizika*, 1997, V. 38, P. 1642–1652. (In Russ.)

К вопросу выделения минерально-сырьевых центров твёрдых полезных ископаемых

Представлены методические подходы выделения минерально-сырьевых центров твёрдых полезных ископаемых на территории Российской Федерации. Изложены базовые принципы и критерии, на основе которых проводилось выделение МСЦ на территории Дальневосточного федерального округа. На примере Камчатского МСЦ дано детальное описание его компонентов – промышленно-сырьевых узлов и формирующих их месторождений, а также объектов с оценёнными прогнозными ресурсами.

Ключевые слова: минерально-сырьевой центр, промышленно-сырьевой узел, минерально-сырьевая база, благородные и цветные металлы, Дальневосточный федеральный округ.

АЛЕКСЕЕВ ЯРОСЛАВ ВЛАДИМИРОВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, зав. отделом, alekseev@tsnigri.ru

ЗАСКИНД ЕВСЕЙ СОХОРОВИЧ, старший научный сотрудник, zaskind@tsnigri.ru

КОНКИНА ОЛЬГА МИХАЙЛОВНА, кандидат геолого-минералогических наук, зав. лабораторией, okonkina@tsnigri.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геолого-разведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»), г. Москва

To the issue of the solid mineral center allocation

Ya. V. ALEKSEEV, E. S. ZASKIND, O. M. KONKINA

Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow

Methodological approaches of the solid mineral center allocation in Russia are presented. The basic principles and criteria on the basis of which the allocation of the mineral center in the Far Eastern Federal District was carried out are described. A detailed description of its components (industrial and raw materials hub, deposits, perspective area) is given on the example of the Kamchatka mineral center.

Key words: mineral center, industrial and raw materials hub, solid mineral base, precious and non-ferrous metals, Far Eastern Federal District.

В Стратегии развития минерально-сырьевой базы (МСБ) Российской Федерации до 2035 г. и государственной программе Российской Федерации «Воспроизводство и использование природных ресурсов» (с изм. от 31 марта 2021 г.) в качестве приоритетов и целей государственной политики в сфере развития МСБ обозначено решение задачи формирования крупных минерально-сырьевых центров (МСЦ) экономического развития на Дальнем Востоке и в Арктической зоне Российской Федерации, в Центральной Сибири, Приволжском и Уральском регионах.

Непосредственно понятие «МСЦ» охарактеризовано в Стратегии пространственного развития РФ на период до 2025 г. Под МСЦ понимается территория одного или нескольких муниципальных образований и (или) акватория, в пределах которой расположена совокупность разрабатываемых и планируемых к освоению месторождений и перспективных площадей, связанных общей существующей и планируемой инфраструктурой и имеющих пункты отгрузки добываемого сырья или продуктов его обогащения в федеральную или региональную

транспортную систему (железнодорожный, автомобильный, морской и иные виды транспорта). Также на основе минерально-сырьевой специализации определены субъекты РФ (например, золото – Амурская и Магаданская области, Хабаровский край и др.), в которых МСЦ обеспечат вклад в общий экономический рост страны.

С принятием в 2020 г. Стратегии развития Арктической зоны ряд МСЦ твёрдых полезных ископаемых (ТПИ) был дополнительно конкретизирован: Баимский и Пыркакайско-Майский в Чукотском АО (драгоценные и цветные металлы), МСЦ на базе месторождений коренных (Верхне-Мунское) и россыпных алмазов Анабарского, Булунского, Оленёкского районов Республики Саха (Якутия) и др.

С одной стороны, закрепление понятия «МСЦ» в качестве неотъемлемого компонента документов долгосрочного планирования характеризует следующую стадию и означает переход от этапа проработки данной проблематики на уровне профильных отраслевых институтов, включая методические подходы их выделения [2], последовавшем в 2012 г. согласованием в Роснедра схемы размещения первоочередных МСЦ в границах Сибирского и Дальневосточного федеральных округов и дальнейших работ по их описанию. С другой, отвечает программно-целевому планированию – методу приоритетного решения крупных отраслевых и межотраслевых проблем, заключающемуся в разработке и осуществлении целевых комплексных программ.

При этом нерешённым остаётся ряд вопросов, что создаёт риски обоснованности выделения МСЦ в различных документах. Например, нормативно не обозначены критерии «совокупности» в части минимального или максимального количества месторождений и перспективных площадей, что затрудняет процесс выделения МСЦ. Дополнительная сложность связана с различным классом месторождений в части запасов, видами содержащихся в них полезных ископаемых, их пространственным размещением.

Схожие проблемы свойственны и характеристикам перспективных площадей. Для целей настоящего анализа под перспективной площадью (ПП) понимается структурно обособленный участок земной поверхности, характеризующийся специфическим составом и строением, обнаруживающий признаки промышленной рудоносности и выделяемый для дальнейшего проведения геологосъёмочных или поисково-разведочных работ. Количественным показателем продуктивности ПП являются прогнозные ресурсы, получившие геолого-экономическую оценку [1]. В качестве ПП рассматриваются объекты твёрдых полезных ископаемых (ТПИ) с оценёнными

прогноznыми ресурсами (ОПР), прошедшие апробацию в профильных отраслевых институтах Роснедр, и в отдельных случаях объекты, прошедшие экспертизу в территориальных органах Роснедр. Также учитываются и рудопроявления, включённые в Государственный кадастр месторождений и проявлений (ГКМ), как объекты возможного развития МСБ.

Для исключения формального подхода, при котором наличие, например, двух месторождений и двух объектов с оценёнными прогноznыми ресурсами позволяет рассматривать их как некую «совокупность» и выделить МСЦ, с учётом наработок ЦНИГРИ по данной проблематике предложено рассматривать МСЦ как иерархическую систему, формируемую следующими компонентами.

В состав нижнего уровня входят месторождения полезных ископаемых и ПП ТПИ, представленные объектами с ОПР.

Следующий уровень охарактеризован промышленно-сырьевыми узлами (ПСУ). Под ними понимается территория с близкими географо-экономическими и горно-геологическими условиями и определённой направленностью социально-экономического развития, на которой расположены вовлечённые (вовлекаемые в перспективе) в промышленное освоение запасы полезных ископаемых и (или) выявлены и локализованы объекты с ОПР. Группы ПСУ, в свою очередь, формируют МСЦ – верхний уровень иерархии.

ПСУ, включающие участки с минерально-сырьевой базой (МСБ) национального (федерального), регионального либо муниципального (локального) значения, являются основой, «ядрами» создания горнопромышленного комплекса, то есть территориальной совокупности производств, предназначенных для разведки, добычи и переработки минерально-сырьевых ресурсов (как правило месторождений определённого вида твёрдых полезных ископаемых) и объединённых единой административно-хозяйственной структурой.

При обосновании выделения ПСУ и входящих в него месторождений и перспективных площадей учитываются геологические, экономические, экологические, производственно-инфраструктурные, социально-экономические и иные факторы, а также предпосылки для возможной партнёрской совместной деятельности недропользователей в пределах промышленно-сырьевого узла.

По своему назначению и сопоставимости к ПСУ близка территория опережающего социально-экономического развития (ТОСЭР или ТОР) – часть выделенной территории субъекта Российской Федерации, которая также может включать в себя административно-территориальное образование закрытого

типа (Федеральный закон от 29.12.2014 № 473-ФЗ (ред. от 23.11.2020)). На этой территории Правительством РФ устанавливается специально назначенный правовой режим с целью осуществления предпринимательской и иных видов деятельности. Он призван сформировать условия, благоприятные для привлечения инвесторов, обеспечить развитие социально-экономической сферы ускоренными темпами и тем самым создать комфортные условия для обеспечения жизнедеятельности проживающего на этой территории населения.

Исходя из приведённых выше определений ПСУ и МСЦ, далее изложены некоторые базовые принципы и критерии, на основании которых проводилось их выделение.

Принципы:

- иерархичности и согласованности – перечень базовых компонентов оценки при выделении МСЦ от нижестоящего к вышестоящему: месторождения и ПП, ПСУ, МСЦ, выражающие их соподчинение и взаимосвязь;
- сопоставимости и увязанности – перечни составных и необходимых элементов каждого компонента МСЦ и иных пространственно определённых схем территориального планирования (зонирования) и развития, таксонометрически соотносимые между собой;

- комплексности – набор достаточных условий, предъявляемых к элементам оценки, для выделения ПСУ, МСЦ;

- территориальной приоритетности – очередность выделения МСЦ и его структурных компонентов;

- модульности – перечень необходимой исходной информации для выделения ПСУ и МСЦ, сгруппированной тематически;

- актуальности (изменчивости) – мониторинг развития МСБ в результате ГРР в субъектах РФ, направленный на уточнение границ, действующих МСЦ и входящих в него ПСУ, и выделение на новых территориях перспективных МСЦ.

Указанные выше принципы образуют две группы. Первой, включающей принципы иерархичности и согласованности, сопоставимости и увязанности, а также комплексности (последний входит также и во вторую группу), отвечают **критерии** их выделения, представленные в табл. 1.

Второй группе, включающей принципы территориальной значимости, модульности, актуальности, а также комплексности, соответствуют следующие **критерии**:

- металлогеническое районирование, базирующееся на соответствующих информационно-картографических материалах (Государственная геологическая карта, материалы ЦНИГРИ, иные источники);

1. Таксонометрическое соотношение компонентов МСЦ

Основные компоненты схемы	Критерии выделения		
	Пространственные металлогенические таксоны	Геолого-экономическая характеристика	Административно-территориальная принадлежность
МСЦ	Металлогеническая провинция и (или) её часть	Совокупность разрабатываемых и разведанных месторождений и перспективных площадей (апробированные прогнозные ресурсы) с единой (существующей или планируемой) инфраструктурой	Субъект Федерации, его территориально выделенные части
ПСУ	Металлогеническая зона, часть металлогенической зоны; Рудный район, группа рудных районов и (или) их перспективных частей	Единство сырьевой направленности (профилирующих ПИ), возможность создания территориальной совокупности производств	Территориальная часть субъекта Федерации
Месторождения и (или) ПП		Единство (близость) горно-геологических, экологических, географо-экономических условий	Административный (ные) район (ны)

2. Специализация минерально-сырьевых центров

МСЦ	Ведущие ТПИ	Второстепенные ТПИ
Восточно-Бурятский	Свинец, цинк, уран, барит	(Серебро), оксид бериллия, плавиковый шпат, золото, (медь)
Восточно-Забайкальский	Плавиковый шпат, молибден, уран, свинец, цинк, (висмут, кадмий), золото, (серебро), медь	Железные руды, (сурьма, индий, галлий)
Верхне-Амурский	Золото	Медь, (серебро)
Верхне-Селемджинский	Золото	(Серебро)
Восточно-Якутский	Сурьма, золото, серебро	(Свинец, цинк, кадмий)
Западно-Магаданский	Золото, серебро	Олово
Нижне-Амурский	Золото, медь	(Серебро)
Дальнегорский	Бор, свинец, цинк, серебро	Олово, золото, железные руды, (золото, кадмий, индий, висмут)
Камчатский	Золото, никель	Медь, (серебро, кобальт, МПГ)

Примечание. В скобках ТПИ, не образующие собственных месторождений на территории МСЦ; Верхне-Амурский и Верхне-Селемджинский МСЦ.

- минерально-сырьевая направленность выделяемой территории, учитывающая: количество месторождений, учтённых Государственным балансом запасов, размерность их запасов и добычи, объекты с ОНР, прошедшие апробацию в отраслевых институтах Роснедр и экспертизу в территориальных органах Роснедр, определение главных и второстепенных видов твёрдых полезных ископаемых;

- значимость видов полезных ископаемых, обусловленная уровнем их ликвидности и востребованностью экономикой России и (или) мировым рынком;
- сведения о степени освоения месторождений;
- сведения об объектах с ОНР и рудопроявлениях ГКМ;

- сведения о действующих, строящихся, проектируемых горнодобывающих и горно-обогачительных предприятиях и предполагаемых к освоению месторождений;

- сведения о проводимых ГРП за счёт различных источников финансирования;

- сведения о наличии особо охраняемых территорий и разрешённых на них видах деятельности;

- сведения о социально-экономическом состоянии выделенной территории МСЦ, её связи с региональной и федеральной инфраструктурой как действующей, так и перспективной;

- сведения о приоритетности рассматриваемой территории, определяемой на основе федеральных, региональных и отраслевых программ и иных документов развития;

- полнота, качество и верифицированность исходной информации: геологической, о МСБ, о недропользователях, инфраструктуре и др.

На основе изложенных методических подходов были выделены девять МСЦ ТПИ, расположенных на территории Дальневосточного федерального округа как приоритетной территории развития страны: Восточно-Бурятский (Республика Бурятия), Восточно-Забайкальский (Забайкальский край), Верхне-Амурский и Верхне-Селемджинский (Амурская область), Восточно-Якутский (Республика Саха (Якутия), Западно-Магаданский (Магаданская область), Нижне-Амурский (Хабаровский край), Дальнегорский (Приморский край), Камчатский (Камчатский край). Указанный перечень не является исчерпывающим и будет в дальнейшем дополняться.

Сведения о сырьевой специализации указанных МСЦ и их пространственное размещение представлены в табл. 2 и на рис. 1.

Детальное описание МСЦ и его компонентов показано ниже на примере Камчатского МСЦ.

Камчатский МСЦ площадью 19480 км² выделен на территориях Быстринского, Елизовского, Мильковского, Соболевского, Усть-Большерецкого муниципальных районов Камчатского края. В металлогеническом отношении он расположен в пределах Корьякско-Камчатской минерагенической провинции и охватывает части территорий трёх минерагенических зон (МЗ): Срединной, Центрально-Камчатской и Южно-Камчатской.

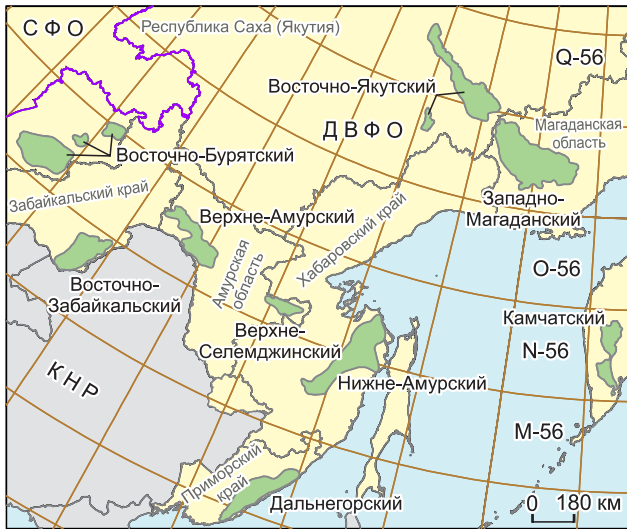


Рис. 1. Схема размещения МСЦ ТПИ на территории ДВФО

Срединная МЗ в геолого-структурном отношении отвечает Срединно-Камчатскому выступу (горст-антиклинорию) метаморфических пород докембрийского–мелового возраста и обрамляющему его с востока комплексу верхнемеловых кремнисто-вулканогенных образований; полезные ископаемые – никель, медь и золото. Центральная-Камчатская МЗ эквивалентна одноимённому вулканическому поясу с образованиями миоцен-плиоценовой базальт-андезит-риолитовой (субвулканическая фация) и миоценовой андезитовой формаций, с которыми генетически связаны эпitherмальные золотые и серебряно-золотые месторождения золото-серебряной рудной формации. Южно-Камчатская МЗ отвечает северному отрезку Курило-Южно-Камчатского вулканического пояса. В её северном замыкании сосредоточены все известные месторождения и перспективные рудопроявления золото-серебряного рудноформационного типа.

МСБ МСЦ включает 11 месторождений и 28 объектов с ОНР Au, Ag, Ni и Cu. В соответствии с инфраструктурой и территориальным размещением объектов МСБ на площади Камчатского МСЦ выделены потенциальный промышленно-сырьевой узел (ППСУ) Дукукский и 3 сложившихся ПСУ – Шанучский, Агинский, Мутновский (рис. 2). При этом в состав МСЦ не включён ряд месторождений рудного золота, учтённых Госбалансом на территории Камчатского края – Аметистовое, Озернинское, Кумроч, – поскольку указанные объекты территориально удалены не только друг от друга, но и от месторождений и объектов с ОНР, на базе которых выделен МСЦ.

В структуре МСБ ведущее положение занимают коренные месторождения и объекты с ОНР золота. Менее значительна роль никеля и меди, представленных запасами комплексных медно-никелевых руд и прогнозными ресурсами (ПР) медно-никелевого и медно-порфирирового геолого-промышленных типов (ГПТ). Запасы кобальта, металлов платиновой группы (МПГ) и 83,3 % запасов серебра, учтённые в качестве попутных компонентов в рудах золоторудных месторождений, не оказывают существенного влияния как на текущее состояние МСБ, так и на перспективы её развития (таблицы 3, 4). ПР собственных месторождений этих металлов на территории МСЦ отсутствуют.

Золото. Среди месторождений золота выделяются девять собственно золоторудных и два комплексных: золото-серебряное (Мутновское) и медно-никелевое (Шануч). Золоторудные месторождения представлены двумя промышленными типами: собственно золотым (Бараньевское, Золотое, Кунгурцевское, Угловое, Оганчинское) и серебряно-золотым (Агинское, Асачинское, Родниковое, Южно-Агинское). Крупные по запасам золота коренные месторождения в МСЦ, как и в МСБ Камчатского края, отсутствуют. По крупности среди месторождений золота МСЦ выделяются 5 средних и 6 мелких. Средние по запасам серебряно-золотые (Асачинское, Агинское, Родниковое) и золото-серебряное (Мутновское) месторождения входят в группу восьми главнейших месторождений Камчатского края, их суммарные запасы кат. $A+B+C_1+C_2$ составляют 45,9 % запасов края. Все месторождения золота находятся в распределённом фонде недр, из них 9 разрабатываемых (60,6 % запасов кат. C_1+C_2) и 2 разведываемых (39,4 %). Запасы золоторудных месторождений учтены на балансе четырёх недропользователей (АО «Камчатское золото», АО «Камголд», АО «ТСГ Асача» (ранее АО «Тревожное зарево»), ООО «Компания «СТЭППС ИСТ»); в 2019 г. из девяти разрабатываемых месторождений добычные работы проводились на пяти; суммарная добыча составила 2103 кг золота (см. таблицу 3). Суммарные ПР золота МСЦ кат. P_1+P_2 (304 т) в 3,3 раза превышают балансовые запасы золоторудных месторождений кат. C_1+C_2 (91,632 т), что является достаточным поисковым заданием для возможного обнаружения прогнозируемых на его территории месторождений мелко-среднего масштаба золото-серебряного и золото-сульфидно-кварцевого типов.

Из указанных недропользователей АО «Камчатское золото» и АО «ТСГ Асача» являются резидентами ТОР «Камчатка» (созданной Постановлением Правительства РФ от 28.08.2015 № 899 с изм. от 14.01.2021 г.). Используя меры поддержки бизнеса (налоговые льготы и преференции неналогового

характера), компании осуществляют модернизацию производства, создают новые рабочие места.

Никель. МСБ никеля Камчатского МСЦ представлена единственным на территории Камчатского края Шанучским медно-никелевым месторождением, разрабатываемым ЗАО НПК «Геотехнология», и 10 объектами с ПР медно-никелевого ГПТ (см. таблицу 4). На месторождении в качестве компонента комплексных руд утверждены запасы меди и как попутных компонентов – запасы кобальта, платины, палладия и золота (см. табл. 3).

Медь. МСБ меди помимо запасов в комплексных рудах Шанучского месторождения и объектах с ОПР медно-никелевого ГПТ (10 объектов) включает 3 объекта с ОПР медно-порфирирового типа, апробированных в количествах (в тыс. т): кат. P_3 – 4000, кат. P_2 – 425 и кат. P_1 – 480.

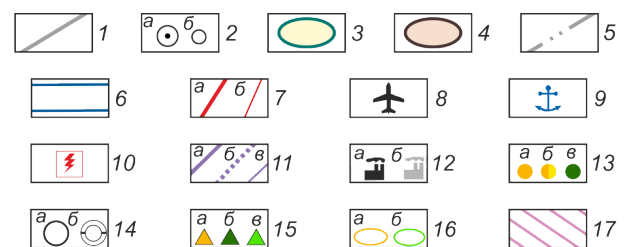
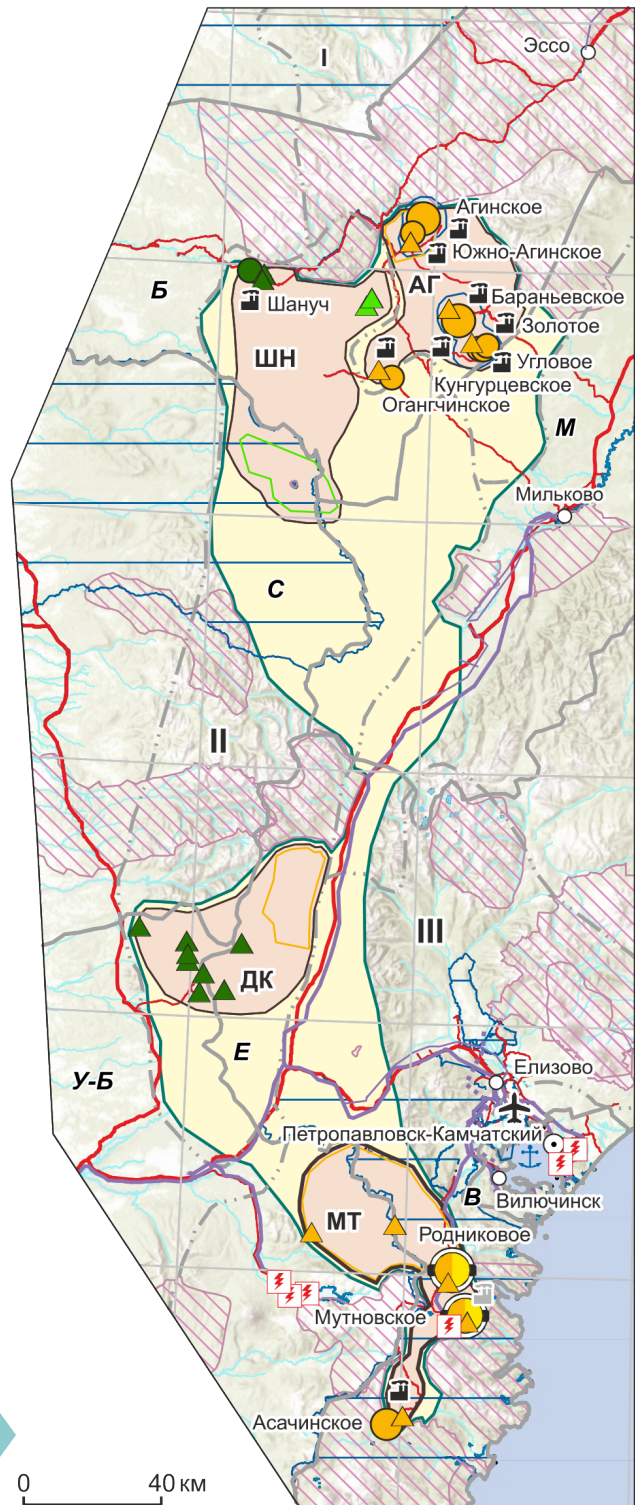
Серебро. МСБ серебра тесно связана с МСБ золота, так как они представлены одними и теми же промышленными месторождениями. По величине запасов серебра все месторождения – мелкие.

Перспективы освоения и развития МСБ Камчатского МСЦ связаны в первую очередь с нижеследующим.

Золото. Балансовые запасы золота МСЦ учтены в количестве 91 798 кг кат. C_1+C_2 , что составляет 50,9 % запасов коренных месторождений Камчатского края, и находятся в распределённом фонде недр. Укрепление МСБ распределённого фонда

Рис. 2. Схема размещения промышленно-сырьевых узлов Камчатского МСЦ:

1 – границы районов и городских округов: Б – Быстринский, С – Соболевский, У-Б – Усть-Большерецкий, Е – Елизовский, М – Мильковский, В – Вилучинский; 2 – административные единицы: а – центр субъекта РФ, б – центры районов и городских округов; 3 – границы Камчатского МСЦ; 4 – границы ПСУ: АГ – Агинский, МТ – Мутновский, ШН – Шанучский, ДК – Дукукский (потенциальный); 5 – границы металлогенических зон: I – Центрально-Камчатская, II – Срединная, III – Южно-Камчатская; 6 – границы ТОР «Камчатка»; 7 – автомобильные дороги: а – главные, б – прочие (грунтовые, зимники и др.); 8 – аэропорт; 9 – морской порт; 10 – электростанции; 11 – линии электропередач: 110 кВ и выше: а – действующие, б – проектируемые, планируемые, в – 35 кВ; 12 – горно-обогатительный комбинат, фабрики: а – действующие, б – проектируемые; 13 – месторождения: а – золота, б – золота и серебра, в – никеля и меди; 14 – освоённость месторождений: а – разрабатываемые, б – разведываемые; 15 – объекты с апробированными прогнозными ресурсами категорий P_1 и P_2 : а – золота, б – никеля и меди, в – меди; 16 – объекты с апробированными прогнозными ресурсами кат. P_3 : а – золота, б – меди; 17 – особо охраняемые территории с различным статусом их использования



и продление сроков отработки месторождений возможны за счёт освоения прогнозных ресурсов кат. P_1 (254 т) на флангах и глубоких горизонтах известных месторождений. Возможность дальнейшего расширения МСБ МСЦ золота обусловлена наличием ПР кат. P_2 (50 т) на требующих оценки рудопроявлениях и перспективами выявления новых рудных объектов на ряде перспективных площадей в рудных узлах (ПР кат. P_3 – 80 т).

В 2020 г. АО «Росгео» завершены госбюджетные работы на территории Мутновского ПСУ в пределах Банно-Карымшинского рудного узла (ПР P_3 – 10 т золота) по объекту «Поисковые работы на рудное золото в пределах Карымшинского рудного поля (Камчатский край)». Апробированы ПР: по Карымшинскому участку – 1,3 т золота и 24,5 т серебра кат. P_1 ; 2 т золота и 2 т серебра кат. P_2 ; по Северному участку – 2,9 т золота и 6,5 т серебра кат. P_1 . Район экономически освоен, развита сеть автомобильных дорог, имеются источники электроэнергии, поблизости расположен действующий Асачинский ГОК,

где возможна переработка руд Карымшинского рудного поля. К площади Банно-Карымшинского рудного узла проявляют интерес и недропользователи. В 2020 г. начаты ГРП за счёт собственных средств ООО «Камчатгеология» на Средне-Карымшинском участке (лицензия ПТР00925 БП), расположенном северо-восточнее Карымшинского рудного поля. По результатам работ планируется получить запасы по категориям C_2+C_1 не менее 6 т золота и 60 т серебра. Кроме того, ООО «Вилюча Металл» получена лицензия (по «заявочному» принципу) ПТР00910 БП для проведения поисковых работ ещё на одном участке Банно-Карымшинского рудного узла, расположенном севернее участка госбюджетных работ. Проект пока не прошёл экспертизу.

Никель. МСБ никеля представлена запасами единственного месторождения Шануч. Перспективы развития МСБ никеля как МСЦ, так и Камчатского края связаны с реализацией прогнозных ресурсов кат. P_2 , в 17 раз превышающих запасы кат. C_1+C_2 и оценённых как в пределах Шанучского рудного поля

3. Характеристика МСБ коренных месторождений Камчатского МСЦ и её положение в МСБ Камчатского края (КК) и Дальневосточного федерального округа (ДФО)

Полезное ископаемое, единицы измерения	Запасы						Добыча		
	Число месторождений	кат. $A+B+C_1+C_2$	% от КК	% от ДВФО	кат. $A+B+C_1$	кат. C_2	Всего	% от КК	% от ДВФО
Золото, всего, кг	10	91 798	50,9	1,4	37 649	54 149	2103	33,1	1,1
Агинский ПСУ	7	40 388			26 001	14 387	801		
Мутновский ПСУ	3	51 244			11 527	39 717	1296		
Шанучский ПСУ	1*	166			121	45	6		
Серебро, т, в т.ч.:	10*	398,2	63,5	0,5	141,1	257,1	4,6	29,5	0,29
Агинский ПСУ	7*	32			15,1	16,9	0,1		
Мутновский ПСУ	3*	370,2			119,8	250,4	4,2		
Шанучский ПСУ, в т.ч.:	1								
Никель, тыс. т	1	47	100	13,3	30,8	16,2	2,5	100	100
Медь, тыс. т	1*	8,4	100	0,02	5,2	3,2	0,4	100	0,62
Кобальт, т	1*	1637	100	13,9	1097	540	57	100	100
МПП, кг	1*	665	100	4,0	480	185	18	100	100

Примечание. * запасы учтены в качестве компонента комплексных руд.

4. Прогнозные ресурсы Камчатского МСЦ

ПСУ	Всего		Категории					
			P ₃		P ₂		P ₁	
	Число объектов	ПР	Число объектов	ПР	Число объектов	ПР	Число объектов	ПР
Золото, кг								
Агинский	6	229	1	40	1	20	4	169
Мутновский	6	125	1	10	2	30	3	85
Дукукский	1	30	1	30				
Всего МСЦ	13	384	3	80	5	50	7	254
Никель, тыс. т								
Шанучский				160				
Дукукский				645				
Всего МСЦ				805				
Медь, тыс. т								
Шанучский	5	4905	1	4000	3	425	1	480
Дукукский	8	310			8	310		
Всего МСЦ	13	5215	1	4000	11	735	1	480

(160 тыс. т), так и в трёх перспективных рудных полях Дукукского ПСУ: Дукукском (200 тыс. т), Квинумском (245 тыс. т) и Кувалорогском (200 тыс. т). В группе объектов с ОПР распределённого фонда (лицензия ЗАО НПК «Геотехнология») первоочередными являются прогнозируемые месторождения Квинум и Тундровое Квинумского рудного поля (ПР P₂ – 145 тыс. т). Компактное и достаточно доступное их расположение, близость источников энергетического сырья (каменного угля, природного газа), возможность отработки месторождений открытым или комбинированным способом увеличивают их инвестиционную привлекательность. Среди прогнозируемых месторождений Кувалорогского рудного поля (Северное, Медвежье, Правокихчинское – 200 тыс. т кат. P₂) могут быть крупные и средние по запасам месторождения никеля с попутными платиноидами и кобальтом. Однако отработка рудных залежей возможна, по-видимому, только подземным способом, что на данном этапе не позволяет относить их к первоочередным объектам.

Медь. Помимо запасов и прогнозных ресурсов меди в комплексных объектах медно-никелевого геолого-промышленного типа в МСБ МСЦ меди в нераспределённом фонде числятся ПР медно-порфирового типа (4935 тыс. т), весьма перспективного

на территориях ряда субъектов Дальнего Востока. В рудах рудопроявления Кирганик с апробированными прогнозными ресурсами Cu – 480 тыс. т кат. P₁ и 425 т кат. P₂ в качестве попутных компонентов установлены Au и Pd, прогнозные ресурсы которых не оценивались. Среднее содержание по 32 пробам из руд (исключая ураганные пробы) составило: Cu – 1,53 %, Au – 1,14 г/т, Pd – 0,47 г/т. В окисленных рудах с содержанием Cu – 0,4–1,0 % среднее содержание Pd – 0,24 г/т (по 23 пробам). В бедных выщелоченных медных рудах (Cu до 0,35 %) содержание Au – 0,02–0,66 г/т (обычно менее 0,1 г/т), Pd – 0,07–0,21 г/т. Установлены минералы палладия, кроме того, в рудах часто отмечают барит с содержанием Sr до 5,8 % и Cu до 2,4 %. Рекомендуется провести геолого-экономическую переоценку рудопроявления, а также Крутогоровско-Андриановского рудного узла (Cu – 4000 т кат. P₃) с учётом попутно извлекаемых золота и МПГ. Положительная экономическая оценка объектов позволит привлечь инвесторов и в перспективе создать горнопромышленный комплекс по добыче и переработке руд цветных и благородных металлов.

Кобальт и МПГ. Собственные месторождения кобальта и МПГ на территории МСЦ не прогнозируются ввиду отсутствия геологических предпосылок

их обнаружения. В настоящее время состояние, использование и развитие МСБ этих металлов целиком зависят от показателей МСБ никеля, а в дальнейшем для МПГ – от МСБ меди медно-порфирирового типа.

Резюме. Важной задачей успешной реализации ГРР в пределах Камчатского МСЦ является создание экономического климата, позволяющего планировать развитие МСБ за счёт различных источников инвестирования. При этом основным финансовым источником в таком развитии является частный капитал, поэтому важна роль государственных и муниципальных органов власти в создании соответствующих условий: создание необходимого инфраструктурного обеспечения, присвоение статуса резидента

ТОР «Камчатка» и предоставление инвесторам налоговых льгот и преференций неналогового характера.

Представленные методические подходы при выделении МСЦ на базе ТПИ и приведённое в качестве примера описание Камчатского МСЦ могут применяться органами государственной власти и управления в качестве рекомендаций в рамках разработок (корректировок) документов федерального, регионального (территориального) и отраслевого планирования при оценке развития минерально-сырьевого комплекса, его увязки с существующей и перспективной инфраструктурой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильин К. Б., Кривцов А. И., Марков К. А. и др. Российский металлогенический словарь. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2003. – 320 с.
2. Минерально-сырьевой потенциал недр Российской Федерации: в 2 т. // Минерально-сырьевой и стоимостной анализ. Т. 2. / Науч. ред. О. В. Петров. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2009. – 491 с.

REFERENCES

1. Ilin K. B., Krivtsov A. I., Markov K. A. et al. Rossiyskiy metallogenicheskiy slovar [Russian metallogenic dictionary], Saint Petersburg, VSEGEI publ., 2003, 320 p. (In Russ.)
2. Mineral'no-syr'yevoy potentsial neдр Rossiyskoy Federatsii: v 2 t. [Mineral resource potential of the Russian Federation: in 2 volumes], Mineral'no-syr'yevoy i стоимостной анализ, V. 2, Nauch. red. O. V. Petrov, Saint Petersburg, VSEGEI publ., 2009, 491 p. (In Russ.)

По всем вопросам, связанными со статьями, следует обращаться в редакцию по тел. +7 (495)315-28-47,
E-mail: ogeo@tsnigri.ru

Адрес редакции: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1

Основные направления и предварительные результаты прогнозирования золоторудных месторождений в восточной (русской) части Фенноскандинавского щита

Рассмотрены основные особенности металлогении золота на зарубежных докембрийских щитах (без учёта осадочно-метаморфогенных месторождений золотоносных конгломератов и магматогенных золото-содержащих медно-никелевых и платинометалльных месторождений) и региональные особенности восточной части Фенноскандинавского щита. Обобщены и проанализированы данные по геологической позиции золоторудных месторождений Финляндии. Дан краткий анализ результатов работ и поисковой изученности на золото территории Карело-Кольского региона. На основе созданной автором цифровой модели специализированной на золото прогнозно-металлогенической карты восточной части Фенноскандинавского щита предложены приоритетные направления дальнейших геологоразведочных работ в Карело-Кольском регионе. Прогнозируется возможность выявления средних и крупных месторождений различных формационных и геолого-промышленных типов.

Ключевые слова: металлогения, золото, Фенноскандинавский щит, Финляндия, Карело-Кольский регион, месторождения, проявления, прогнозные ресурсы, рекомендации.

БЕЗРУКОВ ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ, заместитель заведующего отделом региональных ГРП ЦГГК, Vladimir_Bezrukov@vsegei.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт имени А. П. Карпинского» (ФГБУ «ВСЕГЕИ»), г. Санкт-Петербург

Major activities and provisional results of gold deposit forecasting in the eastern (Russian) part of Fennoscandian shield

V. I. BEZRUKOV

Federal State Budgetary Institution «A. P. Karpinsky Russian geological research institute» (FGBU «VSEGEI»), Saint Petersburg

The paper discusses the main gold metallogeny features within foreign Precambrian shields (excluding sedimentary-metamorphogene deposits of Au-rich conglomerates and magmatogene Au-rich Cu-Ni and PGE deposits) and regional features of the eastern Fennoscandian shield. Data on geological setting of Finnish gold deposits are summarized and analyzed. The paper briefly reviews gold prospecting knowledge within Karelian-Kola region and work results. The author compiled a digital model of gold-specific forecast-metallogenic map for the eastern Fennoscandian shield; based on this model, further prioritized exploration activities in Karelian-Kola region are proposed, potential for discovering medium-sized and major deposits of various formational and geological/economic types is forecasted.

Key words: metallogeny, gold, Fennoscandian shield, Finland, Karelian-Kola region, deposits, occurrences, resources, recommendations.

Анализ перспектив рудоносности русской части Фенноскандинавского щита выполнен на основе ведущих факторов и признаков, определённых по результатам сбора и обобщения информации о металлогении золота в пределах зарубежных выступов докембрийского фундамента (щиты, кратоны), в том числе и на территории Финляндии.

Некоторые особенности металлогении золота в пределах зарубежных докембрийских щитов. На территориях зарубежных докембрийских щитов известны 3 группы золоторудных месторождений, которые размещаются в архейских зеленокаменных поясах, в эпикратонных протерозойских структурах и в зонах тектоно-магматической активизации. В каждой

из этих групп присутствуют крупные (100–300 т) и крупнейшие (> 300 т) по размерам месторождения [4].

Месторождения архейских зеленокаменных поясов в подавляющем большинстве представлены эпигенетическими месторождениями, связанными с финальными стадиями орогенного тектогенеза.

Подчинённым развитием пользуются стратиформные сингенетические месторождения, которые локализируются в горизонтах железистых кварцитов, располагающихся в разрезах вулканогенных толщ андезито-базальтового или коматиит-базальтового составов (например, месторождения Лукин и Пикл Кроу, 42–45 т – Канадский щит; Вубачикве и Кон-немара, 10–12 т – Капско-Аравийский щит).

Для многих месторождений этого типа установлено развитие наложенной эпигенетической золоторудной минерализации [4].

Среди эпигенетических золоторудных месторождений, в свою очередь, присутствуют две крупные группы объектов: месторождения, которые обнаруживают пространственную и парагенетическую связь со штоками и дайками гранитоидного состава – интрузивно-связанный генетический тип, и месторождения, для которых такая связь отсутствует – орогенический мезотермальный генетический тип [8, 9].

Золоторудные месторождения орогенического мезотермального типа локализируются в любых вещественных комплексах, участвующих в строении зеленокаменных поясов: в вулканогенных толщах базит-гипербазитового состава (например, месторождения Шеба, Файвью и Нью-Консорт пояса Барбертон в ЮАР, > 250 т; Керр-Эдисон, 340 т – Канадский щит; Булавайо – Капско-Аравийский щит; Колар, 900 т и Хутти – Индийский щит; Норсмен – Западно-Австралийский щит), в толщах средне-кислых вулканитов (Норанда-Хорн, 120 т – Канадский щит; Мотто – Капско-Аравийский щит); в осадочных и в туфогенно-осадочных комплексах, завершающих разрезы зеленокаменных поясов (Морроу-Велью, 430 т – Бразильский щит; Кохинор, Консолидейтед-Дискавери-Иеллоунайф, Лонг-Лейк, Пеймор-Брулин – Канадский щит; Кем-Мотор, Кон-сорт – Капско-Аравийский щит; Лэнк-фильд – Западно-Австралийский щит), в силлах долеритов (Калгурли, 1300 т – Западно-Австралийский щит), в субвулканических телах кварцевых порфиров и во вмещающих их туфах средне-кислого состава (Хемло, 750 т, Доум, 400 т – Канадский щит), располагающихся на различных уровнях разрезов зеленокаменных поясов [4].

Рудные тела представлены гидротермальными иногда метасоматическими кварцевыми жилами, зонами прожилкования и минерализованными зонами.

Одними из ведущих факторов локализации золоторудных месторождений орогенического мезотермального типа, которые в значительной мере определяют и масштабность объектов, являются неоднородность рудовмещающей среды и степень компетенции отдельных её компонентов к хрупким и пластическим деформациям. Рудоконтролирующими служат продольные, диагональные и поперечные зоны разломов, смятия и складчатости. Характерны эшелонированное размещение рудных тел и большой вертикальный размах оруденения – до 2,5–3,0 км [4].

Интрузивно-связанные месторождения присутствуют в дайко- и трубообразных однофазных или дифференцированных штоках пёстрого состава (от гранитов до габбро, иногда субщелочного состава, вплоть до сиенитов), которые размещаются как внутри зеленокаменных поясов, так и в их прибортовых частях [4]. Размеры штоков от малых – 250×120 м (Сигма-Ламак, 310 т – Канадский щит) до средних – 0,4×5,0 км (Керкленд-Лейк, 750 т – Канадский щит) и крупных – 4,5×7,0 км (Биндура, 15 т – Капско-Аравийский щит). Рудные тела – золотоносные кварцевые жилы, штокверки и зоны кварц-сульфидной минерализации, которые локализируются в полностью метасоматически изменённых породах мелких штоков, в краевых частях средних и крупных по размерам штоков, в экзоконтактах и вблизи контактов штоков (на удалении до 700 м, Квесабе) в различных вмещающих вулканогенно-осадочных породах.

На некоторых интервалах продольных тектонических зон рудного поля Поркьюпайн, контролирующего размещение рудоносных штоков (месторождения Холлинджер, Мак-Интайр, Кониорэм и Монета), наиболее насыщенными рудными телами являются интервалы рудной системы, заключённые между порфиоровыми штоками [4]. В пределах этого же рудного поля на месторождении Холлинджер-Макинтайр (Au > 1000 т) отмечается наложение гидротермальной золоторудной минерализации на штокверковое Cu-Ag-Au-Mo оруденение порфиорового типа со средними содержаниями Cu – 0,67 %, Au – 0,59 г/т, Ag – 2,93 г/т и Mo приблизительно 0,05 % [9].

Наиболее крупные запасы интрузивно-связанных месторождений локализованы в мелких штоках [4], для которых характерны ярусное размещение рудных тел и большой вертикальный размах оруденения – до 1500–1800 м (Сигма-Ламак, Престон Ист Доум, Кэмфлю и многие другие в поясе Абитиб). Информации о наличии «оторванных» от зеленокаменных структур архейских интрузивно-связанных золоторудных месторождений в породах фундамента в литературных источниках не встречено.

Размеры выхода на поверхность даже очень крупных и крупнейших архейских месторождений

орогенического мезотермального типа могут составлять от менее одного до первых квадратных километров [8]. Например, площадь уникального по продуктивности месторождения Калгурли (Западная Австралия, зеленокаменный пояс Уилуна-Норсман), из которого добыто 1300 т золота, составляет всего 5–6 км². Золоторудные тела этого месторождения размещаются главным образом в пределах силла долеритов (80 % запасов) и выполняют систему рудовмещающих разломов шириной около 1000–1200 м на протяжении более чем 4000 м. В пределах рудного поля известно более 300 рудных тел мощностью от 0,6 до 24 м со средним содержанием золота в них 13 г/т. Рудные залежи месторождения Хемло (750 т) вытягиваются по простиранию на 100–800 м в пределах рудного поля размером около 5×1,2 км, то есть не более 6–7 км². Месторождение Керр-Эдисон (340 т) приурочено к непротяжённому (более 2000 м) отрезку регионального разлома в вулканитах основного состава при мощности рудной зоны до 200 м (0,4 км²). Для месторождения Керкленд-Лейк (750 т), расположенного в пределах дайкообразного штока щелочных габбро и габбро-порфиритов протяжённостью не менее 5 км при максимальной мощности до 400 м, площадь рудного поля с поверхности не превышает 2–3 км². Площадь выхода на поверхность многочисленных месторождений в штоках значительно меньше одного квадратного километра (Сигма-Ламак, 310 т; Кемфлю, 80 т и др. – пояс Поркьюпайн).

По составу руды преимущественно золотые, иногда золото-теллуридные (Калгурли), сурьмяносодержащие (Уилуна), золотосодержащие колчеданные (рудный район Норанда, Канада).

В целом для месторождений архейских зеленокаменных поясов характерны: повышенная частота встречаемости крупных и крупнейших по запасам месторождений золота [4], большой вертикальный размах и выдержанность оруденения на глубину до 2,5–3,5 км [7], незначительные размеры выхода на поверхность даже очень крупных и крупнейших месторождений, частое превышение длины по падению относительно протяжённости по простиранию.

Месторождения в эпикратонных протерозойских структурах на докембрийских платформах (без учёта осадочно-метаморфогенных месторождений золотоносных конгломератов и магматогенных золотосодержащих медно-никелевых и платинометалльных месторождений) пользуются значительно меньшим распространением и среди них только редкие объекты по размерам достигают мирового класса.

Месторождения представлены орогеническими мезотермальными, эпитепирмальными и VMS-объек-

тами в раннепротерозойских подвижных складчатых областях и в эпикратонных прогибах. Крупные и средние по запасам месторождения размещаются в вулканогенно-сланцевых и песчанико-сланцевых толщах при широком развитии железисто-осадочных и углеродистых формаций и при участии в разрезах кислых субвулканических или интрузивных пород. Рудные тела локализуются в сложностроенных зонах складчато-разрывных дислокаций в виде рудных столбов и стратиформных залежей. К этой группе относятся: месторождение Хоумстейк (1320 т, США) в сланцевом поясе Блэк Хилл на Северо-Американской платформе, который рассматривается как раннепротерозойский эпикратонный прогиб на продолжении канадской золоторудной провинции Абитиби [2]; месторождения Ашанти (к 2001 г. накопленная добыча превысила 900 т) и Престеа (230 т) в Бирримской складчатой системе, располагающейся стратиграфически ниже контактирующей с ней толщи золотоносных кварцитов и конгломератов Тарква в западной части Африканской платформы; месторождение Теннант Крик (около 100 т) в сланцевом поясе Центральной Австралии, которое связано с оригинальной формацией трубочных железняков в турбидитовых осадочных породах [12]. Рудные тела – золотоносные зоны прожилкования, штокверки, метасоматические залежи, зоны вкрапленной и густовкрапленной сульфидной минерализации, а также метасоматические залежи сплошных магнетитовых и кварц-магнетитовых руд (Теннант-Крик). Рудоконтролирующая роль риолитовых порфиров как предполагаемых экранов для золотоносных растворов наблюдается на австралийском месторождении Теннант Крик и на месторождении Болиден (128 т, Швеция) на Фенноскандинавском щите. По составу руды золотые, в редких случаях экономическое значение имеют кобальт, висмут, серебро (отдельные рудные тела месторождения Теннант-Крик), в месторождениях колчеданного типа золоту сопутствуют медь, свинец, цинк, серебро (Болиден).

Некомпетентными для локализации крупных золоторудных месторождений являются существенно вулканогенные базальт-андезитовые части разрезов протерозойских структур, где, за редким исключением (Сабодало, 68,4 т – северо-западный фланг зоны Киммерим, Сенегал), присутствуют месторождения с запасами золота менее 15–20 т. Как правило, это одиночные рудные тела в непротяжённых секущих зонах рассланцевания и дробления, представленные убого- или малосульфидными кварцевыми жилами и штокверками, зонами вкрапленной или прожилково-вкрапленной минерализации в кварцевых и анкерит-серицит-кварцевых метасоматитах [4].

Месторождения зон активизации (внутриплитные и окраинно-континентальные обстановки) локализуются в породах фундамента, иногда накладываются на супракрустальные комплексы архейского и протерозойского возраста. По времени формирования присутствуют посторогенные месторождения докембрийской активизации и месторождения постдокембрийской активизации. Первые из них имеют резко подчинённое значение и характеризуются малыми размерами. Во второй группе важное экономическое значение имеют месторождения мезо-кайнозойского времени (киммерийская и альпийская тектоно-магматические эпохи), которые включают:

- месторождения золото-серебряных, золото-теллуридных и золотых руд в вулcano-тектонических постройках трахибазальт-трахиандезит-риолитовой (или трахилипаритовой) формации, характеризующейся преобладанием калия над натрием (Крипл-Крик, 651 т; Сильвертон-Теллурид, 245 т – Северо-Американская платформа, США) [4];
- телетермальные месторождения золото-серебряных и золото-сурьмяных руд в тектонических швах и в трещинных интрузиях пёстрого состава (Сентрал-Сити-Айдахо-Спрингс, 186 т – Северо-Американская платформа, США; Глоб-Феникс, 170 т – Зимбабвийско-Танзанийский щит, Зимбабве) [4].

Краткая характеристика и отличительные особенности металлогении Фенноскандинавского щита (ФЩ). В геолого-структурном отношении ФЩ представляет собой выступ архейского гранито-гнейсового фундамента с развитыми на этом основании лопийскими зеленокаменными структурами и протерозойскими структурно-вещественными комплексами. Наиболее поздние геологические события связаны с палеозойской тектоно-магматической активизацией, которая привела к становлению немногочисленных массивов центрального типа. Свидетельства мезозойской активизации единичны и не имеют масштабного проявления.

По своим размерам Фенноскандинавский щит (0,8 млн км²) значительно уступает другим докембрийским щитам (от 2–3 млн км² – Капско-Аравийский и Индостанский, до 8 млн км² – Канадский) и характеризуется многочисленными разновозрастными деформациями, которые уничтожили значительную часть лопийской гранит-зеленокаменной области, привели к разблокированию и разобщению отдельных реликтовых фрагментов некогда единых поясов и структур, что усложняет их распознавание и оценку. Наиболее крупные эпикратонные протерозойские комплексы разных морфогенетических типов характеризуются лучшей сохранностью.

С учётом особенностей геологического строения фундамента, времени заложения, этапности развития, состава, морфологии и пространственного размещения лопийских зеленокаменных структур (ЗКС) в пределах восточной части ФЩ предполагается присутствие не только Карельской, но и Кольской гранит-зеленокаменных областей. В разрезах ЗКС Кольской ГЗО значительная роль принадлежит андезит-дацит-риолитовым вулканитам и туфогенно-осадочным толщам, которые чаще всего отвечают верхним частям типовых разрезов ЗКС на других докембрийских щитах.

Несмотря на относительно малые размеры Фенноскандинавского щита, общая площадь ЗКС на этой территории (56 тыс. км²) уступает таковой только лишь Канадскому щиту – 480 тыс. км² и незначительно Западно-Австралийскому – 71 тыс. км² (ОАО «Центрально-Кольская экспедиция», Безруков В. И., Рундквист И. Н., 1985, Безруков В. И., 1998).

К настоящему времени насчитывается 28 ЗКС, в том числе 6 структур на территории Финляндии (общая площадь 5 тыс. км²), 19 на территории Карело-Кольского региона РФ (51 тыс. км²) и 3 структуры занимают трансграничное положение.

Протерозойские структурно-вещественные комплексы по условиям и времени формирования подразделяются на нижнепротерозойские проторифтогенные (РФ – Печенгский, Имандра-Варзуга, Куола-Панаярвинский, Ветреный пояс, Онежский и др.); вулcano-тектонические (РФ – Панареченский, Финляндия – серия мелких структур в пределах Свекофенского блока); окраинно-континентальные (трансграничный Саво-Ладожский пояс) и верхнепротерозойские субплатформенные эпикратонные (РФ – Баренцевоморский, Терский, Беломорский, Ладожско-Онежский). Нижнепротерозойские структуры залегают несогласно и лишь частично используют структурный каркас лопийских ЗКС, наращивая разрезы последних. Разрезы нижнепротерозойских структур достаточно индивидуальны и не всегда поддаются унификации. В наиболее крупных структурах (кроме Саво-Ладожской) на территории Карело-Кольского региона РФ резко преобладают по объёму существенно вулканогенные толщи, представленные андезито-базальтами с нередким участием в разрезах высокомагнезиальных базальтов, коматитов, пикритов или трахибазальтов, иногда андезито-дацитов и дацитов. В существенно терригенно-осадочных (иногда туфогенно- или хемогенно-осадочных) частях разрезов отсутствуют железорудные формации, ограниченным распространением пользуются субвулканические образования кислотно-среднего состава и горизонты углеродсодержащих пород (за исключением шунгитов Онежской структуры),

которые характерны для зарубежных рудоносных структур.

Краткая характеристика и структурная позиция золоторудных месторождений на территории Финляндии. К настоящему времени на территории Финляндии известны более 40 золоторудных месторождений [2], в том числе: крупнейшее в Северной Европе месторождение Суурикуусикко и 9 средних по размерам месторождений (Пампало, Кюльмякангас, Пахтаваара, Сааттопора, Юомасуо, Лайвакангас, Кутимайярви, Хавери и Йокисиву). Остальные месторождения мелкие, с запасами от 0,1 до 1 т. Разрабатываются 6 месторождений – Суурикуусикко, Лайвакангас, Пахтаваара, Пампало, Кутимайярви и Йокисиву. Десять месторождений, в том числе два средних (Пампало и Кюльмякангас), находятся в лопийских зеленокаменных структурах (пояса Хатту и Ойярви), остальные – в протерозойских комплексах.

Продуктивная часть вулканогенно-осадочного пояса Хатту размещается в межкупольных структурах гранитоидного фундамента. Кроме месторождения Пампало она включает 5 мелких месторождений.

Рудные тела месторождения Пампало (7,38 т, 2,5 г/т) локализованы в пределах продольной субвертикальной шир-зоны вдоль контакта осадочных пород с коматиитами и представлены обогащёнными биотитом будинированными линзами с многочисленными сдвиговыми деформациями. До 90 % золота находится в свободном виде. Для этого же фрагмента пояса Хатту характерно присутствие син- или посторогенных гранитоидов санукитоидного типа. Радиометрический возраст минерализации 2708–2693 млн лет. Финские геологи относят месторождение к орогеническому мезотермальному типу.

В структуре Ойярви известно одно среднее по размеру месторождение – Кюльмякангас, с запасами 7,79 т при среднем содержании золота – 4,11 г/т, серебра – 31,1 г/т. Золоторудная минерализация локализуется в трубообразных субвертикальных телах кварц-полевошпатовых порфиров в толще коматиитов и толеитовых базальтов. Месторождение относится к эпитермальным золото-серебряным объектам кварцево-жильного типа.

Золоторудные месторождения Финляндии протерозойского возраста включают три основные группы месторождений, которые характеризуются контрастными структурно-вещественными обстановками нахождения и различными типами минерализации. Это месторождения структур Киттеля, Куусамо и Свекофенского орогенного комплекса в южной части Финляндии.

Все золоторудные месторождения структуры Киттеля относятся к орогеническому мезотер-

мальному типу свекофенского периода тектоно-метаморфических преобразований. По структурной позиции среди них выделяются две группы месторождений в зависимости от состава рудовмещающих толщ и их компетентности к тем или иным деформациям.

В верхней, слабодифференцированной и существенно базальтоидной части разреза структуры Киттели (верхний карелий) рудоконтролирующей является дискордантная субмеридиональная крутопадающая сдвиговая зона протяжённостью более 20 км. В её пределах на удалении 15 км друг от друга размещаются крупное, разрабатываемое в настоящее время месторождение Суурикуусикко и разведываемое месторождение Куотко (запасы 1,15 т, содержание золота – 2,88 т/т).

Месторождение Суурикуусикко по своим размерам отвечает месторождениям мирового класса. По данным компании «Anglo-Eagle Mining LTD», на 05.05.2018 г. запасы месторождения оцениваются в 260,91 т золота при средних содержаниях для открытой отработки 3,41–3,89 г/т, для подземной – 4,06–4,64 г/т [3, 8]. Месторождение локализовано на южном четырёхкилометровом отрезке сдвиговой зоны в зоне брекчирования и гидротермально-метасоматических преобразований (альбитизация, карбонатизация, графитизация, сульфидизация) вдоль контакта Fe- и Mg-толеитовых базальтов и включает ряд субвертикальных рудных тел. Прослеженная глубина распространения оруденения 1000 м, предполагаемая – до 2000 м. Рудные тела представлены минерализованными зонами пирит-арсенопиритового состава с преобладающим нахождением золота в сульфидах – в арсенопирите (до 71 %) и пирите (до 22 %). Финские геологи связывают формирование месторождения с заключительным этапом свекофенского орогена с отчётливыми структурными факторами контроля эпигенетической минерализации. Возраст оруденения – 1852–1890 млн лет.

Для другой группы золоторудных месторождений структуры Киттеля характерен стратиформный контроль в локализации оруденения. Они располагаются в нижней сланцево-коматиитовой толще (нижний карелий) разреза структуры, вдоль зоны контакта её с вышележащим вулканогенным базальтоидным комплексом. Рудная минерализация контролируется зонами продольных хрупких и пластических деформаций. Рудовмещающими чаще всего являются коматииты и их туфы, реже кварциты, филлиты и вулканогенные породы основного и среднего составов. Преобладает свободное золото в системах кварц-карбонатных, кварц-карбонат-баритовых и карбонат-баритовых жил. В такой позиции на сегодняшний день известно 6 месторождений, в том

числе два средних по размеру – разрабатываемое месторождение Пахтаваара (запасы 24,71 т, содержание золота 3,2 г/т) и отработанное месторождение Саатапора (запасы 9,38 т, содержание золота 4,13 г/т).

По всему разрезу структуры Киттеля характерно широкое развитие конформных зон углеродистых метасоматитов («mafic graphite tuff»), которые могут рассматриваться как вероятный рудомобилизующий фактор при формировании объектов орогенического типа.

Месторождения структуры Куусамо включают группу собственно золоторудных и золото-кобальтовых (иногда с ураном) объектов, которые контролируются зонами пликтивных и тектонических деформаций в верхней, существенно осадочной части разреза (нижний карелий) и предположительно относятся к объектам орогенического типа. Наиболее представительным из них является месторождение Юомасуо (10,86 т, 4,54 г/т). Все другие месторождения очень мелкие. На месторождении Юомасуо золоторудная минерализация размещается в антиклинальной структуре в альбитизированных, биотитизированных и сульфидизированных кварцитах в зоне контакта с долеритами. Самородное золото в основном связано с минералами висмута и теллура в виде включений в пирите, кобальтине и уранините. Возраст минерализации неизвестен.

Практически все собственно **золоторудные месторождения Свекофенского орогенного комплекса** пространственно-парагенетически связаны с малыми телами гранит- или диорит-порфиров и относятся к порфировому, иногда эпитегрмальному типам. Эти массивы отчётливо тяготеют к многочисленным вулcano-плутоническим ассоциациям базальт-андезит-дацитового состава островодужного типа, которые, в свою очередь, размещаются как по периферии Центрально-Финлянского гранитоидного массива, так и в средней его части, образуя систему дугообразных поясов протяжённостью до 150–250 км.

К настоящему времени известно около 20 золоторудных месторождений этого типа, в том числе 3 средних по размеру разрабатываемых месторождения – Лайвакангас (22,37 т, 1,38 г/т), Йокисиву (8,77 т, 4,1 г/т) и Кутимайярви (23,9 т, 6,9 г/т). Месторождение Кутимайярви (Оривеси) значительно выработано в период с 1994 по 2003 г. Оставшиеся в недрах запасы оцениваются компанией Dragon Mining в 1,2 т при содержании золота 6,1 г/т. Во всех месторождениях преобладает кварцево-жильный и штокверковый характер минерализации с самородным золотом и турмалином в ассоциации с арсенопиритом, иногда присутствуют сульфидизированные трубообразные брекчии золото-пирит-арсенопиритового состава. Становление субвулканических интрузий

кислого состава относится к раннеорогеновой стадии, а формирование золоторудной минерализации эпитегрмального типа связывается с более поздними тектоно-метаморфическими процессами пикового этапа свекофенского орогена [11].

Таким образом, практически все золоторудные месторождения Финляндии протерозойского возраста обусловлены процессами свекофенской тектоно-магматической активизации (карелий поздний).

Краткий анализ поисковой изученности и золотоносности территории Карело-Кольского региона РФ (ККР). На территории ККР, в соответствии с официальными документами (ГКМ РФ, ГБЗ РФ и Сборник прогнозных ресурсов ТПИ РФ на 01.01.2016 г.), стоят на учёте: 5 месторождений (Лобаш-1, Новые Пески, Хюрсюльское, Пертинъярви и Майское) с суммарными балансовыми запасами золота по категориям C_1 – 0,97 т и C_2 – 40,5 т; 17 проявлений и рудных полей с суммарными прогнозными ресурсами золота по категориям P_1 – 32,3 т и P_2 – 96,9 т и 17 перспективных площадей с суммарными прогнозными ресурсами золота по кат. P_3 – 925 т.

Месторождение Лобаш-1 относится к золото-медно-порфировому типу, характеризуется бедными штокверковыми рудами со средними содержаниями золота 0,46 г/т, меди 0,178 %. По количеству запасов отвечает средним по размерам объектам (32 т), запасы попутной меди 120,1 тыс.т. Парагенетически связано с интрузивно-купольной структурой в верхне-лопийских метавулканитах, залегающих в основании Лехтинского протерозойского комплекса. Месторождения Новые Пески (5,1 т), Хюрсюльское (0,82 т) и Пертинъярви (4,431 т) представлены жильными и минерализованными зонами в сдвиговых зонах смятия в зеленокаменных породах поясов Хаутаварский и Пертинъярви-Хатту-Иломанси. Месторождение Майское (0,198 т) жильного типа контролируется двумя диагональными и субпараллельными зонами разломов в metabазальтах Куолаярвинского протерозойского комплекса. Практически все объекты учёта прогнозных ресурсов «привязаны» к лопийским зеленокаменным структурам.

Более-менее активные и координированные ЦНИГРИ поиски золота за счёт средств государственного бюджета проводились в период 1972–1992 гг. В дальнейшем они выполнялись эпизодически, по заявочному принципу, вплоть до 2015 г. В течение всего периода поисков чрезмерно большое внимание уделялось протерозойским структурам. Среди архейских зеленокаменных структур только лишь северо-западная часть Колмозеро-Воронинского ЗКП (350 км²) в Мурманской области может характеризоваться удовлетворительной опоскованностью, да и то с многочисленными «качественными издержками»

в период изучения (1976–1985 гг.). Многие объекты ГРП закрывались информационными отчётами по разным причинам.

Статистический анализ фондовых материалов показывает, что суммарные затраты государственных средств, понесённые в период 1972–2014 гг. на поиски золота в ККР и приведённые к уровню цен 2014 г., составили около 1,3–1,5 млрд руб. или 34 млн долл. (38 руб. по курсу 2014 г.). С учётом среднемировой удельной стоимости открываемых ресурсов (поиски и оценка) 1 грамма золота на неосвоенных территориях в 1,0 долл. США (ФГУП «ВСЕГЕИ», Шерстюк Н. Н., 2015 г.) эти затраты вполне эквивалентны локализованным прогнозным ресурсам категорий P_1 и P_2 .

Наряду с этим за период с 1993 г. при весьма значительных суммарных объёмах инвестиций (более 6 млрд руб. по завершённым лицензиям и свободном доступе к информации) частными компаниями открыто и оценено всего два мелких золоторудных месторождения – Новые Пески и Хюрсюльское (ООО «Онего-Золото», 2012) и выполнена оценка открытой ранее Карельской ГЭ (Пироженко Г. Н., 1985; Тытык В. М., 1998) проявления Лобаш-1, что позволило перевести его в ранг средних по размеру месторождений с бедными рудами (ЗАО «Промнедра Регионы», 2010). В приведённых выше оценках не учитываются конфиденциальные сведения о понесённых затратах ЗАО «Аврора менеджмент» на объекте «Пертиньярви», завершённом в 2018 г.

Причины низкой эффективности работ частных компаний могут быть разные. Не исключаются и ошибки прогнозирования при выборе объектов лицензирования.

По мнению автора, учитывая геологическую позицию зарубежных месторождений золота протерозойского возраста в пределах других докембрийских щитов и на территории Финляндии, *все протерозойские комплексы ККР* малоперспективны для локализации средних и крупных по масштабам золоторудных месторождений, за исключением Панареченской вулcano-тектонической и Южно-Печенгской протерифтогенной структур на Кольском полуострове, формирование которых связывается с позднекарельским (свекофенским) этапом тектоно-магматической активизации.

Панареченская ВТС представляет собой автономную вулcano-тектоническую структуру (18×6 км) островодужного типа в составе протерозойского комплекса Имандра-Варзуга. Вулканическая постройка типа кальдеры выполнена средне-кислыми эффузивами и туфами (рис. 1). Вдоль её северного контакта размещаются интрузии гранит-монцитонитового комплекса. Широко развиты субкольцевые (или дугооб-

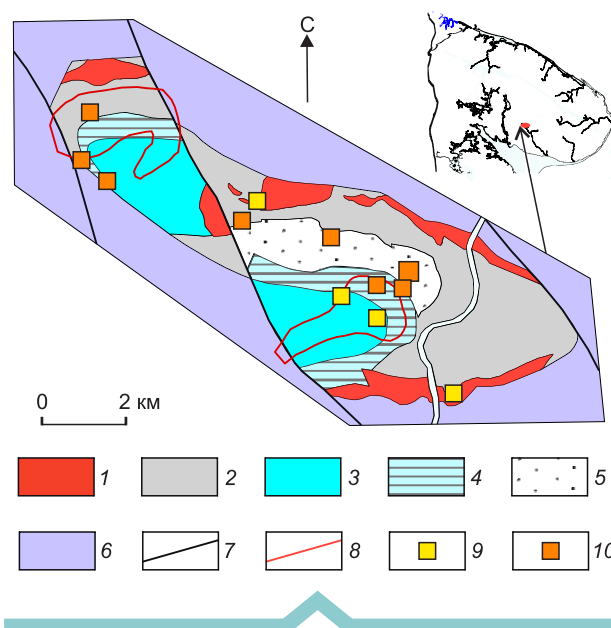


Рис. 1. Панареченская ВТС (карелий верхний–калевий):

1 – гранит-монцитонитовые комплексы; 2 – туфогенно-терригенные образования с горизонтами углеродистых и сульфидно-углеродистых сланцев; 3 – метадациты и метариолиты; 4 – метадациты и метариолиты с горизонтами углеродистых и сульфидно-углеродистых сланцев; 5 – метабазалты и метаандезибазалты; 6 – метаандезибазалты с подчинёнными магнезиальными метабазалтами комплекса Имандра-Варзуга (карелий верхний–людиковый); 7 – тектонические нарушения; 8 – площади развития контрастных вторичных ореолов рассеяния золота и серебра; пункты минерализации: 9 – серебра, 10 – золота

разные) и радиальные (закальдерные) разломы, контролирующие положение рудовмещающих метасоматитов.

По результатам поисково-картировочных работ (ОАО «Центрально-Кольская экспедиция», Лобанов В. В., 1999), присутствие золоторудной минерализации установлено в кварцевых жилах и в приразломных сульфидизированных метасоматитах серицит-карбонат-альбит-кварцевого состава. Локальные концентрации золота составили от 1,0 до 4 г/т, серебра – до 40 г/т. Авторские прогнозные ресурсы золота до глубины 300 м по категориям P_2 – 17 т, P_3 – 73 т.

Преждевременное завершение работ в связи с общим сокращением финансирования не позволило установить природу высококонтрастных вторичных ореолов и надёжно геометризовать рудоперспективные объекты.

Одновозрастные формационные аналоги в геологической литературе не встречены.

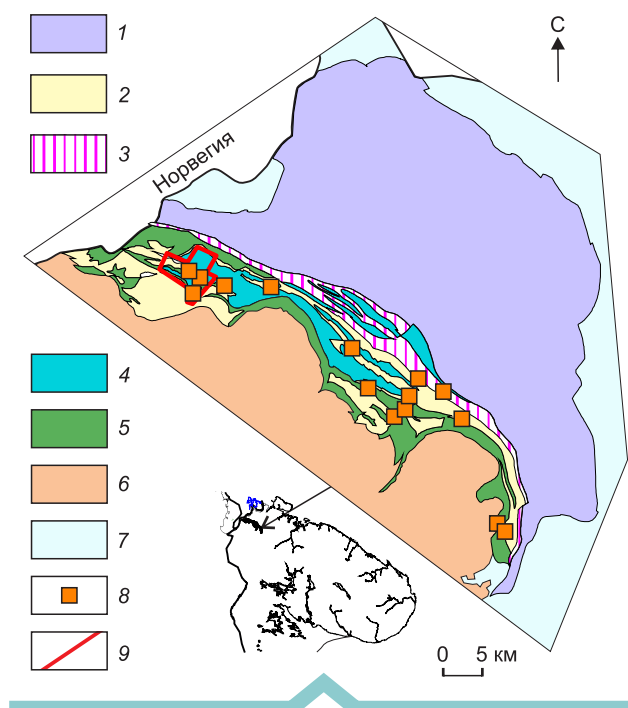


Рис. 2. Южно-Печенгская структура:

Печенгская структура (карелийский нижний–верхний): 1 – собственно базальтоидный комплекс; Южно-Печенгская структура (карелийский верхний–калевий): 2 – терригенно-(туфогенно)-осадочный комплекс, 3 – прибортовая зона бластомилонитов; 4 – андезито-дацитовый комплекс; 5 – базальт-андезитовый, частью высокомагнезиальный, комплекс; фундамент: 6 – гранит-мигматитовый комплекс (неоархей); 7 – мигматит-трондьемит-тоналитовый комплекс (мезоархей); 8 – пункты минерализации золота; 9 – поисковые работы на золото, завершённые СП «Минерал» в 2012 г.

Вероятные структурно-формационные аналоги:

- месторождения Крипл-Крик (600 т золота) и Силвертон-Теллурид (245 т) в США, связанные с внутриконтинентальными вулканотектоническими постройками соответственно палеоген-неогенового и мезозойского этапов активизации;

- месторождение Покровское (60 т золота и 94 т серебра) в Амурской области, связанное с вулканотектонической постройкой мезозойского возраста.

По своим размерам Панареченская ВТС (18×6 км) в 5 раз больше кальдеры Крипл-Крик (4×6 км) и в 10 раз меньше кальдеры Силвертон (30×40 км). Площадь наиболее крупного штокверкообразного тела рудного поля Крипл-Крик (Крессонов раздув) в плане составляет около 150×250 м. Для рудных тел этого месторождения характерна их большая протяжённость на глубину, чем по простиранию. В пределах рудного поля Силвертон-Теллурид наиболее крупные рудные тела (месторождения) расположены в закальдерных разрывах.

Южно-Печенгская структура характеризуется изоклинально-складчатым строением с примерно равным участием в разрезе туфогенно-осадочной, базальт-андезитовой и андезито-дацитовых толщ. Северная, приграничная её часть с Печенгской вулканогенной структурой представлена мощной толщей диафорированных и графитизированных бластомилонитов с серией кулисовидно расположенных субвулканических тел андезитовых и андезидацитовых плагиопорфиров протяжённостью до 8–10 км (Порыташский субвулканический комплекс).

По геологической модели ГИ КНЦ РАН [5] все стратифицированные вулканогенные образования Южно-Печенгской структуры укладываются в ряд автономных вулканических построек (палеовулканов) базит-гипербазитового (пикритового и пикробазальтового состава) и андезито-дацитового составов с характерными наборами лавовых и пирокластических фаций, что типично для вулканизма орогенных поясов.

Поисковые работы на золото в масштабе 1:50 000–1:25 000 с незначительными объёмами детализационных работ выполнялись в 2000–2005 гг. (за счёт средств федерального бюджета и ОАО «Кольская ГМК») и характеризуются явной незавершённостью. По их результатам (ОАО «Центрально-Кольская экспедиция», Вороняева Л. В., 2004, 2005) установлены около 20 пунктов золоторудной минерализации с содержаниями до 7,5 г/т, связанных с процессами жильно-прожилкового и метаморфогенно-метасоматического окварцевания в различных по составу вулканогенных и осадочно-туфогенных породах. Детализационные поисковые работы, выполненные позднее на одном из участков концентрации пунктов минерализации в западной части Южно-Печенгской структуры (СП «Минерал», Упырин А. Е., 2012), показали рассеянный характер золоторудной минерализации с локальными концентрациями до 2,78 и 1,81 г/т. По-видимому, это связано с неблагоприятной геологической позицией выбранного участка работ, который охватывает зону контакта толщ основных и кисло-средних метавулканитов (рис. 2).

По мнению автора, с учётом геологических особенностей Южно-Печенгской структуры здесь возможно предположить присутствие золотосодержащих колчеданных или колчеданно-полиметаллических объектов как эпитермального типа в связи с вулканическими постройками кисло-среднего состава, так и типа VMS. Основанием для этого является достаточно широкое развитие вторичных геохимических ореолов Au, Ag, As и Cu и нередкое определение в различных породах аномальных концентраций таких элементов-индикаторов, как As, Sb, Bi, Ag, Te, Se, Pb, Zn, W и Mo.

В качестве наиболее благоприятных обстановок для локализации золоторудных объектов в Южно-Печенгской структуре предлагается рассматривать зоны контактов туфогенно-осадочных пород с субвулканическими телами и толщами андезит-дацитового состава. К первоочередным объектам прогнозирования следовало бы отнести северную приграничную часть структуры, которая характеризуется мощной зоной продольных деформаций, диафтореза и графитизации и сопровождается контрастными аэроэлектроразведочными аномалиями.

На территории ФШ к объектам эпitherмального типа относятся месторождения Энасен (добыто 20 т золота) на территории Швеции, Кутемаярви (добыто 15 т золота) и ряд мелких месторождений в пределах свекофенского орогенного комплекса в южной части Финляндии, а к объектам VMS типа – месторождения района Шеллефте в Швеции (Болиден, добыто более 128 т золота), месторождение Оуткумпу в Финляндии (добыто 28 т золота) и некоторые другие.

В пространственно-парагенетической связи с лопийскими ЗКС на территории ККР известны 2 группы золоторудных объектов – это объекты орогенического типа в вулканогенных (базальтоидных) и в туфогенно-терригенной толщах и позднеорогенные объекты порфирирового типа.

Объекты орогенического типа в базальтоидных толщах присутствуют в отдельных структурах в составе Кольской ГЗО (проявления Оленинское и Няльм-2 в северо-западной части Колмозеро-Воронинского ЗКП) и в составе Карельской ГЗО (месторождения Новые Пески и Хюрсюльское в Хаутаварской ЗКС, месторождение Пертинъярви в южной части пояса Пертинъярви-Хатту-Иломанси). Несмотря на значительную пространственную разобщённость, все они характеризуются близкими особенностями по структурному контролю, внутреннему строению и качественным параметрам.

Объекты размещаются в пределах разблокированных фрагментов крутопадающих продольных или кососекущих сдвиговых зон, в пределах которых рудные тела залегают кулисообразно как в плане, так и по падению, локализуясь на участках с различной степенью гидротермально-метасоматической проработки пород. Рудные тела представлены линзами, иногда линейными штокверками (Новые Пески), относятся к пирротин-арсенопиритовому (Оленинское, Новые Пески) или пирротин-халькопиритовому (Хюрсюльское) минеральным типам золото-сульфидной и золото-кварц-сульфидной формаций с признаками многоактной минерализации. Количество сульфидов от 1–5 до 25–30 %. Границы рудных тел определяются опробованием, кор-

реляция рудных пересечений часто неоднозначная и многовариантная. Мощности рудных тел редко превышают 5–6 м (для штокверка 20–70 м), протяжённость по простиранию от первых десятков метров до 450–500 м, вскрытая бурением протяжённость по падению более 200 м, средние содержания золота от 2,7 до 20,1 г/т.

По структурной позиции и своим качественным параметрам золоторудные объекты в базальтоидных толщах ККР наиболее близки месторождению Колар пояса Колар-Рамагири-Хатти-Маски в восточной части Дарварской провинции на Индостанском щите. Для этого месторождения характерна приуроченность рудных тел к сдвиговым зонам значительной протяжённости (до 8–12 км), прерывистость рудных тел по простиранию с наиболее частой их протяжённостью от 20 до 200 м, простой вещественный состав руд с содержанием сульфидов до 1 %, (редко до 10 %) и с преобладанием пирротина, столбообразный характер рудных тел с разнообразным склонением, средние содержания золота в рудных телах от 4–5 до 10–15 г/т и большой вертикальный размах оруденения [4]. Разработка месторождения Колар прекращена на глубинах свыше 3500 м, добыто более 850 т золота.

Золоторудные месторождения в базальтоидных толщах играют ведущую роль в составе самых продуктивных зеленокаменных поясов мира – суперпояса Киватин и Абитиби на Канадском щите, Уилуна-Норсмен в Западной Австралии [4]. Размерность месторождений определяется масштабностью рудоформирующих тектонических зон, глубиной их заложения, длительностью и многоактностью развития. В качестве вероятных источников рудоносных флюидов рассматриваются не только метаморфогенные процессы, но и гранитоиды в близкой пространственной ассоциации с золотоносными сланцевыми поясами [1]. Месторождения локализуются в зонах влияния как региональных, так и сопряжённых с ними локальных разломов.

К категории наиболее перспективных структур на выявление золоторудных месторождений в базальтоидных толщах ККР следовало бы отнести северо-западную часть Колмозеро-Воронинского ЗКП в Кольской ГЗО и Тикшеозерский ЗКП в восточной части Карельской ГЗО. Последний характеризуется двухъярусным строением с присутствием в нижней части разреза среднелопийской коматиит-базальтовой толщи, которая трансгрессивно и с перерывом перекрывается верхнелопийской вулканогенной бимодальной толщей (базальты, андезибазальты и кислые эффузивы).

Объекты орогенического типа в существенно туфогенно-терригенной по составу толще

установлены в 2014 г. (ОАО «Центрально-Кольская экспедиция», Казанов О. В., 2014) в Терском ЗКП Кольской ГЗО (Сергозерско-Стрельнинская площадь). В составе рудовмещающей толщи подчинённым развитием пользуются амфиболиты. Часть из них по химическому составу принадлежит к коматиитам и коматиитовым базальтам. Золоторудная минерализация золото-кварц-(карбонат)-сульфидного типа присутствует вдоль тектонизированного контакта толщи метавулкаников с метаосадками, где вскрыты минерализованные зоны мощностью до 3 м с содержаниями золота до 5,7 г/т. Широко развиты в разрезах графитовые и графитсодержащие метасоматиты. Возраст околорудных изменений по наложенным минералам биотит-кальцитовых метасоматитов Rb-Sr методом определяется как позднекарельский [8].

Несмотря на различие возрастов рудовмещающих сред (на современном уровне знаний), геологическая позиция объектов Сергозерско-Стрельнинской площади близка таковой для золоторудных месторождений нижней части разреза протерозойского комплекса Киттеля на территории Финляндии (Пахтаваара – 25,71 т, 3,2 г/т; Саатопора – 9,38 т, 4,13 г/т). Правомочность такой аналогии позволяет предположить возможность локализации золоторудных объектов типа финского Суурикуусикко (260,91 т) в контактирующем с севера существенно вулканогенном по составу (базальтоиды, частью высокомагнетизальные с горизонтами трахибазальтов) протерозойском (нижнекарельском) комплексе Имандра-Варзуга в пределах диагональных зон разломов северо-западного направления (рис. 3).

Позднеорогенные объекты порфиорового типа (интрузивно связанные). Практически все другие известные на сегодняшний день месторождения и проявления золота ККР обнаруживают пространственно-парагенетическую связь с позднелопийскими гранитами и гранит-порфирами. К этому формационному типу относятся не только собственно золоторудные объекты (проявления Няльм-1 в Колмозеро-Воронинском ЗКП, Таловейс в Костомукшском ЗКП), но и крупное молибден-порфиоровое месторождение Лобаш и соседствующее с ним среднее по размеру золото-медно-порфиоровое месторождение Лобаш-1, расположенные в «эрозионном окне» Лехтинского протерозойского комплекса, а также крупное молибден-медно-порфиоровое проявление Пеллапахк (отношение Cu/Mo = 1:4) с сопутствующими золотом и серебром в Колмозеро-Воронинском ЗКП (ОАО «Центрально-Кольская экспедиция», Безруков В. И., 1985).

На других докембрийских щитах крупные экономически значимые месторождения молибдена архейского возраста неизвестны.

С учётом характерной для продуктивных порфиоровых рудно-магматических систем вертикальной зональности можно предположить, что на территории ККР собственно золоторудные объекты размещаются в верхних её частях, а на более глубоких уровнях присутствуют объекты молибден-порфиоровых руд и золотосодержащие объекты промежуточных минеральных типов.

Наиболее показательным примером продуктивных порфиоровых систем является северо-западная часть Колмозеро-Воронинского ЗКП (Кольская ГЗО), где в пределах компактного рудного узла в надапикальной части крупного массива присутствует молибден-медно-порфиоровое проявление Пеллапахк, а в каждом из мелких массивов его сателлитов (штоки и дайки) порфиорового типа установлены признаки золотоносности, в том числе проявление Няльм-1 (рис. 4). В любом из таких мелких массивов может «скрываться» объект типа Сигма-Ламак в поясе Абитибии на Канадском щите (> 255 т золота до глубины более 1000 м при среднем его содержании 5,5 г/т) [4]. Для правильной оценки объектов этого типа необходим значительный объём буровых работ с целью определения системы рудоносных разрывов и этажности в размещении оруденения. По мнению автора, к наиболее перспективным структурам на выявление золоторудных объектов порфиорового типа следует отнести Тикшеозерский ЗКП и восточные фрагменты Пелбозерского ЗКП в Карельской ГЗО.

Обобщение и анализ собранных материалов позволяют отметить следующие особенности металлогении восточной части ФЩ (на территории Финляндии и РФ):

- геологическая позиция крупного финского месторождения Суурикуусикко в базальтоидной части разреза протерозойского комплекса Киттеля нехарактерна для крупных золоторудных месторождений протерозойского возраста на других докембрийских щитах;
- в отличие от других докембрийских щитов (Канадский, Африкано-Аравийский, Индостанский, Бразильский и др. более мелкие) ФЩ не затронут процессами мезо-кайнозойской активизации, но характеризуется присутствием типоморфных для этих металлогенических эпох и генетически родственных им объектов докембрийского возраста – позднелопийских объектов порфиорового типа: месторождение Лобаш (Mo), Лобаш-1 (Au, Cu) и проявление Пеллапахк (Cu, Mo, Au, Ag) и протерозойского эпitherмального золото-серебряного объекта (Панареченская ВТС).

Прогнозирование золоторудных месторождений на территории восточной (русской) части ФЩ (ККР) выполнено по материалам созданной автором цифровой модели (ЦМ) специализированной

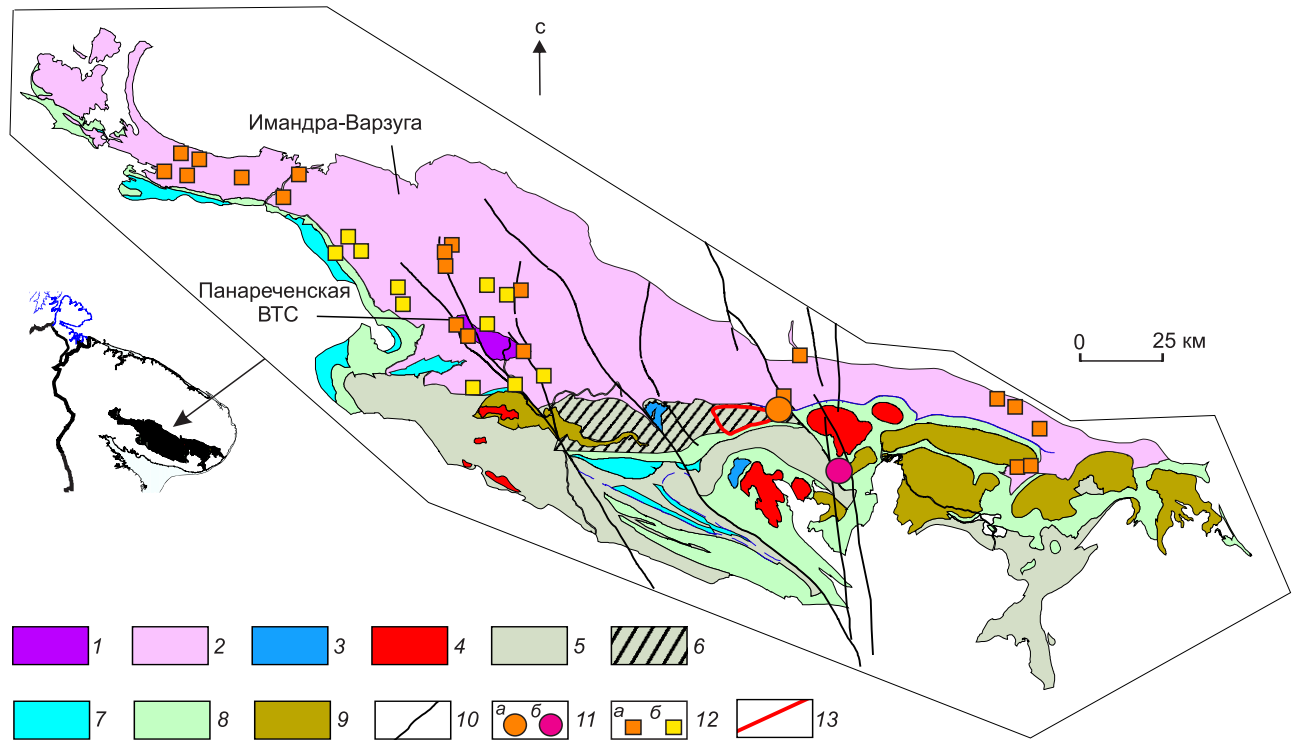


Рис. 3. Потенциально рудоносные структурно-вещественные комплексы в юго-восточной части Кольской ГЗО:

1 – Панареченская ВТС (карелий верхний); 2 – Имандра-Варзугский, существенно базальтоидный комплекс (карелий нижний); Терский ЗКП (лопий верхний): гранитоиды: 3 – посторогенные (карелий поздний), 4 – позднеорогенные; 5 – туфогенно-осадочный комплекс; 6 – туфогенно-осадочный комплекс с горизонтами коматиитов; вулканогенный комплекс: 7 – дацит-риолитовый, 8 – базальт-андезитовый; 9 – выступы фундамента (мигматит-граниты); 10 – тектонические нарушения; 11 – проявления: а – золота, б – молибдена; 12 – пункты минерализации: а – золота, б – серебра; 13 – Сергозерско-Стрельнинское прогнозируемое рудное поле

на золото прогнозно-металлогенической карты (ПМК) с учётом геологических и металлогенических особенностей территории и состояния её поисковой изученности. ЦМ ПМК включает структурно-формационную геологическую основу, составленную по апробированным НРС Роснедр цифровым материалам ГК-1000/3 и ГК-200 второго поколения, и знаковую базу данных (более 3 тыс. объектов). Структурированные атрибутивные признаки объектов ЦМ ПМК позволяют оперативно анализировать различные сочетания благоприятных факторов и признаков рудоносности.

Предварительные результаты прогнозирования.

На основании проведённого анализа в восточной (русской) части ФЦ (ККР) возможно прогнозирование рудных узлов, перспективных на выявление месторождений золота различных формационных и геолого-промышленных типов:

1. Среди лопийских зеленокаменных структур в качестве приоритетных на выявление типичных для докембрия орогенических золото-кварцевых и

золото-сульфидно-кварцевых месторождений рассматриваются Колмозеро-Воронинский ЗКП в Кольской ГЗО и Тикшеозерский ЗКП в восточной части Карельской ГЗО, которые характеризуются двухъярусным строением, бимодальным характером вулканогенных толщ и присутствием коматиитов; Кейвский ЗКП и Карекатундровская ЗКС в Кольской ГЗО с существенно андезит-дацит-риолитовым вулканогенным разрезом и Терский ЗКП в Кольской ГЗО с коматиитсодержащим туфогенно-осадочным разрезом.

Несомненный поисковый интерес вызывает крестообразное сопряжение верхнелопийских зеленокаменных структур Тулпио (базальтоидный комплекс) и Тунтса-Гирвасская (андезито-дацитовый комплекс) в западной приграничной части Кольской ГЗО, которые впервые выделены в 2007 г. (ОАО «КГИЛЦ», Ремизова А. М., 2007).

2. Позднелопийские интрузивно-связанные синили позднеорогенные золоторудные (или золото-содержащие) месторождения порфирирового типа

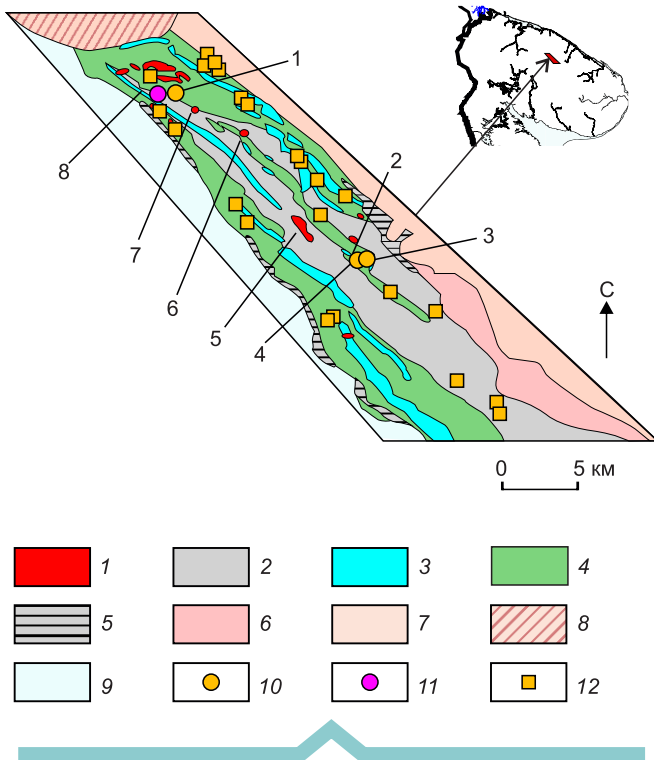


Рис. 4. Колмозеро-Воронинский фрагмент Титовско-Северо-Кейвского ЗКП в пределах Кольской ГЗО:

лопий средний–поздний: 1 – малые тела и дайки рудоносных позднеорогенных гранит-порфиров; комплекс: 2 – терригенно-(туфогенно)-осадочный, 3 – андезит-дацит-риолитовый, 4 – коматиит-базальтовый, 5 – вулканогенно-осадочный (джаспериодный); 6 – гранитоиды раннеорогенные; блоки фундамента: 7 – Мурманский, 8 – Титовско-Северо-Кейвская межблоковая шовная зона тектонического скучивания, 9 – Кольский; проявления: 10 – золота, 11 – молибдена, меди (золото, серебро); 12 – пункты минерализации золота; 1 – Оленинское (Au), 2 – Няльм-1(Au), 3 – Няльм-2 (Au), 4–7 – золоторудная минерализация в штоках и дайках гранит-порфиров, 8 – Пеллапахк (Mo, Cu, Au, Ag) – в наднапикальной части массива гранит-порфиров

прогнозируются в пределах Титовско-Северо-Кейвского ГЗП в Кольской ГЗО; в Тикшеозерском и Пеллапахкском ЗКП в составе Карельской ГЗО.

3. Среди протерозойских структур положительно оцениваются перспективы только лишь позднекарельских Панареченской ВТС и Южно-Печенгской структуры, где прогнозируется присутствие объектов эпитермального типа и типа VMS. Учитывая подобие геолого-структурных обстановок, объекты типа финского Суурикуусокко (260, 91 т) могут прогнозироваться в пределах существенно вулканогенного по составу (базальтоиды, частью высокомагнетизальные и щелочные) комплекса Имандра-Варзуга

в зонах влияния диагональных зон разломов северо-западного направления.

Учитывая фрагментарную и недостаточную поисковую изученность лопийских зеленокаменных структур и «гранит-зеленокаменных ассоциаций» ККР (22 структуры общей площадью более 51 тыс. км²), а также явную недоизученность рудоперспективных протерозойских (верхнекарельских) комплексов, обозначать размерность прогнозируемых объектов преждевременно. Однако вероятность нахождения средних и крупных по размеру золоторудных месторождений исключать нельзя. Отсутствие же на сегодняшний день экономически значимых месторождений золота такого ранга нецелесообразно увязывать с какими-либо неблагоприятными особенностями геологического строения территории, а следует рассматривать как результат завершённого, кратковременного и, по сути, «юниорского» этапа поисков золота в ККР.

Представленные выше предварительные выводы позволяют разработать комплекс мероприятий (рекомендаций) по реализации золоторудного потенциала ККР.

Автор выражает глубокую признательность старшему научному сотруднику Геологического института КНЦ РАН кандидату геолого-минералогических наук А.А. Калинину за советы и рекомендации при работе над этой статьёй.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бхаттачарайя С., Паниграхи М. К. Гетерогенность флюидных характеристик в районе Рамагири-Пенакчерла восточной части кратона Дарвар: связь с золоторудной минерализацией (Department of Geology & Geophysics, Indian Institute of Technology, Kharagpur, India 721302) // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52, № 11. – С. 1821–1834.
2. Геологическая служба Финляндии. URL: <https://www.gtk.fi> (дата обращения: 11.06.2020).
3. Константинов М. М., Шаров Г. Н. Геологическое строение и поисковые признаки месторождений золота в основных геотектонических обстановках. Атлас. Книга 1. – Москва–Кемерово: Издание ООО Геокон, 2002. – 264 с.
4. Некрасов Е. М. Зарубежные эндогенные месторождения золота. – М.: Недра, 1988.
5. Скуфьин П. К., Елизаров Д. В., Жавков В. А. Особенности геологии и геохимии вулканитов Южнопеченгской структурно-формационной зоны // Вестник МГТУ. – 2009. – Т. 12, № 3. – С. 416–435.
6. Шер С. Д. Металлогения золота (Евразия, Африка, Южная Америка). – М.: Недра, 1974.

7. Шер С. Д. Металлогения золота (Северная Америка, Австралия, Океания). – М.: Недра, 1972.
8. Groves D. I., Goldfarb R. J., Gebre-Mariam M. et al. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types // *Ore Geology Reviews*. – 1998. – V. 13. – P. 7–27.
9. Groves D. I., Goldfarb R. J., Robert F., Hart C. J. R. Gold deposits in metamorphic belts: overview of current understanding, outstanding problems, future research, and exploration significance // *Economic Geology*. – 2003. – V. 98. – P. 1–29.
10. Kalinin A. A., Kazanov O. V., Bezrukov V. I., Prokofiev V. Y. Gold Prospects in the Western Segment of the Russian Arctic: Regional Metallogeny and Distribution of Mineralization // *Minerals*. – 2019. – V. 9, № 3. – P. 137.
11. Talikka M. Tectonic evolution of the Paleoproterozoic Tampere Belt during the Svecofennian orogeny, with reference to hydrothermal alteration at Kutemajärvi / In: Kojonen, K. et al. (eds.) // *Au-Ag telluride-selenide deposits*. Geological Survey of Finland, Guide 53, 71–77. – 2007.
12. Zaw K., Huston D. L., Large R. R. et al. Microthermometry and geochemistry of fluid inclusions from the Tennant Creek gold-copper deposits: Implications for ore deposition and exploration // *Mineralium Deposita*. – 1994. – V. 29. – P. 288–300.
3. Konstantinov M. M., Sharov G. N. Geologicheskoye stroeniye i poiskovyye priznaki mestorozhdeniy zolota v osnovnykh geotektonicheskikh obstanovkakh [Geological structure and prospecting signs of gold deposits in the main geotectonic settings], Atlas, Kniga 1, Moskva–Kemerovo, OOO Geokon publ., 2002, 264 p. (In Russ.).
4. Nekrasov Ye. M. Zarubezhnyye endogennyye mestorozhdeniya zolota [Foreign endogenous gold deposits], Moscow, Nedra publ., 1988. (In Russ.).
5. Skufin P. K., Yelizarov D. V., Zhavkov V. A. Osobennosti geologii i geokhimii vulkanitov Yuzhnopechenskoy strukturno-formatsionnoy zony [Peculiarities of geology and geochemistry of volcanic rocks of the South Pechenga structural-formation zone], Vestnik MGTU, 2009, V. 12, No. 3, P. 416–435. (In Russ.).
6. Sher S. D. Metallogeniya zolota (Yevraziya, Afrika, Yuzhnaya Amerika) [Metallogeny of gold (Eurasia, Africa, South America)], Moscow, Nedra publ., 1974. (In Russ.).
7. Sher S. D. Metallogeniya zolota (Severnaya Amerika, Avstraliya, Okeaniya) [Metallogeny of gold (North America, Australia, Oceania)], Moscow, Nedra publ., 1972. (In Russ.).
8. Groves D. I., Goldfarb R. J., Gebre-Mariam M. et al. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geology Reviews*, 1998, V. 13, P. 7–27.
9. Groves D. I., Goldfarb R. J., Robert F., Hart C. J. R. Gold deposits in metamorphic belts: overview of current understanding, outstanding problems, future research, and exploration significance. *Economic Geology*, 2003, V. 98, P. 1–29.

REFERENCES

1. Bkhattacharaya S., Panigrayi M. K. Geterogenost' flyuidnykh kharakteristik v rayone Ramagiri-Penakacherla vostochnoy chasti kratona Darvar: svyaz' s zoloto-rudnoy mineralizatsiyey (Department of Geology & Geophysics, Indian Institute of Technology, Kharagpur, India 721302) [Heterogeneity of fluid characteristics in the Ramagiri-Penakacherla region of the eastern Darwar craton: relationship with gold mineralization (Department of Geology & Geophysics, Indian Institute of Technology, Kharagpur, India 721302)], *Geologiya i geofizika*, 2011, T. 52, No. 11, S. 1821–1834. (In Russ.).
2. Geological Survey of Finland, available at: <https://www.gtk.fi> (11.06.2020).
10. Kalinin A. A., Kazanov O. V., Bezrukov V. I., Prokofiev V. Y. Gold Prospects in the Western Segment of the Russian Arctic: Regional Metallogeny and Distribution of Mineralization. *Minerals*. 2019, V. 9, No. 3, P. 137.
11. Talikka M. Tectonic evolution of the Paleoproterozoic Tampere Belt during the Svecofennian orogeny, with reference to hydrothermal alteration at Kutemajärvi / In: Kojonen, K. et al. (eds.) *Au-Ag telluride-selenide deposits*, Geological Survey of Finland, Guide 53, 71–77, 2007.
12. Zaw K., Huston D. L., Large R. R. et al. Microthermometry and geochemistry of fluid inclusions from the Tennant Creek gold-copper deposits: Implications for ore deposition and exploration. *Mineralium Deposita*. 1994, V. 29, P. 288–300.

Типоморфные свойства индикаторных минералов кимберлитов и их использование при прогнозировании месторождений алмаза на Сибирской платформе

Освещены результаты проведённых исследований мантийных нодулей в кимберлитовых диатремах основных алмазоносных районов Сибирской платформы. Комплексно исследовались морфология и химизм гранатов, хромдиопсидов, клинопироксенов, оливинов, пикроильменитов, хромитов, хромшпинелидов и алмазов. В целом для каждого типа кимберлитовых пород, слагающих трубки, количество минералов алмазной ассоциации пропорционально алмазоносности той или иной разновидности кимберлита.

Ключевые слова: мантийные ксенолиты, алмаз и его парагенетические спутники, алмазоносные поля, Сибирская платформа.

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

Typomorphic properties of kimberlite indicator minerals and their use in forecasting diamond deposits on the Siberian Platform

N. N. ZINCHUK

West-Yakutian Scientific Centre of RS (Y) AS, Mirny

The results of mantle nodule investigations in kimberlite diatremes of the main Siberian Platform diamondiferous regions were analyzed. Morphology and chemistry of garnets, chrome-diopsides, clinopyroxenes, olivines, picroilmenites, chromites, chrome-spinellids and diamonds were investigated in detail. Generally, the quantity of diamond association minerals is proportional to diamond potential of a certain kimberlite variety for each type of kimberlite rocks composing pipes.

Key words: mantle xenoliths, diamond and its paragenetic accessory minerals, diamondiferous fields, Siberian Platform.

Кимберлитовые диатремы всех алмазоносных провинций мира характеризуются большим разнообразием по размеру, морфологии, глубине заложения очагов, внутреннему строению, особенностям состава заполняющих пород, содержанию и составу первичных (глубинных) минералов, составу основной массы кимберлитов, степени и характеру переработки последних постмагматическими и гипергенными процессами, содержанию, морфологии и физическим свойствам алмазов и другим признакам. Часть перечисленных особенностей кимберлитов обусловлена проявлением эндогенных факторов, а часть – экзогенных. От глубины формирования магматических очагов, состава пород верхней мантии зависят содержания инертных компонентов, индикаторных минералов кимберлитов (ИМК), в том числе и алмазов, содержание и состав ксенолитов

глубинных пород и некоторые другие параметры, отражающие эндогенную группу влияний. Экзогенные факторы, включающие состав и механические свойства вмещающих пород, наличие и степень минерализации захороненных вод, определяют масштабы и направленность вторичных изменений кимберлитов, концентрации подвижных оксидов, количество и состав коровых ксенолитов, а также в определённой степени размеры и морфологию кимберлитовых диатрем.

Типохимизм и распределение ИМК в объёме отдельных трубок. Несмотря на то, что каждое кимберлитовое тело представляет собой индивидуальный объект, практически не повторяющийся в природе, между ними существует много общего, что позволило [10–13] создавать общие модели для конкретных алмазоносных районов или полей. Общий спектр

мантйных нодулей в кимберлитовых трубках охватывает различные минеральные фации разреза верхней мантии, имеющие различные термодинамические характеристики. Для создания корректной статистической базы термодинамических реконструкций комплексно (с привлечением прецизионных методов изучения элементного состава) исследованы [1–7, 10–15] породообразующие и акцессорные минералы мантийных ассоциаций пяти кимберлитовых полей Сибирской платформы (СП) – Далдынского (ДКП), Алакит-Мархинского (АМКП), Верхне-Мунского (ВМКП), Мирнинского (МКП) и Накынского (НКП), включающие трубки Зарница и Долгожданная, Комсомольская, Сытыканская и Айхал, Деймос, Заполярная и Новинка, Мир, Дачная и Интернациональная, Нюрбинская и Ботуобинская. Для многих трубок впервые на достоверных выборках изучена минералогия ИМК. В выборках гранатов анализировались в основном пиропы из перидотитовых парагенезисов и пироп-альмандиновые гранаты эклогитовых парагенезисов, реже альмандины, которые отнесены к глубинным ассоциациям на основании находок алмазов в парагенезисах с гранатом такого типа в трубках НКП.

Для обработки результатов анализов состава гранатов, помимо основной классификационной диаграммы Н. В. Соболева $\text{CaO}-\text{Cr}_2\text{O}_3$ [4, 7–9], показывающей парагенетические зависимости (рис. 1), использованы и другие диаграммы с отражением различных компонентов. Например, отношение NiO , TiO_2 , Na_2O , FeO , MgO к Cr_2O_3 (рис. 2), которые могут характеризовать процессы эволюции поднимающихся магматических расплавов. В результате получены материалы для сравнения отдельных районов и трубок по значимым выборкам. Анализировались гранаты из концентрата фракций +0,25-0,5 и +0,5-1,0, отличающиеся по составу в более мелкой фракции, где доля гранатов алмазной фации значительно выше [18–20]. Крупные пиропы чаще всего более богаты TiO_2 и соответствуют пироксенитовым ассоциациям или перекристаллизованным перидотитам, импрегнированным расплавом. Помимо обычных прогнозных оценок алмазности кимберлитов по пиропам на диаграмме $\text{Cr}_2\text{O}_3-\text{CaO}$, полезны также определения уровней концентрации расплавов, поскольку прогрев, сопровождающий внедрение расплавов, может способствовать росту алмазов хорошего качества [13, 18]. Хромшпинелиды образуют

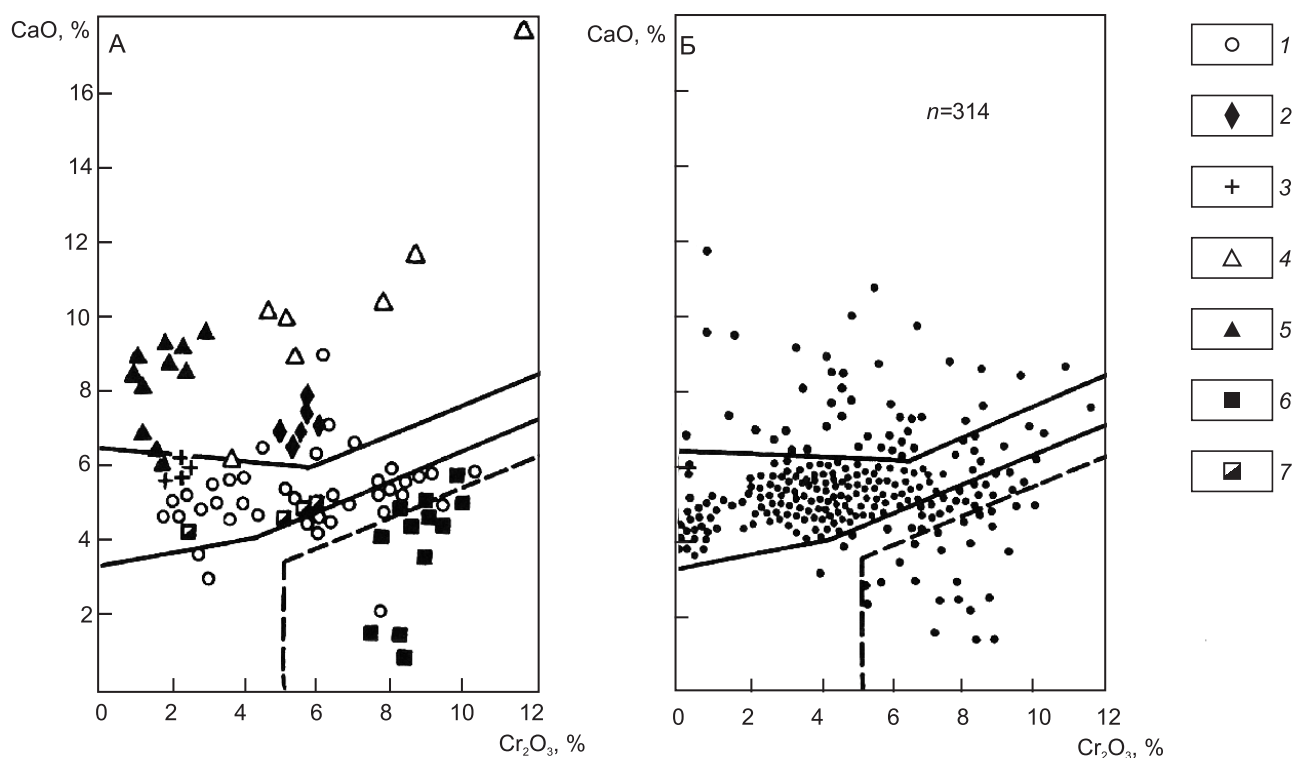


Рис. 1. Состав граната из ксенолитов глубинных пород (А) и основной массы кимберлитов трубки Интернациональная (Б): 1–3 – гранатосодержащие ксенолиты: 1 – перидотиты, 2–3 – магнезиально-железистые пироксениты; 4–5 – желваки граната, содержащие включения хромшпинелида (4) или пикроильменита (5); 6 – включения в алмазе; 7 – сростки с алмазом

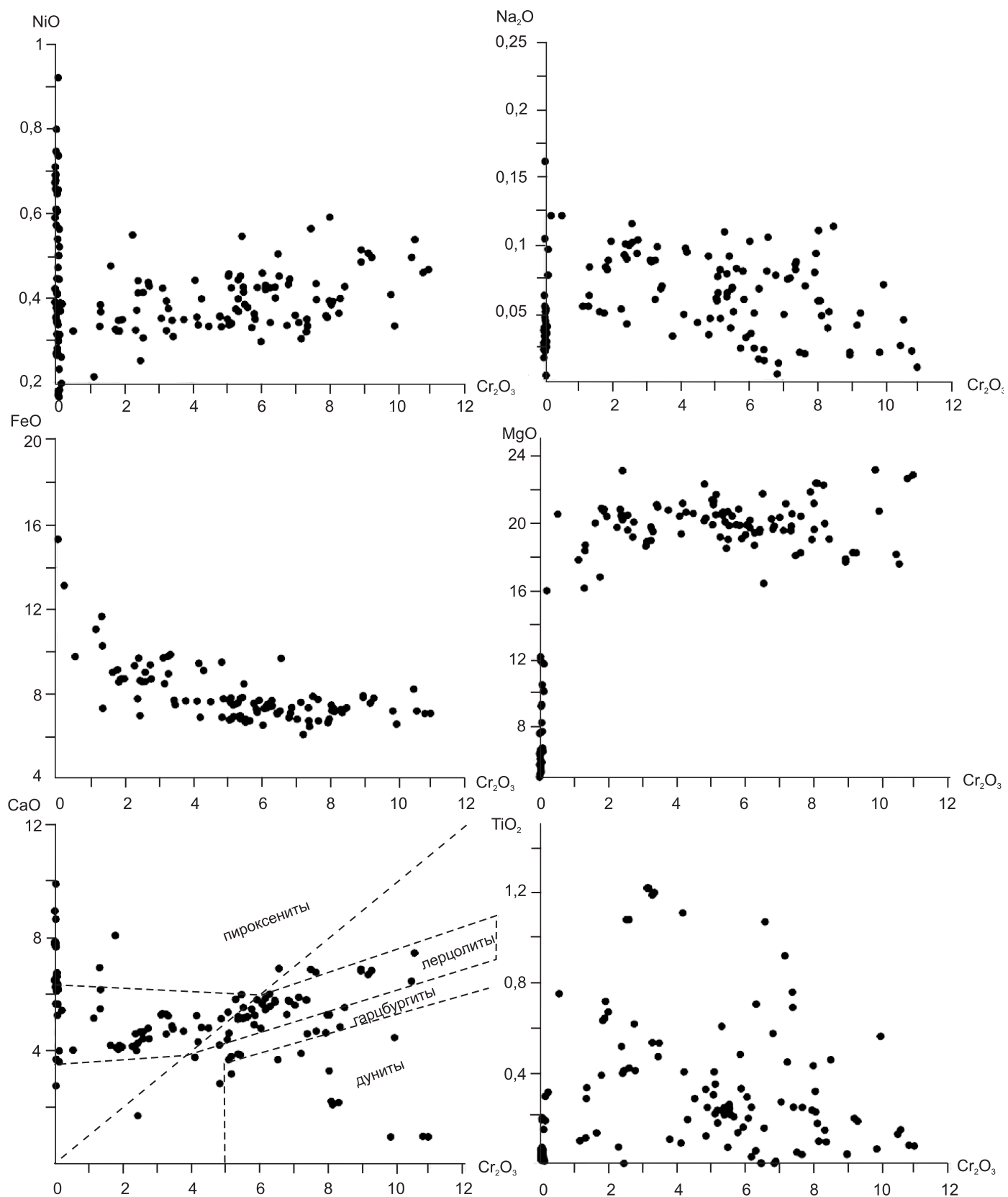


Рис. 2. Особенности химического состава (в масс.%) гранатов из кимберлитов трубки Ботубинская НКП СП

идiomорфные кристаллы и зёрна, покрытые множеством вицинальных граней. В продуктивных диатремах отмечено повышенное количество высокохромистых зёрен и разностей, относящихся к алмазной ассоциации (рис. 3). Зёрна *пикроильменита* имеют в основном размер 0,2–2,0 мм и широко варьирующий состав (особенно по содержанию магния, титана, железа и хрома). Среди выделений этого минерала нередко повышено количество ферримангнитной разности. Несмотря на сильную изменённость глубинных включений в отдельных трубках, во многих из них, как и в основной массе продуктивных кимберлитов, нередко отмечаются зёрна *хромитов*, иногда хорошо окристаллизованных. *Хромдиопсид* – один из важных поисковых минералов кимберлитов (рис. 4), хотя в большинстве диатрем СП его содер-

жание невелико (редкие зёрна), а поэтому в ореолах он не образует высоких концентраций. Лишь в единичных трубках (Загадочная, Буковинская и др.) ДААР количество хромдиопсида повышено, а поэтому при их размыве могут формироваться шлиховые ореолы этого минерала. Роль хромдиопсида возрастает при поисках «низкоспутниковых» кимберлитов, где традиционные ИМК (пироп и пикроильменит) содержатся в малых количествах. Содержание хромдиопсида в таких случаях остаётся на уровне или в несколько меньших концентрациях, чем других поисковых минералов. Хромдиопсиды, находящиеся в парагенезисе с алмазом (см. рис. 4), нередко используются в качестве минералогического критерия алмазоносности. *Оливин* – основной породообразующий минерал кимберлитов и других алмазоносных магматитов. Среди многочисленных выделений оливина и серпентиновых псевдоморфоз по нему, характеризующихся различными размерами, обособляются две группы. Первая представлена овальными и неправильной формы зёрнами размером более 2 мм, вторая составляет преобладающий объём основной массы, размеры её зёрен редко превышают 1 мм. Оливин большинства трубок и даек интенсивно серпентинизирован [10–15, 20–26], особенно в верхних горизонтах диатрем. Реликты свежего оливина встречаются в ряде кимберлитовых диатрем в ассоциации с другими первичными минералами, а поэтому он может находиться и в ореолах рассеяния кимберлитового материала. Принято считать, что наличие оливина в шлихах и россыпях может свидетельствовать о близости коренных источников этого минерала [2–7, 16–19]. Поскольку оливин является довольно характерным для других магматических пород, то использование его в качестве индикаторного минерала возможно только вместе с другими ИМК. В виде рассеянных зёрен в отдельных трубках идентифицированы хромистые *клинопироксены*, присутствующие как в составе включений глубинных пород, так и в виде рассеянных зёрен в основной массе пород. Этот минерал иногда образует равновесный парагенезис с алмазом, в связи с чем его пытаются использовать и в качестве минералогического критерия алмазоносности [15, 19]. В ряде кимберлитовых трубок Сибирской платформы характерным первичным минералом является *циркон*. Несмотря на присутствие этого минерала и в других изверженных породах алмазоносных регионов, кимберлитовый циркон обладает рядом типоморфных признаков (крупные размеры зёрен, низкая радиоактивность и др.), по которым он относительно надёжно отличается от аналогичного минерала других магматических пород. Циркон – устойчивый минерал при транспортировке

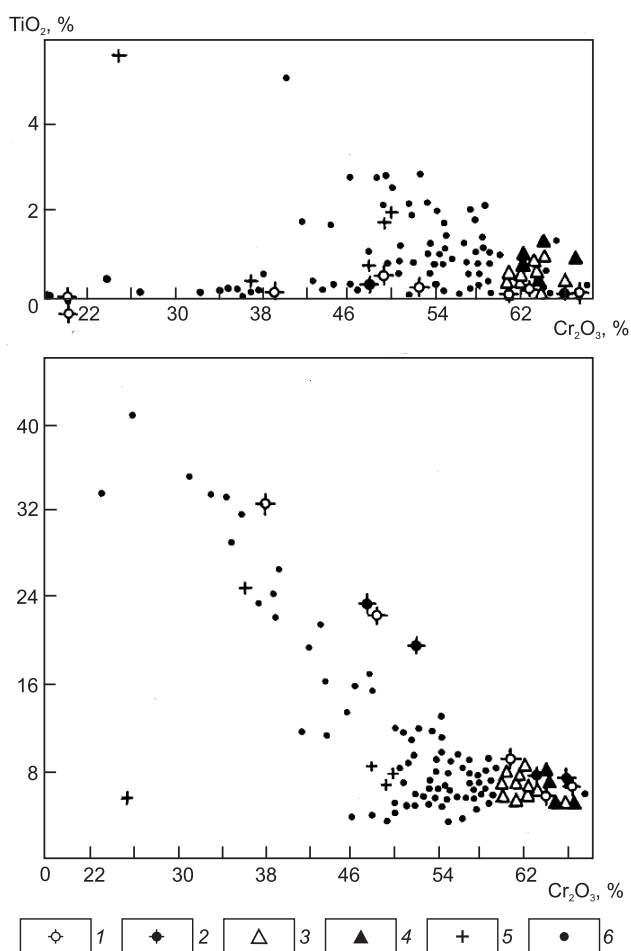


Рис. 3. Состав хромшпинелидов из ксенолитов и кимберлита трубки Интернациональная:

1–2 – хромшпинелидсодержащие ксенолиты перидотитов: 1 – без граната, 2 – с гранатом; 3–4 – включения в алмазах; 5 – включения в гранате; 6 – из основной массы кимберлитов

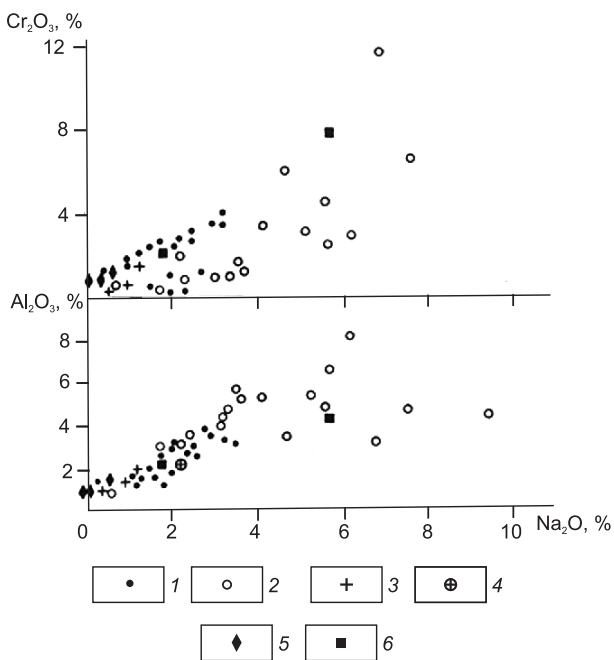


Рис. 4. Состав хромдиопсида, находящегося в парагенезисе с алмазом (в координатах $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3$ и $\text{Na}_2\text{O}-\text{Cr}_2\text{O}_3$):

1, 5 – включения в алмазах: 1 – из кимберлитов, 5 – из лампроитов Австралии; 2, 6 – сростки: 2 – с алмазом, 6 – с алмазом и гранатом; 3, 4 – зёрна из алмазоносного перидотита, в том числе ильменитового (4)

в водной среде – может присутствовать в осадочных толщах и в русловых образованиях. Встречающийся во многих кимберлитовых диатремах *apatit* можно разделить на три группы. Апатит-1 представлен довольно крупными (от 1 до 2 см) округло-овальными зёрнами, а также их обломками. Апатит-2 встречен в виде одиночных мелких зёрен, рассеянных в основной массе отдельных кимберлитовых диатрем. Для апатита-3 характерны радиально-лучистые веерообразные, формирующиеся в виде сферолитов в пустотах и прожилках кимберлитов. Считается, что поисковое значение имеет только апатит-1, часто встречающийся в шлихах вместе с другими ИМК. *Флогопит* в переменных количествах присутствует практически во всех кимберлитовых телах многих древних платформ мира, являясь нередко породообразующей фазой основной массы пород. Флогопит-1 представлен вкрапленниками таблитчатой, овальной и бочонковидной форм размером от нескольких мм до 5 см, флогопит-2 – мелкими (0,5–2,0 мм) пластинчатыми и чешуйчатыми кристаллами в основной массе кимберлитов, а флогопит-3 – чешуйчатыми выделениями в основной массе

породы. При поисках кимберлитов важное значение имеет флогопит-1 и продукты его замещения (хлорит и вермикулит).

Распределение ИМК в телах с различной алмазноносностью. Целесообразно рассмотреть особенности составов гранатов по соотношению оксидов хрома и кальция из различных полей и трубок с общим анализом тенденций распространения их основных парагенезисов. В составах гранатов из трубок ДКП проявляется тренд $\text{Cr}_2\text{O}_3-\text{CaO}$ в пределах лерцолитового поля, который для трубки Зарница обнаруживает [19] дискретный характер с разрывом в интервале 8–9 % Cr_2O_3 . Гранаты пироксенитовых ассоциаций (с повышенной долей CaO , TiO_2 и Na_2O) слагают существенную долю концентрата, поскольку они образуют прерывистые линии смешения с перидотитовыми парагенезисами, характеризующимися иногда зональностью в пределах образца. Количество групп обогащения минерала соответствует четырём уровням концентрации расплавов. Гранаты из трубки Удачная отличаются тем, что тренд их составов трансформирует границу с гарцбургитовым полем, доля пироксенитовых гранатов значительна, но они не столь контрастно отличаются по составу от перидотитовых, отражая процессы кимберлитобразования, что может быть вызвано «сглаживанием» границ за счёт метасоматической проработки мантийной литосферы под трубкой [12–14]. Составы гранатов из кимберлитовых трубок АМКП обычно образуют [15, 22] протяжённый тренд в пределах лерцолитового поля, субкальциевые гранаты появляются в массовых количествах начиная с 6% Cr_2O_3 . В трубке Сытыканская более хромистые гранаты менее обогащены кальцием, что вместе с содержанием TiO_2 и Na_2O может свидетельствовать об их пироксенитовом источнике из гранат-шпинелевой фации мантии. Гранаты из трубки Комсомольская также отличаются обогащением TiO_2 на уровне гранат-шпинелевого перехода и глубже (то есть на двух уровнях), один из которых соответствует алмазпироповой фации глубинности. Субкальциевые гранаты характерны для глубинных минеральных парагенезисов трубки Юбилейная при тенденции обогащения TiO_2 на уровне гранатовой и гранат-шпинелевой фаций верхней мантии. Наиболее богаты субкальциевыми гранатами кимберлиты трубки Айхал. В составах гранатов из трубок ВМКП (Заполярная, Новинка и Деймос) лерцолитовый тренд хорошо выражен лишь до 6,5% Cr_2O_3 , что зафиксировано на примере трубки Заполярная. Гранаты из кимберлитовых трубок НКП (особенно трубки Нюрбинская) на диаграмме $\text{Cr}_2\text{O}_3-\text{CaO}$ образуют протяжённый лерцолитовый тренд до 10–12 % Cr_2O_3 и параллельный ему в области гарцбургитовых

составов; дунитовые парагенезисы с очень низкими содержаниями СаО встречаются при содержаниях Cr_2O_3 10–12% в кимберлитах трубки Ботуобинская и редки в Нюрбинской. Обоим телам свойственны алмазоносные парагенезисы с алмандином (FeO ~24–26%), составляя нередко более 50% тяжёлых минералов.

Особого внимания заслуживает *хромдиопсид*, являющийся весьма чутким индикатором условий магмообразования. Он встречается практически во всех трубках, будучи, как и пироп, продуктом дезинтеграции мантийных перидотитов в основном из литосферной части мантии. Реликты хромдиопсида можно обнаружить даже в кимберлитах высокой степени серпентинизации; заметно увеличивается его количество в глубинных частях кимберлитовых трубок начиная с уровня 600 м и более. Составы хромистых клинопироксенов значительно варьируют в пределах трубок и между отдельными кимберлитовыми полями. Обычно хромистость положительно коррелируется с глубиной образования и степенью метасоматической проработки магматической колонны. Увеличение степени плавления перидотитов также приводит к увеличению хромистости, если в системе достаточно Na_2O . По составу клинопироксена существует резкая зональность в пределах Сибирской алмазоносной провинции (САП). Наиболее истощённые перидотиты установлены в кимберлитах ДКП, где присутствуют даже глубинные деформированные перидотиты, в которых образование клинопироксена связано с проработкой глубинными карбонатитовыми расплавами [9, 13]. Вариации состава *клинопироксенов* из кимберлитов ДКП показывают, что более железистые (FeO ~4%), но малохромистые клинопироксены в кимберлитах встречаются в гранат-шпинелевых и шпинелевых перидотитах. В трубках Долгожданная и Иреляхская глубинные Cr -диопсиды из перидотитов образованы в процессе магматического замещения силикатным железистым расплавом с уменьшением доли Cr_2O_3 и Na_2O . Силикатный расплав менее характерен для процессов алмазообразования, однако может способствовать перекристаллизации при разогреве вблизи контактовых зон. Самые хромистые пироксены (Cr_2O_3 до 6%) близки по составу к космохлору. Не менее пяти групп, выделяемых по уровню содержания Na_2O и Cr_2O_3 , соответствуют слоистости в мантии и, возможно, отдельным пульсациям метасоматических процессов. Судя по редкой встречаемости перидотитов с характеристиками, близкими к таковым ДКП, процессу метасоматоза подвержена практически вся мантийная колонна в алмаз-пироповой фации. В трубке Айхал составы пироксенов очень близки к хромдиопсидам из трубки Юбилейная, но они

несколько менее щелочные, в них больше разновидностей истощённого типа и железистых составов, особенно малоглубинных. Из экспериментальных данных известно о прямой зависимости содержания гейкилитового минала от давления [18–20]. При этом необходимо учитывать, что и сравнительно малоглубинные ильмениты из метасоматитов в мантийных перидотитах также могут быть магнезиальными – дополнительным показателем принадлежности к мантийным метасоматитам является повышенная хромистость *ильменитов* [4]. Исключением являются многие ксенолиты глиммеритов, особенно с существенно оливиновыми вмещающими породами, повышение содержания хрома в которых часто не наблюдается. Аналогично ведут себя и многие ильменитсодержащие породы, которые, судя по термобарометрии, могут быть очень глубинными и образовываться вблизи основания литосферы, но также не отличаются повышенной хромистостью и чрезвычайно высокими содержаниями MgO . Анализ состава ильменита из различных кимберлитовых трубок, специфика распределения концентраций основных компонентов (TiO_2 , MgO , NiO , Al_2O_3 , FeO , Fe_2O_3 , MnO , V_2O_5), а также высокозарядных элементов-примесей – Nb, Ta, Hf, Y и, как правило, REE – являются показателем условий фракционирования кимберлитового расплава в магматических камерах [22] и в продвигающейся колонне кимберлитовых масс в основании литосферы. Следует отметить, что, кроме указанной индикаторной роли минерала в эволюции поднимающихся в земную кору кимберлитовых расплавов, его химизм отражает специфику строения верхней мантии под кимберлитовыми проявлениями, при сходстве составов ильменита отдельно взятых кустов кимберлитовых трубок [13–15]. Важную роль в определении условий мантийного петрогенезиса, продуцирующего кимберлитовые расплавы, играет хромит. Хромитовые тренды имеют чётко выраженные зависимости от давления, которое коррелирует с хромистостью; выявлена тенденция обогащения хромом в ранних микрофенокристаллах, а Fe и Ti – на более поздних стадиях [17]. Примечательно, что включения хромита в алмазах всегда высокохромисты: Cr_2O_3 составляет более 60 масс.%. На диаграммах Cr_2O_3 – Al_2O_3 хромиты обычно обнаруживают чётко выраженные обратные зависимости. Наблюдаемые в отдельных случаях отклонения обусловлены, вероятнее всего, вхождением ульвошпинелевого или магнетитового минала преимущественно к наиболее хромистой части шпинелевых трендов, что связано с близостью к глубинным магматическим источникам в основании литосферных колонн. В зависимости от окислительных условий возможны

варианты изоморфных замещений. У хромшпинелидов трубки Зарница ДКП наблюдается расщепление тренда составов на обогащённый ульвошпинелевым компонентом и более характерный для рядом расположенной трубки Удачная. При этом тренд составов хромитов из трубки Зарница, как и ильменитов, проявляет дискретный характер, а трубки Удачная – более непрерывный ряд составов, вплоть до 10 масс.% Cr_2O_3 – значений шпинелевой фации. Шпинелиды из кимберлитов трубки Юбилейная, как и некоторых других трубок в АМКП, также обнаруживают вариации составов, при этом наблюдается характерное расщепление трендов, что может соответствовать слоистости мантийного разреза [19, 25]. Подобный тренд проявлен и для хромшпинелидов верхней части мантийной колонны. Шпинелиды из трубки Айхал также обнаруживают сходный тренд расщепления, но он менее контрастен, чем в Юбилейной и некоторых других трубках поля. В Малоботуобинском алмазоносном районе (МБАР) кимберлитовые тела (за исключением трубки Интернациональная) отличаются редкой встречаемостью хромшпинелидов [3–6, 10–12]. Тренд состава хромитов трубки Интернациональная проявляет чёткое деление на отдельные интервалы с существенным расщеплением на ветви, но между ветвями в более хромистой глубинной области наблюдаются линии смещения, что могло быть связано с отдельными промежуточными магматическими очагами. Судя по вариациям составов хромитов из трубки Заполярная ВМКП, практически вся перидотитовая колонна верхней мантии подвержена взаимодействию с жильной системой с обогащением и разогревом [7]. Эти же процессы можно предположить по гомогенному тренду составов клинопироксена и данным термобарометрии. Для трубки Нюрбинская НКП тренд обогащения ульвошпинелевым миналом очень крутой и состоит из двух отрезков. В менее глубинной части интервала степень взаимодействия поднимающихся протокимберлитовых масс менее выражена. Вполне возможно, что на более значительной глубине из этих расплавов вместо ильменита кристаллизовалась ульвошпинель, при достаточно высоких степенях окисления и высоких температурах. Этим отчасти объясняется отсутствие ильменитовых мегакристаллов в кимберлитах НКП.

В целом для каждого типа кимберлитовых пород, слагающих трубки, количество ИМК алмазной ассоциации пропорционально алмазоносности той или иной разновидности кимберлита. Высокоалмазоносные кимберлитовые тела этой группы характеризуются содержанием не менее 5% гранатов алмазной ассоциации от общего их числа. Обособляющиеся от них высокоалмазоносные кимберлиты НКП

характеризуются [12–15] пониженным содержанием гранатов алмазной ассоциации (более чем в два раза). Главная их особенность – преобладание низкохромистых разновидностей, оставляющих не менее 66% от общего количества, при появлении зёрен с $Cr_2O_3 \geq 12$ масс.%. В кимберлитах этого поля, характеризующихся снижением роли первых двух минералов, важное индикационное значение принадлежит хромшпинели.

Типоморфизм алмазов. Очень важной является разработка новых и совершенствование уже принятых методов изучения алмаза – минерала с широким комплексом физико-химических, кристалло-морфологических и других особенностей, отражающих своеобразие термодинамических и геохимических условий его образования, которые могут быть использованы в качестве типоморфных [5–7, 13–15]. Алмазы из отдельных кимберлитовых тел (а нередко и из различных минералого-петрографических разновидностей кимберлитов в одном и том же месторождении) довольно существенно отличаются по ряду типоморфных особенностей. Зная свойства алмазов из кимберлитовых тел, можно с большой долей уверенности решить вопрос о коренных источниках изучаемой россыпи или группы россыпей. Современные методы исследования алмазов дают возможность получить большой объём информации об условиях их образования, последующего существования и изменения, что имеет важное значение при прогнозировании, поисках и оценке алмазных месторождений. Из большого спектра этих особенностей наиболее информативными и относительно легко диагностируемыми являются: морфология, фотолюминесценция, распределение азотных и водородных центров, электронный парамагнитный резонанс, химический состав твёрдых включений в алмазах и др. [10–14]. При этом главнейшим из них можно считать определение принадлежности алмазов к определённой минералогической разновидности, что происходит по комплексу взаимосвязанных признаков и свойств. В результате многолетних исследований алмазов из россыпей и кимберлитовых тел САП (Якутия, Красноярский край и Иркутская область) с применением минералогической классификации алмазов, предложенной Ю. Л. Орловым [20], по которой выделяется 11 генетических разновидностей алмазов (с дополнительным разделением кристаллов отдельных разновидностей по габитусу и морфологическим типам кристаллов), автором с коллегами [10–12] накоплен громадный фактический материал по типоморфным особенностям алмазов из кимберлитовых тел, современных отложений и разновозрастных вторичных коллекторов САП, что позволило провести [13–15] районирование

территорий. Алмазы *разновидности I* наиболее распространены в природных объектах. В кимберлитовых месторождениях их выход составляет 80–90% и падает до 50% с ростом размеров кристаллов. В россыпях северо-востока САП их содержание уменьшается. Основной формой кристаллов является октаэдр. По внешней морфологии к этой разновидности относятся плоскогранные октаэдры, часто имеющие слоистость на рёбрах. Обычно эти алмазы прозрачные и бесцветные. В разных месторождениях содержание алмазов разновидности I разных габитусных форм и окрашенных индивидов изменяется. Среди них чаще, чем среди алмазов других монокристаллических разновидностей, встречаются обломки и кристаллы со сколами. Среди алмазов разновидности I по своим свойствам выделяются безазотные и полупроводниковые алмазы типов Па и Пв. Для алмазов *разновидности II* характерна кубическая форма роста и их окраска: обычно янтарно-жёлтая и жёлто-оранжевая, иногда с зеленоватым оттенком. В отдельных случаях кристаллы в результате эпигенетических процессов приобретают кофейно-коричневый или бурый цвет. По физическим свойствам к этой разновидности отнесены также непрозрачные, чёрные с металлическим блеском алмазы. В процессе растворения кубические кристаллы меняют облик, приобретая кривогранные формы. Алмазы разновидности II в небольших (менее 3%) количествах устанавливаются в некоторых кимберлитовых телах Далдыно-Алакитского алмазонасного района – ДААР (трубки Юбилейная, Удачная, Комсомольская, Иреляхская и др.) и составляют значительную часть (5–50%) в россыпях северо-востока САП, коренные источники которых не установлены. К алмазам *разновидности III* относятся полупрозрачные и непрозрачные кристаллы кубической формы, которая усложняется развитием других основных граней. Габитус часто искажается вследствие срастания нескольких кристаллов по {100} или образования двойников прорастания. Алмазы этой разновидности окрашены в серый цвет, который может меняться до тёмно-серого и даже чёрного. Все градации окраски объясняются тем, что внешние зоны кристалла насыщены микроскопическими включениями и мелкими трещинами. Алмазы разновидности III встречаются только в некоторых месторождениях и россыпях, в основном среди крупных разновидностей кристаллов. Алмазы *разновидности IV* известны давно и описаны в литературе [4–7] как алмазы в оболочках. Этим названием подчёркивается, что такие алмазы имеют структурно-различимые части с чёткой границей раздела – ядро и оболочку, которые на сколах кристаллов хорошо видны невооружённым глазом. Необходимо отме-

тить повышенное (до 10% и более) содержание алмазов с оболочкой в уникальных по продуктивности кимберлитовых телах НКП (Ботуобинская и Нюрбинская), трубках Айхал и Юбилейная ДААР, где они несут на себе признаки природного растворения. Обычно ядром алмазов этой разновидности являются бесцветные прозрачные кристаллы с октаэдрическими гранями и со всеми особенностями реальной структуры, присущими разновидности I. Окраска алмазов этой разновидности обусловлена оптическими свойствами оболочек. В зависимости от насыщенности микровключениями оболочки могут быть полупрозрачными и непрозрачными. Алмазы *разновидности V* обычно на САП встречаются в россыпях, где в отдельных случаях их содержание достигает 40–50%, в то время как среди кимберлитовых алмазов они обычно не превышают долей процента. К ним относятся тёмные, серые, иногда почти чёрные алмазы, имеющие переходные между октаэдром и ромбододекаэдром формы. Их окраска определяется большим количеством включений, прежде всего графита, находящихся во внешней зоне кристалла в виде хлопьев или точечных образований. Встречаются также сростки из двух–трёх кристаллов с общей оболочкой. Центральная часть кристаллов этой разновидности является бесцветной и прозрачной. В целом отмечается резкое отличие алмазов разновидности V из кимберлитовых тел от алмазов той же разновидности из россыпей СП. Алмазы *разновидности VI* (баллас) в месторождениях России попадались в незначительном количестве только в россыпях. В виде поликристаллических шаровидных образований характерны для россыпей Бразилии и Южной Африки. Есть сведения о находке балласов и в кимберлитовой трубке Премьер (Африка). К алмазам *разновидности VII* относятся сростки из нескольких достаточно крупных (до 4–5 мм) кристаллов, обычно полупрозрачных вследствие множества включений, внутренних трещин и каналов травления, развитых по трещинам и по границам срастания отдельных кристаллов. Форма их роста – октаэдр, который в результате растворения может принимать додекаэдрический облик. Их значительную часть составляют циклические сложные двойники. Все кристаллы имеют каналы травления («шрамы»). Существуют переходы между алмазами разновидностей, причём часто в сростках отдельные индивиды представлены серыми кристаллами разновидности V. К разновидности VII относятся также сложнодеформированные двойники и сростки додекаэдроидов из россыпей северо-востока САП, часто полициклические, близкие по своим особенностям к разновидности V, но почти без включений графита. Комплекс типоморфных особенностей алмазов

разновидностей V+VII из указанных россыпей свидетельствует об их принадлежности к одному генетическому типу, происходящему из коренных источников неизвестного типа. Алмазы разновидности VIII представляют собой друзоподобные сростки многочисленных хорошо огранённых мелких алмазов одинакового размера (до 1 мм). Кристаллы наружной части сростка представлены октаэдрами, часто со ступенчато-пластинчатым характером развития граней, бесцветными и прозрачными. В центральной части агрегата просматривается тёмное ядро неправильной формы. Алмазы разновидностей VIII и IX в месторождениях обычно встречаются вместе, иногда достигая в отдельных трубках до 20 %. К алмазам разновидности IX относятся поликристаллические сростки в виде кусков неправильной формы, образованных из зёрен размером 0,02–0,1 мм, иногда неоднородных по величине и не имеющих кристаллографической огранки. Агрегаты непрозрачны, окрашены в цвета от тёмно-серого до совершенно чёрного. Алмазы разновидности X (карбонадо) известны давно. Они были найдены в россыпях Бразилии, Венесуэлы и Центральной Африки. На САП карбонадо разновидности X практически отсутствуют. Единичные образцы отнесены к этой разновидности только по рентгеноструктурным исследованиям. К алмазам разновидности XI относятся поликристаллические и синтетические алмазы, содержащие в структуре три известные модификации углерода: алмаз, лонсдейлит и графит. Поскольку условия их образования являются следствием динамических нагрузок, сопровождающихся соответствующим разогревом. В природе алмазы разновидности XI встречаются в метеоритных кратерах и метеоритах. В россыпях северо-востока СП обнаружены бесформенные, нередко пластинчатые зёрна тёмно-бурого до стально-серого цвета, своим внешним видом напоминающие шлак. Рентгенографическими исследованиями они определены как карбонадо и с учётом их специфики для них было предложено название «якутит». Аналогичные поликристаллические агрегаты алмаза были встречены и в аллювиальных отложениях [3–7, 17–26], где коренными источниками таких зёрен являются метеориты и ударно-метаморфизированные породы. В природе в действительности мы видим смесь отдельных разновидностей алмазов [10–13]. Так, в кимберлитовой трубке Интернациональная в МБАР преобладают бесцветные кристаллы октаэдрического габитуса разновидности I (71 %), реже переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому (23 %) при пониженном (меньше 1 %) содержании ламинарных ромбододекаэдров. В рядом находящейся в этом же районе кимберлитовой трубке

имени XXIII съезда КПСС, характеризующейся в верхней части чётко выраженной корой выветривания, также представлены бесцветными, реже эпигенетическим окрашенными в лилово-коричневые цвета алмазами разновидности I. Среди них резко преобладают (до 82 %) кристаллы октаэдрического габитуса при невысоком (до 13 %) содержании кристаллов переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому габитусов. В свою очередь, из трубок НКП (трубки Нюрбинская и Ботуобинская) отмечаются бесцветные, реже эпигенетически бледно окрашенные в лилово- и дымчато-коричневые цвета кристаллы разновидности I при повышенной доле, по сравнению с другими месторождениями САП, алмазов разновидности IV с окрашенной в желтовато-зелёные и серые цвета оболочкой. В слабоэродированных диатремах с развитой в верхней части толщей вулканогенно-осадочных пород, ярким примером которых является самая большая на САП (59 га в верхней части) кимберлитовая трубка Юбилейная, среди бесцветных прозрачных и полупрозрачных кристаллов почти половину составляют разновидности, окрашенные в различные цвета. Среди них свыше 30 % бледно-дымчато-коричневых, меньше розово-лиловых и лилово-коричневых, окрашенных вследствие пластинчатой деформации. Характерно значительное количество индивидов с признаками природного травления (шрамы, матировка, коррозия, каверны и др.), количество которых по месторождению достигает 25 % всех алмазов. Таким же разнообразием характеризуется спектр алмазов из россыпей САП [2–7, 11–15].

Районирование Сибирской алмазоносной провинции по типоморфным свойствам алмазов и других ИМК. Комплексное изучение основных ИМК позволило получить большой объём информации об условиях их образования, последующего существования и изменения. В целом наблюдаются существенные изменения первичных минералов кимберлитов в направлении от их в коренном залегании в верхних частях диатрем даже затронутых процессами выветривания (рис. 5), при недалёком переносе от источников (рис. 6) и при длительной их транспортировке (рис. 7). Отмечаются морфологические и ассоциационные изменения и наиболее устойчивого при транспортировке основного минерала кимберлитов – алмаза (рис. 8). Это следует учитывать при поисках и оценке коренных и россыпных месторождений этого минерала. Использование такой информации для прогнозно-поисковых работ составляет одну из практических задач поисковой минералогии алмаза. В алмазной геологии основным объектом исследований является сам алмаз – очень устойчивый в экзогенных условиях минерал,

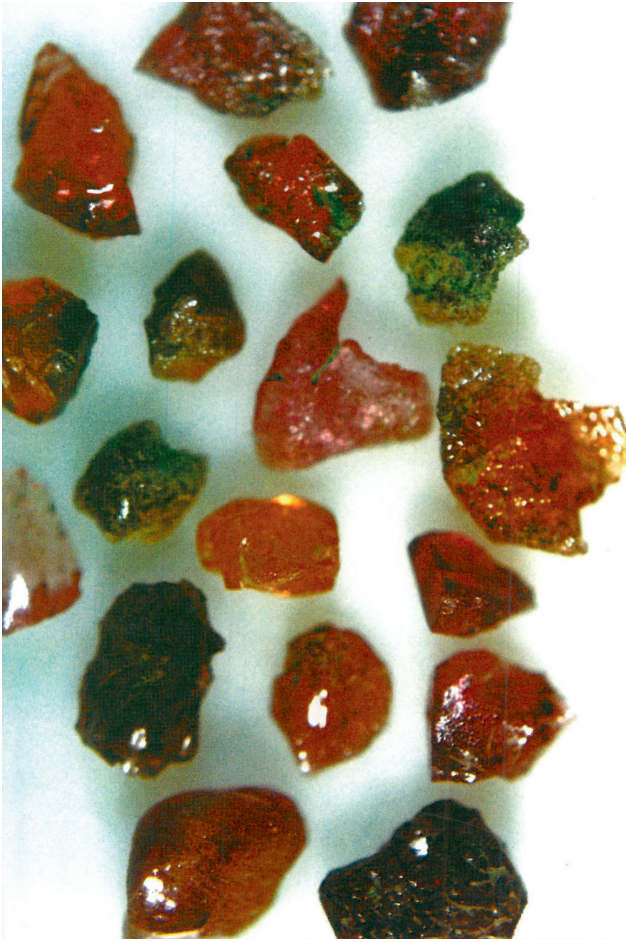


Рис. 5. Пиропы из коры выветривания кимберлитов МБАР с признаками существенного гипергенного преобразования: шлик, фракция -2+1 мм

характеризующийся широким комплексом кристалло-морфологических, физико-химических и других особенностей, которые отражают всё разнообразие термодинамических и геохимических условий его образования, рассматриваемых как их типоморфные признаки. Использование этих признаков в практике поисковых работ на алмазы повышает их эффективность, так как позволяет проводить районирование исследуемых перспективных территорий и на этой основе исключать из опоскования те площади, на которых нахождение алмазоносных кимберлитов маловероятно. Следует отметить, что на начальных этапах алмазопроисковочных работ на СП проводился большой объём наработки крупномасштабных проб и их обогащений, что привело к открытию крупных кимберлитовых диатрем и созданию отечественной алмазодобывающей промышленности. В последующие 50–60 лет поиски ким-

берлитовых трубок велись уже малыми объёмами, преимущественно шлиховым опробованием (объём пробы в основном составлял 10 л) по алмазам и другим ИМК (пироп, пикроильменит и др.), и только оценка степени алмазоносности обнаруженных продуктивных образований осуществлялась крупнообъёмным опробованием. В этот период открыты все известные кимберлитовые тела и россыпи. В то же время были предприняты безуспешные попытки обнаружения коренных источников алмазов россыпью на юго-западе, севере и северо-востоке СП и в первую очередь в Анабарском (Эбеляхском) районе, характеризующемся в основном полигенетической ассоциацией алмазов с преобладанием типичных округлых камней «уральского» («бразильского») типа и кристаллов кубического и тетрагексаэдрического габитуса, а также полукруглых октаэдроидов и сложнодеформированных двойников и сростков додекаэдроидов с невыясненным типом их первоисточников [1–6, 13, 24].

При всём разнообразии алмазов даже в пределах одной САП, по которой сделана применяемая классификация Ю. Л. Орлова [20], представилась возможность выделить [10–15] четыре типа источников алмазов: *I тип первоисточника* – кимберлитовый, характерный для богатых кимберлитовых тел фанерозойского возраста, характеризуется режимом преобладанием алмазов разновидности I, представленных ламинарными кристаллами октаэдрического, ромбододекаэдрического и переходного между ними габитусов и образующих непрерывный ряд, а также присутствием алмазов с оболочкой разновидности IV, серых кубов разновидности III, поликристаллических агрегатов разновидностей VIII–IX, а в отдельных месторождениях (трубка Юбилейная) равномерно окрашенных в жёлтый цвет кубоидов разновидности II. *II тип первоисточника* – алмазы кимберлитового генезиса, характерные для кимберлитовых тел с убогой алмазоносностью и кимберлитовых жил; он выделяется по преобладанию додекаэдроидов с шагренью и полосами пластической деформации «жильного» типа, типичных округлых алмазов «уральского» («бразильского») типа и присутствию бесцветных кубоидов разновидности I. *III тип первоисточника* – алмазы невыясненного генезиса, характерные в основном для россыпей северо-востока САП, коренные источники которых до настоящего времени не обнаружены. Кристаллы этих источников представлены [9, 20] графитизированными ромбододекаэдрами разновидности V, сложенными двойниками и сростками додекаэдроидов разновидности VII с лёгким ($\delta^{13}\text{C} = -23\%$) изотопным составом углерода и равномерно окрашенными кубоидами разновидности II с изотопным составом



Рис. 6. Пироп-ильменитовая ассоциация из мезозойской пролювиально-озёрной россыпи МБАР:

шлих, фракция –2+1 мм

углерода промежуточного ($\delta^{13}\text{C} = -13,60\text{‰}$) состава, образующими ассоциацию «эбеляхского» («нижнеленского») типа. *IV тип первоисточника* – алмазы взрывных кольцевых структур импактного генезиса, представленные поликристаллами алмаза типа карбонадо с примесью гексагональной модификации углерода – лондейлита (якутит). Полученные данные позволили разделить [10–13] САП на четыре субпровинции: Центрально-Сибирскую – ЦСАСП (центральная часть платформы) с преобладанием I типа первоисточника; Лено-Анабарскую – ЛААСП (северо-восток платформы) с преобладанием кристаллов III типа первоисточника не выясненного генезиса; Тунгусскую – ТАСП (юго-запад платформы) с преобладанием типичных округлых алмазов уральского (бразильского) типа, источником которых, возможно, были докембрийские терригенные формации платформы и её складчатого обрамления; Алданскую – ААСП (юго-восток платформы) с находкой единичных округлых алмазов.

Всестороннее исследование алмазов из всех разновозрастных коллекторов и кимберлитовых диатрем позволило выработать систему анализа их типоморфных особенностей и провести как региональное, так и среднемасштабное районирование. Так, в россыпях первой субпровинции отмечается высокое содержание кристаллов октаэдрического и ромбододекаэдрического габитусов. В пределах ЛААСП выделяются две алмазоносные области: Кютюнгинская (Приленская) и Анабаро-Оленёкская. В россыпях первой области устанавливаются кристаллы октаэдрического габитуса (ассоциация «кютюнгинского» типа), характерные для богатого типа первоисточника кимберлитового генезиса. В россыпях Лено-Анабарской области наблюдается резкое преобладание алмазов из первоисточника невыясненного генезиса (ассоциации «эбеляхского» типа) с преобладанием кристаллов разновидностей II, V и VII, типичных округлых алмазов во всех возрастных и генетических типах алмазоносных отложений. ТАСП разделяется на две области: Байкитскую и Саяно-Тунгусскую. Для россыпей последней типично доминирование округлых алмазов «уральского» («бразильского») типа и присутствие значительного количества (до 10 %) балласов. В россыпях Байкитской области преобладают кристаллы октаэдрического габитуса ассоциации «мирнинского» типа, характерной для богатых кимберлитовых трубок, но при значительных содержаниях типичных округлых алмазов (особенно в крупных классах), свойственных периферийным частям древних платформ.

Первичные кимберлитовые минералы (алмаз, пироп, пикроильменит, хромшпинелид, оливин и др.) встречаются в виде единичных зёрен по всему разрезу верхнепалеозойских и мезозойских отложений перспективных территорий основных алмазоносных районов Сибирской платформы. Наиболее высокие концентрации этих минералов установлены в верхнепалеозойских осадочных толщах на восточном борту Тунгусской верхнепалеозойской синеклизы (ТВС), поскольку здесь обнаружены высокоалмазоносные среднепалеозойские кимберлитовые трубки (МБАР и ДААР). В то же время на южном и юго-западном её бортах (Чуно-Бирюсинский, Муру-Ковинский, Илим-Катангский, Нижне-Тунгусский и Тычанский алмазоносные районы) в отложениях карбона и перми зафиксированы незначительные по количеству находки алмазов и других ИМК, в основном овальной и овально-угловатой формы. На северо-востоке Сибирской платформы отложения нижнего карбона приурочены к Кютюнгинскому грабену. Кимберлитовые минералы в базальных горизонтах здесь образуют алмаз-пироповую ассоциацию,



Рис. 7. Индикаторные минералы (пикроильменит, хромдиопсид, циркон, оливин и пироп) из аллювиальной россыпи дальнего сноса продуктивного материала:

устье р. Дьюкен (р. Б. Куонапка); шлик, фракция $-1+0,5$ мм

обычно характерную для высокоалмазоносных кимберлитовых диатрем. В этой же части платформы на бортах Лено-Анабарского и Предверхоанского прогибов в верхнепалеозойских отложениях установлены находки единичных мелких алмазов и ИМК пироп-пикроильменитовой ассоциации, в составе которой наряду с изношенными зёрнами присутствуют пиропы и пикроильмениты с реликтами первичной магматогенной поверхности. По концентрации, крупности и степени сохранности кимберлитовых минералов в верхнепалеозойских отложениях резко выделяется восточный борт ТВС от ДААР до МБАР, где в базальных горизонтах на локальных участках среди общего содержания окатанных и полуокатанных ИМК (пироп, пикроильменит и др.) отмечены зёрна со слабоизношенной поверхностью. В пределах МБАР в верхнепалеозойских

отложениях закартированы два обширных шлейфа разноса ИМК и самих алмазов северо-западного и северо-восточного направлений, отходящих от кимберлитовых трубок МКП и формирующих соответственно два минералогических поля (Кюеляхское и Бахчинское) с довольно многочисленными ореолами смешанного (континентальных и бассейновых) типа со слабоотсортированной алмаз-пироп-пикроильменитовой ассоциацией этих минералов.

Наиболее благоприятными для поисков мезозойских россыпей алмазов являются рэт-лейасовые отложения, развитые в пределах структурной террасы вдоль северо-западного борта Ангаро-Виллюйского наложенного мезозойского прогиба (АВНМП). Мощные корообразовательные процессы, предшествовавшие их накоплению, способствовали высвобождению большого количества устойчивых первичных минералов, а низкая транспортирующая способность их водотоков – концентрации полезных компонентов в локальных депрессиях [9–15, 17–19, 23–26]. Здесь наибольшие по размерам, невыдержанные, но нередко очень богатые по концентрации полезного компонента россыпи струйчатого строения могут быть приурочены к делювиально-пролювиальным образованиям, а крупные площадного строения с выдержанными параметрами – к озёрным и озёрно-болотным отложениям. Указанные специфические особенности формирования этих отложений в пределах склона локальных депрессий вблизи кимберлитовых трубок обуславливают их уникальную алмазоносность. По мере удаления от трубок концентрация кимберлитового материала в мезозойских отложениях уменьшается, что необходимо учитывать при проведении на таких участках поисковых работ. Россыпи алмазов, приуроченные к делювиально-пролювиальным отложениям и характеризующиеся ограниченным распространением и крайне неравномерным (нередко узкоструйчатым) распределением кимберлитового материала, при производстве поисково-разведочных работ требуют изучения по более плотной сети горных выработок. Ещё более перспективными для поисков алмазных месторождений являются мезозойские отложения, развитые на террасе шириной до 30 км вдоль бровки АВНМП (северо-западная структурно-формационная зона МБАР), где образуются значительные по размерам ореолы рассеяния ИМК, которые надёжно пересекаются горными выработками, пройденными по применяемой оптимальной сети [2–9, 16–19, 22–26] и прослеживаемыми вплоть до их коренных источников. Выявленные в таких отложениях алмазы и другие ИМК свидетельствуют о нахождении на близрасположенных палеоподнятиях их коренного либо промежуточного источника.



Рис. 8. Алмазы из нижнекарбонатовых отложений Кютюндинского грабена Приленского алмазоносного района Сибирской платформы

Всё это подчёркивает важность комплексного изучения вещественного состава фаций и макрофаций делювиально-пролювиальных, озёрных и озёрно-болотных отложений мезозоя и определение концентрации в них ИМК.

Обсуждение результатов исследований и выводы. Анализ приведённого материала показал, что содержание алмазов, их физические свойства, качество кристаллов в основном определяются глубинными факторами – физико-химическими условиями кристаллизации в верхней мантии. Кроме того, можно предположить, что в некоторых случаях на перечисленные характеристики существенно влияют посткристаллизационные факторы: скорость транспортировки алмазов к поверхности, сила взрывных процессов, термальное воздействие на минералы более поздних интрузий, проникающих в кимберлитовые тела, сохранившиеся на длительное время высокотемпературные условия в кимберлитовых диатремах и даже гипергенное изменение кимберлитов. Состав глубинных (мантийных) минералов (пироп, пикроильменит, хромшпинелид и др.), кристалломорфология и физические свойства алмазов дифференцированы на уровне субпровинции, поля и каждой трубки. Индивидуальные особенности состава и физических свойств ИМК выявляются на статистическом уровне. Содержание ИМК в самых верхних частях слабоэродированных диатрем, сложенных вулканогенно-осадочными образованиями, обычно низкое (особенно в тонкозернистых фациях стратифицированных пород). Здесь зёрна этих минералов имеют небольшие размеры

и угловато-неправильную форму. На пиробах отмечены только реликты келифитовых кайм. На пикроильмените реакционные оболочки встречаются чаще (чем на пиропе), но обычно и на этом минерале они покрывают поверхность фрагментарно. Содержание ИМК на глубоких частях диатрем выше, чем в самых верхних горизонтах, хотя в разных диатремах оно различно, колеблясь от знакового до первых процентов. Количество первичных минералов на средних горизонтах диатрем (в нижней части труба и верхней части вертикального канала) повышено, причём зёрна этих минералов здесь значительно крупнее. В подводющем дайкоподобном канале отмечается некоторое снижение ИМК. По содержанию главных ИМК (пироба, пикроильменита и хромшпинелидов) как алмазоносные, так и неалмазоносные высокоспутниковые кимберлиты делятся на две группы: 1) с высоким содержанием пикроильменита и пироба, низким – хромшпинелида; 2) с низким содержанием пикроильменита и повышенным пироба и хромшпинелида. Промышленные коренные месторождения алмазов СП принадлежат в основном к высокоспутниковому типу и приурочены к телам центральной части платформы. Алмазоносные высокоспутниковые кимберлиты первой группы присутствуют на СП в МКП (Мир и Дачная), АМКП (Сытыканская и Комсомольская) и ДКП (Удачная, Дальняя и Зарница). Алмазы из этих месторождений варьируют по морфологии от гладкогранных октаэдров (Мир) до комбинационных кристаллов (Удачная и Сытыканская). В высокоспутниковых диатремах *первой группы* пикроильменит преобладает над пиробом. Определённая часть последнего принадлежит к высокохромистой и низкокальциевой разновидности (алмазной ассоциации). Пиробы высокоспутниковых кимберлитов первой группы на СП характеризуются максимальной степенью дифференциации по парагенезисам. В совокупность этого минерала входят пиробы лерцолитового, вебстеритового, дунит-гарцбургитового и верлитового парагенезисов. Содержание пиробов последнего парагенезиса в этих породах повышено по сравнению с алмазоносными кимберлитами других регионов, причём среди них встречаются как высокоалмазоносные (в ассоциации с хромшпинелидом), так и с пониженным количеством хрома (ассоциация с пикроильменитом). Хромшпинелид в высокоспутниковых кимберлитах первой группы присутствует в малых количествах (сотые и даже тысячные доли процента), образуя хорошо индивидуализированные зёрна, многие из которых имеют форму октаэдров, нередко осложнённую вицинальными гранями. Многие зёрна этого минерала принадлежат к высокохромистой разновидности, а среди последних довольно часто

встречаются образования алмазной ассоциации. Размер зёрен пикроильменита варьирует от долей до первого десятка миллиметров, часто достигая выделений размером 5–10 мм в поперечнике. Состав его колеблется в различных диатремах. В кимберлитах МБАР отмечается повышенное количество ферримагнитной разновидности этого минерала со специфическим составом: низким содержанием TiO_2 и MgO и повышенным Fe_2O_3 и Cr_2O_3 . В кимберлитах трубок Удачная, Сытыканская, Дальняя и Зарница отмечена повышенная концентрация хрома в пикроильменитах.

Высокоспутниковые алмазоносные кимберлиты *второй группы* (с низким содержанием пикроильменита) распространены более широко, чем первой. В МКП к ним обносятся трубки Спутник, имени XXIII съезда КПСС и Интернациональная, в АМКП – Айхал и Юбилейная, в ВМКП – Заполярная, Поисковая, Новинка и Комсомольская-Магнитная. Все они характеризуются пониженным (до исчезающего) содержанием пикроильменита, высоким (или умеренным) пиропом, а также повышенным, по сравнению с первой группой, количеством хромшпинелида. Размер зёрен пикроильменита редко превышает 2 мм; он соизмерим с размером зёрен хромшпинелида, в связи с чем в тяжёлой фракции эти два минерала бывает трудно разделить. Алмазоносные и неалмазоносные (слабоалмазоносные) разделяются по составу ИМК. Высокоспутниковые слабоалмазоносные кимберлиты относительно широко распространены в центральных областях (зонах) алмазоносных провинций (кратонов) и также делятся на две группы: с высокими и низкими концентрациями пикроильменита. В МКП первые представлены в трубках Амакинская и дайкой А-21, в ДКП – Ленинградская, Геофизическая, Долгожданная, Украинская и Исковая, в АМКП – Моркока и Искорка. Кимберлиты этой группы выявлены также в Средне- и Нижне-Оленёкском районах СП. Алмазы в кимберлитах этой группы встречаются относительно редко и представлены в основном ромбододекаэдрами и ромбододекаэдроидами. Пикроильменит – главный ИМК характеризуется широкими концентрациями MgO , TiO_2 и Fe_2O_3 , а в отдельных диатремах и повышенной ролью хрома. Состав пиропов слабоалмазоносных кимберлитов рассматриваемой группы существенно отличается от такого промышленно алмазоносных диатрем. Эти различия заключаются в пониженной средней хромистости этого минерала слабоалмазоносных трубок или в отсутствии (или очень ничтожном количестве) пиропов алмазной ассоциации. Ещё одна особенность пиропов неалмазоносных трубок – слабая дифференцированность по парагенезисам: преобладают пиропы вебстеритового и лерцо-

литового парагенезисов. Не характерны также пиропы верлитового парагенезиса (особенно для трубок северо-востока СП). Что же касается слабоалмазоносных кимберлитов центральных районов СП, то гранаты в них более разнообразны по составу, чем в северо-восточной части платформы. Среди них довольно часто присутствуют высокохромистые разновидности лерцолитового парагенезиса. Хромшпинелид в неалмазоносных кимберлитах первой группы встречается редко и в основном это алюмохромит. Высокохромистые разновидности единичны, а разновидности алмазной ассоциации не встречены вовсе. Высокоспутниковые слабоалмазоносные кимберлиты с низким содержанием пикроильменита (вторая группа) по составу и другим признакам ИМК практически не отличаются от слабоалмазоносных кимберлитов первой группы.

Детальные комплексные исследования алмазов и их ИМК комплексом современных методов с геологической привязкой необходимы и актуальны. Во-первых, это фундаментальные комплексные исследования минералогии, кристаллографии и физических свойств алмазов и твёрдых включений в них для выяснения условий генезиса. Во-вторых, это использование информации, полученной разными методами при комплексном исследовании алмазов, для решения прикладных вопросов, непосредственно связанных с практикой геологоразведочных работ. К ним относится установление связи вещественно-индикационных параметров кимберлитового магматизма различной алмазоносности и геолого-структурного положения кимберлитовых тел, что позволяет установить как региональные, так и локальные типоморфные особенности, а также решить вопрос о коренных источниках алмазов россыпей. Третьим направлением комплекса минералогических исследований алмазов, развивающихся на стыке минералогии и технологии минерального сырья, является разработка рекомендаций, направленных на создание наиболее рациональных схем переработки руды и обеспечивающих кристаллосберегающие технологии, а также уточнение областей применения алмазов с учётом их реальной структуры и физических особенностей и выявление объектов с повышенным качеством алмазного сырья. Выполнение комплекса минералогических исследований алмазов и минералогическое районирование территорий необходимы как для рационального определения направления геологоразведочных работ, так и для повышения их качества и эффективности, что будет способствовать открытию новых месторождений алмазов и интенсификации всех работ, направленных на прирост запасов алмазного сырья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афанасьев В. П., Елисейев А. П., Надолинный В. А.* и др. Минералогия и некоторые вопросы генезиса алмазов V и VII разновидностей (по классификации Ю. Л. Орлова) // Вестник Воронежского ун-та. Геология. – 2000. – № 5 (10). – С. 79–96.
2. *Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н.* Минералогия древних россыпей алмазов восточного борта Тунгусской синеклизы // Геология и геофизика. – 1987. – № 1. – С. 90–96.
3. *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.
4. *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.
5. *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.
6. *Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Тычков С. А.* Проблема алмазоносности Сибирской платформы // Вестник Воронежского госуниверситета. Геология. – 2002. – № 1. – С. 19–36.
7. *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 госуниверситета. Геология. – 2000. – № 3(9). – С. 37–55.
8. *Гладков А. С., Борняков С. А., Манаков А. В., Матросов В. А.* Тектонофизические исследования при алмазопроисковых работах. Методическое пособие. – М.: Научный мир, 2008. – 175 с.
9. *Дукардт Ю. А., Борис Е. И.* Авлакогенез и кимберлитовый магматизм. – Воронеж: ВГУ, 2000. – 161 с.
10. *Зинчук Н. Н.* Сравнительная характеристика вещественного состава коры выветривания кимберлитовых пород Сибирской и Восточно-Европейской платформ // Геология и геофизика. – 1992. – № 7. – С. 99–109.
11. *Зинчук Н. Н., Борис Е. И., Яныгин Ю. Б.* Особенности минерализации алмаза в древних осадочных толщах (на примере верхнепалеозойских отложений Сибирской платформы). – М.: МГТ, 2004. – 172 с.
12. *Зинчук Н. Н., Зуев В. М., Коптиль В. И., Чёрный С. Д.* Стратегия ведения и результаты алмазопроисковых работ // Горный вестник. – 1997. – № 3. – С. 53–57.
13. *Зинчук Н. Н., Коптиль В. И., Борис Е. И., Липашова 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., Мельник Ю. М., Серенко В. П.* Апокимберлитовые породы // Геология и геофизика. – 1987. – № 10. – С. 66–72.
15. *Зинчук Н. Н., Савко А. Д., Крайнов А. В.* Кимберлиты в истории Земли // Труды НИИ геологии ВГУ. Вып. 68. – Воронеж: ВГУ, 2013. – 99 с.
16. *Квасница В. Н., Зинчук Н. Н., Коптиль В. И.* Типоморфизм микрокристаллов алмаза. – М.: Недра, 1999. – 224 с.
17. *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.
18. *Мальцев М. В., Толстов А. В., Фомин В. М., Старкова Т. С.* Новое кимберлитовое поле в Якутии и типоморфные особенности его минералов-индикаторов // Вестник Воронежского государственного университета. Геология. – 2016. – № 3. – С. 86–94.
19. *Мацюк С. С., Зинчук Н. Н.* Оптическая спектроскопия минералов верхней мантии. – М.: Недра, 2001. – 428 с.
20. *Орлов Ю. Л.* Минералогия алмаза. 2-е изд. М.: Наука, 1984. – 264 с.
21. *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.
22. *Харькив А. Д., Зуенко В. В., Зинчук Н. Н.* и др. Петрохимия кимберлитов. – М.: Недра, 1991. – 304 с.
23. *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.
24. *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. – 2015. – V. 465, № 2. – P. 1297–1301.
25. *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.
26. *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., Yeliseyev A. P., Nadolinnyy V. A.* Mineralogiya i nekotoryye voprosy genezisa almazov V i VII raznovidnosti (po klassifikatsii Yu. L. Orlova) [Mineralogy and some questions of the genesis of diamonds of V and VII varieties (according to the classification of Yu.L. Orlov)], Vestnik Voronezhskogo un-ta. Geologiya, 2000, No. 5 (10), P. 79–96. (In Russ.)
2. *Afanasyev V. P., Zinchuk N. N.* Mineralogiya drevnikh rossypey almazov vostochnogo borta Tungusskoy sineklizy [Mineralogy of ancient diamond placers on the eastern side of the Tunguska syncline], Geologiya i geofizika, 1987, No. 1, P. 90–96. (In Russ.)
3. *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.)
4. *Afanasyev V. P., Zinchuk N. N., Koptil V. I.* Poligenez almazov v svyazi s problemoy korennykh rossypey severo-vostoka 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.)
 5. *Afanasyev V. P., Zinchuk N. N., Loginova A. N.* Osobennosti raspredeleniya rossypnykh almazov, 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.)
 6. *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.)
 7. *Vasilenko V. B., Zinchuk N. N., Kuznetsova L. G.* Geodinamicheskiy kontrol razmeshcheniya kimberlitovykh polye 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.)
 8. *Gladkov A. S., Bornyakov S. A., Manakov A. V., Matrossov V. A.* Tektonofizicheskiye issledovaniya pri almazoposkovykh rabotakh. Metodicheskoye posobiye [Tectonophysical research during diamond prospecting], Moscow, Nauchnyy mir publ., 2008, 175 p. (In Russ.)
 9. *Dukardt Yu. A., Boris Ye. I.* Avlakogenez i kimberlitovyy magmatizm [Avlacogenesis and kimberlite magmatism], Voronezh, VGU publ., 2000, 161 p. (In Russ.)
 10. *Zinchuk N. N.* Sravnitel'naya kharakteristika veshchestvennogo sostava kory vyvetrivaniya kimberlitovykh porod Sibirskoy i Vostochno-Yevropeyskoy platformy [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.)
 11. *Zinchuk N. N., Boris Ye. I., Yanygin Yu. B.* Osobennosti 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.)
 12. *Zinchuk N. N., Zuyev V. M., Koptil V. I., Chorny 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., Melnik Yu. M., Serenko V. P.* Apokimberlitovyye porody [Apokimberlite rocks], *Geologiya i geofizika*, 1987, No. 10, P. 66–72. (In Russ.)
 15. *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.)
 16. *Kvasnitsa V. N., Zinchuk N. N., Koptil V. I.* Tipomorfizm mikrokrystallov almaza [Typomorphism of diamond microcrystals], Moscow, Nedra publ., 1999, 224 p. (In Russ.)
 17. *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 poleznyye iskopyemye*, 1995, No. 6, P. 594–601. (In Russ.)
 18. *Maltsev M. V., Tolstov A. V., Fomin V. M., Starkova T. S.* Novoye kimberlitovoye pole v Yakutii i tipomorfnyye osobennosti yego mineralov-indikatorov [New kimberlite field in Yakutia and typomorphic features of its indicator minerals], *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta, Geologiya*, 2016, No. 3, P. 86–94. (In Russ.)
 19. *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.)
 20. *Orlov Yu. L.* Mineralogiya almaza [Mineralogy of diamond], 2-ye izd. Moscow, Nauka publ., 1984, 264 p. (In Russ.)
 21. *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.)
 22. *Kharkiv A. D., Zuyenko V. V., Zinchuk N. N.* et al. Petrokimiya kimberlitov [Petrochemistry of kimberlites], Moscow, Nedra publ., 1991, 304 p. (In Russ.)
 23. *Khitrov V. G., Zinchuk N. N., Kotelnikov D. D.* Primeneniye klaster-analiza dlya vyyasneniya zakonomernostey vyvetrivaniya 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.)
 24. *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. (In Russ.)
 25. *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.
 26. *Vasilenko V. B., Kuznetsova L. G., Volkova N. I.* et al. Diamond potential estimation based on Kimberlite major element chemistry, *Jornal of Geocheclal Exploration*, 2002. V. 76, No. 2, P. 93–112.

Самородное золото, добытое в Приамурье за 150 лет

Приведены сведения об истории золотодобычи и о типоморфных особенностях самородного золота Приамурской провинции. Показано, что за 150 лет добыто около 1116 т преимущественно россыпного золота, доля рудного составляет 23,8 %. Установлено, что распределение пробы россыпного золота одномодальное с максимумом в интервале 850–925 ‰. Среди микропримесей, содержание которых в некоторых узлах достигает первых процентов, преобладает ртуть. Россыпное золото по составу и примесям отвечает золоту месторождений и рудопроявлений золото-кварцевой и золото-сульфидно-кварцевой формаций. Реже встречаемое в россыпях низкопробное золото (799–700 ‰) образовано за счёт разрушения источников золото-серебряной, а средней (800–900 ‰) – за счёт золото-полиметаллической и золото-сульфидной формаций. Месторождения золото-медно-молибден-порфировой формации не являются россыпеобразующими. Определены перспективы добычи рудного и россыпного золота в Приамурье.

Ключевые слова: самородное золото, проба, россыпь, золоторудное месторождение, рудная формация, провинция.

МЕЛЬНИКОВ АНТОН ВЛАДИМИРОВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник¹, Melnikov_Anton1972@mail.ru

МОИСЕЕНКО ВАЛЕНТИН ГРИГОРЬЕВИЧ, академик РАН, заведующий лабораторией нанотехнологий¹, kaunamka@mail.ru

СТЕПАНОВ ВИТАЛИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник², vitstepanov@yandex.ru.

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и природопользования Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИГИП ДВО РАН), г. Благовещенск

² Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук (НИГТЦ ДВО РАН), г. Петропавловск-Камчатский

The native gold extracted in the Amur Region for 150 years

A. V. MELNIKOV¹, V. G. MOISEENKO¹, V. A. STEPANOV²

¹ Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Geology and Nature Management of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (IGIP FEB RAS), Blagoveshchensk

² Scientific research Geotechnological Centre Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky

Data on gold production history and typomorphic features of native gold from the Amur province are provided. It is shown that about 1,116 t of primarily placer gold was extracted for 150 years, with primary gold accounting for 23,8 %. Placer gold sample distribution is unimodal with a maximum ranging within 850–925 ‰. Mercury prevails in microimpurities, its content in some clusters reaches the first percentage points. In terms of composition impurities, placer gold corresponds to gold from fields and occurrences of gold-quartz and gold-sulfide-quartz formations. Low-fineness gold, (799–700 ‰) less common in placers, resulted from destruction of gold-silver unit sources while that of average fineness (800–900 ‰) was a result of the same process related to gold-polymetallic and gold-sulfide units. Gold-copper-molybdenum porphyry deposits do not form placers. The prospects of primary and placer gold production in the Amur region are defined.

Key words: native gold, sample, scattering, gold field, ore formation, province.

Территория Приамурья стала российской в 1858 г., согласно Айгунскому договору, составленному сибирским золотопромышленником Р. А. Черносвитовым и подписанному со стороны России графом Н. Н. Муравьевым. Почти сразу начались поиски, разведка и эксплуатация золотоносных россыпей (Н. П. Аносов и др.), и в 1868 г. в казну страны поступило первое золото [1]. Более чем 150-летние поисковые и геологоразведочные работы привели к открытию почти полутора тысяч россыпных и десятков рудных месторождений, из которых добыто 1116,8 т золота (рис. 1). Из них на долю рудных месторождений приходится 266,5 т (23,8 % от общей добычи). Вначале добыча золота велась главным образом из россыпей. Эксплуатация рудных месторождений началась в 1917 г. с отработки старателями богатых золотоносных жил месторождения *Золотая Гора*. В 1924–1935 гг. в эксплуатацию были вовлечены рудные месторождения *Ворошиловское*, *Харгинское* и *Кировское*, с 1951 г. *Токурское*. Далее, начиная с 1961 и по 1995 г., рудное золото давал только Токурский рудник, снижая с каждым годом свою производительность.

Новый период увеличения добычи рудного золота начался с вводом в эксплуатацию месторождений *Покровское* (1999), *Пионер* (2008), *Березитовое* (2008), а затем *Маломыр* (2010) и *Албын* (2011). Поэтому к 2007 г. производство золота из россыпей и рудных



Рис. 1. Динамика добычи золота в Амурской области с 1867 по 2017 г.

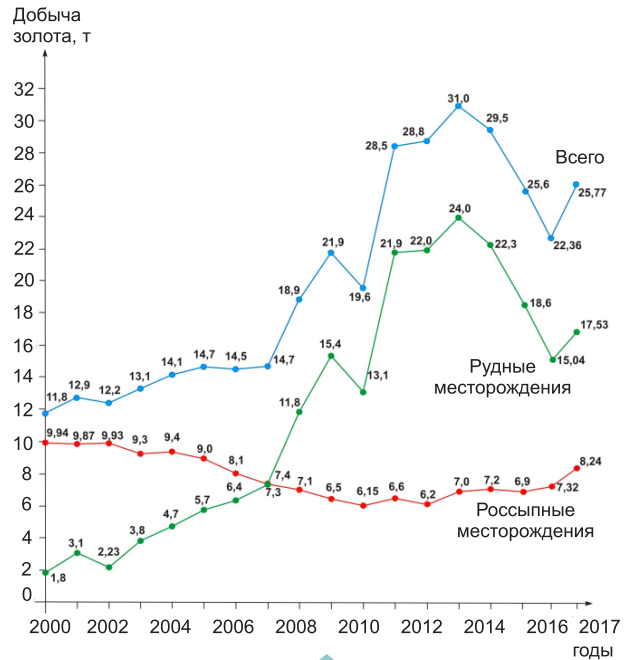


Рис. 2. Динамика добычи россыпного и рудного золота в XXI в.

месторождений сравнялось, а далее превалировала добыча из рудных месторождений (рис. 2). Благодаря интенсивной эксплуатации рудных месторождений Амурская область в 2011–2013 гг. вышла на второе место в России по добыче золота. Однако фонд разрабатываемых рудных месторождений невелик и ограничен 3–5 объектами, многие из которых в значительной мере отработаны. Поэтому в ближайшие годы потребуются расширение базы золоторудных месторождений.

Рудные и россыпные месторождения составляют Приамурскую золотоносную провинцию, одну из крупнейших в России. Под Приамурской провинцией понимается крупная геологическая структура, площадью около 400 тыс. км², протянувшаяся в юго-восточном направлении на расстояние около 900 км вдоль хребтов Тукурингра и Джагды на левобережье среднего течения р. Амур. Эта структура представляет собой зону позднемезозойской коллизии геоблоков юго-восточного обрамления Сибирского кратона, Амурского композитного массива и Монголо-Охотской складчатой системы. Коллизия сопровождалась интрузивной и вулканической деятельностью. С ней генетически связано формирование золотого оруденения, наложенного на блоковую матрицу. Дальнейшие эрозионные процессы привели к образованию многочисленных россыпей.

В пределах провинции известны 44 мелких, средних и крупных месторождения и более 800 рудопроявлений золота. Среди золоторудных месторождений преобладают представители золото-кварцевой и золото-сульфидно-кварцевой формаций. Реже встречаются месторождения золото-серебряной и золото-сульфидной формаций. Месторождения золото-полиметаллической и золото-медно-молибден-порфировой формации единичны. Наибольшее количество золота добыто из месторождений золото-сульфидно-кварцевой (31,1 %) и золото-кварцевой (29,2 %) формаций, меньшее – из месторождений золото-серебряной (23,4 %), золото-полиметаллической (10,7 %) и золотосульфидной (5,5 %) формаций. Месторождения золото-медно-молибден-порфировой формации не разрабатывались.

Самородное золото месторождений выделенных формаций отличается как по пробе золота, так и по составу элементов-примесей (см. таблицу). В широко развитых в провинции месторождениях золото-кварцевой формации средняя проба золота меняется от 726 ‰ (месторождение *Токур*) до 965 ‰ (месторождение *Золотая Гора*). По пробе золота выделены три группы золото-кварцевых месторождений: с высокопробным золотом (проба более 900 ‰), с золотом средней пробы (800–900 ‰) и с золотом низкой пробы (700–800 ‰). Из примесей рудного золота после серебра наиболее значимой является ртуть. Содержание её меняется от 3–800 г/т в высокопробном, до 0,1–3 % в золоте средней и низкой пробы.

В месторождениях золото-сульфидно-кварцевой формации состав золота меняется от электрума (месторождение *Верхнемынское*) до средней, редко высокой пробы (месторождение *Кировское*), но в целом по месторождениям проба золота ниже, чем в месторождениях золото-кварцевой формации. Среди примесей часто отмечаются повышенные содержания меди, ртути и теллура.

Месторождения золото-сульфидной формации отличаются мелким и тонким золотом, часто в сростании с сульфидами. Оно средней пробы с примесью железа, меди и ртути. Электрум и низкопробное золото характерны для месторождений золото-серебряной формации. Среди примесей в нём отмечаются железо, сурьма, ртуть и марганец. В золото-полиметаллическом *Березитовом* месторождении проба золота колеблется в широких пределах – от электрума до высокопробного золота, в среднем – 861 ‰. Среди примесей преобладают железо, олово, сурьма и ртуть. Золото месторождений золото-медно-молибден-порфировой формации тонкое, отличается низкой и средней пробой (700–850 ‰).

В россыпях Приамурья преобладает золото мелких и средних классов крупности, реже крупное.

Наиболее крупное золото наблюдается в некоторых рудно-россыпных узлах Джагды-Селемджинской металлогенической зоны центральной части провинции (Унья-Бомский, Харгинский, Токурский, Софийский и Кербинский). Встречаются самородки весом до нескольких килограммов. Наиболее крупное скопление самородков обнаружено в россыпи руч. Каракатица, притока р. Гарь-2. Здесь было поднято 665 самородков золота весом от 10 до 6990 г, общим весом 79 кг [2]. Большая часть самородков представляла собой брекчии, состоящие из обломков жильного кварца, сцементированных крупными выделениями самородного золота. Проба самородков – 992 ‰. Очевидно, что самородки золота в сростках с кварцем представляли собой единое золото-кварцевое гнездо, сопоставимое с самым крупным в мире самородком – Плитой Холтермана (Австралия), масса



Рис. 3. Скипетровидные сростки кристаллов золота, прииск Октябрьский [7]

Месторождения рудных и нерудных полезных ископаемых

Состав рудного золота месторождений Приамурской провинции. По [2, 3, 6, 7]

№ пп	Месторождения	Проба золота (‰) (средняя)	Элементы-примеси (в г/т)
Золото-кварцевая формация			
1	Золотая Гора	927–997 (965)	Cu – 740, Fe – 150, Sb – 6, Hg – 3, Mn – 1
2	Буровое	929–987, редко 714	
3	Скалистое	952–962	Cu, Pb, Mo
4	Петровско-Еленинское	941–959 (951)	
5	Одолго	940–950	
6	Жильное	933–954 (943)	
7	Лысогорское	930	
8	Ледяное	909–937	
9	Афанасьевское	889–922 (907)	Hg – 800, Fe – 250, Cu – 360, Sb – 26, Te – 190, As – 95
10	Харгинское	850–910, редко 610–636	Hg – 3083, Pb – 310, Te – 200, As – 164, Cu – 131, Sb – 47, Pt – 1,2
11	Албын	760–912 (880–895)	Hg – до 2,81 %, Cu до 0,051 %, Sb – доли %, Pb, Zn – сотые и десятые доли %
12	Иннокентьевское	785	
13	Кварцитовое	700–870 (778)	Hg до 3 %, Cu до 2 %, As до 1 %
14	Унгличикан	663–980 (770)	Hg – 1000, Sb – 170, Pb – 76, Cu – 20, As – 12
15	Сагур	721–775 (754)	Hg – 1110, Te – 800, As – 189, Pb – 55, Cu – 25, Pt – 15
16	Ингагли	715–750 (733)	
17	Токур	673–803 (726)	Hg – 1503, Te – 474, Pb – 390, As – 320, Sb – 30, Pt – 22
Золото-сульфидно-кварцевая формация			
18	Кировское	924–953	Cu – 26–300, Bi – 1–248, Te – до 600, Hg – 20–150
19	Пионер	650–880 в рядовых рудах, 870–915 в богатых	Cu – 133, Hg – 27, Pb – 24, Te – 12
20	Колчеданный Утес	780–850 в сульфидах, 830–990 в кварце	Pt до 491
21	Бамское	730–952	Hg – 0,1–1,1%, Te до 0,1%
22	Ворошиловское	719–732 (725)	
23	Ясное	669–751(723)	Hg – 1000, As – 44, Cu – 6,4, Sb – 4,4, Pb – 3,6, Mn – 3
24	Верхнемынское	606–664 (635)	
Золото-сульфидная формация			
25	Нони	650–900 (800–850)	Fe, Cu, Ti, Bi, Hg
26	Маломыр	780–880	Fe, Mn, Cu, As, Hg
Золото-серебряная формация			
27	Покровское	626–735 (682)	Fe – 500, Sb – 30, Hg – 10 Mn – 3, Cu – 6
28	Буринда	550–671	Sb – 150, Fe – 40, Mn – 5, Hg – 1
Золото-полиметаллическая формация			
29	Березитовое	666–999 (861)	Fe – 30–6000, Sn – 10–3000, Sb – 70–1000, Hg – 10–800, Cu – 10–400
Золото-медно-молибден-порфировая формация			
30	Восточное Двойное	750–850	
31	Икан	700–850	

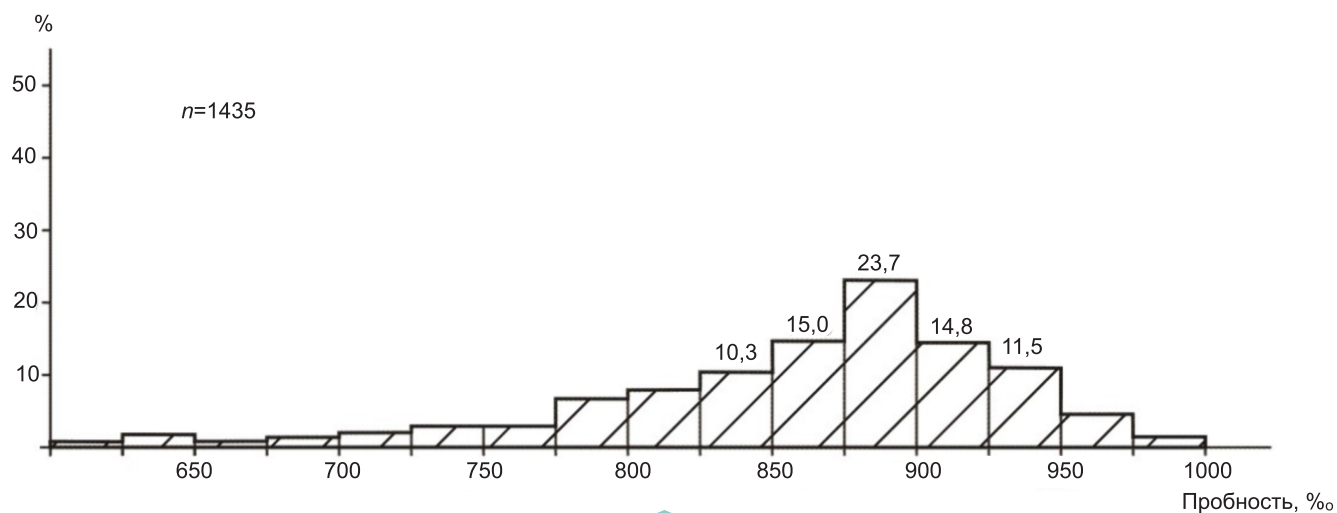


Рис. 4. Гистограмма пробы россыпного золота Приамурья

которого вместе с кварцем составляла 235,5 кг, золота – 83,2 кг.

Форма выделений золота разнообразная: от преобладающей плоской, лепёшковидной, комковатой и проволоковидной до кристаллической, в том числе дендритовидной. Иногда наблюдаются сростки кристаллов (рис. 3). Россыпное золото Приамурья, судя по гистограмме (рис. 4), относится, по классификации Н. В. Петровской [7], к умеренно высокопробному (800–899 ‰) и высокопробному (900–1000 ‰). Реже встречается низкопробное золото (799–700 ‰).

Основной примесью самородного золота россыпью Приамурья служит серебро, количество которого определяет пробу золота. В значительно меньших количествах содержатся примеси других элементов. По данным Г. И. Неронского, типоморфными примесями для россыпного золота Приамурья являются железо, медь и ртуть. Другие элементы-примеси фиксируются непостоянно [4]. Из примесей наиболее существенна Hg, среднее содержание которой в золоте не опускается ниже десятков и первых сотен г/т. Максимальная примесь Hg в золоте отмечается в Унья-Бомском рудно-россыпном узле. Она достигает, по данным химического анализа, 2,75 % [6]. Средние содержания Fe в россыпном золоте Приамурья составляют десятки, реже сотни г/т, Cu – десятки и сотни г/т. Из других примесей отметим часто встречаемые, хотя и в небольших количествах (первые и десятки г/т), примеси в золоте Ni, Co, Pd и Pt.

Россыпное золото в значительной мере отвечает составу золота месторождений и рудопроявлений золото-кварцевой и золото-сульфидно-кварцевой

формаций. Реже встречаемое низкопробное золото (799–700 ‰) и электрум образованы за счёт разрушения источников золото-серебряной, в меньшей степени золото-полиметаллической и золото-сульфидной формаций, оруденение золото-медно-молибден-порфировой формации не является россыпеобразующим.

Заключение. Проведённое исследование показало, что в Приамурской провинции начиная с 1868 г. добыто 1,116 тыс. т преимущественно россыпного золота. Доля золота, добытого из рудных месторождений, сравнительно невелика (23,8 %). Это свидетельствует о значительных перспективах провинции на выявление новых рудных месторождений и увеличение стабильности за их счёт сырьевой базы золота. В связи с тем, что богатые рудные месторождения с легкообогащаемыми рудами, содержащими крупное свободное золото, в значительной степени отработаны, ожидается вовлечение в эксплуатацию месторождений с бедными золото-сульфидными и золото-сульфидно-кварцевыми рудами, а также комплексных золото-медно-молибден-порфировых месторождений.

В связи с достаточно полной опойскованностью территории провинции на россыпи ожидать выявления новых крупных россыпей не приходится. Тем не менее добыча из в значительной мере отработанных за 150 лет эксплуатации россыпей держится на уровне 6–8 т золота в год. Очевидно, что россыпной потенциал провинции до конца не исчерпан. Этот потенциал заключается в появлении новых технологий переработки россыпей. Они позволят извлекать не только свободное золото тонких классов крупности,

но и заключённое в других минералах (сульфидах, оксидах, гидроксидах железа и марганца и других минералах). Необходимо поднять вопрос и о попутной добыче из россыпей и других полезных компонентов (платиноидов, редких и рассеянных элементов). Это повысит рентабельность отработки бедных россыпей, которые ранее не привлекали внимания промышленников. Отдельно стоит проблема отработки накопивших за 150 лет многочисленных отвалов россыпей, многие из которых являются техногенными месторождениями золота [5]. За десятки лет нахождения в зоне аэрации в отвалах произошло значительное изменение минерального состава. Оно выражено главным образом в окислении сульфидов и высвобождении заключённого в них золота. Поэтому переработка отвалов требует особого подхода. Очевидно, что при рациональном отношении россыпи провинции могут дать ещё не одну сотню тонн золота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анерт Э. Э.* Богатство недр Дальнего Востока. – Хабаровск–Владивосток: Книжное дело, 1928. – 932 с.
2. *Моисеенко В. Г., Карнаух Ю. А., Краснов Г. Ф.* // Вопросы золотосности Дальнего Востока. – Благовещенск: Амурская лаб. ДВГИ, 1971. – С. 132–136.
3. *Моисеенко В. Г., Эйриш Л. В.* Золоторудные месторождения Востока России. – Владивосток: Дальнаука, 1996. – 352 с.
4. *Неронский Г. И.* Типоморфизм золота месторождений Приамурья. – Благовещенск: АмурНЦ, 1998. – 320 с.
5. *Петровская Н. В.* Самородное золото. – М.: Наука, 1973. – 347 с.
6. *Степанов В. А., Мельников А. В.* Высокопродуктивные золотоносные узлы Приамурья // Lap Lambert academic publishing. – 2018. – 150 с.
7. *Степанов В. А., Моисеенко В. Г., Мельников А. В.* Уникальный рудно-россыпной район Приамурья с высококортутистым золотом // Доклады академии наук. – 2017. – Т. 472, № 6. – С. 681–685.

REFERENCES

1. *Anert E. E.* Bogatstvo neдр Dal'nego Vostoka [The wealth of the interior of the Far East], Khabarovsk, Vladivostok, Knizhnoye delo Problems of gold content in the Far East, 1928, 932 p. (In Russ.).
2. *Moiseyenko V. G., Karnaukh Yu. A., Krasnov G. F.* Voprosy zolotonosnosti Dal'nego Vostoka [Problems of gold content in the Far East], Blagoveshchensk, Amurskaya lab. DVGI publ., 1971, P. 132–136. (In Russ.).
3. *Moiseyenko V. G., Eyriush L. V.* Zolotorudnyye mestorozhdeniya Vostoka Rossii [Gold ore deposits of the East of Russia], Vladivostok, Dal'nauka publ., 1996. 352 p. (In Russ.).
4. *Neronskiy G. I.* Tipomorfizm zolota mestorozhdeniy Priamur'ya [Typomorphism of gold deposits in the Amur region]. Blagoveshchensk, AmurNTS publ., 1998, 320 p.
5. *Petrovskaya N. V.* Samorodnoye zoloto [Native gold], Moscow, Nauka publ., 1973, 347 p. (In Russ.).
6. *Stepanov V. A., Melnikov A. V.* Vysokoproduktivnyye zolotonosnyye uzly Priamur'ya [Highly productive gold-bearing nodes of the Amur region], Lap Lambert academic publishing publ., 2018, 150 p. (In Russ.).
7. *Stepanov V. A., Moiseyenko V. G., Mel'nikov A. V.* Unikal'nyy rudno-rossypnoy rayon Priamur'ya s vysokokortutistym zolotom [A unique ore-placer region of the Amur region with high-mercury gold], Doklady akademii nauk, 2017, V. 472, No. 6. P. 681–685. (In Russ.).

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 ее опубликование в журнале и размещение в сети «Интернет».

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

Роль геохимических барьеров при формировании сульфидных руд в различных геологических обстановках

На основе многолетних исследований месторождений медистых песчаников и сланцев, а также изучения глубоководных океанских сульфидных руд показаны различные типы геохимических барьеров, на которых происходит сульфидообразование. Медистые песчаники и сланцы формируются при осаждении металлов из пластовых вод красноцветных формаций на сероводородном геохимическом барьере. Выделено два типа барьеров – сингенетический и эпигенетический. В океанских сульфидных рудах, изученных в Центральной Атлантике, наряду с известными ранее типами сульфидных руд (массивные руды на поверхности дна, штокверковые руды в породах субстрата) установлен новый, гидротермально-метасоматический, тип оруденения в осадках. Рассмотрены геохимические обстановки сульфидообразования на поверхности дна и в биогенных карбонатных донных осадках.

Ключевые слова: медистые песчаники и сланцы, современные океанские сульфидные руды, геохимические барьеры.

ГАБЛИНА ИРИНА ФЁДОРОВНА, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, gablina@ilran.rut

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт Российской академии наук (ГИН РАН), г. Москва

Role of geochemical barriers in forming sulfide ores in various geological environments

I. F. GABLINA

Federal State Budgetary Institution of Science Geological Institute of the Russian Academy of Sciences (GIN RAS), Moscow

Based on long-term studies of cupriferous sandstone and shale deposits, as well as deepsea sulfide ores, various types of geochemical barriers where sulfides form are shown. Cupriferous sandstones and shales form as metals precipitate from redbed reservoir waters on H₂S geochemical barrier. Syngenetic and epigenetic barrier types are identified. Oceanic sulfide ores from the Central Atlantic region were studied; as a result, a new hydrothermal-metasomatic sediment-hosted mineralization type was found, along with previously known sulfide ore types (massive ores on the seafloor and stockwork ores in substrate rocks). Geochemical seafloor sulfide formation environments and those in biogenic carbonate bottom sediments are examined.

Key words: cupriferous sandstones and shales, modern oceanic sulfide ores, geochemical barriers.

Многолетние исследования закономерностей распространения, вещественного состава и условий образования месторождений медистых песчаников и сланцев показали, что основными факторами образования рудоносных растворов являются процессы взаимодействия вода–порода, а локализация сульфидных руд происходит на восстановительных сероводородных барьерах. Эти представления были заложены крупными российскими и зарубежными исследователями (А. И. Перельман, А. И. Германов, Е. А. Басков, С. Р. Крайнов, Б. Н. Рыженко, Л. М. Лебедев, А. М. Лурье, Л. Б. Густафсон, Н. Уильямс, A. W. Rose, W. S. White и др.) и получили развитие

в работах автора [5, 7, 11, 18, 23 и др.]. Важнейшее место в ряду исследований занимают труды А. И. Перельмана [21, 22], разработавшего учение о геохимических барьерах и применившего его к расшифровке генезиса стратиформных месторождений, в том числе месторождений медистых песчаников (на примере Джекказгана).

Открытие современных сульфидных руд на дне океана позволило изучать процесс рудообразования путём непосредственных наблюдений, замеров физико-химических параметров и исследования состава рудоносных растворов. Было установлено, что это кислые (рН 2–4) восстановительные

гидротермальные (T до 350–400 °C) растворы, содержащие CH_4 , CO_2 , H_2S , He, Fe, Cu, Zn, Pb, Si [2, 4 и др.]. Согласно существующим представлениям (рециклинговая модель), подтверждённым компьютерным моделированием, гидротермальные растворы формируются при взаимодействии морской воды с породами ложа океана [4, 14]. Преобразованная морская вода, разогретая вблизи магматической камеры, образует гидротермальные конвективные потоки. Формирование сульфидных руд происходит на геохимическом барьере, образующемся в зоне смещения кислых гидротермальных рудоносных растворов с холодной морской водой, содержащей кислород и SO_4 . Рудообразование происходит как в зоне выхода гидротермальных источников на морское дно («чёрные курильщики»), так и в «подповерхностной зоне» [2, 4].

Материалы и методы. Объектами исследований служили разновозрастные месторождения медистых песчаников и сланцев: Удокан ($\text{Pt}_1?$), Джезказган в Казахстане (C_{2-3}), Западное Приуралье, Любин-Серошовице в Польше, Мансфельд в Германии (P_2) и др. По зарубежным месторождениям (Уайт-Пайн (США), Медный пояс Африки, медистые сланцы Центральной Европы) использованы опубликованные данные [15, 26, 27, 29–31].

Современные сульфидные руды, рудоносные и фоновые осадки изучены в зоне 13°–20° с.ш. Срединно-Атлантического хребта (гидротермальные поля Ашадзе-1, Семенов-4, Зенит-Виктория, Петербургское, гидротермальный узел Победа) по материалам рейсов научно-исследовательского судна «Профессор Логачев» АО «Полярная морская геологоразведочная экспедиция» в Российском разведочном районе. Был проведён комплекс исследований, включающий литологические, биостратиграфические, геохимические, физико-химические (замеры температуры и Eh-pH-параметров рудоносных и фоновых осадков в рейсе) методы в сочетании с минералогическими, оптическими, электронно-микроскопическими, электронно-зондовыми, рентгеновскими и химическими методами исследования осадков и руд, что позволило применить системный подход к изучению условий осадко- и рудообразования.

Результаты исследований и обсуждение. Месторождения медистых песчаников и сланцев. На примере изученных объектов и опубликованных материалов установлены следующие закономерности распространения медистых песчаников и сланцев [5–7, 11, 17, 18, 22, 23, 26, 27, 29–31]:

- Связь с красноцветными молассовыми формациями.
- Контроль оруденения проницаемостью красноцветных отложений.

- Приуроченность к склонам поднятий.
- Локализация оруденения на сероводородных геохимических барьерах.

• Специфический минеральный состав руд (присутствие нестехиометрических минералов систем Cu-S и Cu-Fe-S).

• Присутствие минералов-индикаторов различных условий формирования и последующих преобразований вмещающих пород.

• Однотипная зональность оруденения, отражающая смену физико-химических параметров в направлении от красноцветных отложений к восстановительному геохимическому барьеру.

• Наличие низкотемпературных околорудных изменений.

Независимо от возраста и степени метаморфизма вмещающих пород руды медистых песчаников и сланцев локализуются либо в самих красноцветных толщах, либо в базальных горизонтах перекрывающих их морских сероцветных отложений (рис. 1). Это объясняется геохимическими особенностями меди и вмещающих оруденение отложений. Как показано в работах А.И. Перельмана [21, 22], А.М. Лурье [17], A. W. Rose [30], W.S. White [31] и др., аридные красноцветные формации являются источником меди и средой, в которой она мигрирует. Медь подвижна в слабоокислительной обстановке, характерной для континентальных красноцветных формаций. С позиции физической химии красноцветные отложения – это область устойчивости Fe^{3+} , в пределах которой находятся все известные в природе формы меди – двухвалентная, одновалентная, металлическая и сульфидная. В пластовых водах красноцветных формаций, сформированных в континентальных условиях, обычно присутствует хлор-ион, с которым Cu^+ образует водорастворимые комплексы. В подземных (поровых, пластовых) водах красноцветных формаций содержание растворённой меди может достигать более 50 мг/л [17, 25] в зависимости от значений Eh и pH растворов. В настоящее время общепризнано, что основной формой переноса меди и других цветных металлов в водных растворах являются комплексные соединения. Слабоокислительные, богатые Cl-ионом воды выщелачивают из пород полезные компоненты (Cu, Pb, Zn) и переносят их в виде хлоридных комплексов. Таким образом, в результате взаимодействия пород с инфильтрующимися сквозь них пластовыми водами эллизионного или артезианского типа формируются рудоносные растворы.

Осаждение металлов происходит в сульфидной форме в восстановительной сероводородной среде (на сероводородном геохимическом барьере) [5, 7, 17, 18, 21, 22, 27, 30, 31]. Изотопные данные указывают

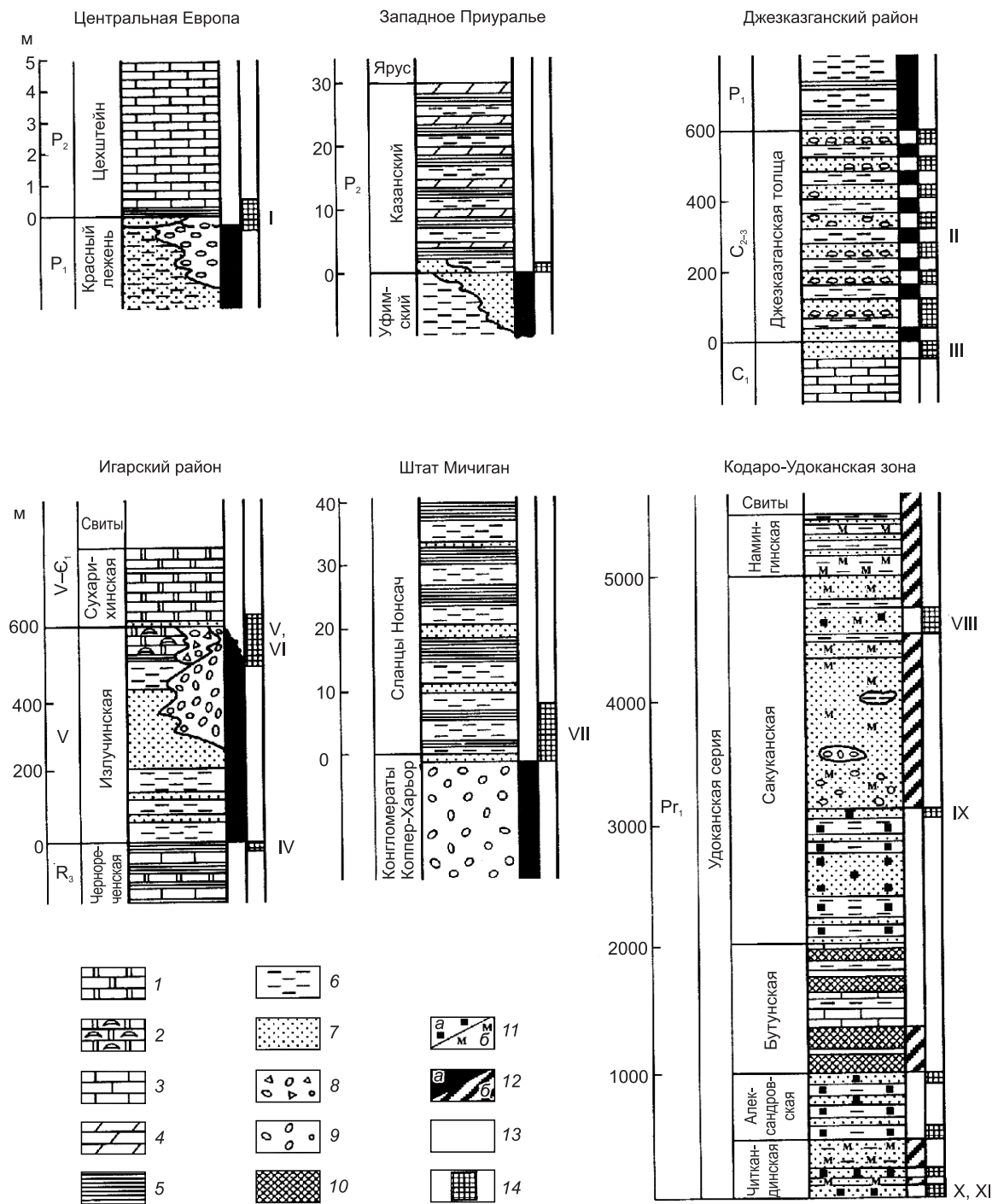


Рис. 1. Связь медистых песчаников и сланцев с красноцветными формациями:

1 – доломиты; 2 – строматолитовые доломиты; 3 – известняки; 4 – мергели; 5 – аргиллиты, глинистые сланцы; 6 – алевролиты; 7 – песчаники; 8 – брекчии, конгломератобрекчии; 9 – конгломераты; 10 – альбититы; 11 – аутигенные минералы-индикаторы окислительно-восстановительного потенциала пород в метаморфизованной удоканской серии: а – пирит, пирротин, б – гематит, магнетит; 12, 13 – окраска пород: 12 – красноцветная: а – наблюдаемая, б – реконструированная, 13 – сероцветная; 14 – медное оруденение; I–XI – месторождения и рудопроявления: I – Мансфельд, Зангерхаузен, Любин-Серошовице и др., II – Джеккаган, III – Северная группа месторождений, IV – горизонт «А», V – горизонт «Б», VI – Гравийское, VII – Уайт-Пайн, VIII – Удокан, IX – Ункур, X – Красное, XI – Правый Ингамakit

на биогенное происхождение сульфидной серы в рудах [3 и др.]. Установлено, что существуют два типа барьеров – сингенетические и эпигенетические. Образование первых связано с накоплением органического вещества одновременно с осадками (рис. 2, А), а вторых – с поступлением восстановителей (углеводородов, H_2S) на стадиях катагенеза в уже сформиро-

ванные породы (см. рис. 2, Б). Последовательность осаждения сульфидов Cu-Fe соответствует их физико-химической устойчивости (от халькозина до пирита со снижением Eh, от красноцветных пород к восстановительному сероводородному барьеру) (рис. 3).

Современные сульфидные руды и рудоносные осадки океана. Современные сульфидные руды

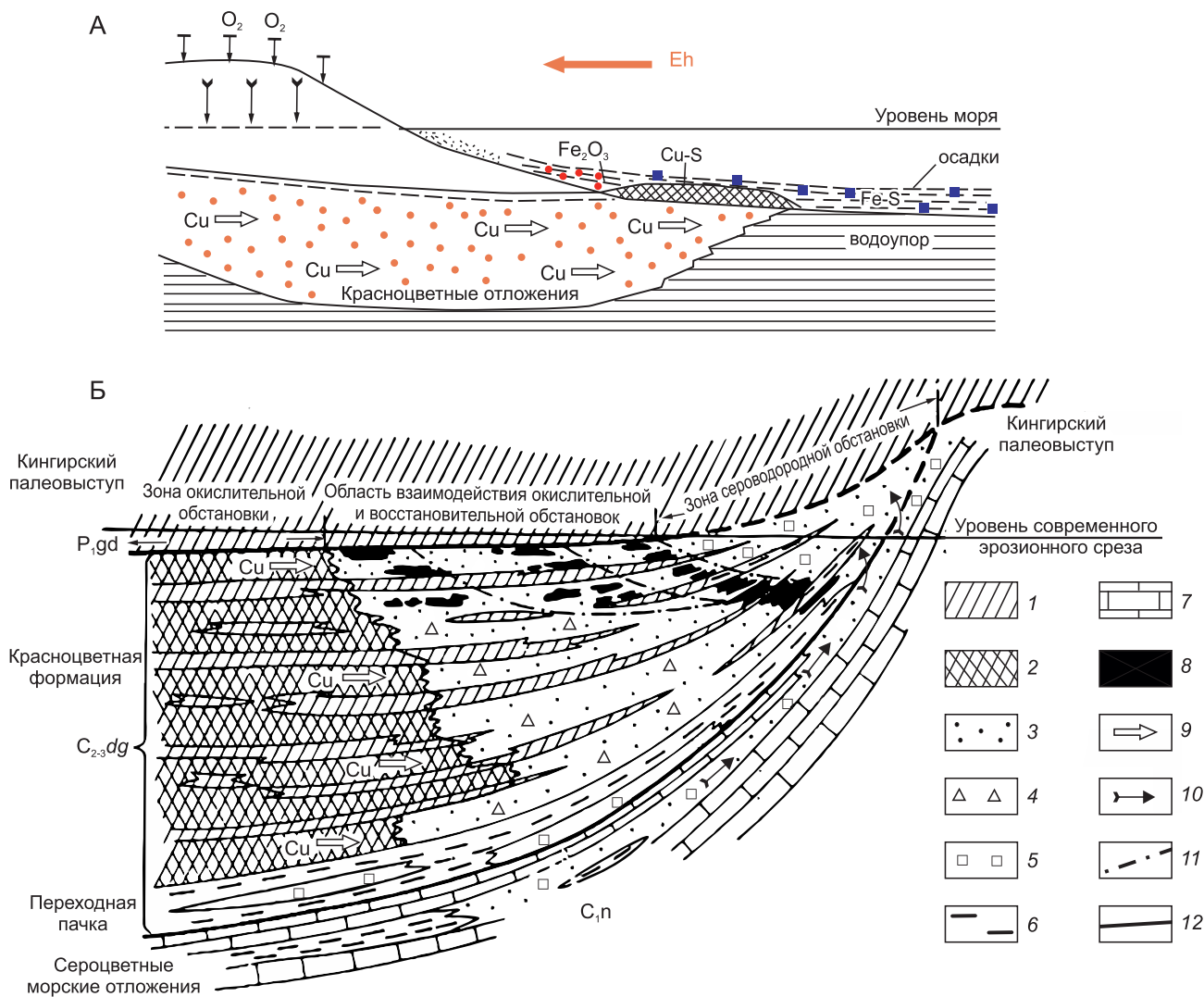


Рис. 2. Модели формирования месторождений меди в осадочных толщах на сингенетическом (А) и эпигенетическом (Б) геохимических барьерах:

А – модель формирования месторождений мансфельдского типа в сероводородсодержащих донных илах морского бассейна [17]; Б – модель формирования Джезказганского месторождения во вторично-осветлённых породах-коллекторах [7, 18]; 1 – красноцветные аргиллиты, алевролиты; 2 – красноцветные песчаники, конгломераты; 3 – сероцветные песчаники, конгломераты; 4 – рассеянная вкрапленность сульфидов меди; 5 – вкрапленность пирита; 6 – серые аргиллиты, алевролиты; 7 – известняки; 8 – рудные залежи; 9 – направление движения меденосных растворов; 10 – пути миграции восстановителей (углеводородов, H_2S); 11 – уровни последовательного смещения зоны взаимодействия окислительной и восстановительной обстановок; 12 – предполагаемые контуры Кингирского палеовыступа в период формирования джезказганской толщи; P_{1gd} – нижнепермские отложения (жиделисайская свита); $C_{2-3,dg}$ – продуктивная средне-верхнекаменноугольная красноцветная (джезказганская) толща; $C_{1,n}$ – нижнекаменноугольные морские сероцветные отложения (намюрский ярус)

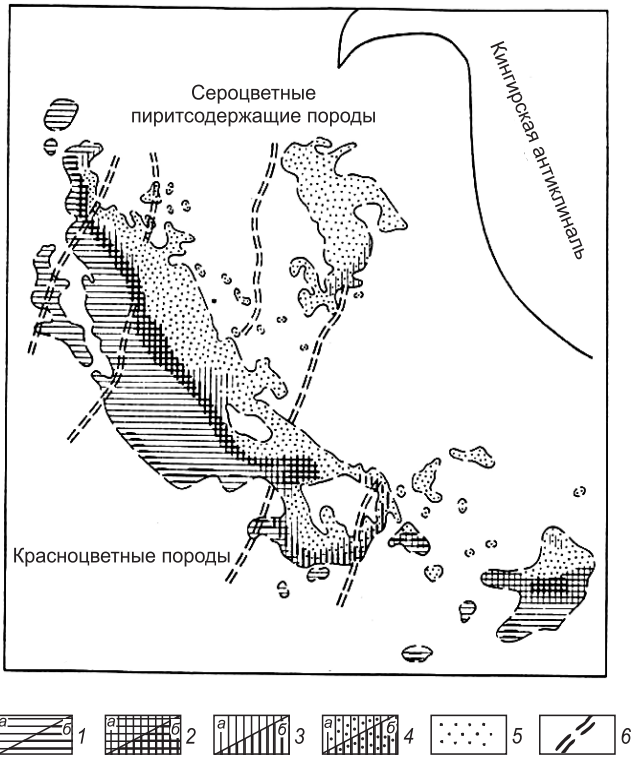


Рис. 3. Схема минеральной зональности рудной залежи 5-1 Джезказганского месторождения. По [19], с дополнениями:

1–5 – зоны руд: 1 – халькозиновых: а – рядовых, б – богатых, 2 – борнит-халькозиновых: а – рядовых, б – богатых, 3 – борнитовых: а – рядовых, б – богатых, 4 – борнит-халькопиритовых: а – рядовых, б – богатых, 5 – халькопиритовых; 6 – флексуры

на дне океана были обнаружены в 1970-е годы, а с 1980-х годов началось их активное исследование. Сейчас в Мировом океане открыты десятки рудных гидротермальных полей и открытия продолжают. Большая часть гидротермальных полей связана с зонами спрединга – срединно-океаническими хребтами.

Изученные автором гидротермальные рудные поля расположены на бортах рифтовой долины Срединно-Атлантического хребта (САХ) в районе от 13° (рудный узел Семенов) до 20°08' с. ш. (поле Петербургское) на глубинах от ≈2400 до 4200 м. Они входят в Российский разведочный район, выделенный Международным органом по морскому дну (МОМД) при ООН. Активные гидротермальные постройки зафиксированы в пределах гидротермальных узлов Семенов и Ашадзе. На остальных они не установлены, но на некоторых зафиксированы гидрофизические аномалии, иногда гидротермальная фауна. В строении рудных полей принимают участие базальты, габбро и перидотиты, карбонатные биоген-

ные, металлоносные и рудоносные осадки с включениями сульфидных руд. Рудные тела представляют собой реликтовые и активные трубообразные сульфидные постройки на поверхности дна, а также разрозненные группы гидротермальных сульфидных (сульфиды Fe, Cu-Fe, Zn) построек в рудоносных осадках. На поверхности осадков они проявлены в виде невысоких, обычно погребённых холмов или не выраженных в рельефе пятен гидротермально изменённых осадков бурого и зелёного цвета. Возраст сульфидных руд, определённый ²³⁰Th/U методом, колеблется от менее 2–60 (Зенит-Виктория, Победа) до 37–134 тыс. лет (Семенов, Победа) [4, 9, 10, 16, 24, 28]. Фоновые карбонатные (CaCO₃ до 75–90 %) осадки представлены кальцитовыми раковинами фораминифер, кокколитов и птеропод с примесью глинистого и эдафогенного материала. Они имеют максимальную вскрытую мощность 100–150 см, а по геофизическим данным до 6–10 м, распространены на периферии рудных полей и за их пределами. Возраст осадков голоцен-позднеплейстоценовый (0–128 тыс. лет) [1, 8, 12, 24 и др.]. В металлоносных и особенно в рудоносных осадках карбонатность существенно снижается (до нуля–нескольких процентов) и возрастает содержание рудных элементов (в %): в металлоносных – Fe ≥ 10, Cu + Zn < 0,25; в рудоносных – Fe 10–30, Cu + Zn ≥ 0,25 (в пересчёте на бескарбонатное вещество) [8, 12, 24 и др.]. Согласно существующим представлениям (рециклинговая модель), гидротермальные растворы формируются при взаимодействии морской воды с породами ложа океана. Преобразованная морская вода, разогретая вблизи магматической камеры, образует гидротермальные конвективные потоки, из которых на дне океана осаждаются сульфиды [4, 14].

Формирование сульфидных руд происходит на геохимическом барьере, образующемся в зоне смешения кислых гидротермальных рудоносных растворов с холодной морской водой, содержащей кислород и SO₄ («чёрные курильщики»). В результате формируются трубообразные постройки на океанском дне (трубный комплекс). Для сульфидных труб, сформированных на поверхности дна, характерна концентрическая минеральная зональность, обусловленная ростом Eh, щелочности среды и снижением температуры в направлении от канала труб к стенкам. Высокотемпературный и богатый железом изокубанит последовательно сменяется халькопирит-борнитовой, борнитовой и халькозиновой зонами (рис. 4).

Проведённые автором с коллегами исследования показали, что наряду с массивными сульфидными рудами трубного комплекса в изученной зоне САХ развит гидротермально-метасоматический тип оруденения в осадках, связанный с воздействием на них

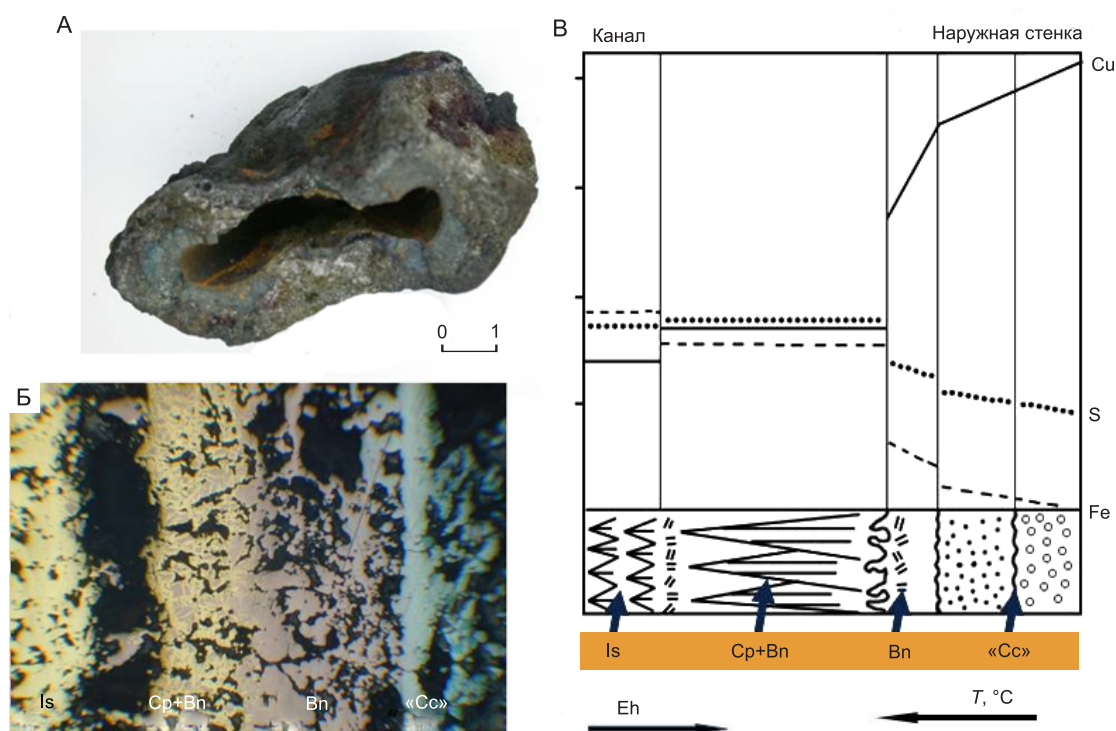


Рис. 4. Зональное строение сульфидных трубок гидротермального поля Рейнбоу. По материалам [20]:

А – фрагмент трубки, общий вид; Б – минеральная зональность трубки под микроскопом в отражённом свете; В – график изменения состава сульфидных руд в направлении от канала трубки к стенкам по результатам микрозондового анализа; Is – изокубанит, Cr – халькопирит, Bn – борнит, «Сс» – сульфиды меди

диффузных гидротермальных флюидов [8–10]. Эти представления базируются на следующих закономерностях, выявленных при изучении рудоносных и фоновых осадков и заключённых в них сульфидных руд:

- Сокращение мощности осадков в зонах гидротермальной активности (в пределах рудных полей) до 35–60 см, вероятно, за счёт растворения первичного биогенного кальцита.

- Признаки формирования руд в условиях затруднённой циркуляции растворов: специфическая форма сульфидных построек (расширяющиеся в верхней части диффузоры), многоканальное строение, отсутствие центрального канала и зональности (рис. 5, А, Б).

- Признаки метасоматического замещения осадков сульфидами и другими гидротермальными минералами (см. рис. 5, В, Г).

- Наличие продуктов переотложения растворённого биогенного кальцита в виде арагонитовых корок с гидроксидами Fe и Mn на поверхности осадков, включающих сульфидные постройки.

- Наличие вертикальной и латеральной минерально-геохимической зональности в рудоносных осадках вокруг рудных тел: снизу вверх по разрезу осадков существенно сульфидный и сульфидно-баритовый парагенезисы новообразованных минералов сменяются оксидным (гидроксиды железа, железистый опал и др.) и оксидно-хлоридным (гидроксиды железа и марганца, атакамит и др.), а с удалением от рудных тел – оксидным (гидроксиды железа и марганца). Такая зональность отражает падение температуры и рост окислительного потенциала вверх по колонке осадков и на флангах рудных тел. Соответственно меняется химический состав осадков: вниз по разрезу колонок гидротермально изменённых осадков происходит снижение карбонатности и рост содержания рудных элементов [8–10, 12].

- Резкое отличие рудоносных осадков от фоновых по физико-химическим характеристикам их поровых вод: Eh и pH поровых вод фоновых осадков близок к показателям морской воды, а в рудоносных осадках – приближается к физико-химическим параметрам гидротермальных растворов [10, 11].

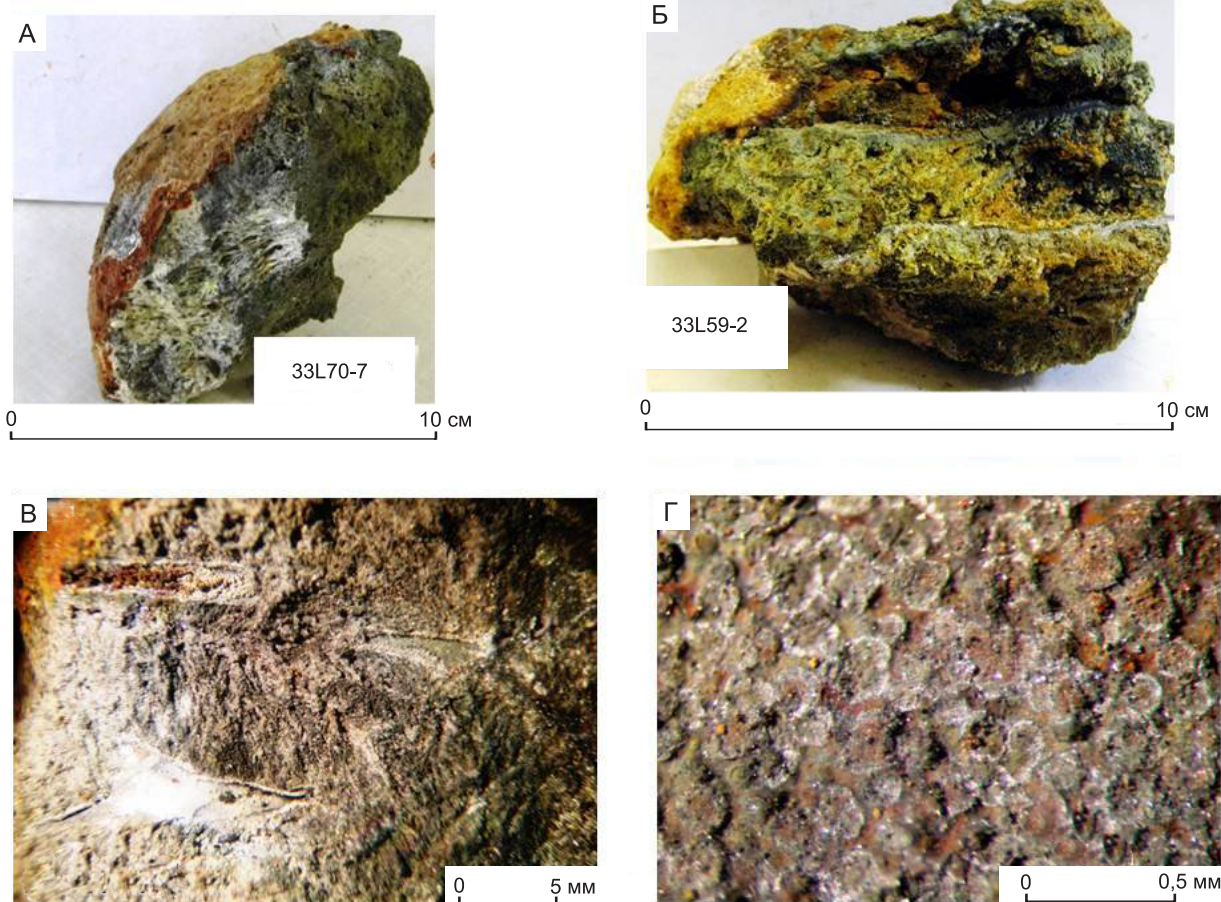


Рис. 5. Строение и структура руд сульфидных построек в биогенных карбонатных осадках:

А – многоканальный диффузор грибообразной формы, в кровле – корка литифицированных осадков, пропитанных гидроксидами железа, рудное поле Зенит-Виктория, ст. 33L70g; Б – фрагмент постройки стратиформного типа слоистой текстуры с коркой литифицированных осадков на поверхности, поле Петербургское, ст. 33L159g; В – реликты птеропод в сфалеритовых рудах, рудное поле Зенит-Виктория, ст. 33L69g; Г – псаммитовая биоморфная (по фораминиферовым пескам) структура частично окисленных сульфидных руд, рудное поле Зенит-Виктория, ст. 33L61g

- Наличие в кровле и на стенках сульфидных построек корок литифицированных осадков, сцементированных арагонитом (см. рис. 5, А, Б), а вокруг рудных тел – зон околорудных изменений.

На основании проведённых исследований можно сделать вывод о том, что формирование значительной части сульфидных руд и рудоносных осадков этой зоны САХ происходило под воздействием гидротермальных растворов диффузного типа, просачивающихся в биогенные карбонатные донные илы из пород субстрата (рис. 6). Минералообразование осуществлялось на геохимическом барьере, в зоне взаимодействия кислых восстановительных металлоносных флюидов с морской водой, насыщающей осадки, и неустойчивым в кислой среде биогенным кальцитом осадков [10].

Карбонатные донные илы служат и геохимическим барьером (присутствие реакционноспособного карбонатного материала, O и SO₄-содержащей морской воды в поровом пространстве), и физическим – затрудняющим быструю миграцию рудоносных растворов и способствующим их охлаждению, осаждению и накоплению полезных компонентов.

На начальных этапах за счёт метасоматического замещения отдельных раковин микроорганизмов формируются рудоносные и (или) металлоносные осадки. Длительное воздействие гидротерм приводит к полному растворению осадочного карбонатного материала и формированию на его месте сульфидных построек и (или) плитообразного цоколя «чёрных курильщиков». Сами «чёрные курильщики» формируются в участках действия высоконапорных

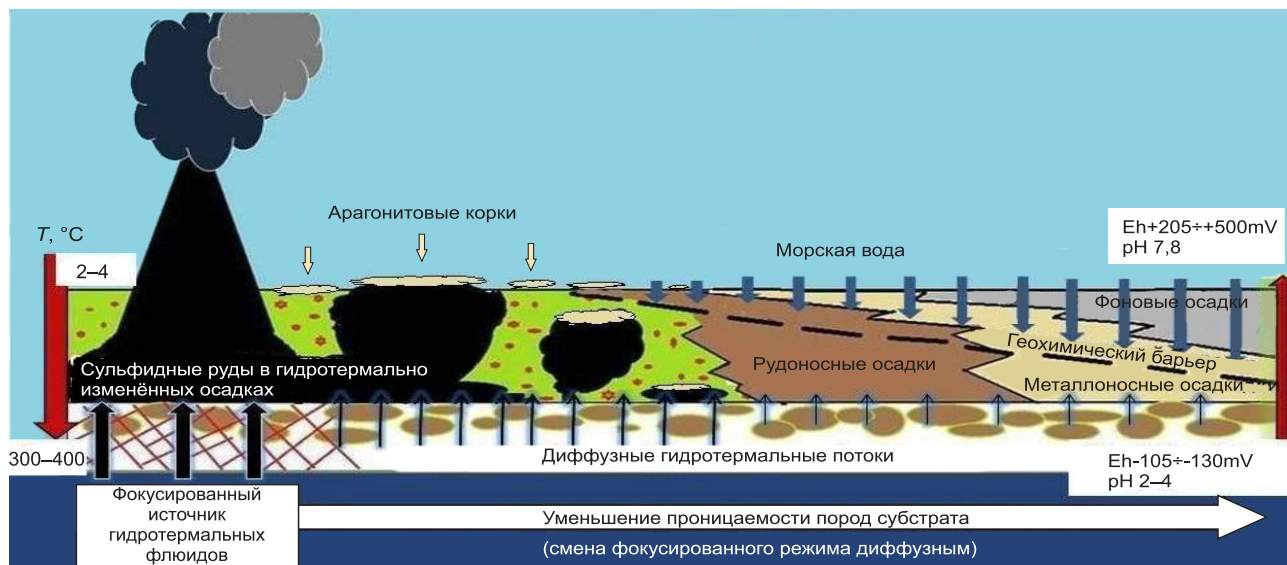


Рис. 6. Модель формирования гидротермально-метасоматических сульфидных руд в биогенных карбонатных океанских осадках [10]

источников фокусированного типа. Вследствие охлаждения поступающих металлоносных растворов в рудах гидротермально-метасоматического типа практически отсутствуют высокотемпературные минералы, пирротин, изокубанитовые твёрдые растворы, характерные для массивных руд «чёрных курильщиков», сформированных на поверхности дна. Руды в осадках всегда сопровождаются образованием арагонитовых корок на поверхности осадков (морском дне), образованных в результате переотложения растворённого биогенного кальцита.

Масштаб оруденения обусловлен мощностью осадков, площадью их распространения и длительностью воздействия на них рудоносных растворов. Это новый взгляд на условия формирования рудоносных океанских осадков и сульфидных руд. Ранее основным механизмом образования металлоносных и рудоносных осадков считалось осаждение рудных минералов из взвесей гидротермального плюма, сформированного «чёрными курильщиками» в толще океанской воды [4, 13, 14, 24], а включения массивных сульфидных руд в осадках рассматривались лишь как продукты разрушения поверхностных построек.

Заключение.

Рассмотренные материалы подтверждают, что решающую роль при формировании сульфидных месторождений как на континенте, так и в океане на разных этапах развития Земли играют геохимические барьеры.

Основным критерием поисков месторождений медистых песчаников и сланцев является выявление зон контакта геохимически контрастных отложений – красноцветных и сероцветных пород.

Открытие нового, гидротермально-метасоматического, типа сульфидных руд в океанских осадках расширяет перспективы рудных районов Мирового океана за счёт возможности обнаружения новых гидротермальных рудных полей, представленных рудоносными осадками. Поисковыми критериями могут служить пятна гидротермальных изменений и арагонитовые корки на поверхности осадков.

Работа выполнена в рамках государственного задания (темы № 0135–2016–0003 и 0135–2019–0050) при поддержке РФФИ: гранты № 08–05–00799; 11–05–01117; 14–05–00480.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бич А. С. Металлоносные осадки рудного узла Победа (Срединно-Атлантический хребет, 17°08'с.ш.) // Мат-лы конференции «Новое в познании процессов рудообразования», ИГЕМ РАН. – М., 2017. – С. 62–65.
2. Богданов Ю. А. Гидротермальные рудопрооявления рифтов Срединно-Атлантического хребта. – М.: Научный мир, 1997. – 167 с.
3. Богданов Ю. В., Голубчина М. Н., Прилуцкий Р. Е. и др. О некоторых особенностях изотопного состава

- сульфидов железа в палеозойских отложениях Джек-казгана // Геохимия. – 1971. – № 11. – С. 1376–1379.
4. Богданов Ю. А., Лисицын А. П., Сагалевич А. М., Гурвич Е. Г. Гидротермальный рудогенез океанского дна. – М.: Наука, 2006. – 527 с.
 5. Габлина И. Ф. Особенности формирования крупных месторождений медистых песчаников и сланцев // Геология рудных месторождений. – 1997. – Т. 38, № 4. – С. 372–386.
 6. Габлина И. Ф. Сульфиды меди как индикаторы среды рудообразования // ДАН. – 1997. – Т. 356, № 5. – С. 657–661.
 7. Габлина И. Ф. Условия меденакопления в красноцветных континентальных формациях. – М.: Наука, 1983. – 110 с.
 8. Габлина И. Ф., Дмитренко О. Б., Оськина Н. С. и др. Влияние гидротермальной активности на карбонатные микрофоссилии в донных осадках тропической Атлантики // Океанология. – 2015. – Т. 55, № 1. С. 113–125.
 9. Габлина И. Ф., Добрецова И. Г., Лайба А. А. и др. Особенности сульфидных руд гидротермального узла «Победа» (17°07'–17°08'с.ш. Срединно-Атлантического хребта) // Литология и полезные ископаемые. – 2018. – № 6. – С. 475–500.
 10. Габлина И. Ф., Добрецова И. Г., Наркевский Е. В. и др. Влияние гидротермально-метасоматических процессов на формирование современных сульфидных руд в карбонатных донных осадках Срединно-Атлантического хребта (19–20° с.ш.) // Литология и полезные ископаемые. – 2017. – № 5. – С. 387–408.
 11. Габлина И. Ф., Михайлова А. И. Закономерности локализации медного оруденения на Удоканском месторождении // Литология и полезные ископаемые. – 1994. – № 3. – С. 53–67.
 12. Габлина И. Ф., Попова Е. А., Садчикова Т. А. и др. Гидротермально-метасоматические изменения карбонатных донных осадков поля Ашадзе-1 (13° с.ш. Срединно-Атлантического хребта) // Геология рудных месторождений. – 2014. – Т. 56, № 5. – С. 399–422.
 13. Гурвич Е. Г. Металлоносные осадки Мирового океана. – М.: Научный Мир, 1998.
 14. Гричук Д. В. Термодинамические модели субмаринных гидротермальных систем. – М.: Научный мир, 2000. – 303 с.
 15. Густафсон А. Б., Уильямс Н. Стратиформные месторождения меди, свинца и цинка в осадочных породах // Генезис рудных месторождений. – М.: Мир, 1984. – С. 156–224.
 16. Кузнецов В. Ю., Черкашов Г. А., Бельтнев В. Е. и др. ²³⁰Th/U-датирование сульфидных руд океана: методические возможности, результаты измерений и перспективы использования // Доклады Академии Наук. – 2007. – Т. 416, № 5. – С. 666–669.
 17. Лурье А. М. Генезис медистых песчаников и сланцев. – М.: Наука, 1988. – 182 с.
 18. Лурье А. М., Габлина И. Ф. Принципиальная схема образования экзогенных месторождений меди // Доклады АН СССР. – 1978. – Т. 241, № 6. – С. 1402–1405.
 19. Младенцев Г. Д. Закономерности распределения свинца и цинка на Джезказганском месторождении // Геология рудных месторождений. – 1976. – № 1. – С. 57–63.
 20. Мозгова Н. Н., Бородаев Ю. С., Габлина И. Ф. и др. Зональные трубки черных курильщиков из гидротермального поля Рейнбоу (САХ, 36° 14' с.ш.) // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. – 2004. – № 3. – С. 35–48.
 21. Перельман А. И. Геохимия эпигенетических процессов. – М.: Недра, 1968.
 22. Перельман А. И. Некоторые вопросы геохимии катагенеза в осадочных месторождениях типа медистых песчаников. – М.: Изд-во АН СССР, 1959. – С. 1–21.
 23. Ржевский В. Ф., Габлина И. Ф., Васильевская Л. В., Лурье А. М. Генетические особенности Гравийского месторождения меди // Литология и полезные ископаемые. – 1988. – № 2. – С. 86–97.
 24. Шилов В. В., Бельтнев В. Е., Иванов В. И. и др. Новые гидротермальные рудные поля на Срединно-Атлантическом хребте: «Зенит-Виктория» (20°08'с.ш.) и «19°52' с.ш.» // Доклады Академии наук. – 2012. – Т. 442, № 3. – С. 383–389.
 25. Щербаков А. В. Геохимия термальных вод. – М.: Недра, 1968. – 234 с.
 26. Энсайн К. О. (мл.), Уайт У. С., Райт Дж. К. и др. Медные месторождения Уайт-Пайн в сланцах Нонсач, штат Мичиган // Рудные месторождения США. Т. 1. – М.: Мир, 1972. – С. 602–627.
 27. Kirkham R. V. The distribution, settings and genesis of sediment-hosted stratiform copper deposits // Sediment-hosted, Stratiform copper deposits // Geol Assoc Can Spec Pap. – 1989. – № 36. – P. 3–38.
 28. Lalou C., Thomson G., Arnold M. et al. Geochronology of TAG and Snake Pit hydrothermal fields, Mid-Atlantic Ridge: Witness to a long and complex hydrothermal history // Earth and Planetary Science Letters. – 1990. – V. 97. – P. 113–128.
 29. Rentzsch I. Revision of metal distribution control in the Kupferschifer of Germany / Mineral Deposits: From Their Origin to Their Environment Impacts. Published by Balkema, Rotterdam-Brookfield. – 1995. – P. 975–976.
 30. Rose A. W. Mobility of copper and other heavy metals in sedimentary environment / Sediment-hosted stratiform Copper Deposits. Geological Association of Canada. Special Paper 36. – 1989. – P. 97–110.
 31. White W. S. A paleohydrologic model for mineralisation of the White Pine Copper Deposit, Norten Michigan // Economic Geology. – 1971. – V. 66, № 1. – P. 1–13.

REFERENCES

1. Bich A. S. Metallonosnyye osadki rudnogo uzla Pobeda (Sredinno-Atlanticheskii khrebet, 17°08's.sh.) [Metalliferous sediments of the Pobeda ore cluster (Mid-Atlantic ridge, 17°08'N)], Mat-ly konferentsii "Novoye v poznanii

- protsesov rudoobrazovaniya”, IGEM RAN publ., Moscow, 2017. P. 62–65. (In Russ.).
2. Bogdanov Yu. A. Gidrotermalnyye rudoproyavleniya riftov Sredinno-Atlanticheskogo khrebta [Hydrothermal ore occurrences in the rifts of the Mid-Atlantic Ridge], Moscow, Nauchnyy mir publ., 1997, 167 p. (In Russ.).
 3. Bogdanov Yu. V., Golubchina M. N., Prilutskiy R. Ye. et al. O nekotorykh osobennostyakh izotopnogo sostava sulfidov zheleza v paleozoyskikh otlozheniyakh Dzhezkazgana [On some features of the isotopic composition of iron sulfides in the Paleozoic sediments of Dzhezkazgan], Geokhimiya, 1971, No. 11, P. 1376–1379. (In Russ.).
 4. Bogdanov Yu. A., Lisitsyn A. P., Sagalevich A. M., Guryevich Ye. G. Gidrotermalnyy rudogenez okeanskogo dna [Hydrothermal ore genesis of the ocean floor], Moscow, Nauka publ., 2006, 527 p. (In Russ.).
 5. Gablina I. F. Osobennosti formirovaniya krupnykh mestorozhdeniy medistykh peschanikov i slantsev [Features of the formation of large deposits of cuprous sandstones and shales], Geologiya rudnykh mestorozhdeniy, 1997, V. 38, No. 4. P. 372–386. (In Russ.).
 6. Gablina I. F. Sulfidy medi kak indikator srede rudoobrazovaniya [Copper sulfides as indicators of the ore-forming environment], DAN, 1997, V. 356, No. 5, P. 657–661. (In Russ.).
 7. Gablina I. F. Usloviya medenakopleniya v krasnotsvetnykh kontinentalnykh formatsiyakh [Copper accumulation conditions in red-colored continental formations], Moscow, Nauka publ., 1983, 110 p. (In Russ.).
 8. Gablina I. F., Dmitrenko O. B., Oskina N. S. et al. Vliyaniye gidrotermalnoy aktivnosti na karbonatnyye mikrofosfilii v donnykh osadkakh tropicheskoy Atlantiki [Effect of hydrothermal activity on carbonate microfossils in bottom sediments of the tropical Atlantic], Okeanologiya, 2015, V. 55, No. 1, P. 113–125. (In Russ.).
 9. Gablina I. F., Dobretsova I. G., Layba A. A. et al. Osobennosti sulfidnykh rud gidrotermalnogo uzla “Pobeda” (17°07’–17°08’ s.sh. Sredinno-Atlanticheskogo khrebta) [Peculiarities of sulfide ores of the Pobeda hydrothermal cluster (17°07’ – 17°08’ N. Mid-Atlantic ridge)], Litologiya i poleznyye iskopayemye, 2018, No. 6, P. 475–500. (In Russ.).
 10. Gablina I. F., Dobretsova I. G., Narkevskiy Ye. V. et al. Vliyaniye gidrotermalno-metasomaticheskikh protsessov na formirovaniye sovremennykh sulfidnykh rud v karbonatnykh donnykh osadkakh Sredinno-Atlanticheskogo khrebta (19–20° s.sh.) [Influence of hydrothermal-metasomatic processes on the formation of modern sulfide ores in carbonate bottom sediments of the Mid-Atlantic Ridge (19–20° N)], Litologiya i poleznyye iskopayemye, 2017, No. 5. P. 387–408. (In Russ.).
 11. Gablina I. F., Mikhaylova A. I. Zakonomernosti lokalizatsii mednogo orudneniya na Udokanskom mestorozhdenii [Laws of localization of copper mineralization at the Udokan deposit], Litologiya i poleznykh iskopayemykh, 1994, No. 3. P. 53–67. (In Russ.).
 12. Gablina I. F., Popova Ye. A., Sadchikova T. A. et al. Gidrotermalno-metasomaticheskoye izmeneniya karbonatnykh donnykh osadkov polya Ashadze-1 (13° s.sh. Sredinno-Atlanticheskogo khrebta) [Hydrothermal-metasomatic changes in carbonate bottom sediments of the Ashadze-1 field (13° N of the Mid-Atlantic Ridge)], Geologiya rudnykh mestorozhdeniy, 2014, V. 56, No. 5, P. 399–422. (In Russ.).
 13. Guryevich Ye. G. Metallonosnyye osadki Mirovogo okeana [Metalliferous sediments of the World Ocean], Moscow, Nauchnyy mir publ., 1998. (In Russ.).
 14. Grichuk D. V. Termodinamicheskiye modeli submarinnykh gidrotermalnykh sistem [Thermodynamic models of submarine hydrothermal systems], Moscow, Nauchnyy mir publ., 2000, 303 p. (In Russ.).
 15. Gustafson A. B., Uilyams N. Stratiformnyye mestorozhdeniya medi, svintsa i tsinka v osadochnykh porodakh [Stratiform deposits of copper, lead and zinc in sedimentary rocks], Genezis rudnykh mestorozhdeniy. Moscow, Mir publ., 1984, P. 156–224. (In Russ.).
 16. Kuznetsov V. Yu., Cherkashov G. A., Beltenev V. Ye. et al. ²³⁰Th/U-datirovaniye sulfidnykh rud okeana: metodicheskiye vozmozhnosti, rezultaty izmereniy i perspektivy ispolzovaniya [²³⁰Th/U-dating of ocean sulfide ores: methodological possibilities, measurement results and prospects for use], Doklady Akademii Nauk, 2007, V. 416, No. 5, P. 666–669. (In Russ.).
 17. Lurye A. M. Genezis medistykh peschanikov i slantsev [Genesis of cuprous sandstones and shales], Moscow, Nauka publ., 1988, 182 p. (In Russ.).
 18. Lurye A. M., Gablina I. F. Printsipialnaya skhema obrazovaniya ekzogennykh mestorozhdeniy medi [Schematic diagram of the formation of exogenous copper deposits], Doklady AN SSSR, 1978, V. 241, No. 6, P. 1402–1405. (In Russ.).
 19. Mladentsev G. D. Zakonomernosti raspredeleniya svintsa i tsinka na Dzhezkazganskom mestorozhdenii [Regularities of the distribution of lead and zinc in the Dzhezkazgan deposit], Geologiya rudnykh mestorozhdeniy, 1976, No. 1, P. 57–63. (In Russ.).
 20. Mozgova N. N., Borodayev Yu. S., Gablina I. F. et al. Zonalnyye trubki chernykh kurilshchikov iz gidrotermalnogo polya Reynbou (SAKH, 36° 14’ s.sh) [Zonal pipes of black smokers from the Rainbow hydrothermal field (MAR, 36° 14’ N)], Vestnik MGU, Ser. 4. Geologiya, 2004, No. 3, P. 35–48. (In Russ.).
 21. Perelman A. I. Geokhimiya epigeneticheskikh protsessov [Geochemistry of epigenetic processes]. Moscow, Nedra publ., 1968. (In Russ.).
 22. Perelman A. I. Nekotoryye voprosy geokhimii katagenez v osadochnykh mestorozhdeniyakh tipa medistykh peschanikov [Some questions of the geochemistry of catagenesis in sedimentary deposits such as cuprous sandstones], Moscow, AN SSSR publ., 1959, P. 1–21. (In Russ.).
 23. Rzhavskiy V. F., Gablina I. F., Vasilovskaya L. V. Lurye A. M. Geneticheskiye osobennosti Graviyskogo mestorozhdeniya medi [Genetic features of the Gravian copper deposit], Litologiya i poleznyye iskopayemye, 1988, No. 2, P. 86–97. (In Russ.).
 24. Shilov V. V., Beltenev V. Ye., Ivanov V. I. et al. Novyye gidrotermalnyye rudnyye polya na Sredinno-Atlanticheskogo khrebte: «Zenit-Viktoria» (20°08’s.sh.) i 19°52’ s.sh.

- [New hydrothermal ore fields on the Mid-Atlantic Ridge: "Zenit-Victoria" (20°08'N) and 19°52' s.sh.], Доклады Академии наук, 2012, V. 442, No. 3, S. 383–389. (In Russ.).
25. *Shcherbakov A. V.* Geokhimiya termalnykh vod [Geochemistry of thermal waters], Moscow, Nedra publ., 1968, 234 p. (In Russ.).
 26. *Ensayn K. O. (ml.), Uayt U. S., Rayt Dzh. K.* et al. Mednyye mestorozhdeniya Uayt-Payn v slantsakh Nonsach, shtat Michigan [White Pine Copper Deposits in Nonsuch Shale, Michigan], Rudnyye mestorozhdeniya SSHA, V. 1. Moscow, Mir publ., 1972, P. 602–627. (In Russ.).
 27. *Kirkham R. V.* The distribution, settings and genesis of sediment-hosted stratiform copper deposits, Sediment-hosted, Stratiform copper deposits, Geol Assoc Can Spec Pap, 1989, No. 36, P. 3–38.
 28. *Lalou C., Thomson G., Arnold M.* et al. Geochronology of TAG and Snake Pit hydrothermal fields, Mid-Atlantic Ridge: Witness to a long and complex hydrothermal history, Earth and Planetary Science Letters, 1990. V. 97. P. 113–128.
 29. *Rentzsch I.* Revision of metal distribution control in the Kupferschifer of Germany, Mineral Deposits: From Their Origin to Their Environment Impacts, Published by Balkema, Rotterdam-Brookfield, 1995, P. 975–976.
 30. *Rose A. W.* Mobility of copper and other heavy metals in sedimentary environment, Sediment-hosted stratiform Copper Deposits, Geological Association of Canada, Special Paper 36, 1989, P. 97–110.
 31. *White W.S.* A paleohydrologic model for mineralisation of the White Pine Copper Deposit, Norten Michigan, Economic Geology, 1971, V. 66, No. 1, P. 1–13.

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.

Стратег и новатор в организации системных исследований руд для освоения месторождений алмазов, благородных и цветных металлов

СИДОРОВА ЕВГЕНИЯ ВИКТОРОВНА, кандидат биологических наук, научный сотрудник, sidorova@tsnigri.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»), г. Москва

A strategist and innovator in arranging systematic ore studies for diamond, precious and base metal deposit development

E. V. SIDOROVA

Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow

В 2021 году исполняется 110 лет со дня рождения Евгения Андреевича Савари – крупного организатора и руководителя технологического изучения минерального сырья в СССР, автора более ста научных работ и ряда изобретений в области теории и практики обогащения руд алмазов, золота, серебра, меди, свинца, цинка, никеля, кобальта (фото 1). С его именем связаны замечательные страницы истории освоения свыше двухсот месторождений цветных, благородных металлов и алмазов, осуществлённого на основе прогрессивных технологий переработки руд. В числе объектов, изученных под руководством и при личном участии Е. А. Савари в 1940–1970-х годах, – золото-серебряные месторождения Многовершинное на Дальнем Востоке и Большой Канимансур в Таджикистане, серебряное Дукат и золоторудные месторождения Майское в Магаданской области, Советское в Енисейской тайге, Нежданинское в Якутии и Бакырчик в Казахстане, Попигайское и Скальное месторождения алмазов на севере Сибири, месторождение медно-порфировых руд Алмалык в Узбекистане, Риддер-Сокольное полиметаллическое месторождение в Казахстане, ртутный рудник Барит в Кемеровской области, Туганское месторождение циркон-ильменитовых песков в Томской области и многие другие. В 1980 году он стоял у истоков создания технологии извлечения никеля, меди, кобальта и марганца из железомарганцевых конкреций, поднятых со дна океана. Наиболее масштабные исследования под руко-

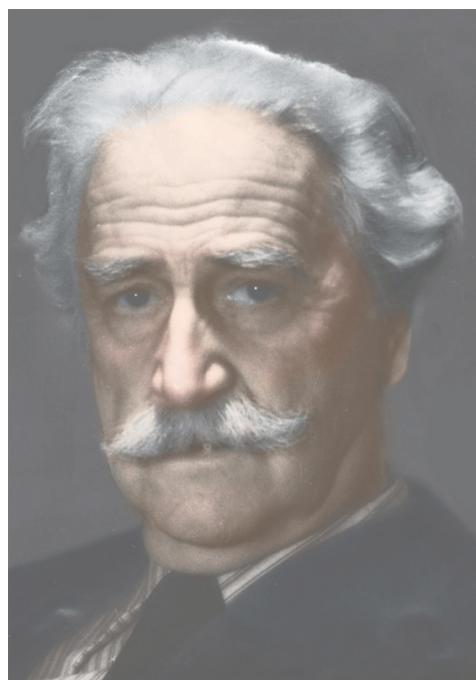


Фото 1. Горный генеральный директор III ранга, Почётный разведчик недр, основатель технологического изучения руд цветных и благородных металлов в ЦНИГРИ Евгений Андреевич Савари

водством Евгения Андреевича Савари проведены в период его работы в Центральном научно-исследовательском геологоразведочном институте цветных и благородных металлов (ЦНИГРИ),

директором которого он был в 1951–1964 и 1971–1972 гг., продолжая руководить сектором технологического изучения руд вплоть до 1980 года.

Евгений Андреевич Савари родился 26 января 1911 года в Москве. Его отец, военный юрист, полковник Андрей Львович Савари (1869–1949) до 1916 года преподавал в Александровском военном училище, в советское время продолжил педагогическую деятельность в Военной академии имени М. В. Фрунзе. По отцовской линии семья Евгения Андреевича принадлежит к известному дворянскому роду Франции, одним из представителей которого был Анн-Жан-Мари-Рене Савари (1774–1883), политический и военный деятель, министр полиции в период правления императора Франции Наполеона Бонапарта. Мама Евгения Андреевича Евгения Николаевна Гибнер (1885–1951) приходилась внучкой известному исследователю Сибири Ивану Дементьевичу Черскому (1845–1892) (фото 2). Участник польского восстания 1863 года И. Д. Чер-



Фото 2. Андрей Львович и Евгения Николаевна Савари. Бородино. 10 июля 1911 г.

ский был сослан в Сибирь. Он обрёл признание как талантливый учёный-натуралист, стал одним из первых членов Геолкома, созданного в России в 1882 году; за проведённые им геологические исследования в Иркутской губернии был удостоен Малой золотой медали Императорского Русского географического общества, за геологические исследования в Восточной Сибири – золотой медали Ф. М. Литке. Почти все правнуки И. Д. Черского связали свою судьбу с геологией: Евгений Андреевич посвятил себя технологическому изучению руд, его младший брат Игорь Андреевич трудился в экспедициях Геологического управления центральных районов Главгеологии СССР, геологом стала и одна из сестёр – Ирина Андреевна, а самая младшая сестра Елена Андреевна работала в аппарате руководства военно-морским флотом СССР.

В 1930 году после окончания школы-семилетки и двухгодичных химических курсов Евгений Савари начал работать лаборантом-аналитиком Скоропусковского химического завода в г. Загорске. Но уже осенью того же года он поступает в Московский институт цветных металлов и золота (МИЦМиЗ) им. М. И. Калинина. Кафедрой и лабораторией металлургии золота и платины в МИЦМиЗ заведовал Игорь Николаевич Плаксин, будущий член-корреспондент АН СССР, основоположник современной гидрометаллургии благородных металлов и обогащения полезных ископаемых. Именно это научное направление избрал для себя и студент Евгений Савари. В 1935 году он окончил вуз по специальности «Металлургия (обогащение) руд благородных металлов».

Первые месяцы после окончания вуза Евгений Андреевич Савари работал в Государственном институте по проектированию предприятий золотоплатиновой промышленности, в изысканиях которого он принимал участие ещё в студенческие годы. Вскоре ему представилась возможность перейти в научно-исследовательскую лабораторию Главзолото в качестве научного сотрудника. Но спустя год Евгений Андреевич выбрал производственную сферу и в 1936–1939 гг. трудился в системе комбината «Кочкарьзолото» в Челябинской области, последовательно занимая должности начальника лаборатории, техрука, директора, инженера-исследователя завода имени Артема. Это было время приобретения ценного практического опыта. Теперь ученик профессора И. Н. Плаксина, молодой инженер Е. А. Савари мог вернуться к научной работе. Он сдал экзамены в аспирантуру родного МИЦМиЗ имени М. И. Калинина, в октябре



Фото 3. Е. А. Савари. 1940-е годы

1939 года был в неё зачислен и с нового года приступил к учёбе. Но закончить аспирантуру Евгений Андреевич и его сокурсники не успели – началась война.

В августе 1941 года отдел кадров Народного комиссариата по цветной металлургии отозвал Евгения Андреевича Савари из института и направил работать на ртутное производство в системе треста «Запсибзолото» в Кемеровской области (фото 3). В 1941–1943 гг. он заведовал аналитической лабораторией ртутного рудника Барит, затем возглавлял ртутные заводы этого рудника, был главным металлургом Христиновского приискового управления. Под руководством Е. А. Савари впервые в СССР была разработана гидрометаллургическая технология извлечения ртути в промышленном масштабе из бедных руд.

В 1943 году приказом руководства Главного управления золотоплатиновой промышленности Е. А. Савари был переведён на другой важный участок работ, в Красноярском крае. Наша страна, оплачивавшая золотом товары, которые поступали по ленд-лизу из США и Великобритании, должна была в короткие сроки восстановить свои золотые запасы, и для этого проводилась огромная работа. В военные и первые послевоенные годы Евгений Андреевич Савари осуществлял техническое ру-

ководство золотоизвлекательной фабрикой Советского рудника треста «Енисейзолото». В 1946 году он был удостоен первой правительственной награды – медали «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.».

Насущнейшая задача увеличения золотодобычи в послевоенный период решалась во взаимосвязи с совершенствованием технологий извлечения металла. В 1947 году Совет Министров СССР принял постановление о развитии в Научно-исследовательском геологоразведочном институте золота в Москве исследований в области разработки технологий обогащения золотосодержащих руд, песков и металлургии золота. Для развёртывания этих работ требовался опытный руководитель, и выбор министерства пал на Евгения Андреевича Савари. В июне 1948 года приказом по Министерству внутренних дел он был назначен начальником соответствующей лаборатории НИГРИЗолото.

Костяк первого коллектива металлургов под началом Е. А. Савари составили Д. Я. Одинцов, А. И. Лифшиц, Л. П. Бергельсон, П. М. Карцев, Л. С. Осадчая, Л. Д. Плаксина, Н. М. Шинкаренко, Н. Т. Бащенко – технологи, работавшие в 1940-е годы в горном секторе НИГРИЗолото. Им предстояло решить ряд сложных проблем: снизить потери золота в отвальных хвостах, наладить дополнительное извлечение металла из хвостов амальгамационных фабрик, разработать и внедрить новые процессы, аппараты и реагенты, которые обеспечили бы высокое извлечение золота, серебра и других ценных компонентов из комплексных руд [6]. Направление работы, существовавшее в институте перед Великой Отечественной войной лишь один год, не просто возродилось, оно обрело совершенно иные масштабы. В мае 1949 года руководитель технологического звена НИГРИЗолото назначен заместителем директора института. В сентябре ему присвоено персональное звание Горного генерального директора III ранга. В марте 1951 года Евгений Андреевич Савари становится директором НИГРИЗолото и осуществляет комплексное развитие института: наряду с технологическими исследованиями развиваются геологические, минералогические, геофизические, химико-аналитические, горно-буровые, экономические направления, расширяется фронт исследований технологов.

В воспоминаниях известного специалиста в области технологий обогащения золотосодержащих руд, ведущего научного сотрудника ЦНИГРИ, кандидата геолого-минералогических наук Василия Ивановича Зеленова о начале этой эпохи в жизни

коллектива сказано так: «В 1948 году в институт пришёл Евгений Андреевич Савари и началось бурное развитие технологической службы ... основным методом работы они считали экспериментальные исследования...» [1]. В обогатительное и металлургическое подразделения института пришли работать опытные металлурги, отозванные с производства (Г. В. Галкин, Г. Ф. Швецов, И. Н. Юдина, С. Н. Россовский, А. Д. Рыбчинский, Н. Н. Попова и др.), исследователи из других НИИ (Д. Н. Недоговоров, М. С. Гирдасов, И. Д. Фридман, Н. Г. Клименко и др.), молодые специалисты, окончившие вузы после войны (В. И. Зеленов, А. Г. Лопатин, А. И. Берлинский и др.). Вскоре их прогрессивные работы получили широкую известность в геологоразведочной отрасли. О том, насколько продуманно и энергично директор НИГРИЗолото–ЦНИГРИ Евгений Андреевич Савари развивал технологические исследования, свидетельствуют следующие вехи в истории института: в 1950 году в дополнение к тематике, связанной с обогащением золотосодержащих руд, песков и металлургии золота, начались работы по обогащению алмазосодержащего сырья; в 1954 году Е. А. Савари и его коллеги приступили к работам по технологической оценке редкометалльного сырья; в 1955 году первые исследования провела лаборатория по обогащению руд цветных металлов; в 1959 году учреждён филиал ЦНИГРИ с лабораторией обогащения руд в г. Чита; в 1963 году в г. Богородицке Тульской области открыто подразделение технологов с полупромышленной установкой, перебазированной спустя год в Тулу [6]. С 1964 года руководство ЦНИГРИ принял на себя член-корреспондент АН СССР И. С. Рожков, а Е. А. Савари сосредоточился на развитии одного из ведущих направлений работы института. Именно к этому времени относится шутивная ода, сочинённая коллегами отдела обогащения в честь руководителя:

*И мы, технологи, росли
Под руководством Савари,
Дела и силы умножая
И славу ЦНИГРИ возвышая.
Им создан в ЦНИГРИ был впервые
Технологический отдел,
И золотой металлургии
Задался правильный нацел.*

Многие работы, направленные на освоение золоторудных месторождений, проводились при непосредственном участии Евгения Андреевича. Так, в первой половине 1950-х годов Е. А. Савари совместно с И. Н. Юдиной, А. И. Лифшиц и Р. М. Про-

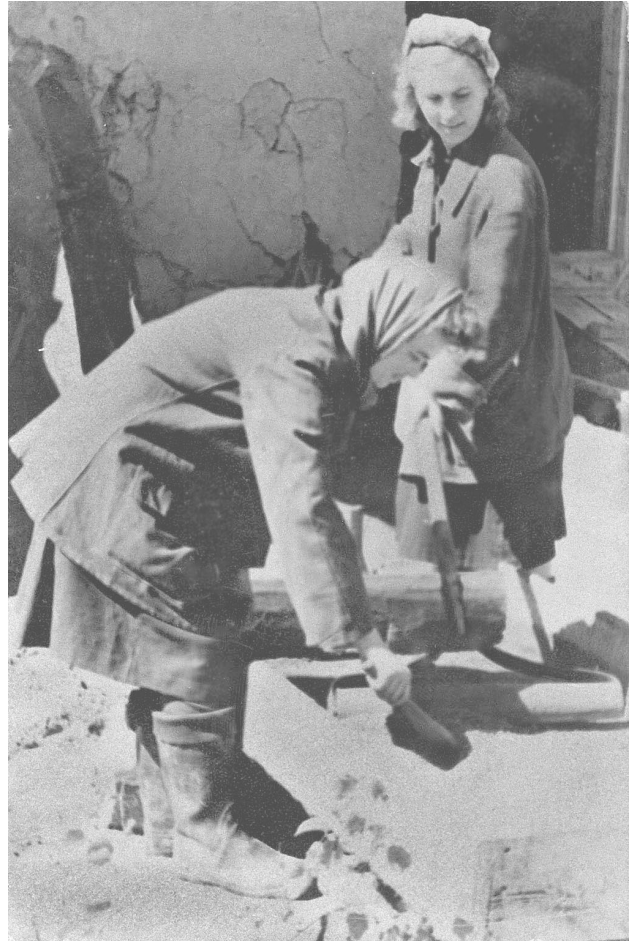


Фото 4. Технологи ЦНИГРИ на объектах Треста «Лензолото». 1950-е годы

писцовой проанализировали причины потери золота в хвостах золотоизвлекательных фабрик с законченным циклом обработки. Обобщение полученных материалов позволило технологам НИГРИЗолото (И. Н. Юдиной, А. И. Лифшиц, С. Н. Россовскому, Л. П. Бергельсон и др.) под руководством Е. А. Савари разработать мероприятия для повышения извлечения золота, которые были успешно внедрены на Кочкарской, Ключевской, Богучаевской, Коммунарской, Артемовской и других фабриках (фото 4). Важной работе института второй половины 1950-х годов посвящена статья Е. А. Савари и В. И. Зеленова «Это поистине чудесное вещество!», опубликованная в октябре 1959 года в Промышленно-экономической газете (фото 5). Её авторы рассказали о высокой эффективности флокулянта полиакриламида, предложенного сотрудниками ЦНИГРИ для интенсификации процесса сгущения на золотоизвлекательных фабриках.



Фото 5. Заметка Е. А.Савари и В. И. Зеленова о применении полиакриламида в качестве флокулянта для золотосодержащих руд, опубликованная в Промышленно-экономической газете. 1959 г.

Технологи тогда не только провели необходимые эксперименты, но ЦНИГРИ принял посильное участие в промышленном внедрении реагента и, соответственно, способствовал ускоренной организации производства полиакриламида.

Под общим руководством Е. А. Савари специалисты НИГРИЗолото–ЦНИГРИ разработали ряд прогрессивных технологий, в 1950–1960-е годы изменивших производственный процесс на золотоизвлекательных фабриках. Например, им удалось усовершенствовать технологии флотации золотосодержащих руд, что позволило снизить стоимость их переработки, улучшить экологическую обстановку и вовлечь в производство относительно бедные руды. Большую роль сыграли работы института, направленные на изучение возможности применения ионообменных процессов при переработке шламовых руд: специалисты экспериментально оценивали эффективность сорбции золота на угле и на ионообменных смолах. В 1955 году на комбинате Балеизолото под руководством Е. А. Са-

вари впервые в СССР проведены полупромышленные испытания на созданной специалистами института (М. С. Гирдасовым, И. Д. Фридман, Л. Е. Телегиной, Э. П. Здоровой) экспериментальной установке с предложенными ими селективными анионитами. В последующие годы ионообменную технологию успешно внедрили на золотоизвлекательных фабриках страны.

Множество задач решала созданная в 1950 году по инициативе Е. А. Савари алмазная лаборатория во главе с Г. Ф. Швецовым: её сотрудники изучали технические свойства алмазов, разрабатывали аппараты для обогащения алмазосодержащих руд и песков. Первоначально в центре внимания были активно разрабатывавшиеся уральские месторождения, затем география исследований расширилась. Спустя тридцать лет с момента создания в НИГРИЗолото–ЦНИГРИ технологического подразделения Евгений Андреевич Савари в докладе по случаю юбилея института подчеркнул: проблематика работ с самого начала определялась

тем, что значительная часть руд вновь открытых крупных месторождений в большинстве случаев характеризовалась как относительно бедные или труднообогатимые руды «или то и другое вместе». В числе наиболее сложных задач первых десятилетий работы технологов Евгений Андреевич назвал изучение месторождений алмазов, а также рудных и россыпных месторождений тантала, циркония, титана, ниобия и других редких металлов. Одним из объектов этого ряда стало Туганское цирконо-ильменитовое месторождение, открытое в 1957 году под Томском и исследованное самим Е. А. Савари совместно с сотрудниками группы «цветников» НИГРИЗолото–ЦНИГРИ А. А. Фроловой, Л. И. Банденок и др. Сотрудники института впервые разработали безотходную технологию обогащения песков, обеспечивающую высокие показатели флотационного извлечения основных ценных компонентов в селективные кондиционные концентраты (циркониевый, ильменитовый, монацитовый). Им удалось найти путь к получению высококачественных кварцевых песков для стекольной промышленности и каолина для производства огнеупоров [3].

История создания в институте коллектива специалистов по обогащению руд цветных металлов – яркое свидетельство импульса роста в период директорства Евгения Андреевича Савари. Как уже упоминалось, в 1955 году с переходом в ведение Министерства цветной металлургии НИГРИЗолото помимо работ по золотоплатиновым и алмазным месторождениям начал исследование медных, свинцово-цинковых и редкометалльных объектов. Была поставлена задача создать технологии обогащения руд цветных и редких металлов с комплексным использованием рудного сырья – извлечением всех ценных компонентов, в том числе рассеянных элементов и редких металлов. Для усиления этого направления институт пригласил опытных исследователей. «Группа "цветников" из НИИОлово... появилась в НИГРИЗолото в 1955 году благодаря очарованию директора института Е. А. Савари», – вспоминала Наталья Григорьевна Клименко, руководитель лаборатории обогащения руд цветных металлов института в 1960–1980-е годы. Она и её коллеги, специалисты по обогащению руд цветных металлов Центрального научно-исследовательского института олова, стояли перед выбором: остаться в ЦНИИОлово, который переводили из Подольска в Новосибирск, перейти в московский институт Гиредмет, где их лидер Д. И. Недоговоров возглавил бы лабораторию обогащения,

или поступить в НИГРИЗолото. «В Новосибирске мы ехать не могли, так как у всех были семьи, выбор же из двух предложенных институтов однозначно был решён в пользу НИГРИЗолото после беседы с директорами того и другого института. И большинство из нас не пожалели. Всегда "цветники" ощущали крепкую поддержку дирекцией развития наших работ, в которых Евгений Андреевич нередко принимал непосредственное участие» [3].

Технологи ЦНИГРИ приступили к пионерным исследованиям медно-цинково-колчеданных месторождений Урупское и Худесское на Северном Кавказе, уральских Гайское, Кальмакырское, Сибайское, Учалинское, ряда месторождений Казахстана и Узбекистана, и им удалось найти решения для комплексного использования рудного сырья. На первом этапе на обогатительных фабриках союзных республик были собраны данные о распределении редких, рассеянных и благородных металлов по продуктам обогащения. Для извлечения свободного золота из колчеданных руд Е. А. Савари, А. П. Шапиро, А. А. Фролова в 1950-х годах предложили короткоконусный гидроциклон, предварительно проведя его промышленные испытания на Алмалыкской фабрике.

Центральной задачей сотрудников Евгения Андреевича Савари была технологическая оценка руд новых месторождений. Каждая работа начиналась с глубокого изучения вещественного состава и физико-химических свойств руды (при необходимости и отдельных минералов) в целях выявления её основных технологических особенностей. «Мы раз и навсегда отказались от конъюнктурного подхода, господствовавшего в то время в нашей промышленности – максимально "выхватить" тот металл, который нужен промышленности в данный момент, а остальное отправить в отвал до лучших времён. В каждом из наших исследований основной целью являлось обеспечение комплексного извлечения максимума полезных составляющих. Для этого мы применяли не только обогатительные, но и металлургические методы...» – отмечала Н. Г. Клименко, автор ряда совместных работ с Е. А. Савари [3]. Это была творческая работа, требовавшая нестандартных подходов, особого оборудования. Так, в ЦНИГРИ А. И. Берлинским и его сотрудниками был разработан комплекс методов выделения частиц золота из руд: магнетогидростатический сепаратор позволил отделять золото от сульфидов, самородной меди, серебра; посредством рентгено-электронной спектроскопии технологи начали изучать поверхность золота в слоях

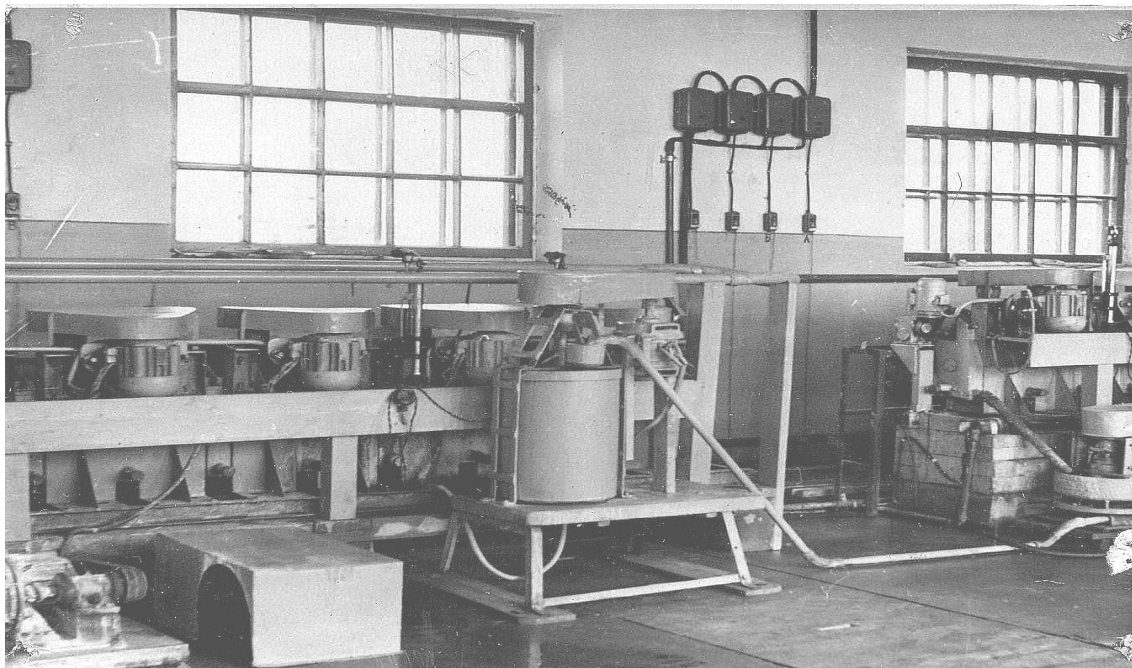


Фото 6. Установка цикла флотации в Тульском филиале ЦНИГРИ

тоньше 0,02 мкм. Изобретения и различные методические пособия становились естественным результатом глубоких исследований.

Описанная стратегия принесла великолепные результаты. Об этом написал сам Евгений Андреевич: «Многие руды новых месторождений специализированными институтами – Ленинградским Механобром, Гинцветметом, Иргиредметом, ВНИИ-1, Средазцветметом и др. – были признаны небогатимыми и нерентабельными к обработке. Однако исследованиями технологов ЦНИГРИ всем рудам этих месторождений дана путёвка в жизнь, все они утверждены в ГКЗ, успешно прошли промышленные или полупромышленные испытания на фабриках цветной металлургии ... находятся ... в стадии промышленного освоения, причём в основу проектов фабрик положена технология обогащения руд и переработка концентратов, разработанные в лабораториях института и его Тульского отделения...» [4].

Изучая руды новых месторождений, технологи ЦНИГРИ тесно сотрудничали с другими подразделениями института и производственных организаций. Задачу освоения месторождений решали комплексные коллективы, включавшие геологов, геофизиков, минералогов, горняков, технологов, экономистов. Сотрудники Е. А. Савари включа-

лись в работу на поисково-оценочной стадии, затем на этапе предварительной разведки участвовали в выборе мест опробования по типам руд. На стадии детальной разведки, когда особенно важно максимальное отражение в пробах состава руды, предполагаемой к дальнейшей переработке, технологи выезжали на объекты для окончательного определения мест отбора промышленных сортов руд. Они ввели определённый принцип технологического картирования месторождений сложных руд на стадии детальной разведки.

Организация Тульского филиала ЦНИГРИ стала одним из важнейших шагов, совершённых Евгением Андреевичем Савари для создания надёжной экспериментальной базы полупромышленных испытаний новых технологий. Эта задача была решена при поддержке директора ЦНИГРИ членкорреспондента АН СССР Ивана Сергеевича Рожкова. В 1965 году в городе Богородицке на базе Тульской тематической экспедиции ЦНИГРИ (ею руководил Н. М. Никитин) открылась полупромышленная установка, её монтаж длился полтора года [3]. «Новую установку посетил Министр геологии А. В. Сидоренко, результатом чего явился приказ по расширению начатых работ со строительством более крупной полупромышленной установки в Туле и организации при ней нескольких



Фото 7. Сотрудники вновь открытого азербайджанского отдела комплексных исследований цветных и благородных металлов ЦНИГРИ за работой. Баку. 1971 г. Фото из газеты.

лабораторий... – вспоминала Н. Г. Клименко, – ... показатели работ на непрерывной установке в Туле давали уверенность при защите запасов в ГКЗ» (фото 6). В 1971 году месторождения цветных металлов открыли в Азербайджане, и тогда в Баку был создан многопрофильный отдел ЦНИГРИ, в составе которого начала работать лаборатория технологии обогащения и переработ-

ки минерального сырья (фото 7). По свидетельству Н. Г. Клименко, принявшей активное участие в судьбе последней, «в организации Азербайджанского филиала и его становлении, так же, как и Тульского, трудно переоценить роль Е. А. Савари».

Технологи ЦНИГРИ участвовали и в изучении зарубежных месторождений, разрабатывая схемы переработки руд совместно с кубинскими, румынскими, югославскими, монгольскими, вьетнамскими коллегами; исследовали месторождения в Мали, Алжире, ряде других стран (фото 8).

В 1974–1980 гг. Евгений Андреевич Савари принял непосредственное участие в развёрнутых ЦНИГРИ масштабных исследованиях алмазов импактного происхождения (фото 9). Сотрудники института провели значительный объём анализов, уточнили структуру и фазовый состав алмазов, ряд других показателей. В этот период специалисты ЦНИГРИ уже использовали электронную микроскопию, инфракрасную спектроскопию, анализировали изотопный состав углерода алмазов, состав минералов-включений в алмазе на микрозонде, изучали спектры фотолюминисценции, ЭПР и спектры поглощения в УФ-области. Исследования вели совместно с рядом академических институтов. Было установлено, что технология измельчения кимберлитов и извлечения из них алмазов не может быть перенесена на импактиты,



Фото 8. Е. А. Савари на Международном конгрессе по обогащению полезных ископаемых. Лондон. 1960 г.

Организации, привлеченные к решению проблемы:

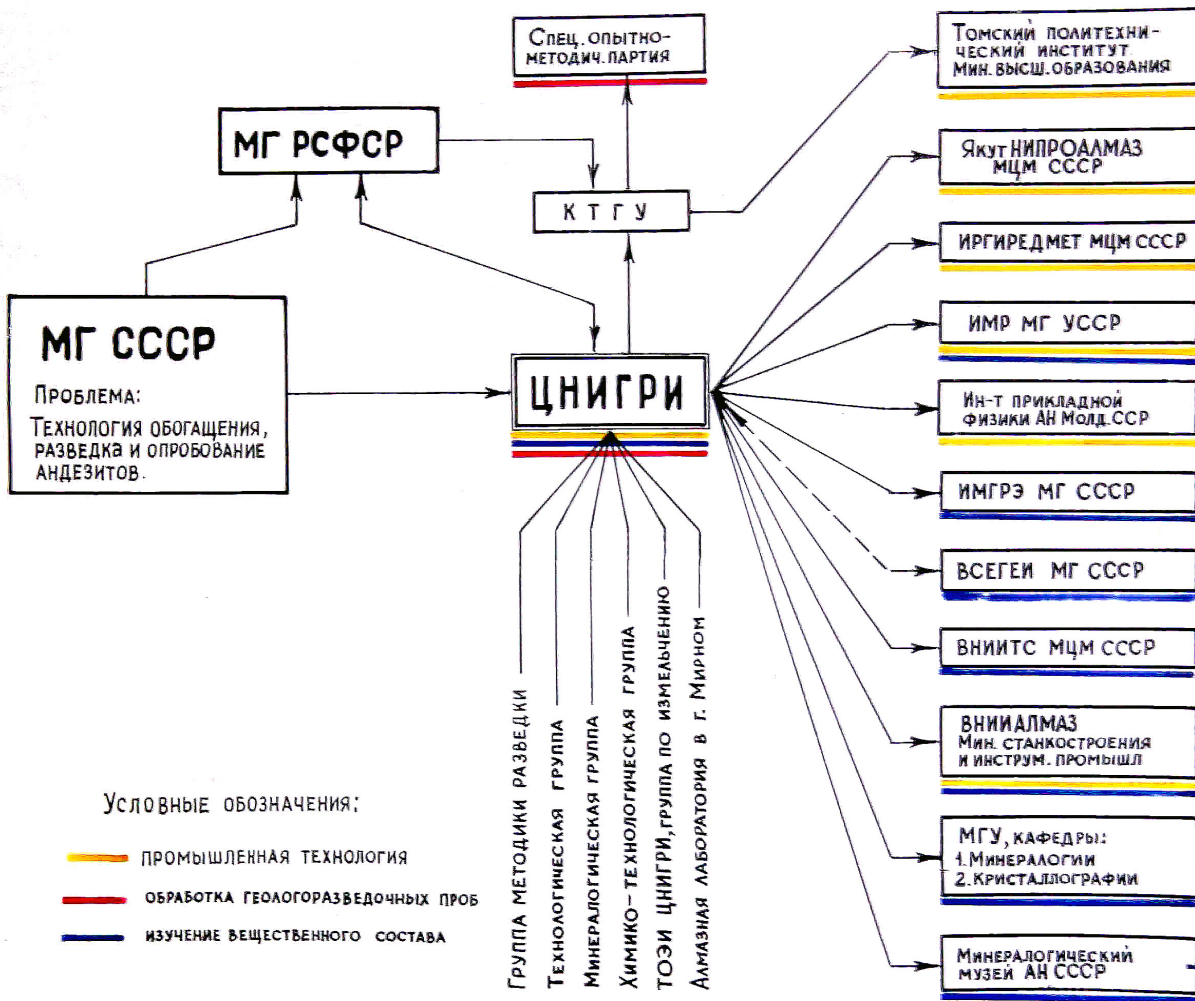


Схема № 1.

Фото 9. Организации, привлечённые к отечественным пионерным исследованиям алмазоносных импактитов (схема взаимодействия институтов). 1976 г.

при этом принципиальные пути технологии переработки последних удалось наметить уже в течение первых 9 месяцев работы [5]. В дальнейшем эксперименты, направленные на разработку промышленной технологии обогащения импактитов, ЦНИГРИ продолжал в рамках государственного задания (фото 10, 11).

Одной из интереснейших и масштабных задач технологов института и их руководителя в 1970-е

годы стало изучение руд золото-серебряных месторождений (Многовершинного, Дукацкого, Кубака, Агинского и др.), открытых на северо-востоке страны. Специалисты ЦНИГРИ предложили индивидуальные научно-обоснованные технологические схемы обработки для всех выявленных при исследовании типов золото-серебряных руд. Как писал Евгений Андреевич Савари, «эффективность схем была повышена путём включения



Фото 10. Е. А. Савари и его коллеги на научно-техническом совещании «Комплексное использование месторождений полезных ископаемых». Москва. ЦНИГРИ. 1970 г.



Фото 11. Сотрудники ЦНИГРИ на Всесоюзном совещании по усовершенствованию анализа минерального сырья методами электрохимии, фотоколориметрии и флуоресценции. Алма-Ата. 1970 г.

новых способов обработки, таких как пенная сепарация, флотоотсадка, флотация хвостов цианирования и т.д. ... Начатые в институте работы по технологической оценке золото-серебряных руд новых месторождений убедительно показывают, что эти руды являются весьма перспективным типом минерального сырья...» [4]. К аналогичному выводу специалисты ЦНИГРИ пришли и в отношении упорных золото-мышьяковых руд Олимпиадинского, Нежданнинского, Майского, Бакырчиского, Высоковольтного, Кокпатасского и других золоторудных месторождений подобного генезиса, решив проблему их переработки благодаря сотрудничеству с микробиологами и биотехнологами. В Тульском филиале института в 1974 году была создана первая в СССР полупромышленная биогидрометаллургическая установка [1]. Этими исследованиями технологов руководила Г. В. Седельникова, курировал работу Е. А. Савари.

За огромный вклад в развитие технологического изучения руд цветных и благородных металлов Евгений Андреевич Савари был удостоен высоких государственных наград: медали «За трудовую доблесть (1951), ордена «Знак Почёта» (1961), ордена Трудового Красного Знамени (1974).

Последним крупным проектом, в котором организатор технологических исследований ЦНИГРИ на определённом этапе принял участие в качестве руководителя, стало изучение океанических железомарганцевых конкреций. Речь идёт об общегосударственной комплексной программе исследований и использования Мирового океана в интересах науки и народного хозяйства, утверждённой Постановлением Госплана и ГКНТ СССР в начале 1980-х годов. Проблематика технологической переработки железомарганцевых конкреций была возложена на ЦНИГРИ, и Евгений Андреевич Савари в 1980 г. начал вести эту научную тему, а позднее рекомендовал на своё место В. И. Зеленова [2]. Научный коллектив технологов ЦНИГРИ успешно решил поставленную задачу. Создание технологии переработки железомарганцевых образований океана стало частью масштабного международного исследования.

«Евгений Андреевич руководил технологами ЦНИГРИ и его периферийных подразделений до 1980 года. К этому времени технологи Москвы, Тулы и Баку, всего около 300 человек, представляли сплочённый отряд единомышленников, со своим стилем работы, с хорошей лабораторной и полупромышленной базой...», – так написал об итогах работы Евгения Андреевича Савари его коллега



Фото 12. Депутат районного Совета депутатов трудящихся Москвы, член партийного бюро ЦНИГРИ Е. А. Савари, директор ЦНИГРИ П. Ф. Иванкин и зам. директора по общим вопросам Г. Ф. Гурин (справа) разговаривают с женщиной-сторожем на стройке нового здания института. Вторая половина 1970-х годов

и преемник В. И. Зеленов. Проблематика изысканий ЦНИГРИ в области создания новых технологий переработки и обогащения минерального сырья во второй половине XX в. была чрезвычайно широка. А между тем, Евгений Андреевич долгое время совмещал решение профессиональных задачи административную работу: на протяжении 14 лет он являлся директором института, 9 лет – заместителем директора по научной работе. Эта миссия требовала колоссальной отдачи, и у Евгения Андреевича Савари находились силы. Спустя годы коллеги вспоминали: «Он был талантливым организатором и руководителем, мудрым и гибким человеком, хорошо знавшим все ситуации жизни. В течение почти 40 лет работы в ЦНИГРИ он как руководитель (начальник лаборатории, заместитель директора, директор) всегда был на высоте положения. При решении всех вопросов он в первую очередь учитывал интересы людей, естественный ход жизни, что в те суровые годы было нелегко и даже небезопасно...» [1] (фото 12, 13, 14, 15).

Рассказывая о роли личности Евгения Андреевича Савари в развитии ЦНИГРИ как крупного



Фото 13. На торжественном заседании в ЦНИГРИ. Вторая половина 1970-х годов



Фото 14. Е. А. Савари с сотрудниками отдела обогащения минерального сырья ЦНИГРИ. 1986 г.

Слева направо: 1-й ряд: Е. А. Савари, А. И. Берлинский, Г. В. Седельникова, А. И. Никулин, Н. А. Буганина; 2-й ряд: В. И. Пономаренко, А. А. Куранина, Н. Н. Павлова, Г. И. Козлова, Н. Н. Дёмина, С. Г. Жданова, Л. С. Чурапова, Е. Е. Савари, И. О. Ольховик; 3-й ряд: Т. С. Шевелёва, А. Э. Гауке, Н. И. Барашнев, И. А. Вафин, Л. Н. Чудайкина, Н. М. Зудина, Е. Б. Реброва, Т. Ф. Маркова, С. Б. Макаров, А. В. Алексагин

научно-исследовательского центра, нельзя не упомянуть о его участии в издательской и редакционной работе института. С 1969 по 1976 г. он был ответственным редактором трёх тематических выпусков Трудов ЦНИГРИ, посвящённых актуальным вопросам переработки и обогащения руд. В 1982–1984 гг. в преддверии полувекового юбилея института Евгений Андреевич впервые обобщил обширные материалы по истории этого уникального учреждения в книге «ЦНИГРИ и развитие минерально-сырьевой базы СССР», посвятив самостоятельные главы всем направлениям развития научной школы ЦНИГРИ. Как ответственный редактор этого издания он счёл важным в первой части представить биографии ведущих исследователей института, с именами которых связаны самые крупные достижения НИГРИЗолото–ЦНИГРИ.

Работа занимала огромное место в жизни Евгения Андреевича, у него почти не было выходных. И настоящей отдушиной были редкие дни отдыха в кругу семьи. Супруга Евгения Андреевича Елена Митрофановна Алпатова хорошо понимала значение его работы – в 1930-е годы она также училась в аспирантуре МИЦМиЗ имени М. И. Калинина. Их долгий и прочный союз был заключён в 1936 году, в семье родились пятеро детей. Старшие дочери Елена, Валентина, Евгения окончили тот же институт, что и родители, сын Игорь – Московский горный институт, младшая

дочь Татьяна выбрала профессию школьного педагога, стала преподавателем биологии и химии – в этом также сказалось влияние отца. Они были очень дружны (фото 16). Ездили вместе на экскурсии. Евгений Андреевич серьёзно интересовался архитектурой и историей церкви, был очень эрудирован в этой области (фото 17). В Рождественский сочельник 6 января, в день именин мамы Евгения Андреевича, в их доме у новогодней ёлки собирались вместе больше 15 человек: приезжали сестры и брат Евгения Андреевича, брат его супруги – все со своими семьями. Ещё один общий праздник – день рождения супруги Евгения Андреевича – отмечали 3 августа на даче в Булатовой поляне. Он был одним из тех, кто нашёл это живописное место для организации садового товарищества института, и очень любил бывать здесь. Ходил на охоту со своим спаниелем, выращивал цветы, разводил пчёл.

Как многие люди его поколения, Евгений Андреевич Савари всю жизнь, до последней минуты, служил любимому делу. Он создавал новые технологии переработки руд золота, алмазов и других полезных ископаемых, брал на себя ответственность за решение важнейших проблем отрасли. Сердце его перестало биться на трибуне научно-технической конференции, когда он докладывал о работе технологов ЦНИГРИ на Всесоюзной научно-технической конференции в Тульском филиале ЦНИГРИ летом 1987 года.



Фото 15. Е. А. Савари с коллегами на Всесоюзной научно-технической конференции в г. Тула. 1987 г.



Фото 16. Семья Савари: Евгений Андреевич, справа в 1-м ряду дочь Татьяна, супруга Елена Митрофановна, тёща Софья Васильевна Алпатова, сын Игорь; стоят дочери Евгения, Елена и Валентина. Февраль 1962 г.



Фото 17. Е. А. Савари с коллегами во время экскурсии по Золотому Кольцу России. Суздаль. Конец 1970-х годов

Проходит время, и сегодня уровень технологических исследований минерального сырья неизмеримо выше, чем в те годы, когда работал Евгений Андреевич. Но совершенно очевидно, что Евгений Андреевич Савари и его коллеги из НИГРИЗолото–ЦНИГРИ заложили мощный фундамент для развития современных, прогрессивных работ в области технологии обогащения и переработки минерального сырья в нашей стране и за рубежом.

В 1993 году в преддверии 60-летия ЦНИГРИ вышел небольшой поэтический сборник – антология творчества сотрудников института. В числе

опубликованных в нём лирических произведений было несколько стихотворений Евгения Андреевича Савари. Он не любил говорить о себе, был скромным, и немногие знали о его творчестве. Теперь, в дни 110-летнего юбилея Евгения Андреевича, с его поэзией могут познакомиться читатели нашего журнала.

Редакция выражает сердечную признательность Т. Е. Савари, Заслуженному геологу РФ Г. В. Седельниковой и Почётному разведчику недр А. И. Романчуку за помощь в подготовке статьи.

Евгений Андреевич Савари. Лирика.

*Море шумно колыхалось,
Волны пенились, бурлили...
И челнок на них, качаясь,
Плыл в неведомые дали...
Им не руль, а ветер правит,
Да волна несёт в простор,
И шутя, его бросает
В белый пенистый узор!
И челнок в волнах метался,
Догоняя мокрый вал,
То высоко поднимался,
То в волнах, треща нырял...
Он, пускаясь в путь далёкий,
Цель преследовал одну,
Но стихией побежденный,
Изменил свою судьбу...
И по гребням океана
Уж в страну иную мчит,
С дикой силой урагана,
Спор ему не заводите!
Так и мы: в житейском море,
Правя ветхим челноком,
Мчимся к цели, с ветром споря,
Сидя в лодке за рулём...
Но судьба волной незримой
Изменяет жизни путь,
И с поспешностью игривой
Руль стремится повернуть.
И, кружа в мятежном рёве,
Волны плещут и ревут,
И с бурливым, грозным воем
Вдаль от цели нас несут...
И нередко так бывает,
Что, стремясь, спешит челнок,
Но... судьба располагает
И меняет ветерок!...*

В одиночестве

*Я люблю в одиночестве полным
По лесам и лугам побродить,
Пробираться осинником темным
Иль по пояс межой проходить...*

*Я люблю чтоб кругом все молчало
Только б листья вели разговор,
Или ветер волной молчаливо
Убегал бы по ниве в простор...*

*Я люблю, чтоб в осоке болотной
Чей-то шорох шуршал и скрипел
Или ворон вдруг с кочки заросшей
При моём приближеньи взлетел...*

*Я люблю, чтобы ласточки вились,
Проносились у самой земли,
Или с писком веселым кружились
Над поверхностью светлой воды*

*Я люблю в одиночестве полным
По лесам и полям побродить,
Пробираться осинником тёмным
Иль по пояс межой проходить!*

Если солнце зимнее сияет
 Если снега блещет серебро,
 Значит это ль, что оно бросает
 Кроме света яркого – тепло?
 Если звезды в темноте полночной
 Лишь в своём величии горят,
 Значит это ль, что с зарёй восточной
 Звезды вовсе в небе не сидят?...
 Если в сердце тихо и спокойно,
 Если сердце бьётся не спеша,
 Значит это-ль, что всегда свободно
 Будет сердце биться у тебя?...
 Дни придут весны твоей душистой...
 И от взора чьих-то острых глаз
 Новый мир зарёю золотистой,
 Мир иной откроешь в первый раз!
 Мир иной откроется с улыбкой
 В светлой ризе неги и любви,
 И какой счастливою тропинкой
 Будет жизнь казаться впереди!
 Но под блеском взоров ослеплённых,
 В искрах солнечных весенних дней,
 Много, много есть подъёмов скользких
 У крутых бездонных пропастей...
 Помни, друг, в восторженном стремленьи
 На глазах – повязка из любви,
 И от глаз сокрыты измененья
 На большом, извилистом пути...

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зеленов В. И. Разработка технологии извлечения золота из руд – трудное, но увлекательное дело // Руды и металлы. – 1995. – № 5. – С. 23–36.
2. Ивановская В. П. Расступись, океан – море синее // Руды и металлы. – 1995. – № 5. – С. 37–47.
3. Клименко Н. Г. Многоцветие цветных металлов // Руды и металлы. – 1995. – № 5. – С. 47–62.
4. Савари Е. А. Основные итоги работ ЦНИГРИ по технологии обработки руд // Доклады к 40-летию ЦНИГРИ. – М.: ЦНИГРИ, 1976. – 44 с.
5. Савари Е. А. предварительные результаты работ ЦНИГРИ по алмазоносным импактитам // Отчёт № 7068. – М.: ЦНИГРИ, 1975. – 16 с.
6. ЦНИГРИ и развитие минерально-сырьевой базы СССР / Под ред. В. А. Нарсеева, Е. А. Савари. – М.: ЦНИГРИ, 1984. – 199 с.

Осень

Осень, намокшая, сумрачно мечется,
 Холод и сырость кругом разнося,
 Солнце осеннее светом лишь светится,
 Нет уже больше былого тепла!
 Красные грозди рябин у околицы
 Ждут не дождутся морозного дня,
 А у берёз будто веточки молятся,
 К долу поникнув, от ветра шумят.
 Бурый ковёр под ногами колыхается,
 Тихо шуршат, засыхая, листья,
 Песнь похоронная в шепоте слышится,
 Песня печальной осенней поры...
 Грусть беспредельная, грусть угнетённая
 Сердце сжимает в холодных тисках,
 Сила осенняя, жить утомлённая,
 Косит без устали всё впопыхах...
 Осень, намокшая, сумрачно мечется,
 Холод и сырость кругом разнося,
 Солнце осеннее светом лишь светится,
 Нет уже больше былого тепла!

Редакция журнала «Отечественная геология» благодарит Евгению Евгеньевну и Татьяну Евгеньевну Савари за предоставленную нам возможность опубликовать стихи их отца и фотографии из семейного архива.

REFERENCES

1. Zelenov V. I. Razrabotka tekhnologii izvlecheniya zolota iz rud – trudnoye, no uvlekatel'noye delo [Development of technology for extracting gold from ores is a difficult but exciting business], Rudy i metally, 1995, No. 5, P. 23–36. (In Russ.)
2. Ivanovskaya V. P. Rasstupis', okean – more sineye [Partway, the ocean is a blue sea], Rudy i metally, 1995, No. 5, P. 37–47. (In Russ.)
3. Klimenko N. G. Mnogotsvetiye tsvetnykh metallov [Multi-color non-ferrous metals], Rudy i metally, 1995, No. 5, P. 47–62. (In Russ.)
4. Savari Ye. A. Osnovnyye itogi rabot TSNIGRI po tekhnologii obrabotki rud [Main results of TsNIGRI work on ore processing technology], Doklady k 40-letiyu TSNIGRI, Moscow, TSNIGRI publ., 1976. 44 p. (In Russ.)
5. Savari Ye. A. predvaritel'nyye rezul'taty rabot TSNIGRI po almazonosnym impaktitam [Preliminary results of TsNIGRI work on diamond-bearing impactites], Otchet No. 7068, Moscow, TSNIGRI publ., 1975, 16 p. (In Russ.)
6. TSNIGRI i razvitiye mineral'no-syr'yevoy bazy SSSR [TSNIGRI and the development of the mineral resource base of the USSR], Pod red. V. A. Narseyeva, Ye. A. Savari, Moscow, TSNIGRI publ., 1984. 199 p. (In Russ.)

Памяти Владимира Дмитриевича Крюкова



1939–2021

Федеральное агентство по недропользованию с глубоким прискорбием сообщает, что 13 мая 2021 года ушёл из жизни научный руководитель АО «ПМГРЭ» **Владимир Дмитриевич Крюков**.

В. Д. Крюков родился в 1939 г. в пригороде Ленинграда – Петергофе. В 1956 г. поступил на вечернее отделение Ленинградского государственного университета на географический факультет. Одновременно трудился в Тресте геодезических работ и инженерных изысканий. В марте 1959 г. перешёл в Научно-исследовательский институт геологии Арктики (НИИГА), где занимал должности коллектора, техника, участвовал в полевых работах на Таймыре и в районе Нижней Тунгуски.

В 1963 г. В. Д. Крюков переехал в г. Норильск, где по инициативе выдающегося полярного исследователя Н. Н. Урванцева была создана постоянно действующая научно-исследовательская экспедиция НИИГА. В 1969 г. во ВСЕГЕИ Владимир Дмитриевич успешно защитил кандидатскую диссертацию, а в 1971 г. был назначен начальником Норильской опытно-методической экспедиции. В эти годы проводилась большая работа по укреплению производственной базы экспедиции и одновременно расширялась география геологических работ с выходом на Таймыр и Северную Землю.

В 1976 г. В. Д. Крюков вернулся в Ленинград, где организовал Арктическую комплексную геолого-геофизическую экспедицию, в задачи которой входило продолжение поисковых работ на о. Большевик, а также изучение россыпной оловоносности и золотоносности шельфовой зоны Восточно-Сибирского, Чукотского и Берингова морей. Под его руководством были открыты крупные месторождения россыпного олова на шельфе Новосибирских островов, прогнозная оценка ресурсов которых превышает 100 тыс. т металла. В Якутии открыта и дана предварительная оценка крупнейшего редкометалльного месторождения Томтор.

В 1987 г. после объединения Арктической и Полярной экспедиций В. Д. Крюков был назначен директором Полярной морской геологоразведочной экспедиции, единственной в России специализированной организации, выполняющей комплексные геологические исследования в наиболее труднодоступных районах Земли. В. Д. Крюков как бессменный директор ПМГРЭ на протяжении более 40 лет определял основные планы и направления производственных и тематических исследований Полярной экспедиции в Арктике, Антарктике и Мировом океане.

Владимир Дмитриевич участвовал в составлении планов работ и их выполнении в Советской и Российской антарктических экспедициях. Он добивался осуществления ежегодных экспедиций в Антарктику даже в сложные 1990-е годы, когда резко сократилось выделение средств из федерального бюджета. За это время не было пропущено ни одной экспедиции. Лично принимал участие в двух антарктических экспедициях, в том числе на станции «Восток», где были организованы работы по изучению уникального подледникового одноимённого озера. Принимал участие в создании геологической базы «Прогресс», ставшей центром российских антарктических исследований.

Большой вклад Владимир Дмитриевич внёс в создание целевого геолого-геофизического судна «Академик Александр Карпинский». В результате произведённого переоборудования, в основном за счёт внебюджетных источников, судно способно выполнять региональные, геофизические, сейсмические работы на современном мировом уровне.

В 2000–2005 гг. В. Д. Крюков возглавлял и принимал личное участие в организации и проведении поисково-разведочных работ на Новой Земле.

В результате этих работ было открыто крупное Павловское месторождение серебряносодержащих свинцово-цинковых руд, запасы по которому были утверждены в 2004 г. в Государственной комиссии по запасам Российской Федерации в объёме 2400 тыс. т свинца и цинка. Месторождение отнесено к разряду крупных.

По геологическим материалам, полученным Полярной экспедицией, в 2001 г. совместно с ВНИИОкеангеологией в Комиссию по границам континентального шельфа было подготовлено обоснование заявки по установлению внешней границы континентального шельфа Российской Федерации, позволяющее претендовать на существенный, площадью 1,2 млн км², прирост континентального шельфа России за пределами 200 морских миль с углеводородным потенциалом не менее 10 млрд т у.т.

За большой вклад в развитие минерально-сырьевой базы, обоснование внешней границы континентального шельфа России в Северном Ледовитом океане, защите геополитических интересов России в Мировом океане и Антарктике В. Д. Крюков награждён орденами: «За заслуги перед Отечеством» IV степени, «За морские заслуги», «Знак Почёта»,

«Почёта», несколькими медалями Российской Федерации. Владимир Дмитриевич – лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, «Заслуженный геолог Российской Федерации», Почётный разведчик недр, Почётный полярник, Почётный ветеран-геологоразведчик. За свою активную благотворительную деятельность награждён орденом «Меценат» и знаком «Благодетель». В 2004 г. ему присвоено звание «Почётный гражданин г. Петергофа», он также награждён медалью «За заслуги перед Петродворцовым районом».

Владимира Дмитриевича Крюкова отличали безусловная преданность геологии, умение мыслить стратегически, по-государственному, ставя главным приоритетом интересы России.

Все, кто знал Владимира Дмитриевича, всегда будут помнить его как человека, преданного Родине, легендарного геолога, внесшего значительный вклад в экономическое могущество страны.

Коллектив Роснедр выражает глубокие соболезнования родным, коллегам и друзьям покойного.

Требования к авторам статей

1. Рукопись представляется с установленными сопровождающими документами: письмом (разрешением 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 редколлекцией, 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. Подрисуночные 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.