

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ

№ 6 / 2024

Основан в марте 1933 года

Журнал выходит шесть раз в год

УЧРЕДИТЕЛИ



Министерство природных ресурсов и экологии
Российской Федерации



Российское геологическое общество



Центральный научно-исследовательский
геологоразведочный институт
цветных и благородных металлов

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор:
А.И.Иванов

Е.А.Наумов (зам. главного редактора),
Н.В.Милетенко (зам. главного редактора),
Т.М.Папеско (зам. главного редактора),

Е.М.Аксенов, А.Н.Барышев, А.И.Варламов,
С.С.Вартанян, В.Д.Конкин, А.А.Кременецкий,
С.Г.Кряжев, М.И.Логвинов, Г.А.Машковцев,
И.Ф.Мигачёв, А.И.Черных, А.Ю.Розанов,
Г.В.Седельникова, И.Г.Спиридонов,
В.И.Старостин, Е.Г.Фаррахов, Г.К.Хачатрян

Содержание

ОРГАНИЗАЦИЯ, УПРАВЛЕНИЕ, ЭКОНОМИКА, НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

Иванов А. И., Алексеев Я. В., Наумов Е. А., Куликов Д. А., Корчагина Д. А., Мигачёв И. Ф., Барышев А. Н., Донец А. И., Звездов В. С., Конкин В. Д.

Минерально-сырьевая база алмазов, цветных и благородных металлов Российской Федерации в XXI веке ... 3

МИНЕРАГЕНИЯ

Звездов В. С., Куликов Д. А.

Вулкано-плутонические пояса и медно-порфировые системы Новой Гвинеи: обстановки формирования и металлогения 20

МЕСТОРОЖДЕНИЯ РУДНЫХ И НЕРУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Столяренко В. В., Минаков А. В., Алферова В. А., Рябошапка А. Г., Минаева С. В.

Золотое оруденение участка Чулковский Селигдарского рудного поля (Республика Саха (Якутия)) 51

Остапенко Н. С., Нерода О. Н.

Структурные условия формирования, источники металлов и морфологические типы минерализации Кировского золоторудного месторождения (Приамурье, Россия) 75

РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ

Игнатов П. А., Еременко Р. У., Толстов А. В., Васильев А. П., Овчинников И. М.

Эпигенетические изменения в кембрийских и пермских осадочных породах в Мало-Ботуобинском районе Якутии 93

ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ

Гаев А. Я., Исаева С. Д., Манукьян Д. А., Николаев А. П., Тагильцев С. Н.

Малоизвестный факт из жизни учёного Г. В. Богомолова 105

Памяти Семёна Матвеевича Бескина 107

Список статей, опубликованных в 2024 г. 108

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 26.12.2024

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

Телефон: (495) 315-43-65, доб. 272. E-mail: ogeo@tsnigri.ru

Сайт: <https://www.tsnigri.ru/ru/informatsionnye-resursy/izdaniya/zhurnal-otechestvennaya-geologiya.html>

Типография ФГБУ «ЦНИГРИ»

Минерально-сырьевая база алмазов, цветных и благородных металлов Российской Федерации в XXI веке

Аннотация. Рассмотрена динамика развития минерально-сырьевой базы алмазов, благородных (золота, металлов платиновой группы, серебра) и цветных (медь, свинец, цинк, никель, кобальт) металлов (АБЦМ) в первой четверти XXI в. Обоснована необходимость усиления геологоразведочных работ (ГРП) для выявления новых месторождений группы АБЦМ, в том числе крупнообъемных с низкими содержаниями полезных компонентов и значительными запасами.

Ключевые слова: алмазы, золото, металлы платиновой группы, серебро, медь, свинец, цинк, никель, кобальт, минерально-сырьевая база, запасы, добыча, средние содержания.

ИВАНОВ АНАТОЛИЙ ИННОКЕНТЬЕВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, и. о. генерального директора, tsnigri@tsnigri.ru

АЛЕКСЕЕВ ЯРОСЛАВ ВЛАДИМИРОВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, начальник отдела, alekseev@tsnigri.ru

НАУМОВ ЕВГЕНИЙ АНАТОЛЬЕВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, первый заместитель генерального директора, tsnigri@tsnigri.ru

КУЛИКОВ ДАНИЛА АЛЕКСЕЕВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, заместитель генерального директора, tsnigri@tsnigri.ru

КОРЧАГИНА ДАРЬЯ АЛЕКСАНДРОВНА, кандидат геолого-минералогических наук, заместитель начальника отдела, korchagina@tsnigri.ru

МИГАЧЁВ ИГОРЬ ФЁДОРОВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, советник, migatchev@tsnigri.ru

БАРЫШЕВ АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, baryshev@tsnigri.ru

ДОНЕЦ АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, donets@tsnigri.ru

ЗВЕЗДОВ ВАДИМ СТАНИСЛАВОВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, начальник отдела, zvezdov@tsnigri.ru

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

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

Mineral resource base of diamonds, base and precious metals of the Russian Federation in the 21st century

A. I. IVANOV, Ya. V. ALEKSEEV, E. A. NAUMOV, D. A. KULIKOV, D. A. KORCHAGINA, I. F. MIGACHEV, A. N. BARYSHEV, A. I. DONETS, V. S. ZVEZDOV, V. D. KONKIN

Federal State Budgetary Institution "Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals" (FSBI "TSNIGRI"), Moscow

Annotation. The article considers the dynamics of the mineral resource base of diamonds, precious (gold, platinum group metals, silver) and base (copper, lead, zinc, nickel, cobalt) metals (DPBM) of the Russian Federation in the first quarter of the 21st century. The need to intensify geological exploration to discover new deposits of the DPBM group, including large-volume ones with significant reserves but low grades of the useful components, is substantiated.

Key words: diamonds, gold, platinum group metals, silver, copper, lead, zinc, nickel, cobalt, mineral resource base, mineral reserves, mining, average grades.

Введение. В состоянии минерально-сырьевой базы (МСБ) алмазов, благородных (золото, металлы платиновой группы, серебро) и цветных (медь, свинец, цинк, никель, кобальт) металлов Российской Федерации в постсоветский период отчётливо выделяются два периода. В 1990-х годах МСБ почти всех полезных ископаемых в группе АБЦМ снижалась в связи с резким сокращением геологоразведочных работ и как следствие снижением числа новых месторождений, поставленных на государственный баланс, и подготовкой новых запасов на известных месторождениях. С начала 2000-х годов геологоразведочные работы в целом постепенно усиливались, что привело к изменению тенденций в развитии МСБ ряда полезных ископаемых.

Все полезные ископаемые группы АБЦМ включены в перечень стратегических видов минерального сырья, утверждённый распоряжением Правительства Российской Федерации от 30 августа 2022 г. № 2473-р. Поэтому анализ состояния минерально-сырьевой базы полезных ископаемых группы АБЦМ и тенденций её развития в XXI в. является важным в свете понимания состояния минерально-сырьевой безопасности РФ.

Часть полезных ископаемых АБЦМ (медь, никель, кобальт и металлы платиновой группы (МПП)), согласно «Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2050 года» (Стратегия 2050), утверждённой распоряжением Правительства Российской Федерации от 11.07.2024 г. № 1838-р, отнесены к пер-

вой группе, характеризующейся высокой обеспеченностью добычи балансовыми запасами, которые способны удовлетворить необходимые потребности национальной экономики до 2035 г. при любых сценариях её развития. Остальные полезные ископаемые группы АБЦМ (алмазы, золото, серебро, свинец, цинк) недостаточно обеспечены запасами месторождений на период до 2035 года.

В действующей редакции Государственной программы РФ «Воспроизводство и использование природных ресурсов» (ГП «ВИПР»), утверждённой постановлением Правительства Российской Федерации от 15.04.2014 г. № 322, с изменениями на 23 ноября 2024 г., в задачах государственного управления и обеспечения национальной безопасности страны установлено, что «в результате реализации ГП «ВИПР» ежегодно воспроизводство запасов полезных ископаемых по группам будет осуществляться на уровне 50 процентов для первой группы, 100 процентов для второй группы».

Указанные уровни воспроизводства также предусматривались Стратегией развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 г., которая утратила силу с принятием в 2024 г. Стратегии 2050. Тем не менее эти характеристики воспроизводства для первой и второй групп полезных ископаемых, относящихся к АБЦМ, могут и далее рассматриваться в качестве минимально допустимых критериев восполнения запасов при анализе динамики их изменения, что следует из определённой Стратегией 2050 группировки

полезных ископаемых по степени обеспеченности потребности национальной экономики и необходимого экспорта.

Цель настоящей статьи – актуализация данных МСБ АБЦМ [1–7] и изучение тенденций её развития за последнюю четверть века (2000–2023 гг.). При формальном наращивании количества месторождений для каждого вида АБЦМ это увеличение имеет ряд особенностей, которые рассмотрены ниже.

Для каждого вида АБЦМ, помимо общих балансовых запасов и добычи, приведены удельные показатели – количество балансовых запасов компонента по сумме категорий ($ABC_1 + C_2$), приходящихся в среднем на одно месторождение, и среднее содержание компонента в рудах, для россыпных месторождений в песках. В оценку не включены месторождения, на которых учтены только забалансовые запасы, а также техногенные образования. Для алмазов и золота информация об удельных показателях представлена за 2005–2023 гг., по остальным видам – за 2000–2023 гг.

Алмазы. В начале XXI в. МСБ алмазов за счёт постановки на баланс (протокол «ГКЗ» № 645 от 25.04.2001 г.) запасов трубок Нюрбинская и Ботубинская, пространственно и генетически связанных с ними одноимённых россыпей, а также трубки Комсомольская (протокол РКЗ от 12.04.2001 г. № 543) в сумме по пяти объектам составила почти 167 млн кар, в Республике Саха (Якутия) общие запасы алмазов (на 01.01.2002 г.) значительно возросли (рис. 1). В дальнейшем и до настоящего времени почти непрерывно из года в год балансовые запасы алмазов в РФ снижа-

лись, хотя за этот период госбалансом после государственной экспертизы были впервые учтены как коренные месторождения (им. В. Гриба в Архангельской области, Верхне-Мунское, Майское, Заря, Дальняя в Республике Саха (Якутия)), так и россыпные объекты (34 месторождения). В целом это связано с сохраняющимся объёмом добычи в размере около 36–43 млн кар (см. рис. 1), которая не обеспечивается приростом балансовых запасов. По мере добычи снижаются и удельные показатели месторождений. Так, для коренных месторождений балансовые запасы по сумме категорий ($ABC_1 + C_2$), приходящиеся в среднем на одно месторождение, непрерывно уменьшались в течение всего рассматриваемого периода времени (рис. 2). Также снижалось и среднее содержание алмазов в рудах, хотя дважды (в 2016 и 2022 гг.) средние удельные содержания скачкообразно увеличивались. В 2016 г. это произошло за счёт повышения средних содержаний алмазов Верхне-Мунского месторождения в результате его переоценки (протокол «ГКЗ» от 29.04.2016 г. № 4629), в котором при незначительных изменениях объёма руды запасы алмазов возросли с 24 726,5 до 40 750,2 тыс. кар. В 2022 г. на динамику повлиял прирост запасов на глубоких горизонтах трубки Мир в Республике Саха (Якутия) (протокол «ГКЗ» от 27.12.2022 г. № 7244). Запасы алмазов месторождения увеличились с 133 072,4 до 194 106,7 тыс. кар, как и их доля от коренных объектов РФ – с 14 до 20,3 %, среднее содержание алмазов в руде в целом по месторождению, напротив, уменьшилось с 3,59 до 3,48 кар на 1 т. Несмотря на это снижение, на объекте Мир

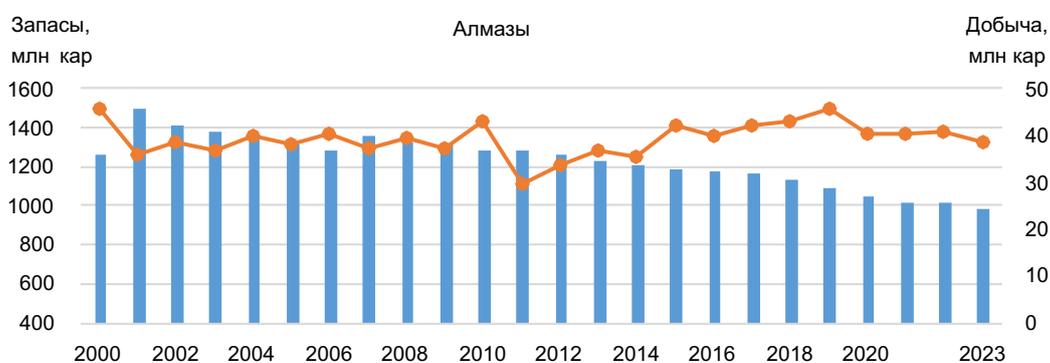


Рис. 1. Динамика запасов и добычи алмазов в 2000–2023 гг. в РФ



Рис. 2. Изменение среднего размера месторождений по запасам и средних содержаний алмазов в коренных месторождениях алмазов в 2005–2023 гг. в РФ:

1 – запасы ABC_1C_2 на одно месторождение; 2 – среднее содержание в запасах руды кат. ABC_1C_2

оно существенно выше в сравнении со средним по РФ на остальных коренных месторождениях – 0,99 кар алмазов на 1 т.

Аналогичный тренд к снижению среднего размера и средних содержаний алмазов, «нарушенный» в 2011 и 2017 гг., наблюдается для россыпных месторождений, что обусловлено результатами ГРР на Нюрбинской россыпи, которая характеризуется более высокими содержаниями алмазов в песках (рис. 3). В 2011 г. по итогам разведки «2-й очереди отработки» запасы этого месторождения (протокол «ГКЗ» от 27.12.2011 г. № 2650) увеличились относительно запасов годом ранее с 2664,8 до 25 797,3 тыс. кар, доля от россыпей

в РФ соответственно с 3,9 до 29,4 %. В 2017 г. за счёт разведочных работ на «3-й очереди отработки» (протокол «ГКЗ» от 22.11.2017 г. № 5213-оп) на государственный учёт были поставлены еще 6764,8 тыс. кар алмазов.

Приведённые данные свидетельствуют о том, что геологоразведочные работы на алмазы, за исключением единичных значимых объектов, в целом малоэффективны и не могут восполнить убыль балансовых запасов. Это означает, во-первых, необходимо нарастить оценочные и разведочные работы на объектах с оценёнными прогнозными ресурсами категорий P_1 и P_2 . Во-вторых, необходимо активизировать геологоразведочные работы



Рис. 3. Изменение среднего размера месторождений по запасам и средних содержаний в них алмазов в россыпных месторождениях алмазов в 2005–2023 гг. в РФ:

1 – запасы ABC_1C_2 на одно месторождение; 2 – среднее содержание в запасах песков кат. ABC_1C_2

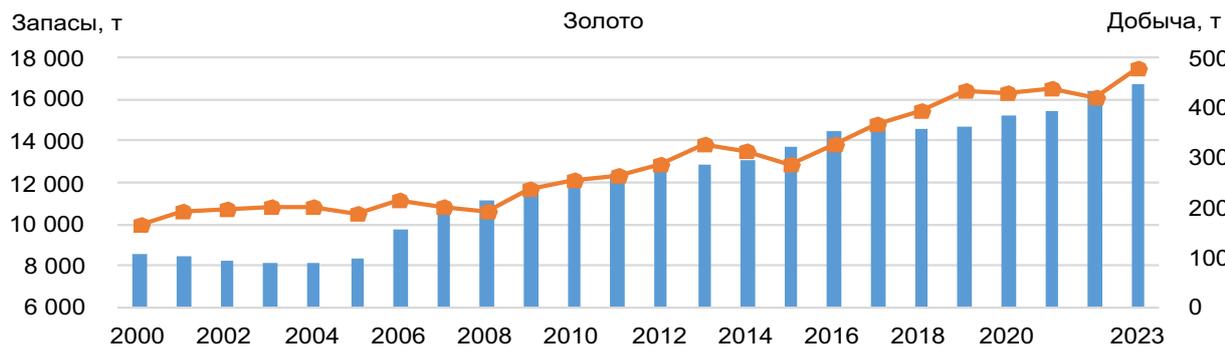


Рис. 4. Динамика запасов и добычи золота в 2000–2023 гг. в РФ

ранних стадий для выявления новых перспективных площадей. Таким образом, для обеспечения полной компенсации выбывающих месторождений необходимо в ближайшее время открыть новые крупные коренные месторождения, содержащие не менее 300 млн кар алмазов.

Золото. Месторождения золота в РФ представлены тремя типами – собственно золоторудными, комплексными и россыпными. В начале 2000-х годов (по 2004 год) продолжалось после 1990-х годов «проедание» запасов золота, созданных в советский период (рис. 4). С 2005 г. ситуация изменилась – снижение балансовых запасов сменилось их ростом, который практически непрерывно продолжается по настоящее время.

Особенностью МСБ золота РФ является наличие трёх уникальных по запасам собственно зо-

лоторудных месторождений [3, 7] – Сухоложского, Олимпиадинского и Наталкинского, балансовые запасы каждого из которых значительно превышают 1000 т. Переоценка и доразведка этих месторождений в значительной степени обеспечили положительную динамику запасов золота с 2005 г., кроме того, существенно повлияли и на средние удельные показатели по собственно золоторудным месторождениям. Это наглядно видно при рассмотрении изменения среднего размера по запасам и средних содержаний собственно золоторудных месторождений: с учётом Сухоложского, Олимпиадинского и Наталкинского месторождений средние запасы на одно месторождение составляют 19–28 т, а без их учёта – 12–16 т (рисунки 5, 6). Соответственно, значительно их влияние и на средние содержания золота в собственно



Рис. 5. Изменение среднего размера по запасам и средних содержаний собственно золоторудных месторождений в 2005–2023 гг. в РФ:

1 – запасы ABC_1C_2 на одно месторождение; 2 – среднее содержание в запасах руды кат. ABC_1C_2

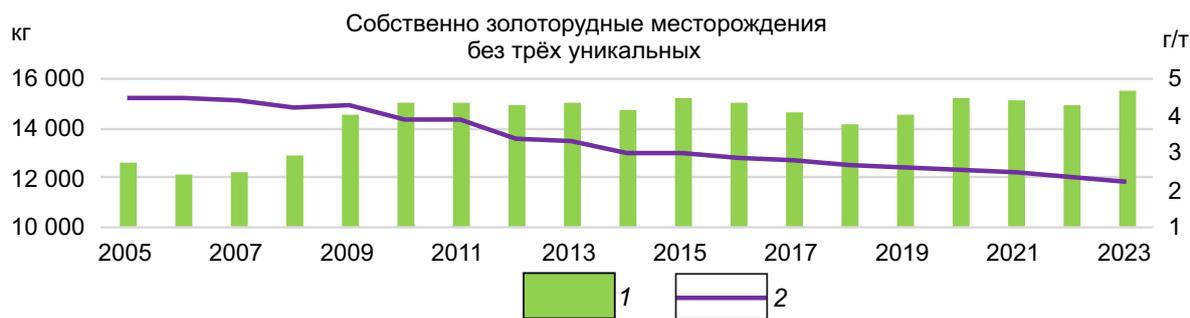


Рис. 6. Изменение среднего размера по запасам и средних содержаний собственно золоторудных месторождений (без месторождений Сухой Лог, Олимпиадинское и Наталкинское) в 2005–2023 гг. в РФ:

1 – запасы ABC_1C_2 на одно месторождение; 2 – среднее содержание в запасах руды кат. ABC_1C_2

золоторудных объектах – с учётом Сухоложского, Олимпиадинского и Наталкинского месторождений оно заметно ниже, чем без их учёта (см. рисунки 5, 6). В целом же отчётливо наблюдается снижение средних содержаний во времени, что объясняется постановкой по итогам ГРП на государственный учёт и вовлечением в разработку более бедных месторождений вследствие экономических (возрастание цены на золото) и технологических (использование более производительной техники, расширение применения различных методов извлечения золота из руд (кучное выщелачивание и др.)) факторов. А так как более бедные месторождения становятся экономически рентабельными при достаточно крупных запасах, это и обуславливает относительную «стабильность» средних размеров месторождений в 2009–2023 гг. (см. рисунки 5, 6). Этот же экономический фактор является важным при наращивании запасов уже стоящих на госбалансе месторождений в результате доразведки флангов и глубоких горизонтов и (или) переоценки ранее разведанных блоков. А наряду с фактором «готовой инфраструктуры» (ГОКа и ЗИФ) рентабельной становится и добыча на месторождениях, находящихся в транспортной доступности от действующих предприятий.

Для собственно золоторудных примером является месторождение Гросс. В 2012 г., по результатам ГРП, запасы золота 22 250 кг при среднем содержании в рудах 0,84 г/т, подсчитанные на основе временных кондиций, были впервые поставлены на госбаланс (протокол «ГКЗ» от 06.04.2012 г. № 2746-оп). В 2014 г. после проведения допол-

нительных разведочных работ недропользователь подготовил ТЭО постоянных разведочных кондиций и нарастил запасы золота упомянутого объекта до 134 580 кг, средние содержания при этом снизились до 0,79 г/т (протокол «ГКЗ» от 31.10.2014 г. № 3906). В 2024 г., по результатам ГРП, на флангах месторождения (протокол «ГКЗ» от 22.03.2024 г. № Э003–00174–77/01109463) запасы золота вновь увеличились до 281 294 кг, а содержания составили 0,61 г/т.

В целом близкая ситуация со средним размером месторождений по запасам и средними содержаниями золота отмечена в комплексных золотосодержащих месторождениях – в связи с постановкой на баланс месторождений с бедными рудами, но значительными запасами происходит снижение во времени средних содержаний, но средний размер месторождений от года к году сохраняется приблизительно на одном уровне (рис. 7). Для комплексных золотосодержащих месторождений, такими объектами служат месторождения медно-порфировых руд, поставленные на учёт в рассматриваемый период (Михеевское и Томинское в Челябинской области, Песчанка в Чукотском АО, Малмыжское в Хабаровском крае и др.). При этом наиболее крупные из них (Песчанка, Малмыжское) пока не вовлечены в эксплуатацию, что способствует поддержанию стабильного уровня удельных значений балансовых запасов золота, приходящихся на одно месторождение.

Что касается россыпных месторождений золота, то в 2005–2023 гг. наблюдается отчётливая тенденция к снижению во времени как средних содержаний золота, так и среднего размера



Рис. 7. Изменение среднего размера по запасам и средних содержаний комплексных золоторудных месторождений в 2005–2023 гг. в РФ:

1 – запасы ABC_1C_2 на одно месторождение; 2 – среднее содержание в запасах руды кат. ABC_1C_2

месторождений по запасам (рис. 8). Это говорит о постепенном исчерпании запасов россыпных объектов, которое не компенсируется даже вовлечением в добычу месторождений с низкими содержаниями золота и техногенных объектов, после их доразведки.

Металлы платиновой группы характеризуются устойчивой минерально-сырьевой базой для обеспечения потребностей экономики в долгосрочной перспективе, хотя до 2007 г. продолжалось «проедание» запасов советского периода (рис. 9). За период с 2007 г. по 2023 г. прирост запасов, несмотря на накопленную добычу с учётом эксплуатационных потерь 2574,5 т [1, 6], со-

ставил 5338,4 т. Большая часть этого наращивания запасов – 3953,9 т (74,1 %) – связана с сульфидными медно-никелевыми месторождениями Норильского промышленного района. В 2009 г. в результате ГРП были постановлены на учёт 1468,4 т запасов МПГ Масловского месторождения (протокол «ГКЗ» от 30.09.2009 г. № 2028), позже в 2018 г. при переутверждении ТЭО постоянных кондиций (протокол «ГКЗ» от 12.10.2018 г. № 5561) запасы платиноидов этого месторождения ещё возросли на 53,1 т. В 2010 г. после доразведки на Черногорском месторождении получен прирост балансовых запасов МПГ 530,4 т (протокол «ГКЗ» от 15.12.2010 г. № 2362), ранее с 1961 г. на нём



Рис. 8. Изменение среднего размера по запасам и средних содержаний россыпных месторождений золота в 2005–2023 гг. в РФ:

1 – запасы ABC_1C_2 на одно месторождение; 2 – среднее содержание в запасах песков кат. ABC_1C_2

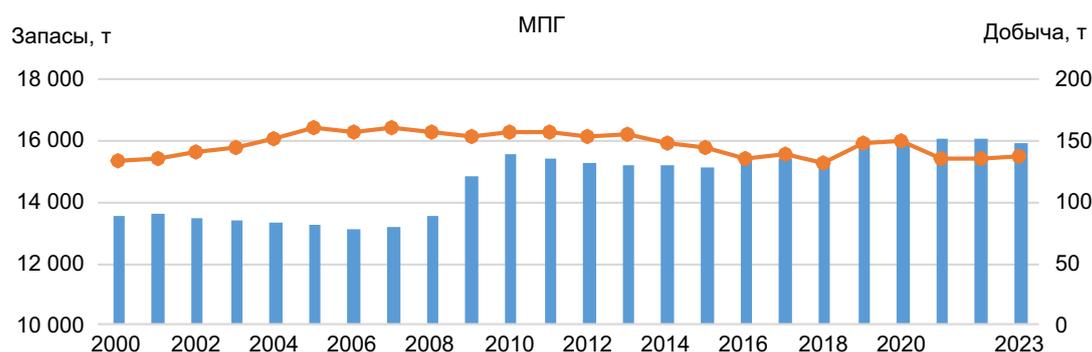


Рис. 9. Динамика запасов и добычи МПГ в 2000–2023 гг. в РФ

числились забалансовые запасы этих металлов и никеля, считавшиеся резервной базой Норильского комбината, работающего на использовании балансовых запасов Октябрьского и Талнахского месторождений. В северной части месторождения Норильск-1 прирост запасов МПГ составил 352,6 т, из них 326,3 т были получены в 2016 г. при переоценке запасов Северной части месторождения Норильск-1 – участки «Охранный целик и Прирезка к руднику № 7 Заполярный» (протокол «ГКЗ» от 31.08.2016 г. № 4732а). В 2019 г. после доразведки южной части месторождения Норильск-1 на учёт дополнительно были поставлены 845,6 т МПГ (протокол «ГКЗ» от 23.10.2019 г. № 6054). Кроме того, при эксплуатационной разведке на Октябрьском и Талнахском месторожде-

ниях в 2007–2023 г. дополнительно были выявлены 703,8 т балансовых запасов платиноидов.

В период «проедания» запасов (2000–2006 гг.) средний размер и коренных, и россыпных месторождений снижался (рисунки 10, 11). В дальнейшем в результате проведения геологоразведочных работ этот показатель был «стабилизирован». Снижение средних содержаний МПГ в рудах, наблюдавшееся в период 2007–2018 гг., значительно замедлилось после доразведки южной части месторождения Норильск-1 в Красноярском крае с вкрапленными рудами, но с высоким средним содержанием платиноидов (6,6 г/т).

Россыпные месторождения МПГ по запасам и добыче играют относительно небольшую роль в общей минерально-сырьевой базе МПГ в РФ



Рис. 10. Изменение среднего размера по запасам и средних содержаний коренных месторождений МПГ в 2005–2023 гг. в РФ:

1 – запасы ABC_1C_2 на одно месторождение; 2 – среднее содержание в запасах руды кат. ABC_1C_2

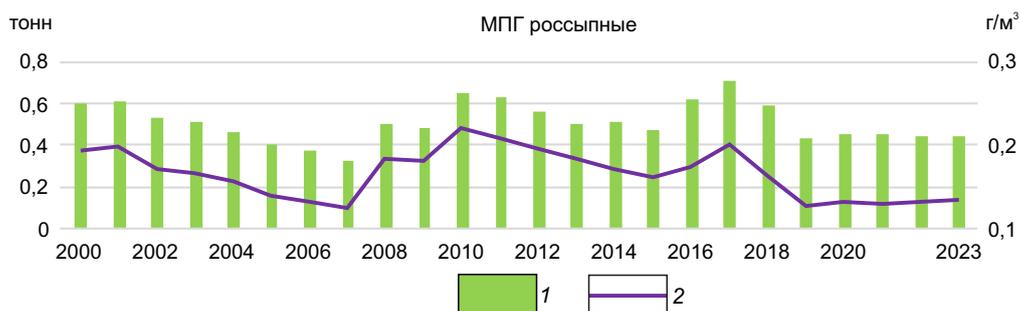


Рис. 11. Изменение среднего размера по запасам и средних содержаний россыпных месторождений МПГ в 2005–2023 гг. в РФ:

1 – запасы ABC_1C_2 на одно месторождение; 2 – среднее содержание в запасах песков кат. ABC_1C_2

(см. рис. 11). В связи со сравнительно малым числом россыпных объектов (максимум 101 в 2013 г.) средние удельные показатели (средний размер месторождений и средние содержания МПГ в них) характеризуются «скачкообразными» изменениями, связанными с постановкой на баланс запасов отдельных месторождений.

Объекты с апробированными прогнозными ресурсами МПГ относятся в основном к малосульфидному платинометалльному геолого-промышленному типу. Потенциальные месторождения, которые могут быть выявлены в результате геологоразведочных работ, по объёму запасов будут существенно меньше медно-никелевых объектов Норильского района и не смогут обеспечить значительного прироста запасов. Соответственно, вклад в добычу МПГ этих месторождений будет также относительно небольшим. На современном

уровне изученности территории РФ единственным регионом, обладающим необходимыми условиями для образования этого типа месторождений МПГ, является Карело-Кольский, где располагаются все разведанные месторождения и рудопроявления с локализованными прогнозными ресурсами.

Серебро. Минерально-сырьевая база серебра в РФ достаточно устойчива, почти все запасы сосредоточены в коренных месторождениях, содержание учтённого попутно металла в россыпях крайне мало и влияния на её развитие не оказывает. По динамике запасов в 2000–2023 гг. (рис. 12) для серебра после крупного прироста запасов в 2001 г., главным образом обеспеченного постановкой по итогам ГРР на учёт запасов собственно серебряного месторождения Прогноз в Республике Саха (Якутия), содержащего 4368 т серебра,

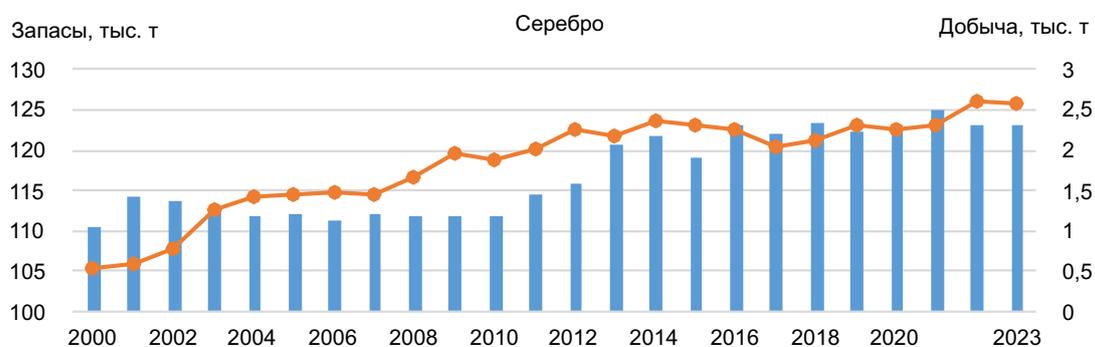


Рис. 12. Динамика запасов и добычи серебра в 2000–2023 гг. в РФ



Рис. 13. Изменение среднего размера по запасам и средних содержаний коренных месторождений серебра в 2000–2023 гг. в РФ:

1 – запасы ABC_1C_2 на одно месторождение; 2 – среднее содержание в запасах руды кат. ABC_1C_2

подсчитанных на основе временных разведочных кондиций (протокол «РКЗ» при Госкомгеологии РС (Я) от 03.05.2001 г. № 548), далее последовал период «проедания» запасов в 2002–2006 гг. После чего, несмотря на увеличивающуюся добычу, балансовые запасы почти непрерывно стали возрастать (наиболее интенсивно в 2011 г.) за счёт постановки на учёт по итогам ГРП месторождения Песчанка в Чукотском АО (при протоколе «ГКЗ» от 28.03.2012 г. № 2738-оп, объект отражён госбалансом по состоянию на 01.01.2012 г.), в 2013 г. при переоценке запасов месторождения Прогноз по постоянным разведочным кондициям (протокол «ГКЗ» от 29.11.2013 г. № 3409) и в 2016 г. при переутверждении постоянных разведочных кондиций Удоканского месторождения в Забайкальском крае (протокол «ГКЗ» от 26.02.2016 г. № 4551). Удельные (средний размер месторождения и среднее содержание серебра в них), напротив, демонстрировали нисходящую динамику. Это вызвано снижением доли в структуре запасов РФ собственно серебряных месторождений с высокими содержаниями металла при росте запасов в комплексных объектах цветных металлов (меди, никеля, свинца, цинка) и собственно золоторудных месторождениях, в которых оно учтено попутно и характеризуется более низкими содержаниями в рудах. В 2000 г. на собственно серебряные месторождения приходилось 22,4 % всех балансовых запасов страны, в 2023 г. их доля снизилась до 16,2 %.

Никель, кобальт. Основные запасы никеля и кобальта (учтён попутно) находятся в комплекс-

ных сульфидных медно-никелевых месторождениях Норильского промышленного района, на которых ведётся их основная добыча с получением товарных металлов в различных формах (концентраты и др.). Поэтому динамика запасов этих металлов в 2000–2023 гг. очень сходна с типичным для постсоветской России периодом «проедания» запасов (2000–2007 гг. в никеле выражено более явно), и дальнейшей их относительной стабилизации (рисунки 14, 15) при возрастающей добыче до 2010 г., и её снижением в последующий период. Последнее во многом обусловлено постепенным прекращением разработки месторождений силикатных руд Урала из-за отсутствия эффективной технологии их переработки. Резкое сокращение запасов обоих металлов в 2012 г. вызвано их списанием по переоценке на Ждановском, Быстринском и Тундровом месторождениях в Мурманской области (протокол «ГКЗ» от 23.11.2012 г. № 2904) после переутверждения постоянных разведочных кондиций.

Месторождения сульфидного медно-никелевого типа руд установлены также в пределах Красноярского края (южная часть, Саянский район), Мурманской, Воронежской и Амурской областей, формируют резервную сырьевую базу, интенсивность освоения которой, как ожидается, возрастёт в ближайшие десять лет с началом эксплуатации Кингашского и Верхнекингашского, КунМаньё и других месторождений.

Значимые балансовые запасы никеля и кобальта (также учтён попутно) имеются и в месторождениях силикатного геолого-промышленного типа

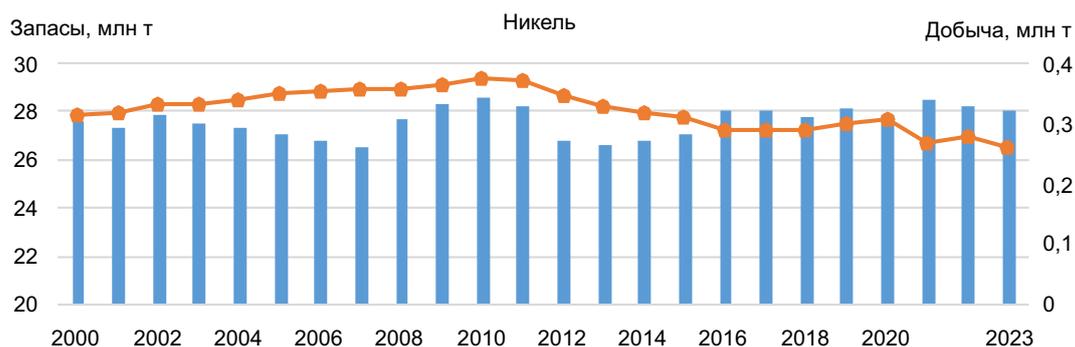


Рис. 14. Динамика запасов и добычи никеля в 2000–2023 гг. в РФ

в пределах трёх регионов Уральского и Приволжского федеральных округов.

В то же время в РФ выявлено и учтено единственное значимое собственное месторождение кобальта сульфидного типа – Кара-Кульское в Республике Алтай (Со 25,656 тыс. т), которое находится в нераспределённом фонде недр.

Кроме того, запасы кобальта учтены в различных кобальтсодержащих рудах (магнетитовые, медноколчеданные и др.). При их добыче (списании балансовых запасов) на ряде месторождений (Гайское и др.) далее в процессе переработки этот металл полностью теряется в «хвостах» обогащения или в отвальных шлаках металлургического передела. По-видимому, целесообразно или совершенствовать технологию переработки руд для получения кобальтового продукта, или в случае невозможности этого провести корректировку госбаланса на предмет учёта кобальта в рудах.

Для никеля и кобальта характерно уменьшение среднего размера месторождений по запасам и средних содержаний в 2000–2023 гг. (рисунки 16, 17). Это обусловлено постановкой на баланс месторождений с относительно бедными вкрапленными сульфидными медно-никелевыми рудами – Кингашского (2002 г.), Верникингашского (2008 г.), Масловского (2009 г.) в Красноярском крае, Кун-Маньё (2008 г.) в Амурской области. Последующая доразведка этих объектов положительно отразилась на росте балансовых запасов металлов, исключая Масловское (снижение Ni на 16,6 тыс. т до 711,4 тыс. т, Со на 7,39 тыс. т до 26,3 тыс. т). Содержания металлов в рудах после переутверждения запасов на Кингашском месторождении снизились, на остальных объектах, кроме Масловского (кобальт), незначительно выросли.

На динамику удельных показателей повлиял результат разведочных работ на Серовском место-

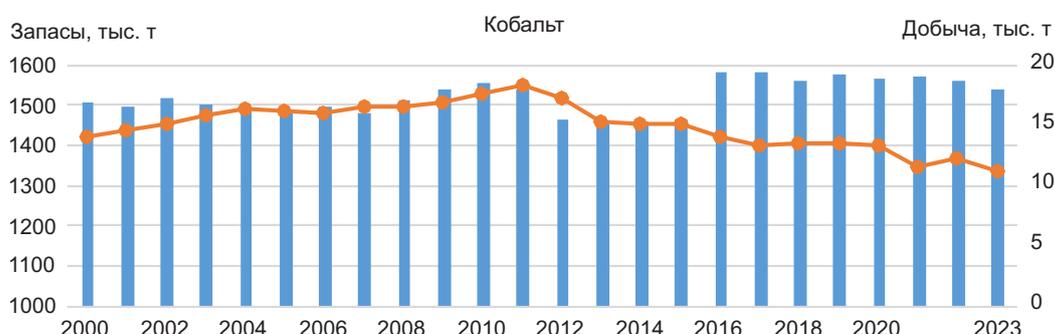


Рис. 15. Динамика запасов и добычи кобальта в 2000–2023 гг. в РФ

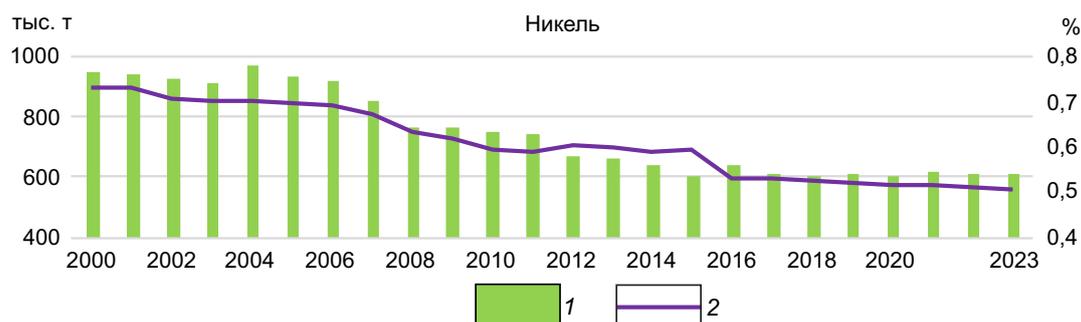


Рис. 16. Изменение среднего размера по запасам и средних содержаний месторождений никеля в 2000–2023 гг. в РФ:

1 – запасы ABC_1C_2 на одно месторождение; 2 – среднее содержание в запасах руды кат. ABC_1C_2

рождении в Свердловской области, где были поставлены на баланс запасы никеля 881 тыс. т и кобальта 107,1 тыс. т в осадочных железных рудах (бобово-конгломератовые руды, приуроченные к верхней части коры выветривания). Их отработка (протоколы «ГКЗ» от 23.03.2016 г. № 4578 и от 12.05.2017 г. № 5034-доп) в перспективе возможна одновременно и совместно с расположенными ниже силикатными никелевыми рудами, в рамках одного горно-металлургического производства. Также в этом году значимый прирост был зафиксирован при переоценке запасов вкрапленных руд на северной части месторождения Норильск-1 (отмеченные выше участки «Охранный целик и Прирезка к руднику № 7 Заполяр-

ный»), обеспечивших дополнительные 446,7 тыс. т никеля и 21,7 тыс. т кобальта.

Медь. Динамика балансовых запасов меди характеризуется относительно небольшим периодом постепенного «проедания» (2000–2004 гг.), сменившимся почти непрерывным ростом несмотря на возрастающую добычу (рис. 18). В МСБ меди РФ в настоящее время основные балансовые запасы (92,4 %) сосредоточены в месторождениях следующих типов руд: сульфидных медно-никелевых (33,8 %), медно-порфириновых (24,1 %), медистых песчаников (19,6 %) и медноколчеданных (14,9 %) [2]. Скачкообразное возрастание запасов меди обусловлено постановкой на учёт (прим.: отражение в госбалансе может отличаться от фактического года

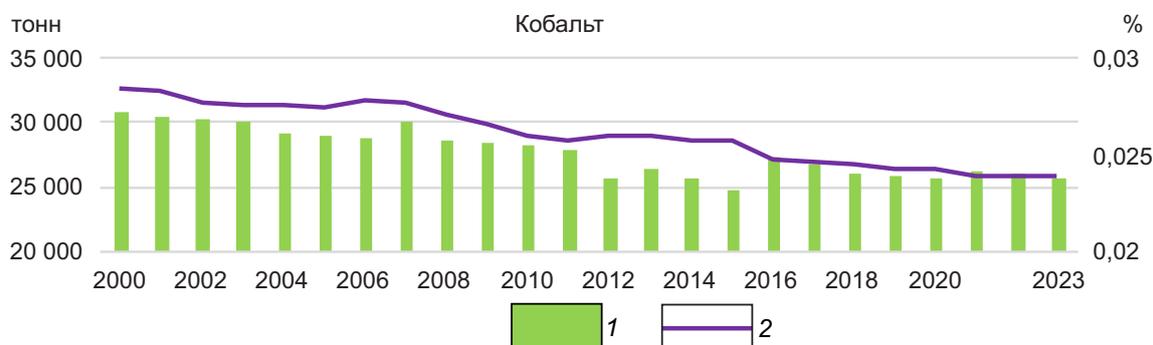


Рис. 17. Изменение среднего размера по запасам и средних содержаний месторождений кобальта в 2000–2023 гг. в РФ:

1 – запасы ABC_1C_2 на одно месторождение; 2 – среднее содержание в запасах руды кат. ABC_1C_2

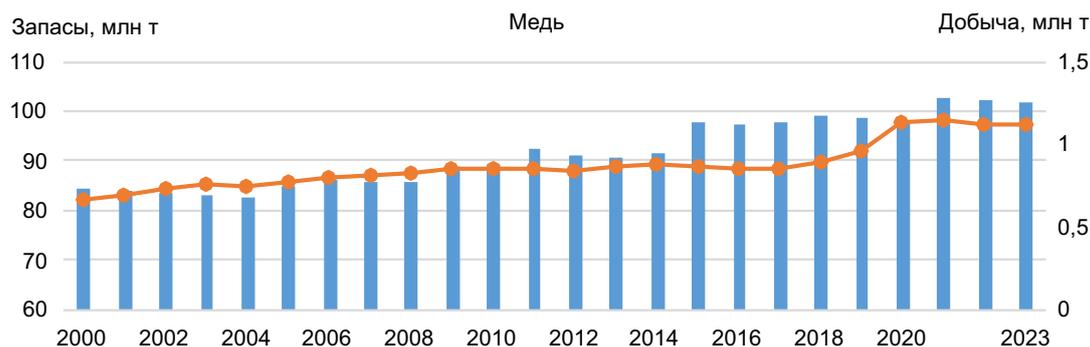


Рис. 18. Динамика запасов и добычи меди в 2000–2023 гг. в РФ

протокола «ГКЗ») по итогам ГРР крупных месторождений меди, включая их последующую доразведку, – Ак-Сугское в Республике Тыва (2009 и 2014 гг.), Песчанка (2012 и 2018 гг.), Малмыжское (2015 и 2021 гг.) и др. На Малмыжском месторождении этот прирост запасов меди весьма существенен. В 2015 г. были впервые учтены 5,6 млн т запасов меди, подсчитанные на основе временных разведочных кондиций (протокол «ГКЗ» от 10.04.2015 г. № 4163-оп), в 2021 г. после доразведки и утверждения постоянных разведочных кондиций последовало их увеличение до 8,3 млн т (протокол «ГКЗ» от 22.09.2021 г. № 6749), что вывело это месторождение на четвертое место по крупности запасов в стране после Удоканского, Октябрьского и Талнахского.

Для меди характерно уменьшение среднего размера месторождений по запасам и средних содержаний в 2000–2023 гг. (рис. 19). Это обусловлено тем, что в XXI в. основное увеличение запасов обеспечили месторождения медно-порфировых руд, качественные характеристики которых ниже по сравнению с другими типами руд (медно-колчеданные, скарновые и др.). Одновременно в этот период росло количество месторождений со средними и малыми запасами меди – Лобаш-1 (2010 г.), Еланское и Ёлкинское (2015 г.) и др., что отразилось на снижении средних содержаний этого металла, приходящегося на одно месторождение.

При этом месторождения с богатыми медно-порфировыми рудами (среднее содержание меди

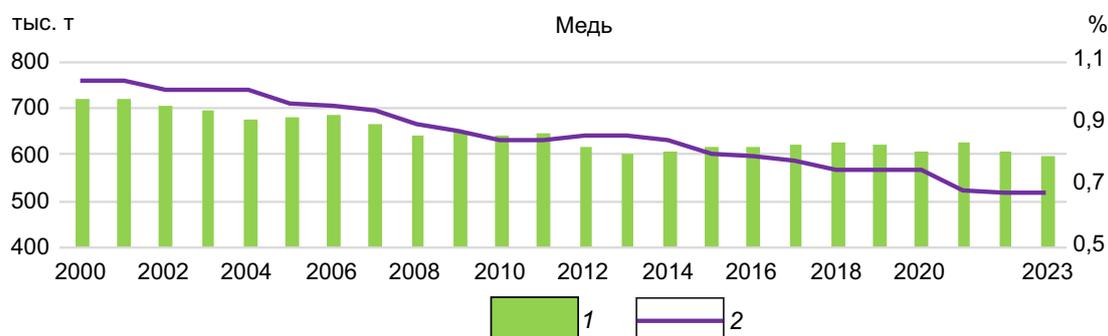


Рис. 19. Изменение среднего размера по запасам и средних содержаний месторождений меди в 2000–2023 гг. в РФ:

1 – запасы ABC_1C_2 на одно месторождение; 2 – среднее содержание в запасах руды кат. ABC_1C_2

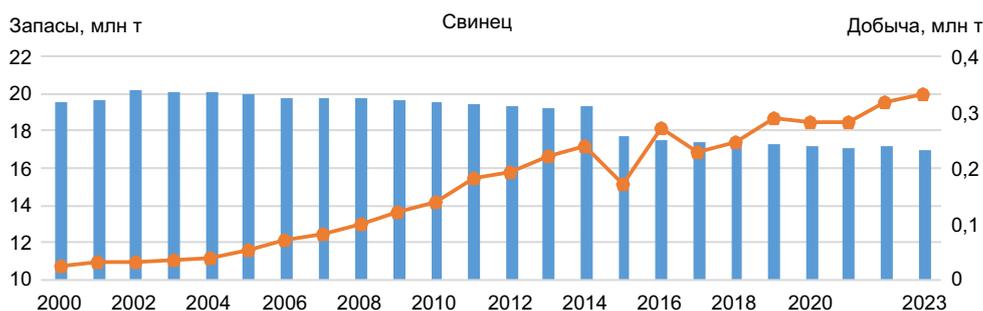


Рис. 20. Динамика запасов и добычи свинца в 2000–2023 гг. в РФ

составляет более 1 % Cu) в РФ пока не выявлены, разведанные месторождения характеризуются либо рядовыми рудами (содержания Cu 0,4–1,0 %) – Песчанка 0,51 % (прим.: все балансовые запасы) и др., либо бедными (Cu < 0,4 %) – Малмыжское 0,35 % и др.

На снижение удельных показателей месторождений меди дополнительно повлияла постановка на баланс по результатам ГРР двух скарновых медно-магнетитовых месторождений в Забайкальском крае – крупного Быстринского с содержанием Cu 0,7 % (относится к бедным рудам, содержание Cu от 0,7 до 1 %), среднеразмерного Култуминского с содержанием Cu 0,3 % (убогие руды).

Свинец и цинк. Россия располагает значительной сырьевой базой свинца и цинка (3-е место в мире). Эти металлы образуют совместные месторождения – свинцово-цинковые и полиметал-

лические, для цинка существенное значение имеют также медно-цинково-колчеданные месторождения. Динамика запасов свинца и цинка после 2002 г. (постановка по итогам ГРР на баланс крупного Павловского месторождения, 453,4 тыс. т Pb и 1967,2 тыс. т Zn, протокол «ГКЗ» от 17.05.2022 г. № 731) на фоне возрастающей добычи характеризуется одинаковыми снижающимися трендами (рисунки 20, 21). Скачкообразное снижение балансовых запасов обоих металлов, для свинца наиболее интенсивно, происходило из-за списания их запасов на ряде месторождений: Дукацком (2005 г.), Николаевском (2006 и 2015 годы), Весенне-Аралчинском, только Zn (2006 г.), Горевском (2015 г.). При этом в 2007 г., несмотря на списание запасов свинца (452,5 тыс. т) и цинка (631,8 тыс. т) на Бугдаинском месторождении в Забайкальском крае, нисходящая динамика была временно замедлена по причине отражения в госбалансе этого



Рис. 21. Динамика запасов и добычи цинка в 2000–2023 гг. в РФ



Рис. 22. Изменение среднего размера по запасам и средних содержаний месторождений свинца в 2000–2023 гг. в РФ:

1 – запасы ABC_1C_2 на одно месторождение; 2 – среднее содержание в запасах руды кат. ABC_1C_2

года сведений протокола «РКЗ» от 2001 г. № 555 о постановленном на учёт по результатам ГРР месторождении Сардана в Республике Саха (Якутия), содержащего 592,2 тыс. т свинца и 1926,4 тыс. т цинка.

Резкое увеличение добычи цинка в 2023 г. обусловлено её плановым наращиванием на крупном Озёрном месторождении в Республике Бурятия в соответствии с согласованным в ЦКР-ТПИ Роснедр техническим проектом его разработки. Динамика добычи цинка на этом месторождении в ближайшие годы будет определять и общероссийские показатели.

Особенностью минерально-сырьевой базы свинца и цинка в РФ является наличие значительных «замороженных» запасов свинца (3358,9 тыс. т

или 19,6 % от балансовых запасов РФ) и цинка (21 195,2 тыс. т, или 36,3 % от всех запасов РФ) в Холоднинском месторождении, которое расположено в центральной экологической зоне оз. Байкал, где запрещена добычная деятельность. Месторождение находится в нераспределённом фонде недр, перспективы его освоения неясны.

В течение первой четверти XXI в. происходило снижение средних удельных размеров месторождений свинца и цинка (рисунки 22, 23). Это указывает на то, что месторождения, которые ставятся на учёт по результатам ГРР и государственной экспертизы, по крупности запасов в основном являются малыми и средними, а крупные по запасам объекты ставятся на учёт реже. При этом на уже учтённых крупных месторождениях

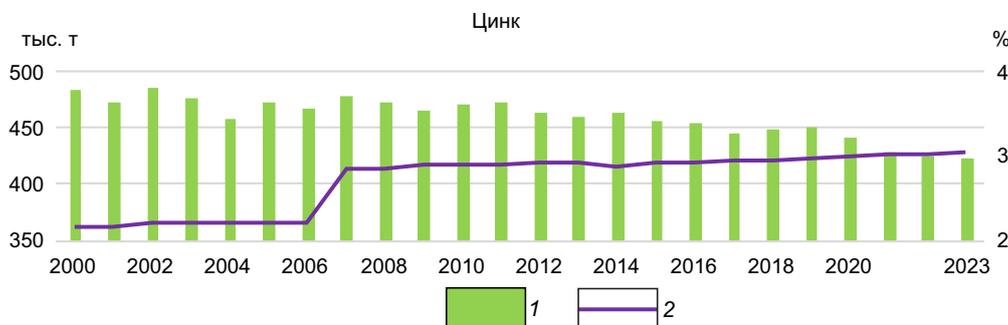


Рис. 23. Изменение среднего размера по запасам и средних содержаний месторождений цинка в 2000–2023 гг. в РФ:

1 – запасы ABC_1C_2 на одно месторождение; 2 – среднее содержание в запасах руды кат. ABC_1C_2

снижение запасов происходит при эксплуатации и переоценке при их неподтверждении в результате доразведки.

Более сложная ситуация наблюдается по изменению в этот период средних содержаний свинца и цинка в рудах. Так, рост средних содержаний для свинца и цинка в 2007 г. обусловлен списанием из-за крайне низких содержаний их запасов на Бугдаинском молибденовом месторождении в Забайкальском крае. В результате переоценки (протокол «ГКЗ» от 14.12.2007 г. № 1525) запасы свинца сократились с 493,9 до 41,4 тыс. т, а запасы цинка в количестве 631,8 тыс. т были полностью сняты с учёта. Из-за очень низких содержаний свинца и цинка в рудах этого месторождения учёт их крупных запасов приводил к снижению удельных средних содержаний месторождений РФ. Списание же запасов привело к росту этого показателя, более объективно отражающему ситуацию.

При этом для цинка в отличие от свинца в 2007–2023 гг. при сокращении удельных значений запасов металла на одном месторождении отмечен рост его средних содержаний в рудах. Это объясняется, с одной стороны, постановкой в результате ГРП на учёт среднеразмерных по запасам объектов с рядовыми (Zn 2,6–3,8 %) и богатыми (Zn от 4,1 %) рудами (Новопетровское в Республике Башкортостан, Zn 376,9 тыс. т при среднем содержании 3,6 %; Мичуринское в Челябинской области, Zn 309,6 тыс. т при среднем содержании 7,1 %, и др.). С другой стороны, такое возрастание содержаний связано с постепенной во времени отработкой эксплуатируемых месторождений и увеличением в общих балансовых запасах цинка в РФ доли Холоднинского месторождения с богатыми рудами, в которых средние содержания цинка составляют 4,1 %. Также на этот показатель влияют и другие восемь крупных месторождений (Zn от 1 млн т), по сумме запасов 21 250,6 тыс. т, сопоставимые с Холоднинским, которые пока не вовлечены в отработку: Сардана, среднее содержание Zn 10,5 %; Павловское – 5,2 %; исключением является Подольское – 1,3 %, а также находящиеся в начальной стадии эксплуатации Озёрное – 6,2 % и Ново-Учалинское – 2,7 %. На активно эксплуатируемых трёх остальных крупных объектах содержания цинка существенно варьируют: Гайском – 0,6 %, Горевском – 2,1 %, Корбалхинском – 10,1 %.

То есть наблюдающийся на рис. 23 тренд к повышению содержаний цинка от года к году является чисто «статистическим», без учёта Холоднинского и восьми остальных крупных объектов, содержание цинка на остальных месторождениях в среднем по РФ составляет 2,3 %.

Для преодоления имеющейся тенденции к исчерпанию МСБ свинца и цинка в среднесрочной перспективе (10–15 лет) необходимо усиление ГРП за счёт всех источников финансирования, направленных на выявление среднеразмерных (от 0,5 млн т каждого из этих металлов) и крупных (от 1 млн т) месторождений.

Выводы. В начале XXI в. (до 2005–2007 гг.) отмечается «проедание» запасов всех металлов из группы АБЦМ, кроме свинца. После периода «проедания» отчётливая положительная динамика запасов устанавливается для золота, МПП, серебра и меди. Относительно устойчивой МСБ в 2000–2023 гг. отличаются никель и кобальт. Снижаются балансовые запасы (добыча не компенсируется приростом запасов) алмазов, свинца и цинка.

Для большинства видов АБЦМ отмечено сокращение удельного показателя – среднего размера месторождения по запасам. Исключением являются рудные месторождения золота (собственные и комплексные), в которых этот удельный показатель характеризуется отсутствием какой-либо тенденции во времени. Для собственно золоторудных месторождений «очистка» удельных показателей от влияния трёх уникальных месторождений (Сухоложское, Олимпиадинское, Наталкинское) показывает отчётливую тенденцию к уменьшению средних содержаний в запасах руды кат. ABC_1C_2 в 2005–2023 гг. в остальных месторождениях при относительно слабых колебаниях показателя среднего размера месторождений по запасам (при его снижении после «очистки» приблизительно в два раза).

Одновременное снижение и удельных запасов, и средних содержаний (россыпное золото, МПП, серебро, никель, кобальт, медь) свидетельствует о тенденции постепенного изменения сырьевой базы – открываются из года в год всё более мелкие по запасам и более бедные месторождения. По-видимому, в долгосрочной перспективе тенденция к выявлению в основном малых и среднеразмерных по запасам месторождений с рядовыми и бедными рудами сохранится. Для изменения этой тенденции необходимо усиление геологоразведочных работ, в том числе в целях обнаружения крупнообъёмных месторождений с бедными комплексными рудами и значительными запасами. А долгосрочная возрастающая тенденция стоимости металлов группы АБЦМ на бирже должна способствовать поддержанию интереса инвесторов к выявлению и освоению крупных месторождений со сравнительно невысокими содержаниями компонентов в рудах.

Указанные аспекты длительного изменения МСБ АБЦМ необходимо учитывать при планировании и выполнении геологоразведочных работ ранних стадий, проводимых за счёт средств

федерального бюджета. Для повышения устойчивости развития МСБ АБЦМ требуются интенсификация подготовки прогнозных ресурсов и выполнение «поискового задела».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев Я. В., Заскинд Е. С., Конкина О. М.* Сырьевая база металлов платиновой группы России: состояние, освоение и перспективы развития до 2040 г. // *Отечественная геология*. – 2022. – № 2. – С. 3–11.
2. *Алексеев Я. В., Корчагина Д. А.* Сырьевая база меди: состояние и перспективы развития // *Отечественная геология*. – 2023. – № 1. – С. 3–19.
3. *Иванов А. И., Алексеев Я. В., Черных А. И., Наумов Е. А., Куликов Д. А., Голубева Ю. Ю., Корчагина Д. А., Мигачев И. Ф., Барышев А. Н., Донец А. И., Конкин В. Д., Звездов В. С.* Прогноз долгосрочного освоения минерально-сырьевой базы золота в Российской Федерации // *Отечественная геология*. – 2023. – № 6. – С. 3–12.
4. *Иванов А. И., Алексеев Я. В., Черных А. И., Наумов Е. А., Куликов Д. А., Тарасов А. С., Конкина О. М.,*

Минкин К. М., Попов И. В. Алмазы, благородные и цветные металлы Российской Федерации – прогноз развития минерально-сырьевой базы и добычи // *Отечественная геология*. – 2023. – № 3. – С. 3–16.

5. *Иванов А. И., Вартанян С. С., Черных А. И., Волчков А. Г., Голубев Ю. К., Звездов В. С.* Перспективы развития минерально-сырьевой базы алмазов и золота Российской Федерации // *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление*. – 2016. – № 3. – С. 15–23.
6. *Иванов А. И., Черных А. И., Вартанян С. С.* Состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы золота в Российской Федерации // *Смирновский сборник*. – 2018. – С. 10–29.
7. *Иванов А. И., Черных А. И., Вартанян С. С.* Состояние, перспективы развития и освоения минерально-сырьевой базы золота в Российской Федерации // *Отечественная геология*. – 2018. – № 1. – С. 18–28.

REFERENCES

1. *Alekseyev Ya. V., Zaskind Ye. S., Konkina O. M.* Syryevaya baza metallov platinovoy gruppy Rossii: sostoyaniye, osvoyeniye i perspektivy razvitiya do 2040 [Raw material base of platinum group metals in Russia: status, development and development prospects up to 2040], *Otechestvennaya geologiya*, 2022, No. 2, pp. 3–11. (In Russ.)
2. *Alekseyev Ya. V., Korchagina D. A.* Syryevaya baza medi: sostoyaniye i perspektivy razvitiya [Copper raw material base: status and development prospects], *Otechestvennaya geologiya*, 2023, No. 1, pp. 3–19. (In Russ.)
3. *Ivanov A. I., Alekseyev Ya. V., Chernykh A. I., Naumov E. A., Kulikov D. A., Golubeva Yu. Yu., Korchagina D. A., Migachev I. F., Baryshev A. N., Donets A. I., Konkin V. D., Zvezdov V. S.* Prognoz dolgosrochnogo osvoyeniya mineralno-syryevoy bazy zolota v Rossiyskoy Federatsii [Forecast for the long-term development of the mineral resource base of gold in the Russian Federation], *Otechestvennaya geologiya*, 2023, No. 6, pp. 3–12. (In Russ.)
4. *Ivanov A. I., Alekseyev Ya. V., Chernykh A. I., Naumov E. A., Kulikov D. A., Tarasov A. S., Konkina O. M., Minkin K. M., Popov I. V.* Almazы, blagorodnyye i tsvetnyye metally Rossiyskoy Federatsii – prognos

razvitiya mineralno-syryevoy bazy i dobychi [Diamonds, precious and non-ferrous metals of the Russian Federation – forecast of development of mineral resource base and mining], *Otechestvennaya geologiya*, 2023, No. 3, pp. 3–16. (In Russ.)

5. *Ivanov A. I., Vartanyan S. S., Chernykh A. I., Volchkov A. G., Golubev Yu. K., Zvezdov V. S.* Perspektivy razvitiya mineralno-syryevoy bazyalmazov i zolota Rossiyskoy Federatsii [Prospects for the Development of the Mineral Resource Base of Diamonds and Gold in the Russian Federation], *Mineralnyye resursy Rossii. Ekonomika i upravleniye*, 2016, No. 3, pp. 15–23. (In Russ.)
6. *Ivanov A. I., Chernykh A. I., Vartanyan S. S.* Sostoyaniye i perspektivy razvitiya mineralno-syryevoy bazy zolota v Rossiyskoy Federatsii [State and development prospects of the mineral resource base of gold in the Russian Federation], *Smirnovskiy sbornik*, 2018, pp. 10–29. (In Russ.)
7. *Ivanov A. I., Chernykh A. I., Vartanyan S. S.* Sostoyaniye, perspektivy razvitiya i osvoyeniya mineralno-syryevoy bazy zolota v Rossiyskoy Federatsii [Status, Prospects for Development and Exploitation of the Mineral Resource Base of Gold in the Russian Federation], *Otechestvennaya geologiya*, 2018, No. 1, pp. 18–28. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 03.12.24; одобрена после рецензирования 18.12.24; принята к публикации 18.12.24. The article was submitted 03.12.24; approved after reviewing 18.12.24; accepted for publication 18.12.24.

Вулкано-плутонические пояса и медно-порфиновые системы Новой Гвинеи: обстановки формирования и металлогения

Аннотация. Описаны геотектоническая позиция вулкано-плутонических поясов Новой Гвинеи, строение и металлогения принадлежащих им медно-порфиновых рудно-магматических систем. На основе анализа существующих палеотектонических построений, петрологического состава рудоносных многофазных интрузивов, возраста слагающих их дифференциатов, вещественного состава руд установлено, что формирование крупнейших в мире Au-(Mo)-Cu- и Au-Cu-порфиновых и сопряжённых с ними в объёме единых систем скарновых и эпиптермальных благороднометалльных месторождений, связано со становлением плутоногенных формаций существенно калиевой известково-щелочной и шшонитовой магматических серий окраинно-континентального андезитоидного и более позднего рифтогенного поясов. Показаны различия в комплексной металлогении медно-порфиновых систем этих поясов. Рассмотрены факторы, приведшие к возникновению гигантских месторождений.

Ключевые слова: вулкано-плутонические пояса, геодинамические обстановки, медно-порфиновые месторождения, металлогения, рудно-магматические системы, плутоногенные формации.

ЗВЕЗДОВ ВАДИМ СТАНИСЛАВОВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, начальник отдела, zvezdov@tsnigri.ru

КУЛИКОВ ДАНИЛА АЛЕКСЕЕВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, заместитель генерального директора по научной работе, kulikov@tsnigri.ru

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

Volcano-plutonic belts and porphyry copper systems of New Guinea: Formation environments and metallogeny

V. S. ZVEZDOV, D. A. KULIKOV

Federal State Budgetary Institution "Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals" (FSBI "TSNIGRI"), Moscow

Annotation. Geotectonic position of the volcano-plutonic belts of New Guinea and the structure and metallogeny of their belonging porphyry copper ore-magmatic systems are described. Based on analysis of the existing paleotectonic concepts, petrological composition of ore-bearing multiphase intrusions, age of their constituent differentiates, and mineral and chemical composition of the ores, it has been established that the formation of the world largest porphyry type Au-(Mo)-Cu and Au-Cu deposits, as well as of their spatially associated skarn and epithermal type precious metal deposits confined to the same single systems, is related to the formation of plutonic magmatic associations of essentially potassium calc-alkaline and shoshonite magmatic series of the continental-marginal andesitic and more later riftogenic belts. Differences in the multicomponent metallogeny of the porphyry copper systems of these belts are shown. The factors that caused the genesis of the giant mineral deposits are considered.

Key words: volcano-plutonic belts, geodynamic settings, porphyry copper deposits, metallogeny, ore-magmatic systems, plutonic magmatic associations.

Медно-порфиновые месторождения (МПП) локализованы в рудно-магматических системах (РМС) вулкано-плутонических поясов (ВПП). Петрология и металлогеническая специализация вулкано-плутонических ассоциаций (ВПА) и составляю-

щих их формаций, участвующих в строении этих поясов, предопределяются глубинными «материнскими» магматическими очагами на границе земной коры (ЗК) с астеносферой, «промежуточными» очагами в её верхней части, а также составом

и металлогенией структурно-вещественных комплексов (СВК) фундамента (субстрата) ВПП. От этих факторов в конечном итоге зависят рудно-метасоматическая зональность и вещественный состав руд месторождений медно-порфирирового семейства, а также сочетания (наборы) «сопряжённых» с ними (генетически связанных с едиными магматическими очагами) месторождений других рудно-формационных типов (РФТ).

Геотектонические обстановки формирования ВПП с МПМ в глобальных геоструктурах – островодужных, окраинно-континентальных (кордильерского и андийского типов), внутриконтинентальных коллизионных орогенно-складчатых и рифтовых поздне- и постколлизионных – рассмотрены в работах многих отечественных и зарубежных исследователей. Описание комплексных медно-порфирировых рудно-магматических систем (КМП РМС) евразийских островодужных базальтоидных поясов, а также андезитоидных ВПП, в объёме которых кроме «сопряжённых» месторождений присутствуют «древние» – фундамента поясов и «наложенные» – более поздних этапов развития последних, приведено в недавних публикациях [4, 10, 11]. В предлагаемой статье представлены материалы по кайнозойским ВПП Новогвинейской металлогенической провинции, сформированным субдукционно-аккреционными, сопряжёнными орогенно-активизационными и более поздними коллизионными тектоно-магматическими процессами. Изучение этих «молодых» поясов и принадлежащих им КМП РМС со всем набором сохранившихся элементов строения, которые на мезозойских и особенно палеозойских и докембрийских объектах в значительной мере подверглись более поздним преобразованиям и эрозии, необходимо для совершенствования геолого-генетических моделей медно-порфирировых и сопряжённых с ними рудных месторождений, а также построенных на их основе прогнозно-поисковых моделей рудных районов (узлов) и полей.

Рядом исследователей [15, 45 и др.] ВПП выше-названной провинции наряду с поясами Тибетской (КНР), Центрально-Азиатской (Иран, Пакистан), Бассейнов и Хребтов (США), Малокавказской (Армения), Восточно-Забайкальской, Уральской и Сихотэ-Алинской (Россия) провинций отнесены к внутриконтинентальным рифтогенным. Механизм возникновения и магматизм таких ВПП рассмотрены в работах М. Н. Зоненшайна, М. И. Кузьмина, В. Е. Хаина, М. Г. Ломизе,

Н. В. Межеловского, Н. В. Короновского, Л. И. Деминой, Д. Муллера, Д. Гровса, С. Лудингтона, З. Хоу, Н. Кука и других исследователей. Формирование расположенных в их пределах МПМ Д. Муллером, Д. Гровсом, С. Лудингтоном, Дж. Хронски, С. Г. Соловьевым и др. связывается в основном с шошонитовым и, в меньшей мере, с высококалийным известково-щелочным магматизмом поздне- и постколлизионных стадий развития орогенно-складчатых поясов. Следует, однако, отметить, что по данным А. И. Кривцова, О. В. Мининой, И. Ф. Мигачёва, А. В. Андреева и др., в уральских андезитоидных рифтогенных ВПП – Ивдельско-Красноурьинском, Валерьяновском, Увельско-Еленовском – медно-порфирировое оруденение сопряжено с ВПА К-На профиля, а в Новогвинейской провинции, судя по публикациям, не все порфирировые месторождения генетически связаны с шошонитовым магматизмом.

В этой металлогенической провинции сосредоточены крупнейшие в мире Au-(Mo)-Cu- и Au-Cu-порфирировые месторождения с запасами меди в миллионы–десятки миллионов т и золота – в сотни–тысячи т: в западной, индонезийской, части острова – Грасберг с серией сопряжённых с ним Au-Cu-скарновых месторождений горнорудного района Эрцберг, в восточной – в Папуа – Новая Гвинея: Ок-Теди, существенная доля запасов которого также локализована в сульфидно-магнетитовых залежах в скарнированных известняках; Фрида-Ривер и Голпу с сопряжёнными эпитермальными золоторудными месторождениями Нена и Уафи типа «высокой (HS) и средней (IS) сульфидизации». Названные порфирировые объекты характеризуются исключительно высокими (для МПМ) содержаниями Cu – от 0,8 до 3 % (в среднем не менее 1 %) и Au – от 0,2 до 5 г/т (1,0–2,0 г/т) при низких содержаниях Mo – от 0,004 до 0,01 % (лишь на Уафи-Голпу оно достигает 0,09 %). Вместе названные порфирировые, скарновые и эпитермальные месторождения входят в состав крупных КМП РМС.

В Новогвинейской провинции, охватывающей северную и центральную (осевую) части острова, разными авторами [22, 24, 25, 29, 33, 61 и др.] выделяются до 32 тектоно-стратиграфических террейнов, из которых примерно половина континентального происхождения, а другая (присоединённая к северной окраине Австралийского кратона) – океанического. Они могут быть «объединены» в три крупных террейна – структурно-

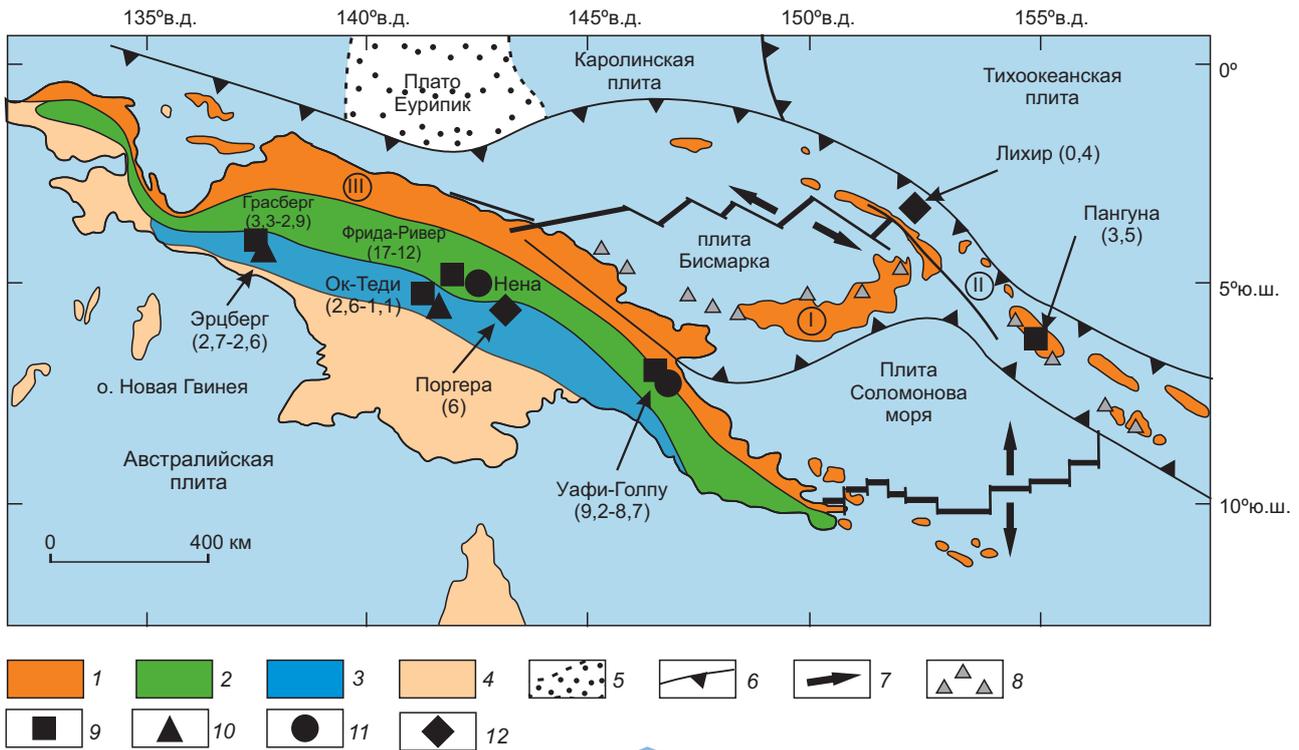


Рис. 1. Тектоническая схема о. Новая Гвинея с Au-(Mo)-Cu-, Au-Cu-порфировыми, Au-Cu-скарновыми и эпитермальными Au-Cu и Au-Ag-рудными месторождениями. Составлена по материалам Дж. Дьюи и Дж. Бёрда [24], Д. Доу [25], К. Хилла и др. [33], Б. Сапие и М. Клооса [57]. Изотопная датировка возрастов (млн лет) магматических комплексов и связанного с ними оруденения [41, 42, 50, 52]:

1 – островные дуги: I – Новобританская, II – Соломонова, III – Новогвинейская, аккрецированная к континентальной окраине; 2 – Мобильный пояс; 3 – зона смятия (складчато-надвиговых деформаций); 4 – Австралийская платформа; 5 – океаническое плато Еурипик; 6 – зоны субдукции (океанические желоба); 7 – направления дрейфа литосферных плит; 8 – активные вулканы; 9–12 – крупные и сверхкрупные месторождения: 9 – Au-(Mo)-Cu- и Au-Cu-порфировые, 10 – Au-Cu-скарновые, 11–12 – Au-Cu и Au-Ag-рудные: 11 – HS и IS типа, 12 – LS типа

формационные зоны (СФЗ) (с севера на юг): аккрецированной островной дуги, Мобильного метаморфического пояса и Папуасского пояса складчато-надвиговых деформаций, которые могут рассматриваться как металлогенические зоны этой провинции (рис. 1).

Известные на сегодняшний день КМП РМС с порфировыми и сопряжёнными с ними скарновыми и эпитермальными месторождениями меди и золота расположены во второй (Уафи-Голпу, Фрида-Ривер – Нена) и третьей (Грасберг–Эрцберг, Ок-Теди) зонах, где распространены магматические комплексы двух ВПП – миоценового (дуга Маримуни – 20–9 млн лет) и позднемиоцен-плейстоценового (7 млн лет–н/в). Эти пояса возникли в результате сложных геодинамических и магматических процессов, сопровождаю-

щих столкновение Каролинской и Тихоокеанской литосферных плит с Австралийской.

В юрское время северная оконечность платформ испытала рифтогенез вдоль серии протяжённых дуговых глубинных и перпендикулярных к ним коровых трансформных разломов. В позднем мелу началась пологая субдукция Каролинской океанической плиты под Австралийскую континентальную, продлившаяся, предположительно, до миоцена. В эоцене (~ 40–30 млн лет назад) образовалась Новогвинейская островная дуга. В олигоцене произошло её столкновение с северным выступом кратона, которое при направленном на юг сжатии распространялось вплоть до среднего миоцена на восток с аккрецией островодужных СВК к платформенным. Юрские и позднемиоценовые–среднемиоценовые

терригенные и карбонатные отложения платформенного чехла были смяты и подверглись метаморфизму [23, 26, 55]. Сформировался Мобильный метаморфический пояс. Продолжительное сжатие в раннем миоцене привело к образованию сутуры с надвигом островодужных террейнов на кратон и возникновению прогиба, ограниченного трансформными разломами, с накоплением шельфовых карбонатных формаций – Новогвинейской на западе и Дарай на востоке острова (рис. 2). В этот же период (от 20–9 млн лет назад) образовалась магматическая дуга Мариумни, которая по геотектоническому положению и петрологии слагающих вулканических и плутонических формаций, в основном высоко калиевой известково-щелочной серии, представляет собой андезитовидный окраинно-континентальный (орогенно-активизационный) ВПП, протягивающийся с ЮВ на СЗ о. Новая Гвинея субпараллельно аккретивированному Новогвинейскому базальтоидному островодужному.

Приблизительно с 12 млн лет назад тренд сжимающих тектонических напряжений сменился на западный. С позднего миоцена по настоящее время в результате дрейфа Тихоокеанской литосферной плиты террейны аккретивированной островной дуги и Мобильного пояса по системам активизированных внутридуговых и трансформных разломов надвигаются на окраину платформы; формируются пояс складчато-надвиговых деформаций и задуговой бассейн, отделяющий о. Папуа – Новая Гвинея от Австралийского континента.

В интервале 3,6–0,7 млн лет складчато-надвиговый пояс испытал быстрое поднятие (орогенез) с последующей сменой режима сжатия растяжением на позднеколлизивной стадии развития. В этот период ослабления конвергенции и ускорения движения по трансконтинентальному разлому (надвига с левосторонним сдвигом) [32] возникли рифты; проявился существенно калиевый (шошонитовый) магматизм [19, 26 и др.]. В результате сформировался ВПП с плиоцен-плей-

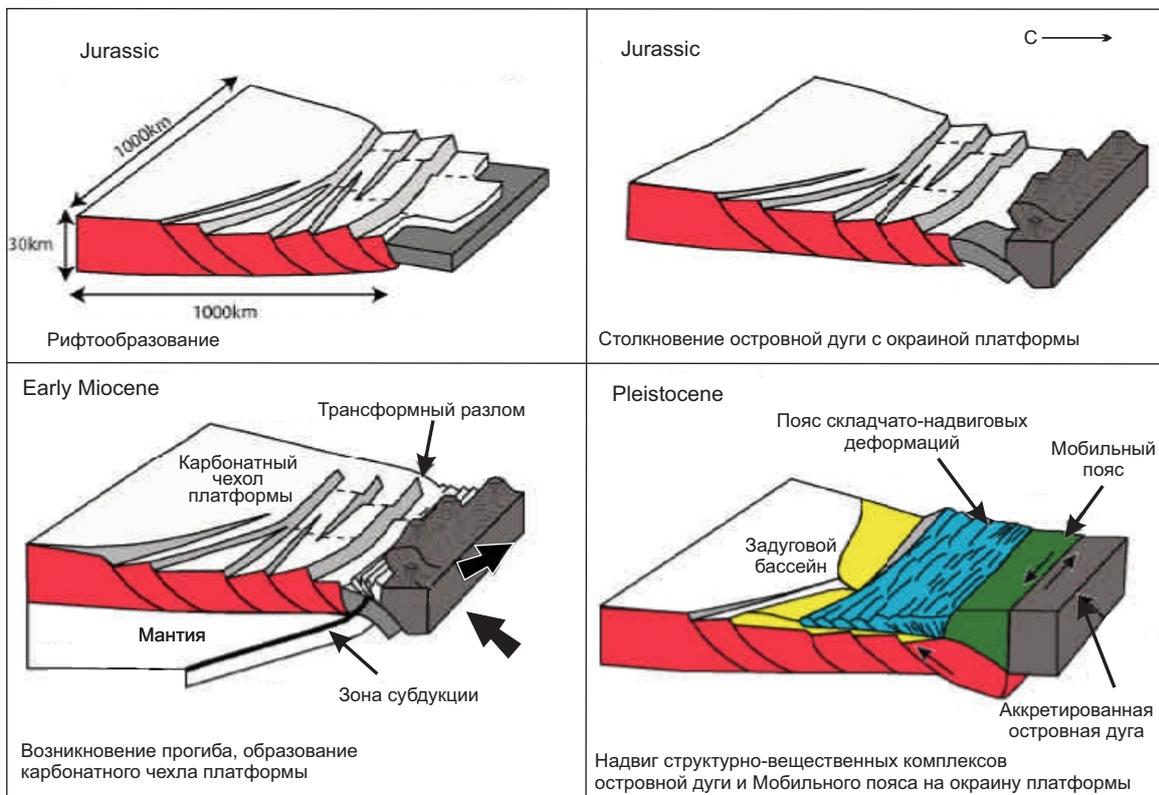


Рис. 2. Стадии тектонического развития северной окраины Австралийского кратона. По [24, 25, 33, 29], объяснения в тексте

стоценовыми плутонами и комагматичными вулканитами, который вместе с предшествующими миоценовыми вулканогенными и плутоногенными формациями Мобильного пояса, а также вмещающими в различной степени метаморфизованными мезозойскими окраинно-континентальными карбонатно-терригенными отложениями, образует Центральный горный хребет, протягивающийся по осевой части о. Новая Гвинея в З-СЗ направлении. Южнее находится предгорный прогиб, где обнажены палеозойские гранитно-метаморфические комплексы фундамента Австралийской платформы.

Т. МакМахоном [43, 44], Т. Муллером и Д. Гровсом [45], Дж. Хронски с соавторами [34], С.Г. Соловьевым [15] и др. исследователями формирования Au-(Mo)-Cu- и Au-Cu-порфировых и сопряжённых с ними в объёме единых РМС Au-Cu-скарновых и эпитеpmальных благороднометалльных месторождений Новогвинейской провинции связывается в основном с шошонитовым магматизмом позднеколлизийного периода эволюции рассмотренной орогенно-складчатой области, когда режим коллизийного сжатия сменился растяжением, сопровождаемым локальным рифтогенезом. Главным источником рудоносных магм считается верхняя мантия, в виде диапиров достигавшая подошвы литосферы и даже проникавшая в её нижний слой через разрывы сплошности, которые возникали при замедлении или полной остановке субдуцируемой плиты и деляминации континентальной ЗК. Примечательно, что самые ранние фазы интрузивных массивов на гигантских месторождениях Грасберг и Ок-Теди, представленные габбро и диоритами, отнесены упомянутыми авторами к «предшествующей» известково-щелочной серии, а наблюдаемое повышение калиевой щелочности пород последующих фаз, относимых к шошонитовой серии, объясняется эволюцией единых глубинных магматических очагов с периферийными очагами-сателлитами. При этом главным условием генерации металлоносных флюидов считается появление шошонитовых магм.

Рассмотрим более подробно, так ли это с привлечением данных публикаций А. И. Кривцова, И. Ф. Мигачёва, В. С. Попова, Р. Пэджа, М. Ринни, П. Полларда, К. Лейса и других исследователей [6, 8, 38, 47, 49, 50, 55]. Проанализируем также, какие геологические факторы могли привести к образованию столь крупных порфировых объектов Новогвинейской провинции.

КМП РМС Уафи-Голпу выделена на востоке миоценового андезитоидного ВПП – дуги Мариуни (регион Маркхэм) вблизи границы Мобильного метаморфического пояса с Новогвинейским аккрецированным островодужным террейном. Она включает в себя крупнейшие Au-(Mo)-Cu-порфировое месторождение Голпу, находящееся непосредственно над ним (и «наложенное» на порфировое), эпитеpmальное золото-серебряное Уафи, а также расположенное в 1,5 км к северо-западу небольшое порфировое месторождение Намбонга. В большинстве публикаций объект фигурирует под названием «Wafi-Golpu». Система обладает вертикальной рудно-формационной зональностью, в то время как большинство КМП РМС с крупными и гигантскими порфировыми и сопряжёнными благороднометалльными объектами (Багио, Манкайян (Лепанто-FSE) (Филлипины), Бату Хайджау, Тумпангпиту (Индонезия), Фрида-Ривер – Нена (Папуа – Новая Гвинея), Баимская (Россия), Алмалыкская (Узбекистан), Речк – Лахоца (Венгрия), Бингхэм Каньон (США) и др.) обладают латеральной либо латерально-вертикальной (концентрической) зональностью. Комплексные РМС типа «интрузив под вулканом» с вертикальной зональностью в большинстве своём вмещают лишь рядовые и мелкие месторождения.

РМС детально описана М. Ринни и др. [55] на основе проведённых минералого-петрографических и изотопно-геохимических исследований с датировкой возрастов интрузивных комплексов (U-Pb методом по цирконам), руд (Re-Os методом по молибдениту) и метасоматитов (Ar-Ar методом по биотиту, мусковиту, алуниту). Она выделена в северо-западной части района Маркхэм, сложенного метаосадочными, карбонатно-терригенными, вулканическими и вулканокластическими породами формаций Оуэн Стэнли, Омаура и Лингимар олигоцен-миоценового возраста, которые прорваны миоценовыми гранитоидами K-Na и высококалиевой известково-щелочных серий: гранодиоритами комплекса Моробе (~ 12 млн лет) с порфировой фазой Идай, диоритами комплекса Намбонга (10,3–9,9 млн лет), диоритами и кварцевыми диоритами двух фаз внедрения продуктивного на Au-Cu-порфировые руды комплекса Голпу (~ 9,0–8,8 млн лет). Наиболее поздними являются полимиктовые брекчии диатремы Уафи (8,7 млн лет) с близодновременным эпитеpmальным Au-Cu и Au-Ag оруденением HS и IS типов (рис. 3).

Месторождение Уафи-Голпу с запасами и ресурсами, равноценными категории P_1 (inferred mineral resources) по состоянию на 30.06.2021 г. [46]: Cu – 4,3 млн т (при ср. сод. 1,0 %), Mo – 37000 т (0,09 %), Au – 403 т (1,58 г/т по Уафи и 0,70 г/т по Голпу), Ag – 17 000 т (1,3 г/т), сопря-

жено со штоком (> 500 м в поперечнике) диоритов и кварцевых диоритов I и II (главной) стадий (порфиридных, порфириновых) комплекса Голпу. Шток вытянут в север-северо-восточном направлении; на верхних гипсометрических уровнях расщепляется на серию маломощных даек.

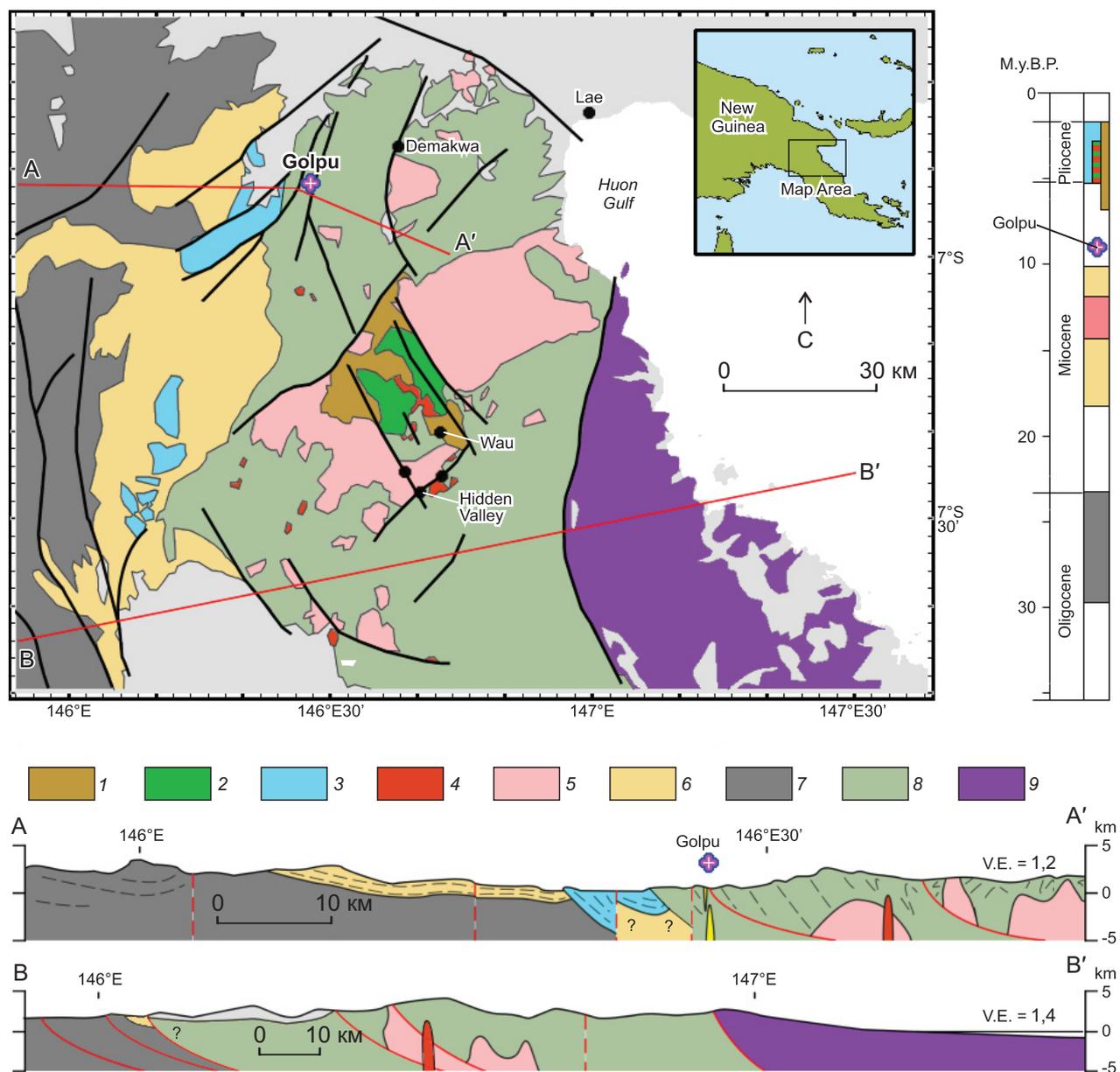


Рис. 3. Геологическая карта и разрезы региона Маркхэм в Папуа – Новой Гвинее. На вставке сверху справа показано местоположение района на карте страны. По М. Ринни с соавторами [55]:

1 – песчаники и известняки Отибанда; 2 – дациты и андезиты Булоло; 3 – конгломераты Бабуаф; 4 – порфиры Эдай; 5 – гранодиориты Мороби; 6 – вулканические и вулканокластические породы, известняки Лангимар; 7 – сланцы и граувакки Омаура; 8 – метаосадочные породы Оуэн Стэнли; 9 – офиолиты Папуан

В свою очередь, он рассечён брекчиевой трубкой Уафи, с которой связано образование расширяющейся кверху зоны аргиллизитовых изменений с Au-Ag жильным оруденением, наложенным на порфиоровое (рис. 4). Возрастной интервал возникновения рудной минерализации (от порфиоровой до завершающей эпитермальной включительно), по данным изотопного датирования, оценивается в 220–120 тыс. лет; период отложения основного объёма порфиоровых руд – $8,76 \pm 0,02$ – $8,73 \pm 0,01$ млн лет.

В статье [55] с петрографическим описанием выделенных разновидностей диоритов рудоносного комплекса Голпу, таблицами их химического состава и серией диаграмм – $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$, $\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$, $\text{Or}-\text{Qtz}-\text{Ab} + \text{An}$, $\text{P}_2\text{O}_5/\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$, Th/Co (рис. 5) – все они отнесены к калиевой известково-щелочной серии. В них почти нет ортоклаза; в порфиоровых вкрапленниках и основной массе – плагиоклаз, биотит, кварц, роговая обманка. По минеральному составу это диориты, кварцевые диориты (преобладают), вплоть до тоналитов.

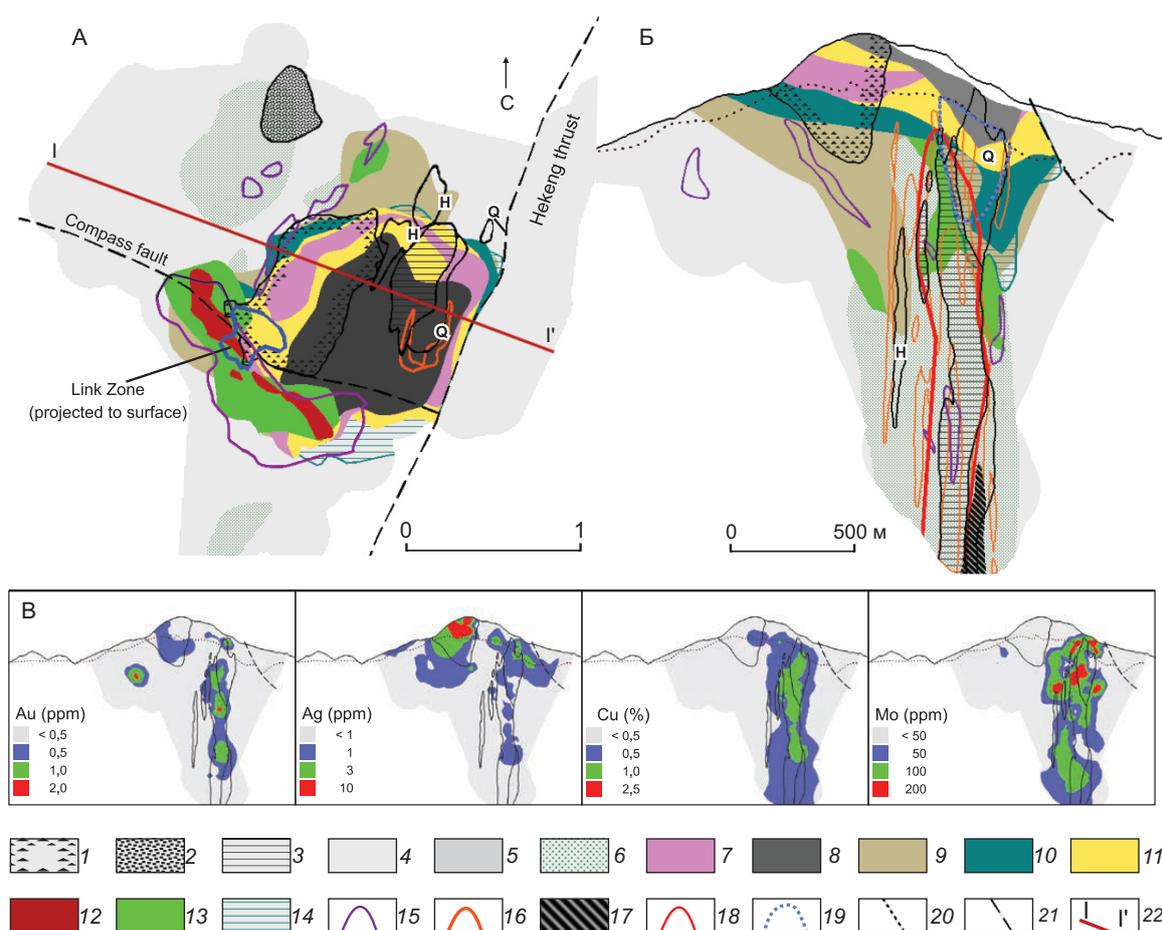


Рис. 4. Месторождение Уафи-Голпу: А – геологический план, Б – разрез, В – распределение концентраций Au, Ag, Cu и Mo в рудном теле. По М. Ринни с соавторами [55]:

магматические породы (N_1): 1 – полимиктовые брекчии диатремы Уафи, 2 – диориты Намбонга, 3 – диориты Голпу стадии II, 4 – диориты Голпу стадии I порфиоровидные: Q – кварцевые, H – роговообманковые; 5 – метаосадочные отложения формации Оуэн Стэнли (K_1); метасоматиты: 6 – биотитовые, 7 – пиррофиллитовые, 8 – кварц-алунитовые, 9 – мусковит ± иллитовые, 10 – каолинит ± диккитовые, 11 – алунитовые, 12 – галлузитовые, 13 – смектитовые (с жилами); ареалы развития жил и прожилков: 14 – каолинит-диккитовые, 15 – карбонатные, 16 – сульфидно-кварцевые > 20 об.%, 17 – ангидритовые; 18 – халькопирит > 3 об.%; 19 – ковеллиновая минерализация; 20 – граница зоны окисления; 21 – прослеженные разломы; 22 – линия разреза

Вместе с тем по нескольким пробам отмечается повышенное содержание калия (содержание K_2O – от 2,3 до 4,0 %), соответствующее сиенито-диоритам (монцодиоритам), что, по-видимому, связано с значительным количеством биотита (от 10 до 30 %) как первичного, так и вторичного, замещающего роговую обманку, и присутствием КППШ в виде кайм развитого по плагиоклазу. Плагиоклаз-роговообманковые порфириновые диориты штока Намбонга, предшествующие образованию диоритов и кварцевых диоритов комплекса Голпу и вмещающие небольшое одноименное месторождение того же Au-(Mo)-Cu-порфирирового типа, по составу могут быть отнесены к K-Na известково-щелочной серии.

Рудно-метасоматическая зональность месторождения Уафи-Голпу в целом соответствует «монцонитовой» модели Дж. Лоуэлла и Дж. Джилберта [39] и выражена сменой от центра к периферии и верхним частям системы биотит-калишпатовой зоны филлизитовой и пропилитовой, но на верхних горизонтах объекта она существенным образом затушёвана наложенными аргиллизитами, вмещающими Au-Cu и Au-Ag руды HS и IS типов (см. рис. 4).

Выделены четыре стадии минералообразования. К *самой ранней* отнесена биотитизация диоритов стадии I комплекса Голпу с рассеянной халькопирит-пирит-молибденит-магнетитовой вкрапленностью и кварцевыми прожилками (с пиритом и молибденитом). Последующая *главная стадия*, связанная со становлением порфирирового штока стадии II комплекса Голпу, разделена на три подстадии, в течение которых образовались биотит-ортоклазовые метасоматиты с сульфидно-кварцевым штокверком, сложенным многочисленными генерациями рудных прожилков с сопровождающей вкрапленностью рудных минералов (пирит, халькопирит, борнит, молибденит, магнетит, гематит, самородное Au и др.). В этом штокверке заключены основные запасы порфирирового месторождения Голпу. В корневой части системы установлены ангидритовые жилы. Во вмещающих метасадочных отложениях формаций Оуэн Стэнли развита пропилизация (актинолит, эпидот, хлорит, пирит, карбонаты). К *поздней (третьей) стадии* формирования объекта (завершающая стадия становления рудоносного диоритового комплекса Голпу и ранняя – диатремы Уафи) отнесены метасоматиты филлизитовой зоны (мусковит, иллит, кварц, серицит, пирит, аль-

бит, каолинит) с морфологией перевернутого конуса.

К *четвёртой* стадии формирования КППМ РМС – периода гидротермальной активности, связанной с брекчиевой трубкой Уафи, отнесён период (около 100–50 тыс. лет), в течение которого образовались полого залегающая аргиллизитовая «шляпа», вмещающая одноименное эпитеpmальное золото-серебряное месторождение. В её объёме выделены кварц-алунитовая, алунитовая, пиррофилитовая, каолинит-диккитовая, хлорит-монтмориллонитовая, хлорит-сметтитовая и др. фации аргиллизитов, вмещающих Au-Ag-полисульфидно-кварцевую жильно-прожилковую минерализацию – от алунитсодержащей HS типа с пиритом, ковеллином, энаргитом, теннантитом, борнитом, халькопиритом, самородным Au до адулярсодержащей IS типа с пиритом, сфалеритом, галенитом, родохрозитом, самородным Au.

Таким образом, описанная система Уафи-Голпу сложена диоритами и кварцевыми диоритами (порфириновыми и порфирированными) нескольких фаз внедрения, являющихся дифференциатами рудоносной существенно калиевой известково-щелочной, а не шошонитовой серии. Локализованное в её объёме Au-(Mo)-Cu-порфирировое и сопряжённое эпитеpmальное Au-Ag-полисульфидное оруденение генетически связано с единым рудно-магматическим очагом. В сравнении с другими порфириновыми месторождениями-гигантами Новогвинейской провинции Уафи-Голпу выделяется на порядок большим содержанием Mo (в среднем 0,09 %) в рудах, что может свидетельствовать об участии в рудогенезе коровых расплавов наряду с мантийными, что характерно для андезитовых окраинно-континентальных поясов. Скарновая минерализация на этом объекте не проявлена, так как во вмещающих рудоносный интрузив терригенных отложениях карбонатных пород нет.

Подобное сочетание РФТ установлено и для **КППМ РМС Фрида-Ривер – Нена**, расположенной северо-западнее в том же миоценовом ВПП – в центральной части Мобильного пояса, в 90 км к северо-востоку от действующего медного рудника Ок-Теди. В пределах одноименного рудного района, эквивалентного этой системе, находятся Au-(Mo)-Cu-порфирировое месторождение Фрида-Ривер с запасами и прогнозными ресурсами, равноценными категории P_1 [59]: Cu – 5,52 млн т (при ср. сод. 0,52 %), Mo – 42 400 т (0,011), Au – 329 т (0,31 г/т), Ag – 1272 т (1,9 г/т) и находящееся

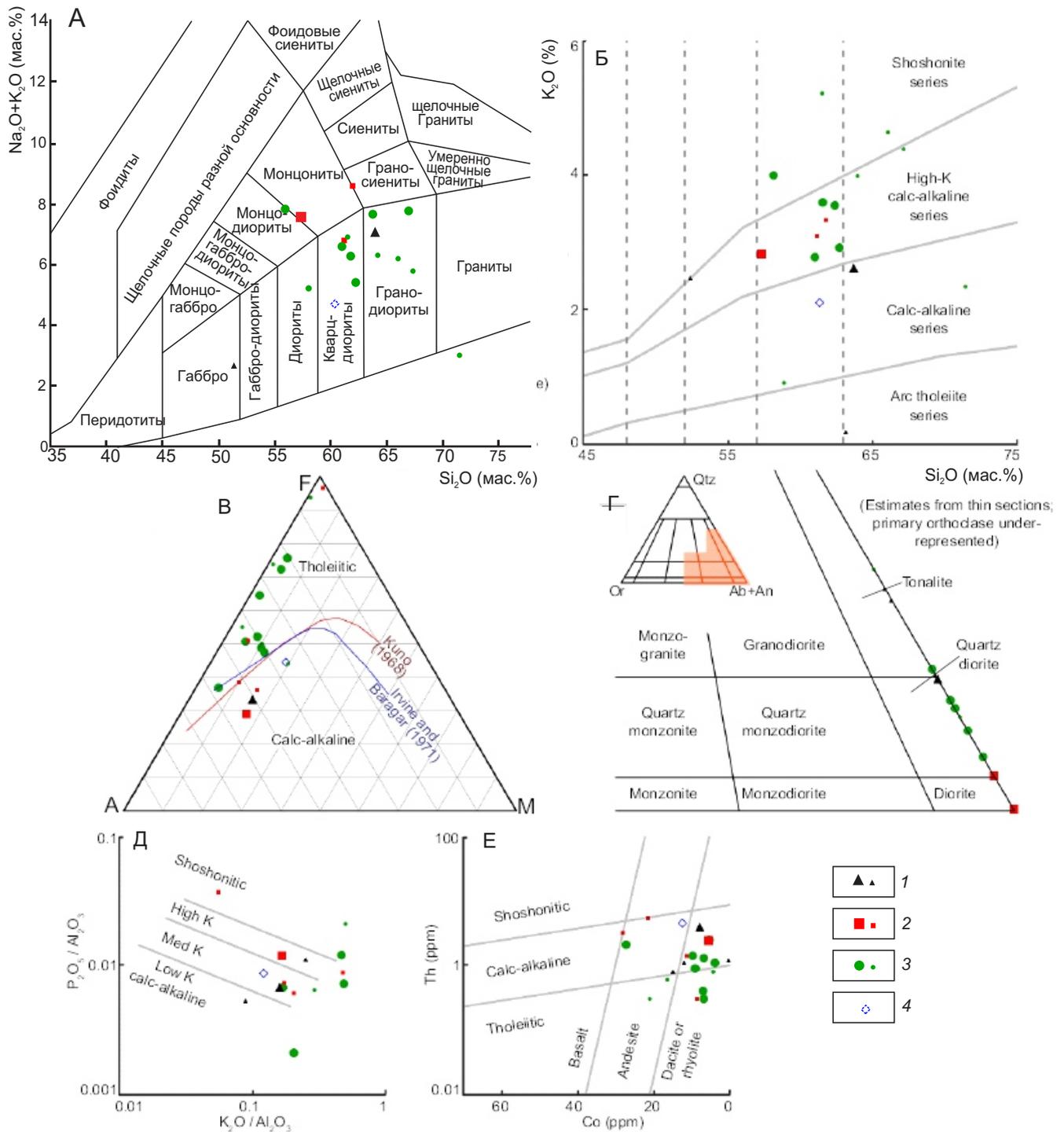


Рис. 5. Диаграммы минерального и петрохимического состава интрузивного комплекса Голпу и андезитов комплекса Хекенг, по [55] с изменениями:

A – $(Na_2O + K_2O)$ vs. SiO_2 ; Б – K_2O vs. SiO_2 ; В – AFM, где A = $Na_2O + K_2O$, F = FeO, M = MgO; Г – нормативного состава: кварц – ортоклаз – плагиоклаз; Д – P_2O_5/Al_2O_3 vs. K_2O/Al_2O_3 ; Е – Th vs. Co; интрузивные фазы комплекса Голпу: 1 – кварц-плагиоклазовые порфировидные диориты стадии I, 2 – плагиоклаз-роговообманковые порфировидные диориты стадии I; 3 – плагиоклаз-роговообманковые порфировидные диориты стадии II, 4 – андезиты комплекса Хекенг; крупными символами обозначены данные по наименее изменённым разностям пород

к северо-западу в 5 км золоторудное месторождение HS типа Нена.

РМС представляет собой глубоко эродированный миоценовый стратовулкан размером 15×7 км, сложенный андезитовыми лавами (алунитизированными и пиритизированными), а также экзрузивными, пирокластическими и вулканокластическими фациями комплекса Уогамуш, которые прорваны комагматичными гранитоидами магматического комплекса Фрида-Ривер. На севере эта структура срезана глубинным разломом Фрида запад-северо-западного направления, являющимся одним из крупных сбросов, протягивающихся вдоль Центрального хребта о. Новая Гвинея.

Золото-медная прожилково-вкрапленная минерализация приурочена к контактам выступов-апофиз вытянутого в СВ направлении многофазного интрузивного массива (12×2 км) с вулканогенно-осадочными породами (граувакковыми песчаниками, туфогенными сланцами, конгломератами) комплекса Уогамуш [13]. Выделены пять фаз внедрения: диоритовые порфиры Коки и Фрида, вмещающие основной объём порфирировых руд; кварцевые микродиориты и диорит-порфиры Хорс (возраст – 13,6 млн лет), с которыми связано их образование; некки и дайки диоритовых и андезитовых порфиритов Кноб; пострудные дайки трахиандезитов Флимтем.

Выделены три участка месторождения – Хорс-Айваал, Трукай и Коки, сопряжённые с отдельными штоками рудоносной порфирировой фазы продуктивного плутогенного комплекса. На этих участках внутренняя биотитовая зона (ранних высокотемпературных К-кремниевых изменений) окружена филлизитовой (кварц-хлоритовые, кварц-серицит-хлоритовые с андалузитом метасоматиты), которая, в свою очередь, сменяется пропилиновой с рассеянной пиритизацией («пиритовый» ореол). Главные сульфидные минералы гипогенных руд – пирит и халькопирит; в подчинении – борнит и молибденит, изредка отмечается самородное золото. В зоне вторичного сульфидного обогащения появляются халькозин, ковеллин, малахит, азурит [8].

Период формирования рудного штокверка и околорудных метасоматитов оценивается в 11,9–11,5 млн лет [31]. Рудовмещающий многофазный интрузив и комагматичные вулканиты среднего состава продуктивной андезит-диоритовой ВПА принадлежат калиевой известково-щелочной се-

рии; лишь пострудные трахиандезитовые дайки могут быть отнесены к шошонитовой.

Находящееся к северо-западу, сопряжённое с порфирировым, эпитегрмальное Au-Cu месторождение Нена, локализовано в обширной зоне (13×4 км) аргиллизитов, развитых по вулканитам формации Дебом. Субгоризонтально залегающее золоторудное тело, имеющее сигарообразную форму длиной приблизительно 1200 м и диаметром 300 м, локализовано на пересечении предполагаемого крутопадающего рудоконтролирующего разлома с толщей высокопроницаемых андезитовых лапиллиевых туфов, перекрытых малопроницаемыми андезитовыми лавами. Состав гипогенных Au-Cu руд HS типа: халькопирит, ковеллин, лунзонит, энаргит, лунзонит-энаргит, халькозин, стибнолунзонит, самородное Au. Содержание последнего в рудах около 0,6 г/т [18]. На поверхности в результате выветривания и выщелачивания образовалась оксидная «золотая» шляпа, в которой содержание Au составляет в среднем 1,4 г/т, а все медные минералы выщелочены. Ниже расположена зона вторичного сульфидного обогащения с высоким (уменьшающимся с глубиной) содержанием медных минералов – халькозина и ковеллина [27].

Таким образом, КПП РМС Фрида-Ривер – Нена, также, как и система Уафи-Голпу, генетически связана с дифференциатами габбро-диорит-монцодиоритовой формации высококальциевой известково-щелочной серии андезитоидного окраинно-континентального ВПП (магматической дуги Маримуни). Скарновые руды, как и в РМС Уафи-Голпу, отсутствуют по той же причине – во вмещающих интрузивный массив отложениях карбонатных пород нет.

В более молодых РМС с комплексной металлогенией Грасберг-Эрцберг и Ок-Теди позднемиоцен-плейстоценового ВПП складчато-надвигового пояса Au-Cu-порфирировая минерализация сопряжена с интрузивами шошонитовой серии. Присутствуют также плутоны предшествующей калиевой известково-щелочной серии, с которыми отдельными исследователями связывается более раннее (Mo)-Cu-порфирировое оруденение. Значительная доля запасов и ресурсов порфирировых месторождений этих систем сосредоточена в скарновых залежах, поскольку во вмещающих породах существенную долю составляют карбонатные отложения (в основном известняки) платформенного чехла – формаций Новогвинейской и Дарай,

которые отсутствуют на вышеописанных объектах миоценового ВПП Мобильного пояса. В рудах в отличие от вышеописанных объектов андезитовидного ВПП молибдена практически нет.

КПМ РМС Грасберг-Эрцберг (площадь около 100 км²) выделена в западной части упомянутого пояса. Ей эквивалентен горнорудный район Эрцберг с разведанными и эксплуатируемыми открытым и подземным способами с 1970–1980-х годов сверхкрупным Au-Cu-порфировым (Грасберг), Au-Cu-скарновыми (рудных полей Эрцберг, Восточный Эрцберг, Кусинг Лайэр и др.) и эпитеpmальным золоторудным (Уанагон Голд) месторождениями. По состоянию на 31 декабря 2022 г. их балансовые и забалансовые запасы (measured + + indicated + inferred ore reserves) и прогнозные ресурсы (inferred mineral resources) в сумме составляли [35] 4,877 млрд т руды при ср. сод.: Cu – 1,02 %, Au – 0,63 г/т, Ag – 3,89 г/т; в пересчёте на металлы: Cu – 49,7 млн т, Au – 3072 т, Ag – 18972 т. С учётом добытых с 1972 г. (Cu – 18,2 млн т и Au – 1828 т) сумма первоначальных запасов и ресурсов: Cu – 67,9 млн т, Au – 4900 т (по добыче серебра данных нет), из которых не менее половины приходится на месторождения Грасберг [59]: Cu – 24 млн т (при ср. сод. 0,6 %), Au – 2560 т (0,64 г/т).

В строении РМС участвуют породы андезит-диорит-монцодиоритовой ВПА плиоценового возраста (рисунки 6, 7): диориты (5 разновидностей от порфиroidных до порфиroidных), порфиroidные монцониты и комагматичные андезиты и трахиандезиты комплекса Далам (3,33–3,12 млн лет); кварцевые монцодиориты раннего (3,16 млн лет) и позднего (3,13 млн лет) этапов внедрения (от равномернозернистых до порфиroidных) с завершающими фазами кварцевых монцодиорит-порфиroidов комплекса Грасберг – штоки (размерами от 900–500 до 450–250 м) и дайки, слагающие воронкоподобную вулканоинтрузивную структуру (~ 1700 × 2400 м), вмещающую Au-Cu-порфиroidное месторождение Грасберг; ранние и поздние дайки монцодиоритов комплекса Кали (3,13–3,06) млн лет; диориты, кварцевые монцодиориты, кварцевые монцонит-порфиры (до гранодиорит-порфиroidов) комплекса Эрцберг (2,7–2,58 млн лет), с массивом которого сопряжены Au-Cu-скарновые залежи вышеназванных рудных полей, а с его дайками – порфиroidное оруденение. Приведённые по публикациям [38, 41, 42, 50, 52] изотопные возраста интрузивных

комплексов определены по биотиту, мусковиту и флогопиту ⁴⁰Ar/³⁹Ar и ⁴⁰K/⁴⁰Ar методами, а Au-Cu-порфиroidного оруденения месторождения Грасберг (2,9 млн лет) – Re-Os методом по молибдениту.

Смятые в складки меловые карбонатно-терригенные (формации Кембеланган) и кайнозойские карбонатные (Новогвинейской формации) отложения в экзоконтактах многофазных плутонов рудоносной формации интенсивно ороговикованы, скарнированы и мраморизованы. Рудно-метасоматическая зональность месторождения Грасберг соответствует «монцонитовой» модели. В ядерной части (600 × 300 м) системы развиты ранние калишпат-биотит-кварцевые метасоматиты с интенсивной вкрапленностью и прожилками магнетита (не менее 8 об.%). На них частично наложена филлизитовая зона (кольцеобразной в плане формы мощностью до 500 м) с минералами кислотного выщелачивания: серицитом, кварцем, пиритом, каолинитом. Эта зона, в свою очередь, к периферии сменяется пропилитовой (эпидот-хлорит-магнетит-пирит-кальцит) зоной. В экзоконтактах интрузива во вмещающих доломитах отмечаются небольшие залежи магнетитовых скарнов с медью и золотом [15].

С многофазным рудоносным магматизмом, приведшим к формированию описываемой РМС, связано многостадийное рудоотложение, что в целом характерно для систем, вмещающих крупные и сверхкрупные МПМ [7, 9, 12, 58]. На месторождении Грасберг выделены более 30 минеральных ассоциаций; определены основные стадии метасоматоза и рудоотложения. На ранней высокотемпературной калиево-кремниевой стадии образовались калишпат-биотитовые (с остаточным кварцем) метасоматиты со штокверком кварцевых прожилков и жил с магнетитом, молибденитом, более редким борнитом (руды с низкими содержаниями Cu и Au, но повышенными Mo), на средней – кварцевый штокверк, вмещающий основные запасы высокосортных Au-Cu-порфиroidных руд с преобладанием среди рудных минералов халькопирита (штокверк совмещён в пространстве с зоной развития биотит-калишпатовых изменений и наложенного зелёного серицита), на поздней стадии – кислотного выщелачивания пород возникли кварц-серицитовые, кварц-серицит-хлоритовые и прочие фации филлизитовой зоны с прожилково-вкрапленной преимущественно пиритовой (с подчинённым количеством халькопирита) минерализацией [28, 50 и др.]

Штокверк сульфидно-кварцевых прожилков, жил и вкрапленности охватывает шток кварцевых монцодиорит-порфиров Мэйн Грасберг, имеет овальную в плане форму, по вертикали прослежен до глубины 1800 м. В его объёме выделены *внутреннее «ядро»* с низкими содержаниями

меди, соответствующее позднему дайкообразному телу монцодиоритов комплекса Кали, *промежуточная зона* (кольцеобразная в плане с мощностью 100–150 м с каждой стороны, совпадающая с биотит-калишпатовой зоной) с наиболее высокими (Cu → 1,5 %, Au → 1,0 г/т; более 3–4 %

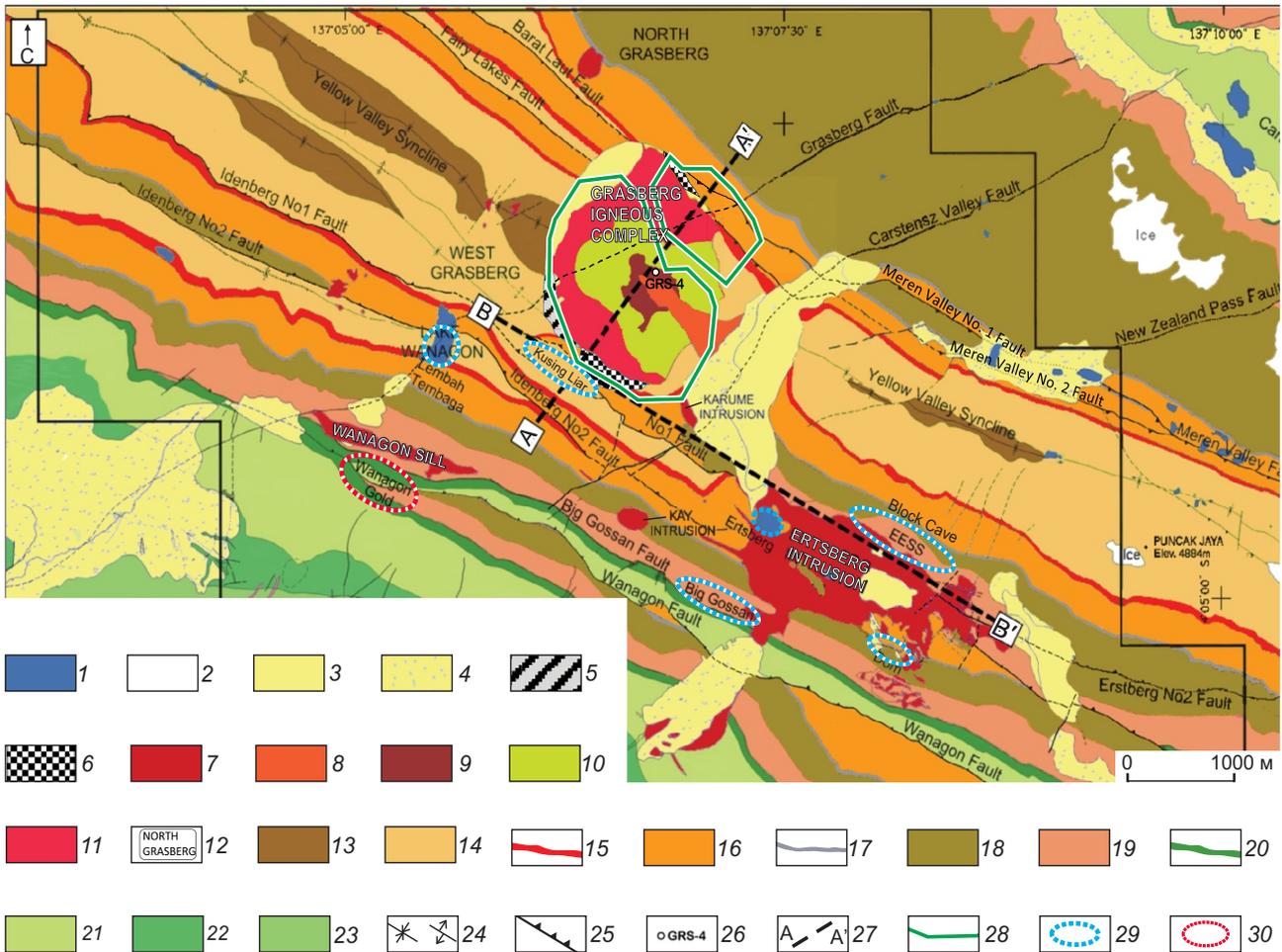


Рис. 6. Геологическая карта горнорудного района Эрцберг. По К. Лейсу и др. [38], с дополнениями по [51]:

1 – озёра; 2 – ледники; 3 – аллювий; 4 – коллювий; 5 – золотоносные полосчатые глины; 6 – минерализованные магматические брекчии; магматические породы: 7 – кварцевые монцодиориты, 8 – дайка Кали, 9 – шток Грасберг, 10 – андезитовые брекчии Далам, 11 – вулканиты Далам, 12 – названия интрузивов; Новогвинейская карбонатная формация – группа Каис: 13 – микритовые известняки и сланцы, Тк4, 14 – микритовые известняки, Тк3, 15 – микритовые известняки и мергели, Тк2, 16 – микритовые известняки с фораминиферами, Тк1, 17 – песчаники Сирга, 18 – известняки Фаумай, 19 – доломитизированные известняки Варипи; формации группы Кембеланган: 20 – известняки Экмай, Кkel, 21 – песчаники Экмай, Кkes, 22 – аргиллиты Пиниуа, 23 – песчаники Уониуоги; 24 – оси синклиналей и антиклиналей; 25 – разломы: трансформные (со сдвиговыми перемещениями), надвиговые и сбросовые; 26 – скважина, «открывшая» месторождение Грасберг; 27 – линии разрезов; рудники и участки месторождений: 28 – карьер Au-(Mo)-Cu-порфирового месторождения Грасберг, 29 – Au-Cu-скарновых (Кусинг Лайэр, Эрцберг, Блок Кэйв, Биг Госсан, Дом, Лембах Тембага), 30 – Au-рудного (Уанагон Голд)

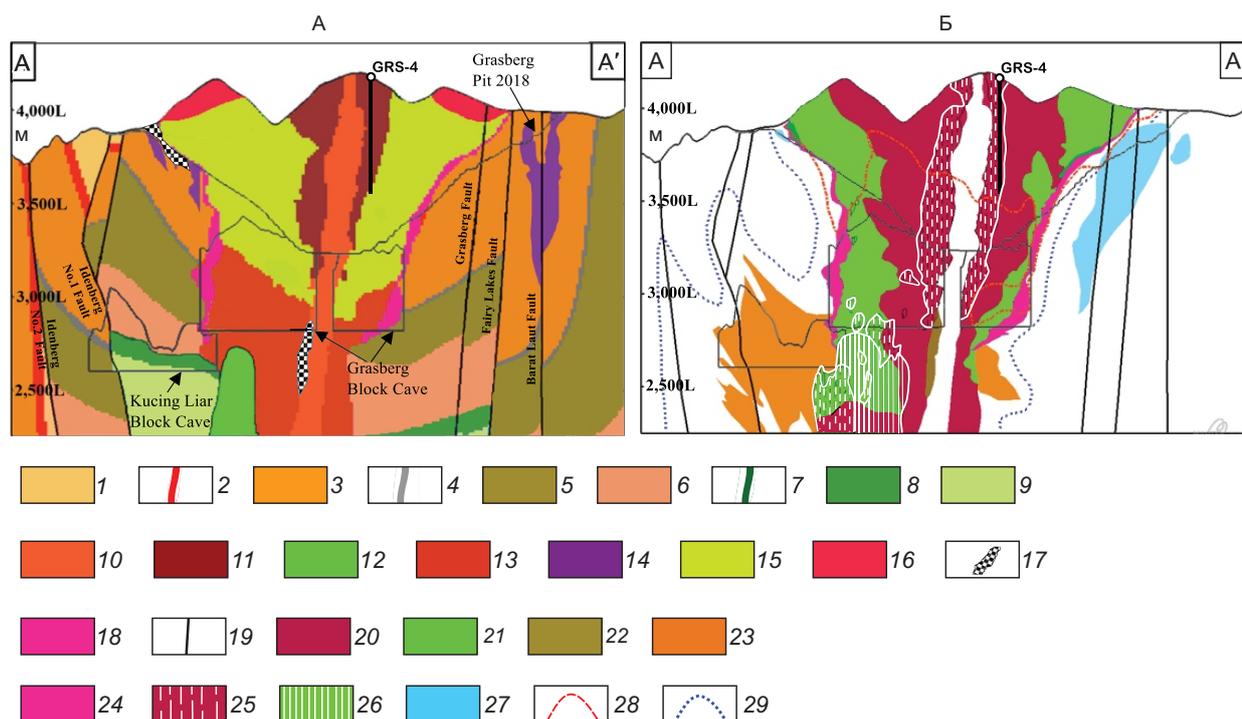


Рис. 7. Разрезы месторождения Грасберг по профилю А-А': А – геологический, Б – с рудно-метасоматической зональностью. По К. Лейсу и др. [38], с изменениями:

осадочные породы: мезозойские и кайнозойские осадочные формации: 1 – Каис 3, 2 – Каис 2, 3 – Каис 1, 4 – Сирга, 5 – Фаумай, 6 – Уарипи, 7 – Экмай (сланцы), 8 – Экмай (известняки), 9 – Экмай (песчаники); кайнозойские вулканогенные и интрузивные породы: 10 – дайка Кали, 11 – главный интрузив Грасберг, 12 – монцониты Гаджа Тидур, 13 – диориты Далам, 14 – валунчатые дайки, 15 – андезитовые брекчии Далам, 16 – вулканиты Далам, 17 – минерализованные магматические брекчии, 18 – залежи массивных сульфидных руд; 19 – разломы; изменения: 20 – К-кремниевые, 21 – филлизитовые ранние системы Гаджа Тидур, 22 – филлизитовые поздние системы Мэйн Грасберг, 23 – скарны, 24 – залежи массивных сульфидных руд; рудный кварцевый штокверк с объёмом прожилковой массы: 25 – > 20 % объёма пород, 26 – > 50 % объёма пород, 27 – известковая брекчия с обломками, занимающая более 10 % объёма породы, 28 – фронт выщелачивания ангидрита; 29 – граница ореола мраморизации

Си эквивалента) и *внешняя* зона (диаметром 500–800 м) с умеренными (Cu – 0,25–1,5 %, Au – 0,1–1,0 г/т; 1–3 % Си эквивалента) содержаниями металлов в рудах, отвечающая филлизитовой зоне (рис. 8). Среди сульфидов меди преобладают халькопирит и борнит. Самородное золото в виде включений размером от 1 до 150 мкм (в среднем ~ 15 мкм) присутствует в этих минералах и реже в дигените [38]. В рудах отмечаются повышенные содержания Pd (до 3500 г/т) [45]. Предполагаются два периода интенсивного рудоотложения: первый, связанный со становлением интрузива комплекса Далам (возникли в основном вкрапленные руды) и второй (главный продуктивный) – со становлением штока Мэйн Грасберг

(сформировался рудный штокверк с Au-Cu минерализацией) [48].

Au-Cu-скарновые залежи рудных полей Эрцберг (Гунунг Биджих) и Восточный Эрцберг (EESS, DOM, Биг Госсан), находящиеся в 2,0 и 2,5 км к юго-востоку от месторождения Грасберг, ассоциируют с интрузивом (2,5 × 1,0 км) и его дайками-апофизами, сложенными кварцевыми монцодиоритами и кварцевыми монцонит-порфирами поздней фазы магматического комплекса Эрцберг и находящимися в подчинении пироксен-биотитовыми диоритами ранней фазы. Au-Cu магнетитовые залежи локализованы в экзоконтактовой зоне интрузивного массива в скарнированных карбонатных породах Новогвинейской формации,

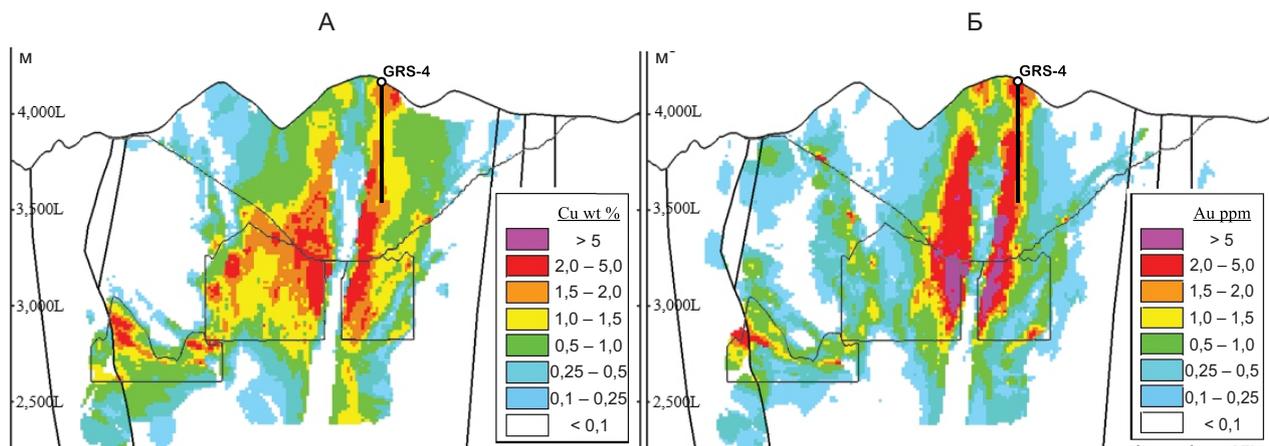


Рис. 8. Разрезы месторождения Грасберг по профилю А-А' с распределением концентраций Cu (А) и Au (Б) [38]

в порфировых дайках развито Au-Cu-порфировое оруденение [15, 28].

Среди скарнов отмечаются как магнезиальные (с форстеритом, монтичеллитом и мелилитом), так и известковые (в том числе известковые апомагнезиальные с развитием флогопита, затем серпентина и талька). Практически во всех их разностях интенсивно развит магнетит, вплоть до мономинеральных магнетитовых скарнов, а медные минералы, главным образом халькопирит и борнит, наложены и сопровождаются постскарновыми метасоматитами.

Построение петрохимических диаграмм отношений $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{SiO}_2$, $\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$, $\text{P}_2\text{O}_5/\text{Al}_2\text{O}_3$ vs. $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ (рис. 9) по данным химического состава интрузивных пород горнорудного района Эрцберг, приведённым в работах [15, 43, 44], показало, что породы рудных полей Грасберг и Эрцберг принадлежат в основном шошонитовой серии, но несколько проб, вероятно, по диоритам комплекса Далам, «попали» в поле высококальциевой известково-щелочной серии. По результатам изотопных [52] и минералогических [56] исследований для Au-Cu-порфирового месторождения Грасберг предполагается более глубокий магматический источник (с меньшей степенью коровой контаминации) металлоносных флюидов, чем для скарновых залежей рудного поля Эрцберг.

В работе К. Лейса с соавторами [38] по результатам минералого-петрографических и изотопно-геохимических исследований выдвинуто предположение о том, что РМС, вмещающая месторождение Грасберг, сформировалась в резуль-

тате наложения двух порфировых систем: медно-(молибденовой) Гаджа Тидур и образовавшейся приблизительно на 250 000 лет позднее медно-золотой Мэйн Грасберг (рис. 10).

Первая сопряжена со интрузивом, сложенным диоритами и порфировидными монцонитами комплексов Гаджа Тидур и Далам возрастом 3,4–3,33 млн лет, с положением кровли на уровне около 2750 м над уровнем моря. Его апикальную часть и экзоконтактную зону охватывает куполообразный кварцевый штокверк с низкосортными (Mo)-Cu рудами (в прожилках и вкрапленности – пирит, халькопирит, ковеллин), окружённый молибденитсодержащими жилами. Штокверк «сопровождается» метасоматитами филлизитовой зоны, судя по описанию объекта, наложенными на более ранние высокотемпературные К-кремниевые (биотит-калишпатовые) и практически полностью их «уничтожившими». Вертикальный размах системы – около 1000 м. Предполагается, что находящиеся на юго-западном фланге месторождения Грасберг скарновые залежи участков Кусинг Лайэр и Лембах Тембага сформированы в период внедрения штока комплекса Далам.

Стержневой элемент более поздней РМС Мэйн Грасберг – одноимённый шток кварцевых монцодиорит-порфиров прослежен от современной поверхности (~ 4200 м над уровнем моря) до глубины 2700 м. Интрузив и вмещающие его вулканиты интенсивно изменены. Выделены внутренняя зона развития ранних калиево-кремниевых метасоматитов, более поздняя филлизитовая (слабо развита) и периферийная пропилитовая (см. рис. 7),

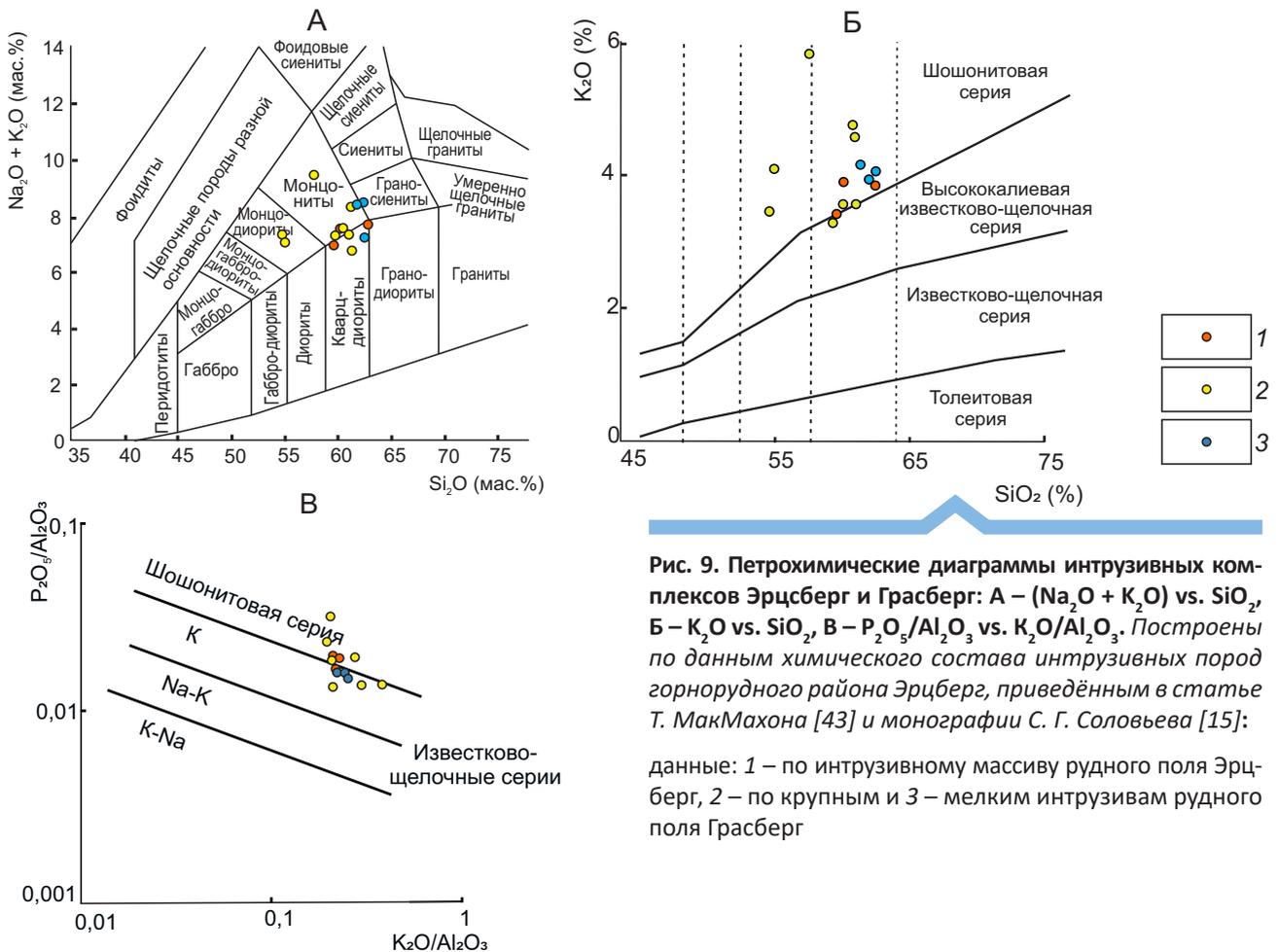


Рис. 9. Петрохимические диаграммы интрузивных комплексов Эрцсберг и Грасберг: А – $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ vs. SiO_2 , Б – K_2O vs. SiO_2 , В – $\text{P}_2\text{O}_5/\text{Al}_2\text{O}_3$ vs. $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$. Построены по данным химического состава интрузивных пород горнорудного района Эрцберг, приведённым в статье Т. МакМахона [43] и монографии С. Г. Соловьева [15]:

данные: 1 – по интрузивному массиву рудного поля Эрцберг, 2 – по крупным и 3 – мелким интрузивам рудного поля Грасберг

минеральный состав которых приведён выше. Цилиндрический по форме кварц-магнетитовый штокверк диаметром около 1 км охватывает порфировый шток и его экзоконтактовую зону. Он рассечён многочисленными кварцевыми жилами и прожилками с халькопиритом, борнитом, пиритом и более редким молибденитом (с изотопным возрастом ~ 3,09 млн лет) так называемого «халькопиритового кольца» шириной 700 м, сопряжённого в пространстве с зоной ранних биотит-калишпатовых метасоматитов. На них наложены филлизиты с пирит-ковеллиновой минерализацией. Впоследствии (3,06 млн лет) описанная система, вертикальный размах которой около 1500 м, была рассечена мощным пострудным дайкообразным телом монцодиоритов комплекса Кали.

Таким образом, КМП РМС Грасберг-Эрцберг может рассматриваться как полиформационная, сформированная в три главных этапа, которые соответствуют периодам становления многофазных интрузивов комплексов Далам, Грасберг и Эрцберг. По составу первый из них принадлежит существенно калиевой известково-щелочной серии, второй и третий – шохонитовой. В сочета-

нии с имеющимися изотопно-геохимическими данными [38, 43, 44, 52 и др.] это может свидетельствовать о процессах дифференции в едином «материнском» магматическом очаге и его сателлитах, как предлагал Т. МакМахон, либо о существовании, к чему склоняется автор данной статьи, нескольких очагов-продуцентов ВПА окраинно-континентального андезитоидного и более позднего рифтогенного ВПП с различным «вкладом» коровых и мантийных расплавов. Более того, на основе данных изотопно-геохимических исследований ($^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$; Re/Os) Р. Мазуром с соавторами [41] разработана модель образования обогащённых золотом руд этого объекта, предполагающая заимствование металла гидротермальными растворами из осадочных протолитов, что может подтверждать роль не только глубинного магматического очага на границе астеносферы с ЗК, но и очага в верхнем слое последней на гипабиссальных или субвулканических глубинах.

Колоссальные запасы и высокие содержания металлов порфирового и скарновых месторождений рассмотренной системы обусловлены многостадийным интегральным рудонакоплением, свя-

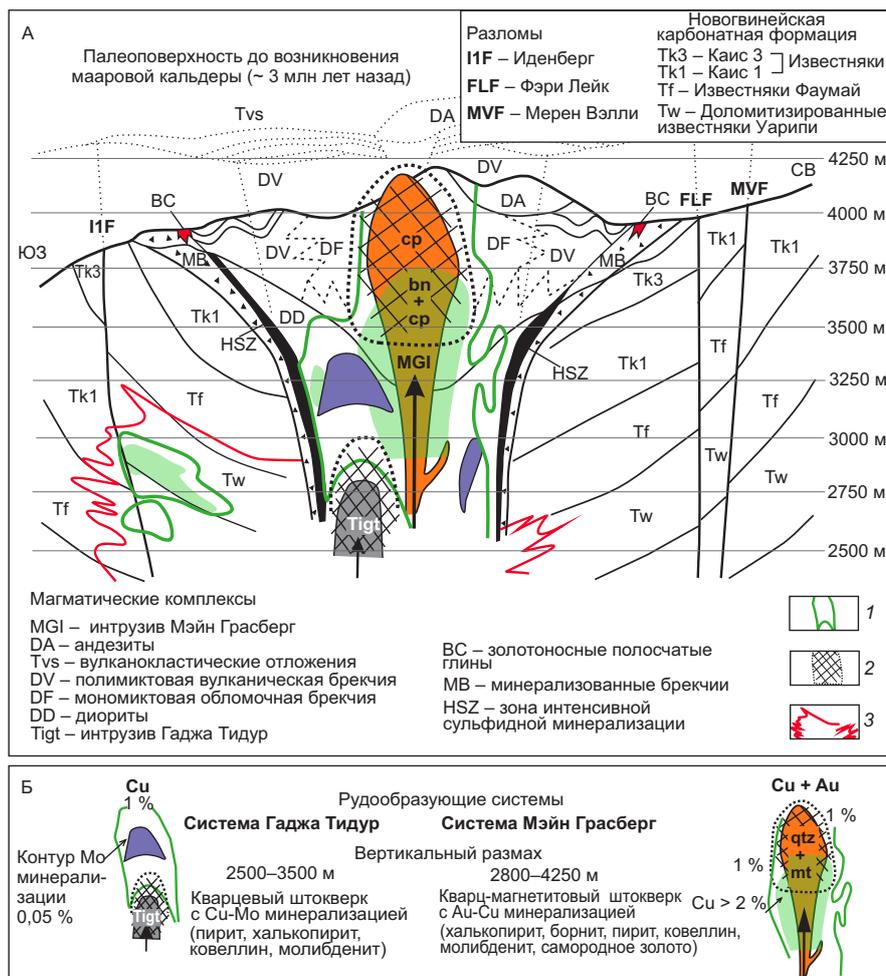


Рис. 10. Модель строения медно-порфировой рудно-магматической системы Грасберг, по К. Лейсу с соавторами [38], с изменениями:

А – схематичный поперечный разрез (с юго-запада на северо-восток) системы по состоянию до внедрения пострудной дайки монцодиоритов комплекса Кали, Б – характеристики рудообразующих систем Гаджа Тидур и Мэйн Грасберг, сопряжённых с одноимёнными интрузивами и совмещённых в пространстве. Пояснения в тексте; 1 – контур меднорудного тела (по бортовому содержанию Cu – 1,0 %); 2 – рудные штокверки; 3 – контур интенсивного скарнирования

занным со становлением трёх продуктивных интрузивных комплексов обеих упомянутых магматических серий, а также формированием этих объектов под толщей малопроницаемых известняков Новогвинейской формации, претерпевших контактовый метаморфизм и скарнирование при внедрении ранних фаз плутонов [2, 3, 30]. При становлении порфировых интрузивов магнетит-содержащие скарновые залежи являлись геохимическими барьерами для рудоносных растворов.

Комплексной РМС принадлежит и самое молодое в мире медно-порфировое месторождение

Ок-Теди, описанное в работах [6, 8, 15, 37, 47, 49, 60 и др.]. Его запасы и ресурсы (до отработки) оцениваются [60] не менее, чем в 5,5 млн т Cu (при ср. сод. 0,64 %) и 700 т Au (0,78 г/т). При этом существенная доля запасов и ресурсов сосредоточена в скарновых залежах во вмещающих карбонатных отложениях. Наиболее современные сведения об этом объекте, включая данные по возрасту интрузивных комплексов и руд, определённых SHRIMP U-Pb датированием циркона и Re-Os-м молибденита, приведены в статье П. Полларда и др. [49 и др.].

Названное Au-Cu-порфировое месторождение расположено в одноимённом горнорудном районе на юге центрального сегмента позднемиоцен-плейстоценового ВПП Папуасского складчато-надвигового пояса – в субмеридионально ориентированной зоне распространения интрузивных массивов, сложенных дифференциатами двух магматических серий – миоценовой известково-щелочной и позднемиоцен-плейстоценовой шошонитовой. На севере этой зоны известно мелкое однотипное месторождение Нонг-Ривер. Характерно, что вулканиты, комагматичные этим плутонам, развиты ограниченно.

Субстрат позднемиоцен-плейстоценового плутонического пояса сложен палеозойскими платформенными комплексами, перекрытыми терригенными отложениями юры–мела и карбонатными позднего мела–среднего миоцена. В геологическом строении района принимают участие морские алевролиты, аргиллиты и песчаники меловой формации Иеру, мощность толщи которых достигает 1500 м. Они со стратиграфическим несогласием перекрыты известняками шельфовой фации формации Дарай эоцен-среднемиоценового возраста мощностью около 300 м (Arnold et al., 1979; Mason, 1997). Выше залегают среднемиоценовые известковые аргиллиты и алевролиты с прослоями известняков и песчаников формации Пньян мощностью около 1000 м и позднемиоцен-плиоценовые вулканокластические породы формации Бирим (рис. 11) [17].

При орогенезе, начавшемся в позднем миоцене и продолжающемся до настоящего времени, отложения названных формаций были смяты с образованием широких вертикальных и опрокинутых складок с осями, ориентированными в основном с востока на запад, и надвигов [40]. Северная часть рудника Ок-Теди находится в пределах одноимённой антиклинали, осложненной к югу от её оси надвигом «Клюв попугая (Parrots Beak)», фиксирующимся «сдвоенным разрезом отложений формаций Иеру и Дарай (рисунки 12, 13).

Р. Пэйджом [47], М. ВанДонгеном [60] и другими исследователями среди магматических образований района выделены средне-позднемиоценовые андезиты и комагматичная габбро-диорит-монцодиоритовая формация группы Маунт Иан (возраст 12–13 млн лет) и плиоцен-плейстоценовый монцодиорит-монцонит-сиенитовая формация, включающая рудоносные интрузивы группы Ок-Теди (2,6–1,1 млн лет), которые при-

надлежат двум вышеназванным сериям. Породы первой из них распространены на севере района, второй – в его центральной и южной частях, где они участвуют в строении РМС.

Непосредственно на участке месторождения откартированы 12 обособленных интрузивов группы Ок-Теди, имеющих форму крутопадающих штоков овальных очертаний с площадью горизонтального сечения от 1–2 до 10 км² и представляющих собой выступы-апофизы скрытого на глубине крупного плутона. По составу – это равнозернистые пироксеновые и биотит-амфиболовые монцодиориты фанеритовой фазы, порфировидные монцодиориты и монцониты (сиениты), кварцевые монцонит-порфиры с высоким содержанием калия [8]. Комагматичных вулканитов нет. Вмещающими породами являются алевролиты формации Иеру и перекрывающие их известняки формации Дарай.

Продолжительность магматической и гидротермальной эволюции РМС Ок-Теди детально изучена П. Поллардом и др. [49] на основе определения геологических взаимоотношений разнотипных метасоматитов, руд и вмещающих исходных пород в комплексе с высокоточным SHRIMP U-Pb датированием циркона и Re-Os датированием молибденита. В результате в пределах рудника были выделены шесть основных интрузивных фаз, последовательность которых соответствует ряду (от ранних к поздним): монцодиорит сиднейского комплекса ($1,368 \pm 0,045$ млн лет), монцодиорит варшавского ($1,269 \pm 0,039$ млн лет), монцодиорит калгурлийского ($1,261 \pm 0,050$ млн лет), кварцевый монцонит-порфир Нинги (QMP) ($1,229 \pm 0,051$ млн лет), кварцевый монцонит боннского ($1,219 \pm 0,040$ млн лет) и кварцевый монцонит-порфир фубиланского ($1,213 \pm 0,049$ млн лет).

Изученные породы рудного района по химическому составу принадлежат в основном шошонитовой серии, лишь монцодиориты самого раннего комплекса Сидней могут быть отнесены к калиевой известково-щелочной (рис. 14). Для всех этих пород характерны высокие отношения Sr/Y, типичные для богатых медью дуговых магм. Нормированные по хондриту спектры REE имеют незначительные отрицательные аномалии Eu или не имеют их вовсе, а спектры HREE имеют нисходящий наклон, что типично для дуговых магм, в которых высокое содержание воды подавляет фракционирование плагиоклаза в пользу фракционирования роговой обманки \pm граната \pm титанита.

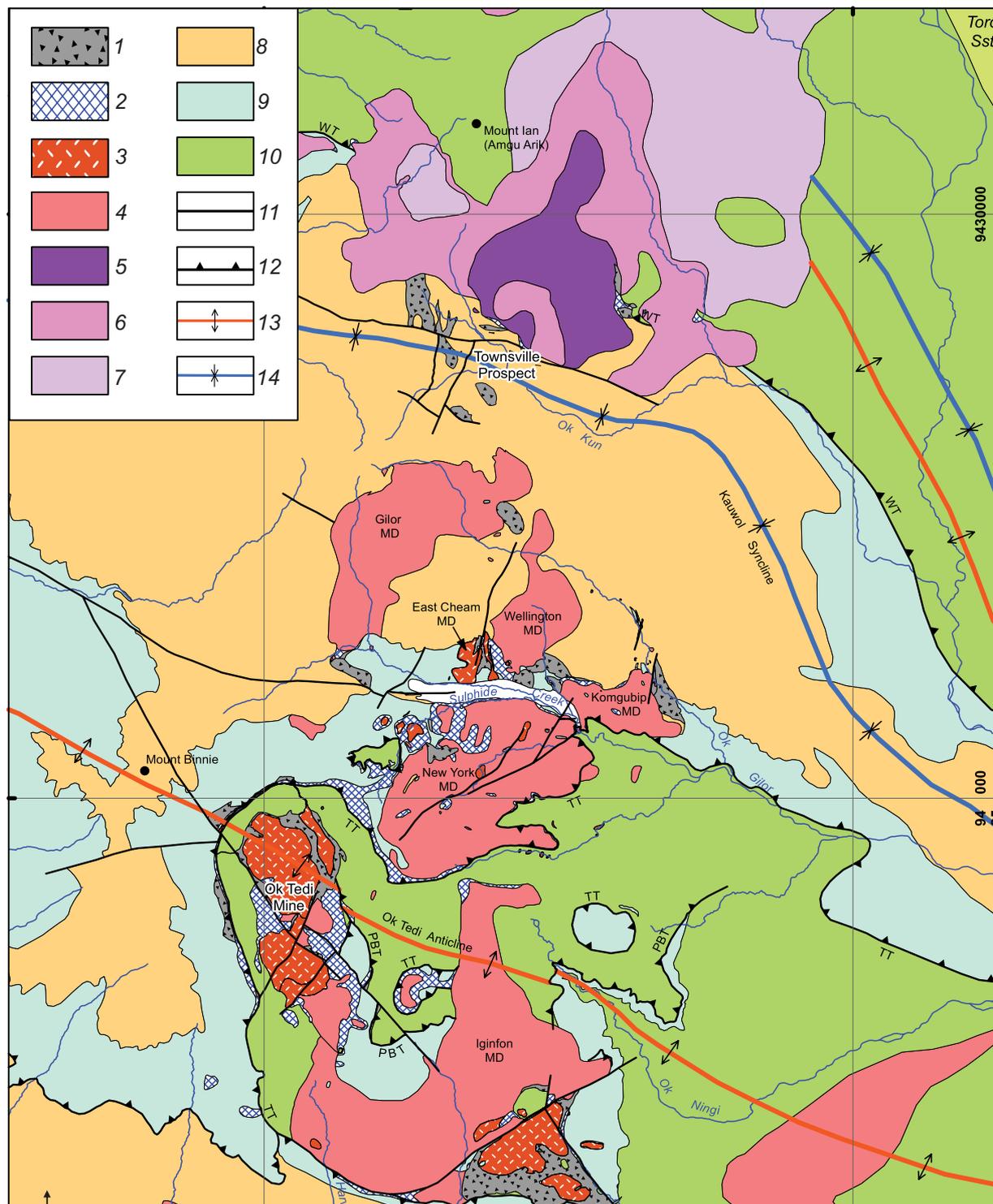


Рис. 11. Геологическая карта горнорудного района Ок-Теди. Одноимённый плутон сложен фанеритовыми равномернозернистыми и порфировидными монцодиоритами и монцонитами. Рудоносная фаза – кварцевые монцонит-порфиры. Надвиговые разломы: PBT – Парротс-Бик, TT – Таранаки, WT – Уайт. По П. Полларду и др. [49]:

1 – брекчи; 2 – скарны; комплекс Ок-Теди: 3 – порфировидные монцодиориты и монцониты, кварцевые монцонит-порфиры, 4 – равномернозернистые монцодиориты; комплекс Маунт Иан: 5 – габбро, 6 – монцодиориты, диориты, 7 – андезиты; осадочные породы: 8 – Пньян, 9 – Дарай, 10 – Иеру; 11 – крутопадающие разломы; 12 – надвиги; оси: 13 – антиклиналей, 14 – синклиналей

Золото-медная штокверковая и сопряжённая скарновая (участки Голд-Коста, Берлин, Таранакки) минерализация локализована в эндо-экзоконтактовых зонах полифазного плутона (см. рис. 12), сложенного равномернзернистыми монцодиоритами Сидней, порфиroidными монцодиоритами Калгури и кварцевыми монцонитами Бонн, завершающими рудоносными кварцевыми монцонит-порфирами (граносиенит-порфирами) Нинги и Маунт Фубилан. Последние слагают одноимённый округлый в плане шток диаметром около 900 м. Возраст ранней фанеритовой фазы монцодиоритов Сидней, слагающих шток размером 1,5 × 2,5 км, около 2,6 млн лет, по [60] и ~ 1,4 млн лет, по [49], завершающей порфировой фазы – кварцевых монцонит-порфиров штока Маунт Фубилан и сопряжённого с ней Au-Cu оруденения – 1,2–1,1 млн лет. Продолжительность периода рудоотложения таким образом оценивается не более, чем в 100 тыс. лет.

Реконструкция истории формирования КМП РМС Ок-Теди, включающей Au-Cu-порфиговое месторождение и залежи Au-Cu-магнетитовых

руд в скарнированных известняках, проведена П. Поллардом с соавторами [49]. По установленным возрастным взаимоотношениям интрузивных комплексов, скарновых залежей, брекчий и жил в сочетании с данными выполненных изотопно-геохимических исследований, дополненных материалами предшествующих работ Р. Бамфорда [20] и Г. Катчана [36] выделены четыре стадии рудообразования.

На *ранней (первой)* стадии при становлении монцодиоритов штока Сидней вмещающие известняки формации Дарай под надвигом «Клюв попугая» были мраморизованы и скарнированы. Возникшие скарновые залежи участков Голд-Кост и Берлин состоят из граната, клинопироксена, актинолита, магнетита, карбонатов и сульфидов. В апикальной части штока развились клинопироксен-гранатовые эндоскарны, которые затем были рассечены жилами, состоящими из эпидота, мушкетовита, кварца, карбонатов и сульфидов (халькопирита, пирита и молибденита). Близкие по времени образования и минеральному составу рудные жилы с калиево-полевошпатовыми и серицитовыми

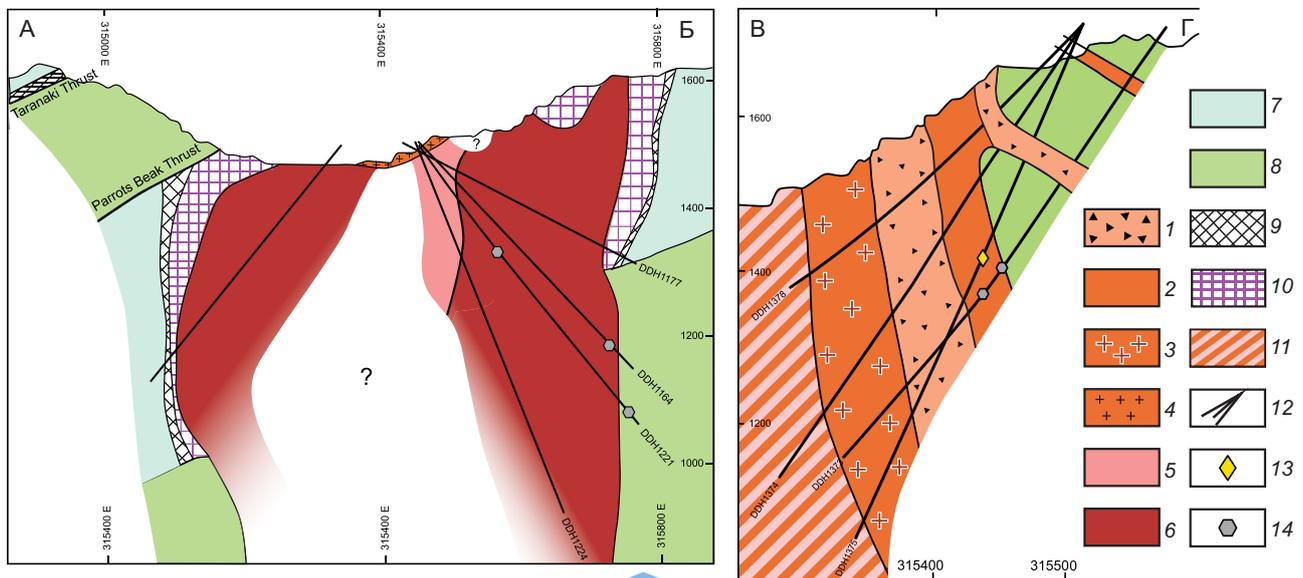


Рис. 13. Геологические разрезы месторождения Ок-Теди по профилям А-Б и В-Г. По [49], с изменениями:

1 – брекчии с преобладанием обломков кварцевых монцонит-порфиров и монцодиоритов; интрузивные комплексы: 2 – кварцевые монцонит-порфиры Фубилан, 3 – кварцевые монцониты Бонн, 4 – кварцевые монцонит-порфиры Нинги, 5 – монцодиориты Варшав, 6 – монцодиориты Сидней; осадочные формации: 7 – известняки Дарай, 8 – алевролиты Иеру; 9 – магнетит-сульфидные экзоскарны; 10 – эндоскарны; 11 – кварцевое ядро; 12 – стволы скважин; места отбора проб для изотопного датирования: 13 – циркон U-Pb методом, 14 – молибденита Re-Os методом

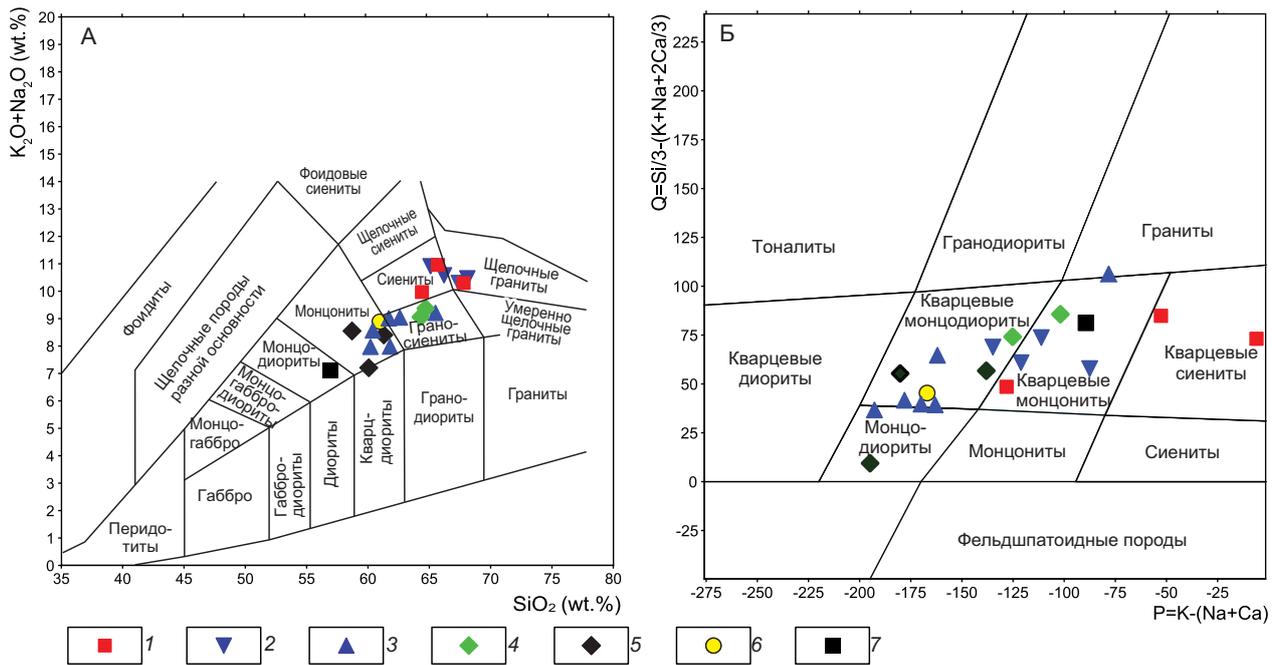


Рис. 14. Петрохимические диаграммы интрузивных комплексов, развитых на участке месторождения Ок-Теди: А – $(K_2O + Na_2O)$ vs. SiO_2 ; Б – Q vs. P, где $Q = Si/3 - (K + Na + 2Ca/3)$, $P = K - (Na + Ca)$. По [49], с дополнениями:

QMP – кварцевые монцонит-порфиры, QM – кварцевые монцониты, MD – монцодиориты; интрузивные комплексы: 1 – Бонн QM, 2 – Фубилан QM, 3 – Калгурли MD, 4 – Нинги QMP, 5 – Сидней MD, 6 – Варшав MD, 7 – ксенолиты MD

оторочками отмечены в самих монцодиоритах и алевролитах формации Иеру.

Ко второй стадии отнесены кварц-ортоклаз-биотитовые жилы с халькопиритом с сопровождающим биотитовым изменением вмещающих пород в самом штоке Сидней, которые секут серицит-эпидот-клиноцоизит-хлорит-карбонатные метасоматиты, близодновременные более ранним эндоскарнам Голд-Кост. Подобные жилы присутствуют также в монцодиоритах комплексов Варшав и Калгурли, а также в кварцевых монцонит-порфирах комплекса Нинги. Близодновременно с ними образовались тела гидротермальных брекчий (мощностью до нескольких метров) с биотитовым изменением цемента.

Этой же стадии рудогенеза, по данным Re-Os датирования по молибдениту, принадлежит Au-Cu минерализация в алевролитах Иеру на северном фланге месторождения Ок-Теди – участке Силтстоун-Ридж, где она локализована в основном в гидротермальных брекчиях с калиево-полевошпатовым и биотит-сульфидным заполнением, а также в жилах и прожилках кварц-ортоклаз-био-

тит-сульфидного состава в калишпатизированных породах.

Минерализация главной рудообразующей третьей стадии проявлена в штоке кварцевых монцонит-порфиров комплексов Бонн и Маунт Фубилан – в основном в биотитизированных интрузивных брекчиях. Их оруденелая песчаноподобная основная масса состоит из мельчайших перетёртых обломков пород практически всех интрузивных комплексов вплоть до основного продуктивного – Маунт Фубилан – и вмещающих осадочных отложений. Состав обломков тот же. Брекчии расчленены небольшими, но многочисленными кварцевыми жилами и прожилками с магнетитом и более поздними пиритом, халькопиритом борнитом, молибденитом, слагающими рудоносный штокверк.

В центральной и северной частях карьера установлена образовавшаяся на этой стадии субвертикальная зона сгущения кварцевых прожилков, «сливающихся» на участке размером примерно 250 на 20 м (в плане) в «кварцевое ядро», прослеженное на несколько сот метров на глубину.

Оно состоит в основном из массивного кварца, к периферии сменяющегося сетью кварцевых прожилков в калишпатизированных кварцевых монцонит-порфирах. Прожилки эти в большинстве своём безрудны; лишь в немногих из них отмечаются пирит, халькопирит, молибденит. В направлении от контактов порфиристового штока к периферии системы интенсивность раннего калиево-кремниевого метасоматоза ослабевает, а более позднего кислотного изменения пород возрастает. Биотит-ортоклазовые метасоматиты постепенно сменяются серицитсодержащими филлизитовой зоны с марказитом, пиритом, халькопиритом, сфалеритом, галенитом и каолинит-монтмориллонитовыми аргиллизитовой [6].

На *поздней (четвёртой)* стадии рудообразования возникла скарновая залежь с Au-Cu минерализацией участка Таранаки на западном фланге месторождения. Она залегает в нижней части толщи известняка Дарай вдоль надвига Таранаки, образуя непрерывное тело, простирающееся от участка Сульфид-Крик до участка Эдинбург через Таранаки и Париж (см. рис. 12). Залежь богата золотом; сложена в основном магнетитом, пиритом и (или) пирротинном; местами с гранатом, клинопироксеном, актинолитом и эпидотом.

Таким образом, основные запасы штокверковых руд месторождения Ок-Теди, главными минералами которых являются халькопирит, борнит, марказит, пирит, магнетит, второстепенными – сфалерит, галенит, молибденит, редкими – самородные Au и Ag, сосредоточены в эндоконтактовой зоне штока кварцевых монцонит-порфиристов (граносиенит-порфиристов) комплекса Маунт Фубилан. Повышенные содержания металлов отмечаются в магматических (эруптивных) брекчиях. На ранние калиево-кремниевые метасоматиты с Au-Cu штокверковой минерализацией наложены более поздние серицитсодержащие филлизитовой зоны с полисульфидными рудами и каолинит-монтмориллонитовые аргиллизиты – продукты кислотного выщелачивания пород с участием метеорных вод. Рудно-метасоматическая зональность объекта в целом соответствует «монцонитовой» модели.

Известняки формации Дарай в экзоконтактовой зоне многофазного интрузивного массива интенсивно скарнированы и мраморизованы; по самим монцонидиоритам развиты эндоскарны. Скарновые залежи в известняках формации Дарай образуют «кольцо» по надвиговым разломам, «от-

деляющим» их от толщи алевролитов формации Йеру. В магнетитсодержащих экзоскарнах, а точнее в апоскарновых метасоматических залежах с массивными магнетит-халькопиритовыми рудами, содержащими также пирит, пирротин, марказит, сфалерит и галенит, сосредоточена существенная доля запасов меди и золота месторождения Ок-Теди. Эти залежи, скорее всего, сформированы металлоносными флюидами, отделившимися при становлении штока кварцевых монцонит-порфиристов Маунт Фубилан, а образовавшиеся ранее (при внедрении монцонидиоритов основных фаз плутона) тела богатых железом магнетитовых скарнов являлись для них геохимическими барьерами.

Описанная КПМ РМС с Au-Cu-порфиристовым месторождением и сопряжёнными залежами Au-Cu-скарновых руд сформирована в результате многостадийного рудоотложения, генетически связанного со становлением нескольких фаз рудоносной плутоногенной формации – дифференциатов мощного магматического очага. Сочетание этого фактора со структурно-литологической обстановкой локализации объекта – наличием над рудоносным интрузивом малопроницаемой мраморизованной карбонатной толщи, игравшей роль «структурно-петрофизического экрана» [2, 3, 30], отразилось в высоких (для МПМ) содержаниях Cu (до 1,5 % и выше) и Au (десятые–первые г/т) в гипогенных рудах. Промышленная ценность месторождения Ок-Теди также определяется развитием мощной зоны окисления [6]. В зоне вторичного сульфидного обогащения содержание Cu в рудах варьирует в пределах 1,0–4,0%. В центральной части меднорудного тела её мощность достигает 300–400 м, уменьшаясь до 30–170 м у западного края и до 50–180 м на востоке. В залегающих выше зонах выщелачивания и смешанных руд суммарной мощностью от 15 до 200–250 м содержание Cu в среднем 0,06 и 1,0 %.

Выводы. 1. Рассмотренные на основе проанализированных публикаций комплексные медно-порфиристовые системы Новогвинейской провинции сформировались в результате тектоно-магматических процессов, сопровождавших становление миоценового андезитовидного окраинно-континентального (дуги Маримуни) и плиоцен-плейстоценового внутриконтинентального ВПП. Первый из них входит в структуры Мобильного метаморфического пояса (СФЗ), второй – Папуасского складчато-надвигового. Вместе они образуют

Центральный горный хребет, протягивающийся по осевой части о. Новая Гвинея в З-СЗ направлении. Севернее находится аккретированный к Австралийской платформе Новогвинейский базальтоидный островодужный пояс, южнее – предгорный прогиб с гранитно-метаморфическими комплексами фундамента кратона и задуговой бассейн.

Андезитоидный ВПП, в пределах которого расположены описанные КИМ РМС Уафи-Голпу и Фрида-Ривер с гигантскими Au-(Mo)-Cu-порфиrowыми и сопряжёнными с ними эпитеpмальными благороднометалльными месторождениями, возник в ходе тектоно-магматической активизации окраины платформы при пологой субдукции под неё Каролинской океанической плиты (с плато Еурипик), начавшейся в позднем мелу и продлившейся, предположительно, до миоцена. Рудоносными являются многофазные плутоны габбро-диорит-монцодиоритовой формации высококалиевой известково-щелочной серии.

Находящийся южнее, в Папуасском складчатонадвиговом поясе, более молодой плиоцен-плейстоценовый ВПП образовался в позднеколлизийный период (3,6 млн лет–н/в) развития региона, когда режим сжатия, установившийся приблизительно с 12 млн лет назад из-за столкновения Тихоокеанской плиты с Австралийской, при орогенном воздымании сменился растяжением с возникновением рифтов и проявлением шошонитового магматизма. С интрузивами принадлежащей к его продуктам монцодиорит-монцонит-сиенитовой формации ассоциируют медно-порфиrowые системы с крупнейшими Au-Cu-порфиrowыми месторождениями Грасберг и Ок-Теди со скарновыми залежами с наложенной золото-медной минерализацией. В рудах этих объектов в отличие от вышеописанных месторождений андезитоидного пояса практически нет молибдена. Характерно, что в самом молодом, формирующемся по сей день ВПП, кроме плутонов шошонитовой серии, присутствуют интрузивы калиевой известково-щелочной (диориты и порфиrowидные монцониты комплекса Далам на Грасберге; габбро, диориты, монцодиориты комплекса Маунт Иан на Ок-Теди), участвующие в строении полиформационных массивов и сопряжённых с ними РМС.

2. Различия в геотектонической позиции упомянутых ВПП, петрологии слагающих их ВПА, а также литологии вмещающих осадочных формаций отразились не только в вещественном составе руд порфиrowых месторождений, в частности в содержаниях Mo, но и в сочетаниях сопряжённых с ними в объёме единых РМС место-

рождений иных РФТ. В системах миоценового андезитоидного пояса с Au-(Mo)-Cu-порфиrowыми месторождениями Уафи-Голпу и Фрида-Ривер присутствуют эпитеpмальные Au и Au-Ag месторождения HS и IS типов, а скарновых из-за отсутствия карбонатных отложений естественно нет. Наоборот, в КИП РМС с Au-Cu-порфиrowыми месторождениями Грасберг и Ок-Теди плиоцен-плейстоценового ВПП, в котором излившиеся аналоги рудоносных многофазных плутонов монцодиорит-монцонит-сиенитовой формации распространены ограниченно (из-за подавления вулканизма при латеральном сжатии в начале заложения этого пояса, а также «бронирования» воздействия платформенного карбонатного чехла), промышленных эпитеpмальных благороднометалльных объектов нет, но широко распространены скарновые залежи с Au-Cu минерализацией в известняках формаций Дарай и Новогвинейской.

3. С учётом имеющихся данных и теоретических разработок А. Д. Щеглова и И. Н. Говорова [16], И. Д. Рябчикова [14], И. И. Абрамовича [1], Н. В. Короновского и Л. И. Деминой [5], Д. Муллера и Д. Гровса [45], Дж. Ричардса [53, 54], Р. Силлитоу [58], Дж. Хронски с соавторами [34] и др. можно предположить, что источники магм и металлоносных флюидов для рассмотренных ВПП и принадлежащих им комплексных медно-порфиrowых систем различны. Для аккретированного к Австралийскому кратону Новогвинейского пояса, как и для описанных в недавней статье И. Ф. Мигачёва и др. [10] подобных островодужных ВПП Юго-Восточной Азии и Океании, это неглубоко залегающие базитовые очаги в океанической коре. Для миоценового андезитоидного орогенно-активизационного (дуги Маримунни) и плиоцен-плейстоценового рифтогенного поясов с континентальным субстратом – магматические очаги на границе мантии с ЗК. Механизмы возникновения подобных очагов рассмотрены вышеназванными исследователями.

Глубинные магматические очаги *андезитоидных* ВПП возникали за счёт частичного плавления вещества субдуцировавшей под окраину континента океанической плиты, металлоносных морских осадков и вышележащего мантийного слэба (клина), подвергавшегося метасоматическому преобразованию под воздействием флюидов, поднимавшихся от этой плиты при её дегидратации. Выплавлялись базитовые по составу, водонасыщенные, окисленные магмы с серой в сульфатной форме и халькофильными элементами – Cu и Au [54]. Тепло и флюиды, отделявшиеся при частич-

ной кристаллизации таких очагов в приподошвенной зоне литосферы, приводили к анатексису СВК последней. Появлявшиеся гибридные расплавы, из-за меньшей плотности в сравнении с вышележащими коровыми комплексами, поднимались («всплывали») по глубинным разломам на верхние уровни ЗК, достигая гранитного слоя. Происходили частичное расплавление и ассимиляция СВК этого слоя. В результате смешения мантийных и коровых расплавов появлялись магмы среднего состава (от андезитовых до дацитовых) – продуценты гранитоидов известково-щелочной серии. Их подъём на гипабиссальные и субвулканические уровни контролировался проницаемыми зонами, возникавшими при сдвиговых деформациях в областях сопряжения парных внутридуговых (осевых поясных) и поперечных по отношению к ним глубинных трансформных разломов [21, 22]. На глубинах до 15 км возникали «промежуточные» магматические очаги, которые в состоянии «неустойчивого равновесия» с небольшим, но варьирующим по интенсивности флюидным потоком, отражающим кинетически медленные процессы газоотделения и дренирования всё более глубинных остывающих и кристаллизующихся частей магматических камер («материнских» гранитоидных батолитов), могли существовать миллионы лет, проявляясь на дневной поверхности слабой вулканической и фумарольной активностью [58].

Важно отметить, что мощные промежуточные очаги и флюидные плюмы с концентрацией металлов, являющиеся главными факторами формирования гигантских МПМ андезитоидных ВПП, появлялись лишь на определённых отрезках магматических дуг при пологой субдукции океанических плит с асейсмичными хребтами и плато под континентальные окраины, которая приводила к росту мощности литосферы и латеральному сжатию с перерывом в вулканизме. Такая ситуация отмечается в отдельных сегментах андийских, кордильерских, центральноамериканских, азиатских и описанном новогвинейском (Маримунни) андезитоидных ВПП, где сосредоточено большинство МПМ мирового класса [21]. Практически все эти объекты принадлежат КМП РМС, в которых кроме них присутствуют рудные месторождения сопряжённых, унаследованных и реже более поздних (наложенных) РФТ [4, 11].

В принципе та же ситуация отмечается и в базальтоидных островодужных поясах – филиппин-

ских и дуги Санда, где также встречаются крупные (но не гигантские) Au-Cu-порфировые и сопряжённые с ними эпитепральные благородно-металльные месторождения – КМП РМС Багио и Манкайян (Лепанто – FSE) (Филиппины); Бату Хайджау, Тумпангпиту, Иланг (Индонезия). Одним из необходимых условий их формирования является всё тот же режим сжатия, проявившийся при субдукции Индо-Австралийской плиты с океаническим плато Ру под Евро-Азиатскую и последней из них с хребтом Скарборо под Филиппинскую. Отличием являются меньшая мощность ЗК и положение рудоносных базитовых очагов в базальтовом слое, отсутствие коровой контаминации и соответственно рудных объектов унаследованного и наложенного типов в комплексных системах.

Глубинные очаги самого молодого на о. Новая Гвинея рифтогенного ВПП Папуасской складчатонадвиговой СФЗ возникли, по-видимому, ещё на этапе позднемиоценовой транспрессии с надвиганием террейнов Новогвинейской островной дуги и Мобильного пояса с миоценовым ВПП на северную окраину Австралийского кратона, вызванной дрейфом на запад Тихоокеанской плиты. Появление мантийных диапиров – источников шошонитовых магм в переходном слое между ЗК и астеносферой – произошло, вероятно, в плиоцене, когда этот регион с находящимся севернее Мобильным поясом испытал быстрое поднятие (орогенез) со сменой режима сжатия растяжением и возникновением глубоко проникающих рифтовых структур, по которым расплавы и флюиды поднимались в верхние слои коры. Эти процессы сопровождалась повторным переплавлением мантийных и литосферных блоков, обогащённых металлами в предшествующий субдукционный период, о чём, в частности, свидетельствует присутствие в описанных рудных районах (КМП РМС) плиоцен-плейстоценового ВПП Новой Гвинеи плутонов как шошонитовой, так и калиевой известково-щелочной серий, с формациями каждой из которых генетически связано разновозрастное орудование.

4. Определяющим фактором рудонакопления в значительных масштабах являлась обстановка «вскрытия» (разгрузки) рудно-магматических очагов. Возможными триггерами (спусковыми механизмами) этого процесса с катастрофичными по масштабам декомпрессией и выбросом флюидной фазы могли быть: надвиговые (взбросо-

сдвиговые) деформации с разрядкой тектонических напряжений, сопровождаемые сильными землетрясениями; обрушение вулканических сооружений при орогенезе со сменой режима сжатия растяжением; неоднократное поступление новых порций расплава из глубинных очагов в промежуточные, нарушавшее их состояние (вызывало выброс флюидонасыщенного расплава с его подъёмом на верхние гипсометрические уровни и возникновением порфировых штоков и даек-апофиз с мультстадийной порфировой минерализацией), и, наконец, эрозия поднятых тектонических блоков, приводившая к превышению гидростатического (флюидного) давления над литостатическим с гидроразрывом апикальных частей порфировых интрузивов и пород вскрыши и возникновением каркасов мелкой взрывной трещиноватости, по которым циркулировали рудоносные растворы.

Немаловажными при этих процессах являлись структурно-петрофизические условия вскрытия промежуточных гипабиссальных и субвулканических очагов [2, 3, 30, 58]. Наличие над кристаллизующимися интрузивами рудоносных формаций малопроницаемых толщ, склонных к пластическим деформациям (при высоких температурах и давлении), препятствующим возникновению трещинных структур и соответственно циркуляции рудообразующих растворов, таких как карбонатная толща формаций Дарай и Новогвинейской на Au-Cu-порфировых месторождениях Грасберг и Ок-Теди плиоцен-плейстоценового ВПП либо пород с упруго-вязкой деформационной природой с повышенными пределами прочности, таких как андезибазальтовые лавы формации Фареллонес с субвулканическими силлами и штоками долеритов мафического комплекса Теньенте на Cu-Mo-порфировых месторождениях Эль Теньенте, Рио Бланко – Лос Бронсес, Лос Пеламбрес в Чили, способствовало концентрации рудного вещества, что приводило в конечном итоге к образованию гигантских скоплений высокосортных руд. Необходимо также отметить, что магнетит-содержащие скарны, развитые по известнякам и доломитам, и богатые Fe магматические породы основного состава являлись геохимическими барьерами для рудоносных растворов.

Повышенная золотоносность штокверковых руд месторождений Грасберг и Ок-Теди, как и отсутствие на этих объектах аргиллизитовой шляпы с эпитермальным благороднометалльным оруде-

нением, тоже может быть объяснена экранирующим воздействием перекрывающей карбонатной толщи, которая препятствовала подъёму (в верхние части РМС) лёгкой газовой фазы с Au и Ag, обычно отделявшейся от высококонцентрированных рассолов, отлагавших в эндоконтактных областях порфировых штоков медно-порфировые руды.

5. На запасы сформировавшихся медно-порфировых месторождений определённо влияли продолжительность функционирования рудообразующих РМС и многостадийность минералообразования. По работам Р. Силлитоу, Дж. Мортенсена, В. Максаева, Дж. Каннелла, Дж. Чанга, У. Ли, К. Деккарта, М. Кьяради, Л. Каричи, Х. Штейна, П. Полларда, С. Шелле-Мишу, А. Циммермана, обобщённых П. Поллардом и др. [49], периоды рудоотложения на МПМ варьируют в широких пределах – от 5–2 млн лет (Эль-Сальвадор, Рио Бланко – Лос Бронсес, Лос-Пеламбрес, Куаллавеко и др. в центральных Андах, Юлонг в Тибете) до 1 млн лет–нескольких сотен тыс. лет (Эль-Теньенте, месторождения южных Карпат), а в некоторых случаях – до 100 и менее тыс. лет (Уафи-Голпу, Грасберг, Ок-Теди).

Продолжительность деятельности рудогенерирующих гидротермальных систем определяется периодами «раскрытия» промежуточных, а также глубинных магматических очагов – основных «поставщиков» металлоносных флюидов и необходимой энергии. Промежуточные очаги в режимах субдукционного и коллизионного сжатия (до орогенеза) в состоянии «неустойчивого равновесия» могли существовать, по оценкам Р. Силлитоу, Дж. Ричардса, С. Хейнрича, И. Штейнберга и др. исследователей, значительно большее время, чем продолжалось рудообразование – от сотен тысяч до первого десятка млн лет. Последнее можно предположить для очагов КМП РМС Уафи-Голпу и Фрида-Ривер – Нена надсубдукционного андезитоидного ВПП (Мобильного пояса) Новогвинейской металлогенической провинции.

Содержания металлов и запасы руд крупнейших Cu-Mo-порфировых месторождений (Чукикамата, Рио Бланко – Лос Бронсес, Эль-Сальвадор и др.), где обычно проявлены одна-две продуктивные стадии рудогенеза, хотя стадий минерализации обычно более десятка, «коррелируют» со значительной продолжительностью деятельности вмещающих их РМС (млн–сотни тыс. лет), определяемой долго живущими магматическими очагами.

Гигантские Au-(Mo)-Cu- и Au-Cu-порфировые объекты Новогвинейской провинции сформировались в существенно более короткие сроки (менее 200–100 тыс. лет), но стадий минерализации обычно несколько десятков, из них рудообразующих – не менее четырёх. Необычно высокие (для МПМ) содержания Au и Cu в рудах месторождений Грасберг и Ок-Теди обусловлены также упомянутыми «подэкранной» обстановкой рудоотложения и наличием скарновых залежей – геохимических барьеров для металлоносных флюидов. Кроме того, в составе многофазных интрузивных массивов, с которыми ассоциируют эти объекты, установлены дифференциаты не только шшонитовой серии рифтогенного плиоцен-плейстоценового ВПП, но и калиевой известково-щелочной предшествующего миоценового андезитовидного окраинно-континентального пояса. Как показано в работе К. Лэйса с соавторами [38], РМС Грасберг-Эрцберг фактически наложена на систему Гаджа-Тидур, образовавшуюся при становлении второго из названных ВПП. Интегральное рудонакопление отразилось в колоссальных запасах высокосортных Au-Cu-порфирового (Грасберг) и сопряжённых с ним скарновых (Кучинг-Лайр, Большой Госсан, Эртсбергская группа) месторождений. Такая же ситуация не исключена и для КМП РМС Ок-Теди, где на северном фланге находится многофазный плутон комплекса Маунт Иан габбро-диорит-монцитовой формации известково-щелочной серии андезитовидного ВПП.

Для КМП РМС Уафи-Голпу, принадлежащей последнему, причины возникновения огромных запасов высокосортных Au-Cu руд иные. Важной среди них, помимо наличия мощного рудоносного магматического очага, явилось интегральное мультстадийное рудонакопление, обусловленное многократным телескопированием расплава с металлоносными флюидами по сравнительно узкому трубообразному каналу с совмещением в геологическом пространстве многочисленных минеральных ассоциаций Au-Cu-порфирового (Голпу) и наложенного на него эпитеpmального Au-Ag месторождения (Уафи). Не исключено, что при образовании этого объекта рудное вещество отчасти могло быть заимствовано из СВК аккрецированного к окраине Австралийской платформы островодужного базальтоидного Новогвинейского ВПП, что отразилось в повышенной золотоносности руд.

Рассмотренные геодинамические, структурно-петрофизические, геохимические факторы формирования гигантских медно-порфировых и сопряжённых скарновых и эпитеpmальных благороднометалльных месторождений Новогвинейской металлогенической провинции могут быть использованы для совершенствования геолого-генетических моделей рудообразующих медно-порфировых РМС и построенных на их основе прогнозно-поисковых моделей рудных районов (узлов) и полей.

Авторы глубоко благодарны Татьяне Александровне Чуриловой за техническую помощь в подготовке статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамович И. И.* Геодинамика и мантийные корни рудных формаций. – М. : Министерство природных ресурсов Российской Федерации, всерос. науч.-исслед. геологический институт им. А. П. Карпинского и др., 1998. – 139 с.
2. *Звездов В. С.* Обстановки формирования крупных и сверхкрупных медно-порфировых месторождений // *Отечественная геология.* – 2019. – № 5. – С. 16–35.
3. *Звездов В. С.* Структурно-петрофизические обстановки формирования медно-порфировых штокверков // *Отечественная геология.* – 2021. – № 6. – С. 3–44.
4. *Звездов В. С., Мигачев И. Ф., Минина О. В.* Комплексные медно-порфировые рудно-магматические системы андезитовидных и базальтоидных вулканоплутонических поясов // *Отечественная геология.* – 2023. – № 5. – С. 35–71.
5. *Короновский Н. В., Демина Л. И.* Магматизм как индикатор геодинамических обстановок. – М. : КДУ, 2011. – 234 с.
6. *Кривцов А. И.* Геологические основы прогнозирования и поисков медно-порфировых месторождений. – М. : Недра, 1983. – 255 с.
7. *Кривцов А. И., Звездов В. С., Мигачев И. Ф., Минина О. В.* Медно-порфировые месторождения. Сер. Модели месторождений цветных и благородных металлов. – М. : ЦНИГРИ, 2001. – 232 с.

8. *Кривцов А. И., Мигачев И. Ф., Попов В. С.* Медно-порфиновые месторождения мира. – М. : Недра, 1986. – 236 с.
9. Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов. Вып. «Медь» / А. И. Кривцов, И. Ф. Мигачев, А. Г. Волчков, Р. Н. Володин, В. С. Звездов, О. В. Минина, Ю. В. Никешин. – М. : ЦНИГРИ, 2002. – 212 с.
10. *Мигачев И. Ф., Звездов В. С., Конкин В. Д.* Палеотектоническая позиция базальтоидных вулканоплутонических поясов с медно-порфиrowыми месторождениями // Руды и металлы. – 2024. – № 3. – С. 28–46.
11. *Мигачев И. Ф., Звездов В. С., Минина О. В.* Формационные типы медно-порфиrowых месторождений и их рудно-магматические системы // Отечественная геология. – 2022. – № 1. – С. 26–48.
12. *Минина О. В., Звездов В. С., Мигачев И. Ф., Гирфанов М. М.* Крупные медно-порфиrowые рудно-магматические системы и их геотектоническая позиция. Обзор. – М. : ВИЭМС, 1991. – 54 с.
13. *Полезные ископаемые Австралии и Папуа Новой Гвинеи* : в 2 т. / Под ред. К. Найта. Т. 1. – М. : Мир, 1980. – 658 с.
14. *Рябчиков И. Д.* Происхождение мантийных метасоматизирующих флюидов // Метасоматиты докембрия и их рудоносность: сборник научных трудов. – М. : Наука, 1989. – С. 16–21.
15. *Соловьев С. Г.* Металлогения шоссонитового магматизма : в 2 т. – М. : Научный мир, 2014. – Т. 1. – 525 с. – Т. 2. – 470 с.
16. *Щеглов А. Д., Говоров И. Н.* Нелинейная металлогения и глубины Земли. – М. : Наука, 1985. – 324 с.
17. *Arnold G. O., Griffin T. J., Hodge C. C.* Geology of the Ok Tedi and southern Atbalmin // Geological Survey of Papua New Guinea. – 1 : 100,000 sheet and text. – Report 79/3. – 1979. – 98 p.
18. *Bainbridge A. L., Hitchman S. P., De Ross G. J.* Nena copper-gold deposit // Geology of Australian and Papua New Guinea mineral deposits: Melbourne, Australasian Institute of Mining and Metallurgy Monograph 22 / Eds. D. A. Berkman, D. H. Mackenzie. – 1988. – P. 855–861.
19. *Baldwin S. L., Fitzgerald P. G., Webb L. E.* Tectonics of the New Guinea region // Annual Review of Earth and Planetary Sciences. – 2012. – V. 40, № 1. – P. 495–520.
20. *Bamford R. W.* The Mount Fubilan (Ok Tedi) porphyry copper deposit, Territory of Papua and New Guinea // Economic Geology. – 1972. – V. 67. – P. 1019–1033.
21. *Cook D. R., Hollings P., Walshe J. S.* Giant porphyry deposits: characteristics, distribution and tectonic controls // Economic Geology. – 2005. – V. 100, № 5. – P. 801–818.
22. *Corbett G. J., Leach T. M.* Southwest Pacific Rim gold-copper systems: structure, alteration and mineralization // Society of Economic Geologists Special Publication. – 1998. – № 6. – 237 p.
23. *Davies H. L., Williamson A. N.* Explanatory notes to accompany Buna 1 : 250 000 geological map // Geological Survey of Papua New Guinea. – 2001. – P. 1–23.
24. *Dewey J., Bird J.* Plate Tectonics and Geosynclines // Tectonophysics. – 1970. – V. 10. – P. 625–638.
25. *Dow D. B.* A geological synthesis of Papua New Guinea // Bureau of Mineral Resources (Aust.), Geology and Geophysics. – Bulletin 201. – 1977. – 41 p.
26. *Findlay R. H., Arumba J., Abbott L. D., Nekitel D., Ninkama J., Kop G., Tekeve B.* The stratigraphy and tectonics of Markham: Explanatory notes to accompany the revision of the Markham 1 : 250 000 geological atlas // Geological Survey of Papua New Guinea. – 1997.
27. *Frieda River Copper and Gold Project* [Электронный ресурс]. – URL : <http://www.highlandspacific.com> (дата обращения 25.12.2024)
28. *Friehauf K. C., Titley S. R., Gibbins S. L.* Porphyry-style mineralisation in the Ertsberg diorite, Gunung Bijih (Ertsberg/Grasberg) district, West Papua, Indonesia // Super porphyry copper and gold deposits – a global perspective, PGC Publishing, Adelaide / Ed. T. M. Porter. – 2005. – V. 2. – P. 357–366.
29. *Gibbins S. L.* The magmatic and hydrothermal evolution of the Ertsberg intrusion in the Gunung Bijih (Ertsberg) mining district, West Papua, Indonesia. The Ph.D. dissertation. – Tucson : The University of Arizona, 2006. – 384 p.
30. *Gow P. A., Walshe J. L.* The role of preexisting geologic architecture in the formation of giant porphyry-related Cu ± Au deposits: examples from New Guinea and Chile // Economic Geology. – 2005. – V. 100. – P. 819–833.
31. *Hall R. J., Britten R. M., Henry D. D.* Frieda River copper-gold deposits // Geology of the mineral deposits of Australia Papua New Guinea. Melbourne, Australasian Institute of Mining and Metallurgy Monograph 14 / Ed. F. E. Hughes. – 1990. – V. 2. – P. 1709–1715.
32. *Hill K.C., Hall R.* Mesozoic-Cenozoic evolution of Australia's New Guinea margin in a west Pacific context // Geological Society of America. – 2003. – Special Paper 372. – P. 265–290.
33. *Hill K., Kendrick R., Crowhurst P., Gow P.* Copper-gold mineralization in New Guinea: tectonics, lineaments, thermochronology and structure // Australian Journal of Earth Sciences. – 2002. – V. 49. – P. 737–752.
34. *Hronsky J. A. M., Groves D. A., Loucks R. R., Begg G. C.* A unified model for gold mineralization in accretionary orogens and implications for regional-scale exploration targeting methods // Mineralium Deposita. – 2012. – V. 47. – P. 339–358.
35. *Issel A., Edgar I., Seymour E. D.* Summary of mineral reserves and mineral resources for Grasberg minerals

- district central Papua // Indonesia technical report prepared by freeport. – McMoRan Inc. – 2023. – 81 p.
36. *Katchan G.* Mineralogy and geochemistry of the Ertsberg (Gunung Bijih) and Ertsberg East (Gunung Bijih Timur) skarns, Irian Jaya Indonesia and the Ok Tedi skarn, Papua New Guinea // The Ph.D. dissertation. – Australia : University of Sydney, 1982. – 498 p.
 37. *Large S. J. E., Quadt A., Wotzlaw J.-F.* [et. al.] Magma evolution leading to porphyry Au-Cu mineralization at the Ok Tedi deposit, Papua New Guinea: trace element geochemistry and high-precision geochronology of igneous zircon // *Economic Geology*. – 2018. – V. 113. – P. 39–61.
 38. *Leys C., Schwarz A., Cloos M., Widodo S., Kyle R., Siraait J.* Grasberg Copper-Gold-(Molybdenum) Deposit: Product of Two Overlapping Porphyry Systems // Society of Economic Geologists, Inc. SEG Special Publications. – 2020. – № 23. – P. 599–620.
 39. *Lowell J. D., Guilbert J. M.* Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry copper deposits // *Economic Geology*. – 1970. – V. 65. – P. 373–409.
 40. *Mason R. A.* Structure of the Alice anticline, Papua New Guinea: Serial balanced cross-sections and their restoration // *Journal of Structural Geology*. – 1994. – V. 19. – P. 719–734.
 41. *Mathur R., Ruiz J., Tittley S., Gibbons S., Margotomo W.* Different crustal sources for Au-rich and Au-poor ores of the Grasberg Cu-Au porphyry deposit // *Earth and Planetary Science Letters*. – 2000. – V. 183. – P. 7–14.
 42. *McDowell F. W., McMahon T. P., Warren P. Q.* [et. al.] Pliocene Cu-Au-bearing igneous intrusions of the Gunung Bijih (Ertsberg) district, Irian Jaya, Indonesia: K-Ar geochronology // *Journal of Geology*. – 1996. – V. 104. – P. 327–340.
 43. *McMahon T. P.* Pliocene intrusions in the Gunung Bijih (Ertsberg) Mining District, Irian Jaya, Indonesia: petrography and mineral chemistry // *International Geology Review*. – 1994. – V. 36. – P. 820–849.
 44. *McMahon T. P.* Pliocene intrusions in the Gunung Bijih (Ertsberg) Mining District, Irian Jaya, Indonesia: major and trace element chemistry // *International Geology Review*. – 1994. – V. 36. – P. 925–946.
 45. *Muller D., Groves D. I.* Potassic igneous rocks and associated gold-copper mineralization. Berlin-Heidelberg-New York, Springer-Verlag. – 1997. – 238 p.
 46. *Papua New Guinea Wafi-Golpu project including the Golpu, Wafi and Nambonga deposits // Mineral Resources and Mineral Reserves Report.* Harmony Gold Mining Company Ltd. 2021.
 47. *Page R. W.* Geochronology of Late Tertiary and Quaternary mineralized intrusive porphyries in the Star Mountains of Papua New Guinea and Irian Jaya: *Economic Geology*. – 1975. – V. 70. – P. 928–936.
 48. *Paterson J. T., Cloos M.* Grasberg porphyry Cu-Au deposit, Papua, Indonesia: 1. Magmatic history; 2. Pervasive hydrothermal alteration // *Super porphyry Cu and Au deposits. A Global Perspective // Ed. T. M. Porter*. – 2005. – P. 313–355.
 49. *Pollard P. J., Jongens R., Stein H., Fanning M., Smillie R.* Rapid formation of porphyry and skarn copper-gold mineralization in a postsubduction environment: Re-Os and U-Pb geochronology of the Ok Tedi mine, Papua New Guinea // *Economic Geology*. – 2021. – V. 16, № 3. – P. 533–558.
 50. *Pollard P. J., Taylor R. J., Peters L.* Ages of intrusion, alteration and mineralization at the Grasberg Cu-Au deposit, Papua, Indonesia // *Economic Geology*. – 2005. – V. 100. – P. 1005–1020.
 51. *PorterGeo Database [Электронный ресурс]*. – URL : <https://portergeo.com.au/database/mineinfo.asp?mineid=mn054> (дата обращения 09.01.2025)
 52. *Prendergast K., Clarke G. W., Pearson N. J., Harris K.* Genesis of pyrite-Au-As-Zn-Bi-Te zones associated with Cu-Au skarns: evidence from the Big Gossan and Wanagon gold deposits, Ertsberg District, Papua, Indonesia // *Economic Geology*. – 2005. – V. 100. – P. 1021–1050.
 53. *Richards J. P.* Postsubduction porphyry Cu-Au and epithermal Au deposits – products of remelting subduction-modified lithosphere // *Geology*. – 2009. – V. 37, № 3. – P. 247–250.
 54. *Richards J. P.* Tectono-magmatic precursors for porphyry Cu-(Mo-Au) deposit formation // *Economic Geology*. – 2003. – V. 98. – P. 1515–1533.
 55. *Rinne M. L., Cooke D. R., Harris A. C.* [et. al.] Geology and geochronology of the Golpu porphyry and Wafi epithermal, Morobe province, Papua New Guinea // *Economic Geology*. – 2018. – V. 113. – P. 271–294.
 56. *Rubin J. N., Kyle J. R.* Precious metal mineralogy in porphyry-, skarn-, and replacement-type ore deposits of the Ertsberg (Gunung Bijih) district, Irian Jaya, Indonesia // *Economic Geology*. – 1997. – V. 92. – P. 535–550.
 57. *Sapiie B., Cloos M.* Strike-slip faulting and veining in the Grasberg Giant Porphyry Cu-Au Deposit, Gunung Bijih (Ertsberg) Mining District, Irian Jaya, Indonesia // *Grasberg Structure*. – 2002. – P. 1–60.
 58. *Sillitoe R. H.* Porphyry Copper Systems // *Economic Geology*. – 2010. – V. 105. – P. 3–41.
 59. *Singer D. A., Berger V. I., Moring B. C.* Porphyry copper deposits of the world: database and tonnage models // U.S. Geological Survey. – 2008 [Электронный ресурс]. – URL : <https://pubs.usgs.gov/of/2008/1155/>
 60. *Van Dongen M., Weinberg R. F., Tomkins A. G.* Grade distribution of the giant Ok Tedi Cu-Au deposit, Papua New Guinea // *Economic Geology*. – 2013. – V. 108. – P. 1773–1781.
 61. *Woodhead J., Hergt J., Sandiford M., Johnson W.* The big crunch: Physical and chemical expressions of arc/continent collision in the Western Bismarck arc // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. – 2010. – V. 190. – P. 11–24.

REFERENCES

1. *Abramovich I. I.* Geodinamika i mantiynnye korni rudnykh formatsiy [Geodynamics and mantle roots of ore formations], Moscow, MPR publ., A. P. Karpinsky Institute publ., 1998, 139 p. (In Russ.)
2. *Zvezdov V. S.* Obstanovki formirovaniya krupnykh i sverkhkrupnykh medno-porfirovykh mestorozhdeniy [Formation environments of large and super-large copper-porphyry deposits], *Otechestvennaya geologiya*, 2019, No. 5, pp. 16–35. (In Russ.)
3. *Zvezdov V. S.* Strukturno-petrofizicheskiye obstanovki formirovaniya medno-porfirovykh shtokverkov [Structural and petrophysical settings for the formation of copper-porphyry stockworks], *Otechestvennaya geologiya*, 2021, No. 6, pp. 3–44. (In Russ.)
4. *Zvezdov V. S., Migachev I. F., Minina O. V.* Kompleksnyye medno-porfirovyye rudno-magmaticheskiye sistemy andezitoidnykh i bazaltoidnykh vulkanoplutonicheskikh poyasov [Complex copper-porphyry ore-magmatic systems of andesitic and basaltoid volcano-plutonic belts], *Otechestvennaya geologiya*, 2023, No. 5, pp. 35–71. (In Russ.)
5. *Koronovskiy N. V., Demina L. I.* Magmatizm kak indikator geodinamicheskikh obstanovok [Magmatism as an indicator of geodynamic conditions], Moscow, KDU publ., 2011, 234 p. (In Russ.)
6. *Krivtsov A. I.* Geologicheskiye osnovy prognozirovaniya i poiskov medno-porfirovykh mestorozhdeniy [Geological foundations of forecasting and prospecting for copper-porphyry deposits], Moscow, Nedra publ., 1983, 255 p. (In Russ.)
7. *Krivtsov A. I., Zvezdov V. S., Migachev I. F., Minina O. V.* Medno-porfirovyye mestorozhdeniya. Ser. Modeli mestorozhdeniy tsvetnykh i blagorodnykh metallov [Copper-porphyry deposits. Series: Models of deposits of non-ferrous and noble metals], Moscow, TSNIGRI publ., 2001, 232 p. (In Russ.)
8. *Krivtsov A. I., Migachev I. F., Popov V. S.* Medno-porfirovyye mestorozhdeniya mira [Copper-porphyry deposits of the world], Moscow, Nedra publ., 1986, 236 p. (In Russ.)
9. *Metodicheskoye rukovodstvo po otsenke prognoznnykh resursov almazov, blagorodnykh i tsvetnykh metallov. Vyp. Med* [Methodological Guide for Assessing the Predicted Resources of Diamonds, Precious and Non-Ferrous Metals. Issue “Copper”], A. I. Krivtsov, I. F. Migachev, A. G. Volchkov, R. N. Volodin, V. S. Zvezdov, O. V. Minina, Yu. V. Nikeshin, Moscow, TSNIGRI publ., 2002, 212 p. (In Russ.)
10. *Migachev I. F., Zvezdov V. S., Konkin V. D.* Paleotektonicheskaya pozitsiya bazaltoidnykh vulkano-plutonicheskikh poyasov s medno-porfirovymi mestorozhdeniyami [Paleotectonic position of basaltoid volcano-plutonic belts with copper-porphyry deposits], *Rudy i metally*, 2024, No. 3, pp. 28–46. (In Russ.)
11. *Migachev I. F., Zvezdov V. S., Minina O. V.* Formatsionnyye tipy medno-porfirovykh mestorozhdeniy i ikh rudno-magmaticheskiye sistemy [Formation types of copper-porphyry deposits and their ore-magmatic systems], *Otechestvennaya geologiya*, 2022, No. 1, pp. 26–48. (In Russ.)
12. *Minina O. V., Zvezdov V. S., Migachev I. F., Girfanov M. M.* Krupnyye medno-porfirovyye rudno-magmaticheskiye sistemy i ikh geotektonicheskaya pozitsiya. Obzor [Large copper-porphyry ore-magmatic systems and their geotectonic position. Review], Moscow, VIEMS publ., 1991, 54 p. (In Russ.)
13. *Poleznyye iskopayemyye Avstralii i Papua Novoy Gvinei* [Useful minerals of Australia and Papua New Guinea: in 2 volumes], ed. K. Nayt, V. 1, Moscow, Mir publ., 1980, 658 p. (In Russ.)
14. *Ryabchikov I. D.* Proiskhozhdeniye mantiynnykh metasomatiziruyushchikh flyuidov [Origin of mantle metasomatizing fluids], *Metasomatity dokembriya i ikh rudonosnost: sbornik nauchnykh trudov*, Moscow, Nauka publ., 1989, pp. 16–21. (In Russ.)
15. *Solovyev S. G.* Metallogeniya shoshonitovogo magmatizma : v 2 t. [Metallogeny of shoshonitic magmatism: in 2 volumes], Moscow, Nauchnyy mir publ., 2014, V. 1, 525 p., V. 2, 470 p. (In Russ.)
16. *Shcheglov A. D., Govorov I. N.* Nelineynaya metallogeniya i glubiny Zemli [nonlinear metallogeny and the depths of the Earth], Moscow, Nauka publ., 1985, 324 p. (In Russ.)
17. *Arnold G. O., Griffin T. J., Hodge C. C.* Geology of the Ok Tedi and southern Atbalmin, Geological Survey of Papua New Guinea, 1 : 100,000 sheet and text, Report 79/3, 1979, 98 p.
18. *Bainbridge A. L., Hitchman S. P., De Ross G. J.* Nena copper-gold deposit, Geology of Australian and Papua New Guinea mineral deposits: Melbourne, Australasian Institute of Mining and Metallurgy Monograph 22, Ed. D. A. Berkman, D. H. Mackenzie, 1988, pp. 855–861.
19. *Baldwin S. L., Fitzgerald P. G., Webb L. E.* Tectonics of the New Guinea region, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2012, V. 40, No. 1, pp. 495–520.
20. *Bamford R. W.* The Mount Fubilan (Ok Tedi) porphyry copper deposit, Territory of Papua and New Guinea, *Economic Geology*, 1972, V. 67, pp. 1019–1033.
21. *Cook D.R., Hollings P., Walshe J. L.* Giant porphyry deposits: characteristics, distribution and tectonic controls, *Economic Geology*, 2005, V. 100, No. 5, pp. 801–818.
22. *Corbett G. J., Leach T. M.* Southwest Pacific Rim gold-copper systems: structure, alteration and mineralization, *Society of Economic Geologists Special Publication*, 1998, No. 6, 237 p.
23. *Davies H. L., Williamson A. N.* Explanatory notes to accompany Buna 1:250,000 geological map, Geological Survey of Papua New Guinea, 2001, pp. 1–23.

24. Dewey J., Bird J. Plate Tectonics and Geosynclines, Tectonophysics, 1970, V. 10, pp. 625–638.
25. Dow D. B. A geological synthesis of Papua New Guinea, Bureau of Mineral Resources (Aust.), Geology and Geophysics, Bulletin 201, 1977, 41 p.
26. Findlay R. H., Arumba J., Abbott L. D., Nekitel D., Ninkama J., Kop G., Tekeve B. The stratigraphy and tectonics of Markham: Explanatory notes to accompany the revision of the Markham 1:250,000 geological atlas, Geological Survey of Papua New Guinea, 1997.
27. Frieda River Copper and Gold Project, available at: <http://www.highlandspacific.com> (25.12.2024)
28. Friehauf K. C., Titley S. R., Gibbins S. L. Porphyry-style mineralisation in the Ertsberg diorite, Gunung Bijih (Ertsberg/Grasberg) district, West Papua, Indonesia, Super porphyry copper and gold deposits – a global perspective, PGC Publishing, Adelaide, Ed. T. M. Porter, 2005, V. 2, pp. 357–366.
29. Gibbins S. L. The magmatic and hydrothermal evolution of the Ertsberg intrusion in the Gunung Bijih (Ertsberg) mining district, West Papua, Indonesia. The Ph.D. dissertation, Tucson, The University of Arizona, 2006, 384 p.
30. Gow P. A., Walshe J. L. The role of preexisting geologic architecture in the formation of giant porphyry-related Cu ± Au deposits: examples from New Guinea and Chile, Economic Geology, 2005, V. 100, pp. 819–833.
31. Hall R. J., Britten R. M., Henry D. D. Frieda River copper-gold deposits, Geology of the mineral deposits of Australia Papua New Guinea. Melbourne, Australasian Institute of Mining and Metallurgy Monograph 14, Ed. F. E. Hughes, 1990, V. 2, pp.1709–1715.
32. Hill K.C., Hall R. Mesozoic-Cenozoic evolution of Australia's New Guinea margin in a west Pacific context, Geological Society of America, 2003, Special Paper 372, pp. 265–290.
33. Hill K., Kendrick R., Crowhurst P., Gow P. Copper-gold mineralization in New Guinea: tectonics, lineaments, thermochronology and structure, Australian Journal of Earth Sciences, 2002, V. 49, pp. 737–752.
34. Hronsky J. A. M., Groves D. A., Loucks R. R., Begg G. C. A unified model for gold mineralization in accretionary orogens and implications for regional-scale exploration targeting methods, Mineralium Deposita, 2012, V. 47, pp. 339–358.
35. Issel A., Edgar I., Seymour E. D. Summary of mineral reserves and mineral resources for Grasberg minerals district central Papua, Indonesia technical report prepared by Freeport, McMoRan Inc, 2023, 81 p.
36. Katchan G. Mineralogy and geochemistry of the Ertsberg (Gunung Bijih) and Ertsberg East (Gunung Bijih Timur) skarns, Irian Jaya Indonesia and the Ok Tedi skarn, Papua New Guinea // The Ph.D. dissertation. – Australia : University of Sydney, 1982. – 498 p.
37. Large S. J. E., Quadri A., Wotzlaw J.-F. [et. al.] Magma evolution leading to porphyry Au-Cu mineralization at the Ok Tedi deposit, Papua New Guinea: trace element geochemistry and high-precision geochronology of igneous zircon // Economic Geology. – 2018. – V. 113. – P. 39–61.
38. Leys C., Schwarz A., Cloos M., Widodo S., Kyle R., Siraït J. Grasberg Copper-Gold-(Molybdenum) Deposit: Product of Two Overlapping Porphyry Systems // Society of Economic Geologists, Inc. SEG Special Publications. – 2020. – № 23. – P. 599–620.
39. Lowell J. D., Guilbert J. M. Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry copper deposits // Economic Geology. – 1970. – V. 65. – P. 373–409.
40. Mason R. A. Structure of the Alice anticline, Papua New Guinea: Serial balanced cross-sections and their restoration, Journal of Structural Geology, 1994, V. 19, pp. 719–734.
41. Mathur R., Ruiz J., Titley S., Gibbins S., Margotomo W. Different crustal sources for Au-rich and Au-poor ores of the Grasberg Cu-Au porphyry deposit, Earth and Planetary Science Letters, 2000, V. 183, pp. 7–14.
42. McDowell F. W., McMahon T. P., Warren P. Q. [et. al.] Pliocene Cu-Au-bearing igneous intrusions of the Gunung Bijih (Ertsberg) district, Irian Jaya, Indonesia: K-Ar geochronology, Journal of Geology, 1996, V. 104, pp. 327–340.
43. McMahon T. P. Pliocene intrusions in the Gunung Bijih (Ertsberg) Mining District, Irian Jaya, Indonesia: petrography and mineral chemistry, International Geology Review, 1994, V. 36, pp. 820–849.
44. McMahon T. P. Pliocene intrusions in the Gunung Bijih (Ertsberg) Mining District, Irian Jaya, Indonesia: major and trace element chemistry, International Geology Review, 1994, V. 36, pp. 925–946.
45. Muller D., Groves D. I. Potassic igneous rocks and associated gold-copper mineralization. Berlin-Heidelberg, New York, Springer-Verlag, 1997, 238 p.
46. Papua New Guinea Wafi-Golpu project including the Golpu, Wafi and Nambonga deposits, Mineral Resources and Mineral Reserves Report. Harmony Gold Mining Company Ltd. 2021.
47. Page R. W. Geochronology of Late Tertiary and Quaternary mineralized intrusive porphyries in the Star Mountains of Papua New Guinea and Irian Jaya: Economic Geology, 1975, V. 70, pp. 928–936.
48. Paterson J. T., Cloos M. Grasberg porphyry Cu-Au deposit, Papua, Indonesia: 1. Magmatic history; 2. Pervasive hydrothermal alteration, Super porphyry Cu and Au deposits. A Global Perspective, ed. T. M. Porter, 2005, pp. 313–355.
49. Pollard P. J., Jongens R., Stein H., Fanning M., Smillie R. Rapid formation of porphyry and skarn copper-gold mineralization in a postsubduction environment: Re-Os and U-Pb geochronology of the Ok Tedi mine, Papua New Guinea, Economic Geology, 2021, V. 16, No. 3, pp. 533–558.

50. *Pollard P. J., Taylor R. J., Peters L.* Ages of intrusion, alteration and mineralization at the Grasberg Cu-Au deposit, Papua, Indonesia, *Economic Geology*, 2005, V. 100, P. 1005–1020.
51. *PorterGeo* Database, available at: <https://portergeo.com.au/database/mineinfo.asp?mineid=mn054> (09.01.2025)
52. *Prendergast K., Clarke G. W., Pearson N. J., Harris K.* Genesis of pyrite-Au-As-Zn-Bi-Te zones associated with Cu-Au skarns: evidence from the Big Gossan and Wanagon gold deposits, Ertsberg District, Papua, Indonesia, *Economic Geology*, 2005, V. 100, pp. 1021–1050.
53. *Richards J. P.* Postsubduction porphyry Cu-Au and epithermal Au deposits – products of remelting subduction-modified lithosphere, *Geology*, 2009, V. 37, No. 3, pp. 247–250.
54. *Richards J. P.* Tectono-magmatic precursors for porphyry Cu-(Mo-Au) deposit formation, *Economic Geology*, 2003, V. 98, pp. 1515–1533.
55. *Rinne M. L., Cooke D. R., Harris A. C.* [et. al.] Geology and geochronology of the Golpu porphyry and Wafi epithermal, Morobe province, Papua New Guinea, *Economic Geology*, 2018, V. 113, pp. 271–294.
56. *Rubin J. N., Kyle J. R.* Precious metal mineralogy in porphyry-, skarn-, and replacement- type ore deposits of the Ertsberg (Gunung Bijih) district, Irian Jaya, Indonesia, *Economic Geology*, 1997, V. 92, pp. 535–550.
57. *Sapie B., Cloos M.* Strike-slip faulting and veining in the Grasberg Giant Porphyry Cu-Au Deposit, Gunung Bijih (Ertsberg) Mining District, Irian Jaya, Indonesia, *Grasberg Structure*, 2002, pp. 1–60.
58. *Sillitoe R. H.* Porphyry Copper Systems, *Economic Geology*, 2010, V. 105, pp. 3–41.
59. *Singer D. A., Berger V. I., Moring B. C.* Porphyry copper deposits of the world: database and tonnage models, U.S. Geological Survey, 2008 available at: <https://pubs.usgs.gov/of/2008/1155/>
60. *Van Dongen M., Weinberg R. F., Tomkins A. G.* Grade distribution of the giant Ok Tedi Cu-Au deposit, Papua New Guinea, *Economic Geology*, 2013, V. 108, pp. 1773–1781.
61. *Woodhead J., Hergt J., Sandiford M., Johnson W.* The big crunch: Physical and chemical expressions of arc/continent collision in the Western Bismarck arc, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2010, V. 190, pp. 11–24.

Статья поступила в редакцию 18.11.24; одобрена после рецензирования 15.12.24; принята к публикации 15.12.24.
The article was submitted 18.11.24; approved after reviewing 15.12.24; accepted for publication 15.12.24.

Золотое оруденение участка Чулковский Селигдарского рудного поля (Республика Саха (Якутия))

Аннотация. Рассмотрены особенности геологического строения и золоторудной минерализации рудопроявления Чулковское, относящегося к лебединскому типу. Золото-серебряное оруденение локализуется в виде залежей лебединского типа как непосредственно в доломитах, так и в силлах сиенит-порфиров, а также в субвертикальных зонах дробления в субщелочных породах.

Выявлены основные характерные признаки самородного золота: гранулометрия, морфология, внутреннее строение и состав. Полученные данные позволяют предполагать полистадийность процесса рудоотложения и его дальнейшее преобразование в результате гидротермально-метасоматических процессов. Установлено наличие крупного золота, оказывающего влияние на достоверность опробования руд традиционными методами. Показана идентичность золота из проб протолочек и из элювия.

Ключевые слова: Томмот-Эльконская зона, участок Чулковский, разрывные нарушения, оруденение, самородное золото.

СТОЛЯРЕНКО ВЛАДИМИР ВАЛЕНТИНОВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией¹, stolyarenko@tsnigri.ru

МИНАКОВ АЛЕКСЕЙ ВИКТОРОВИЧ, заслуженный геолог, начальник центра геологических компетенций³, min.aldan@mail.ru

АЛФЕРОВА ВАЛЕРИЯ АЛЕКСЕЕВНА, младший научный сотрудник¹, alferova@tsnigri.ru

РЯБОШАПКО АЛЕКСЕЙ ГЕННАДЬЕВИЧ, руководитель проекта², shapka_88@mail.ru

МИНАЕВА СВЕТЛАНА ВИКТОРОВНА, ведущий инженер¹, minaeva@tsnigri.ru

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

² Акционерная компания «Алроса» (публичное акционерное общество) (АК «Алроса» (ПАО)), г. Новосибирск

³ Алданское обособленное подразделение акционерного общества «Якутскгеология», г. Алдан

Gold mineralization of the Chulkovsky Site of the Seligdar Ore Field, Republic of Sakha (Yakutia)

V. V. STOLYARENKO¹, A. V. MINAKOV³, V. A. ALFEROVA¹, A. G. RYABOSHAPKO², S. V. MINAEVA¹

¹ Federal State Budgetary Institution "Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals" (FSBI "TSNIGRI"), Moscow

² Alrosa Joint Stock Company (Public Joint Stock Company) (Alrosa Corporation (PJSC)), Novosibirsk

³ Aldan branch of the JSC "Yakutskgeologiya", Aldan

Annotation. The article considers peculiarities of the geological features and gold ore mineralization of the Chulkovsky ore occurrence assigned to the Lebedinsky type. The gold-silver mineralization occurs in form of the Lebedinsky type lodes, both directly in dolomites and in sills of syenite porphyries, as well as in subvertical crush zones in subalkaline rocks. The main characteristic properties of the native gold were obtained, the granulometry, morphology, internal structure, and composition. The data obtained allow us to assume a multi-stage process of the ore deposition and its further transformation as a result of hydrothermal-metasomatic processes. The presence of coarse gold was established, which affects the reliability of the ore sampling using traditional methods. An identity of the gold obtained from both the crushed samples and eluvium is demonstrated.

Key words: Tommot-Elkon Zone, Chulkovsky Site, faults, ore mineralization, native gold.

Селигдарское рудное поле, входящее в состав Лебединского рудного узла (РУ) и включающее участок Чулковский, расположено на северном склоне позднеархейско-раннепротерозойской структуры – Алдано-Станового щита, на стыке юго-западного фланга Лебединского и Нимгерканского РУ Центрально-Алданского золоторудного района. Географически участок находится в 15 км к юго-западу от посёлка Орочен. В целом строение рассматриваемой площади Селигдарского рудного поля определяется наличием двух структурных этажей – докембрийских сложно-дислоцированных образований кристаллического фундамента и субгоризонтально залегающих на них осадочных пород платформенного чехла. Платформенный чехол подразделяется на два яруса – венд-нижнекембрийский и нижнеюрский (в микрограбенах). Венд-нижнекембрийский ярус представлен карбонатными породами и с региональным несогласием залегают на выровненной поверхности фундамента. В свою очередь, на размывтой поверхности карбонатной толщи со скрытым угловым несогласием залегают нижнеюрские терригенные отложения, слагающие верхние части осадочного разреза. Все вышеописанные образования прорваны лакколитами, штоками, пластовыми интрузивами и дайками мезозойских магматических пород, широко развитых на площади.

Одним из основных факторов, влиявших на развитие золотого оруденения площади, является её нахождение в узле пересечения зон региональных дофанерозойских разломов – Томмот-Эльконской северо-восточного простирания и Юхтино-Нимгерканской северо-западного простирания (рис. 1), что определяет широкое развитие сети разрывных нарушений от субвертикальных до пологонаклонных и мелкоблоковое строение со смещением по разрывным нарушениям с амплитудами 5–10, 20–25, до 60 м с юго-запада на северо-восток и с северо-запада на юго-восток. В период мезозойской тектоно-магматической активизации формировались новые и подновлялись древние разломы, обусловившие блоковое строение района. Узел пересечения данных зон выделяется всеми исследователями Центрального Алдана как потенциально золотоносный Нимгерканский рудный узел, включающий многочисленные месторождения и проявления россыпного золота, а также проявления и пункты минерализации рудного золота [6, 9, 24].

Необходимо отметить, что Томмот-Эльконская металлогеническая зона рудоносных разломов – одна из главных металлогенических единиц Центрально-Алданского района. Система глубинных разломов северо-восточного простирания, отражением которой и является данная зона, контролирует и вмещает значительную часть месторождений и проявлений рудного золота золото-сульфидно-кварцевой формации (лебединского типа). В её пределах размещается ряд рудных полей: Колтыкон-Самодумовское, Малокуранахское, Горы Рудной, Орто-Сала-Верхнекуранахское, Селигдарское, Гранитное и другие принадлежащие к Лебединскому и Нимгерканскому узлам. Наличие в пределах Нимгерканского узла зоны пересечения региональных разломов определяет интенсивную разрывную тектонику и магматизм мезозойского этапа активизации. Именно к ареалам мезозойских магматических пород тяготеют все известные в районе россыпи золота и проявления коренного золота. Становление интрузий сопровождалось метаморфическими, контактово-метасоматическими и гидротермально-метасоматическими процессами в виде скарнирования, мраморизации карбонатных толщ, а также ороговикования, хлоритизации, эпидотизации, серицитизации, окварцеванием вмещающих пород.

Геологическое строение участка Чулковский типично для Лебединского рудного узла. Участок сложен толщей доломитов усть-юдомской свиты венда мощностью до 200–220 м, вмещающей субгоризонтально залегающие силлы роговообманковых и авгит-роговообманковых сиенит-порфилов верхнеселигдарского комплекса мощностью от 10–20 до 100 м. Толща платформенного чехла залегают субгоризонтально на пенепленизированной поверхности архей-протерозойского фундамента, вскрытого скважинами КБ, обнажающейся на поверхности в долинах водотоков. Породы фундамента и платформенного чехла прорваны штоками интрузий лебединского комплекса – меланократовых субщелочных сиенитов, кварцсодержащих сиенитов, дайками минетт, ортофиоров, бостонитов и штоком шонкинитов алданского комплекса [1, 3, 14, 15] (рис. 2).

Наиболее распространены пластовые интрузии роговообманковых щёлочноземельных сиенит-порфилов верхнеселигдарского комплекса, залегающие почти согласно с вмещающими породами (рис. 3).

По геологическим и геофизическим данным на площади участка развита сеть разрывных

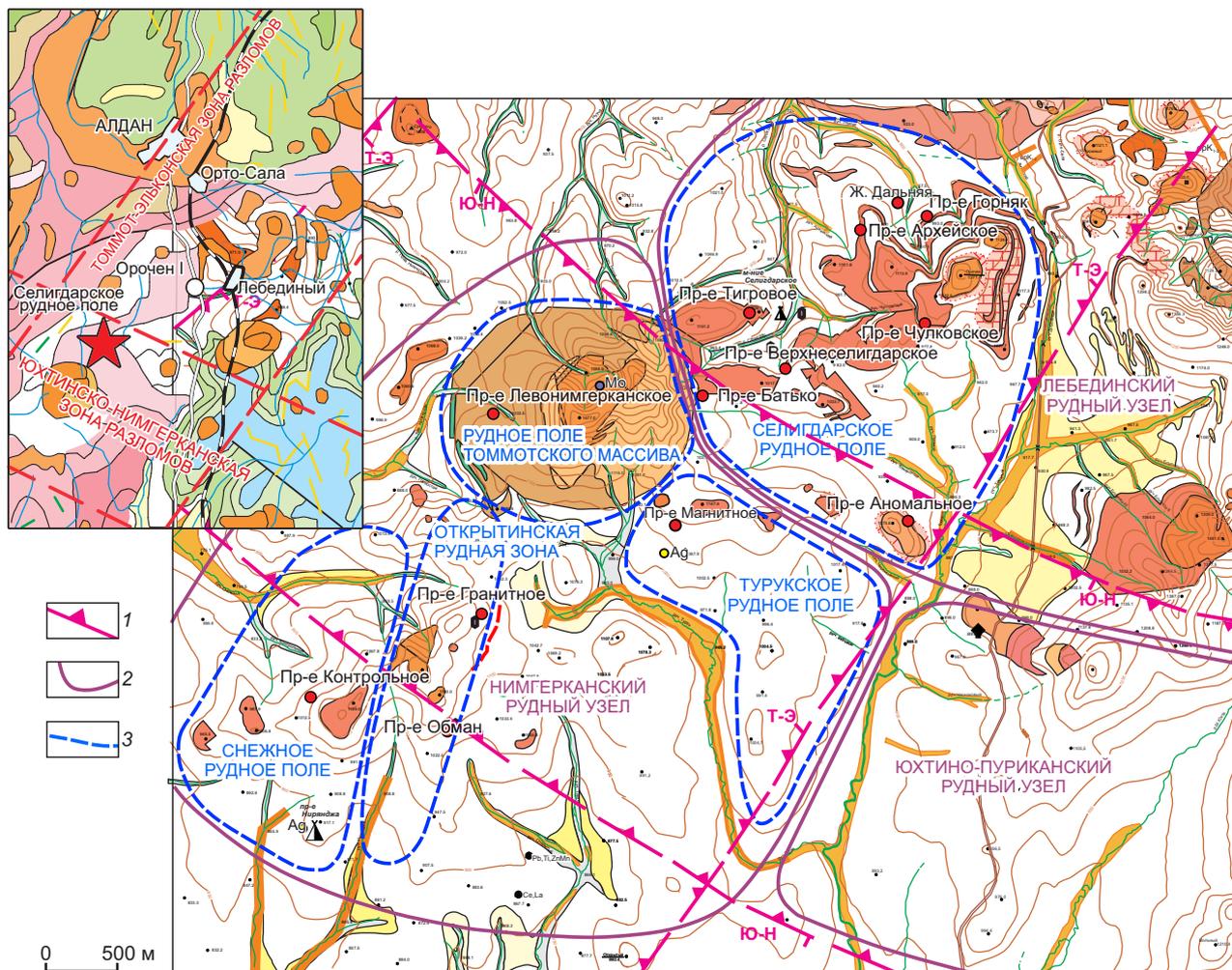


Рис. 1. Схема расположения Селигдарского рудного поля в пределах Томмот-Эльконской зоны разломов:

1 – металлогеническая зона: Т-Э – Томмот-Эльконская, Ю-Н – Юхтинско-Нимгерканская; 2 – рудный узел; 3 – рудное поле

нарушений северо-восточного, северо-западного и субмеридионального простираний Томмот-Эльконской и Юхтинско-Нимгерканской зон разломов, что привело к образованию в узлах их пересечений проницаемых для рудных растворов зон дробления. Разрывные нарушения вмещают многочисленные дайки различного состава от эпидейцитовых порфиров до сиенит-порфиров и бостонитов с сопутствующей гидротермально-метасоматической минерализацией. Протяжённость даек колеблется от сотен метров до 1–2 км, мощность 3–5 м (см. рис. 2). В структуре участка важную роль играют разрывные нарушения северо-западного и северо-восточного простираний, ме-

нее выражены субмеридионального и субширотного. Разрывные нарушения контролируют локализацию интрузий различных комплексов, сопутствующих им метасоматитов и рудных образований.

В поле доломитов вблизи контактов со штоками шонкинитов и дайками ортофигов, выявлены геохимические аномалии во вторичных ореолах рассеяния Cu, Pb, As, Ag и Au на фоне обширной аномалии электропроводимости.

Гидротермальные изменения в породах осадочного чехла выражаются в лимонитизации и анкеритизации, в силле сиенит-порфиров мезозойского возраста – в калишпатизации, пирит-кварцевом

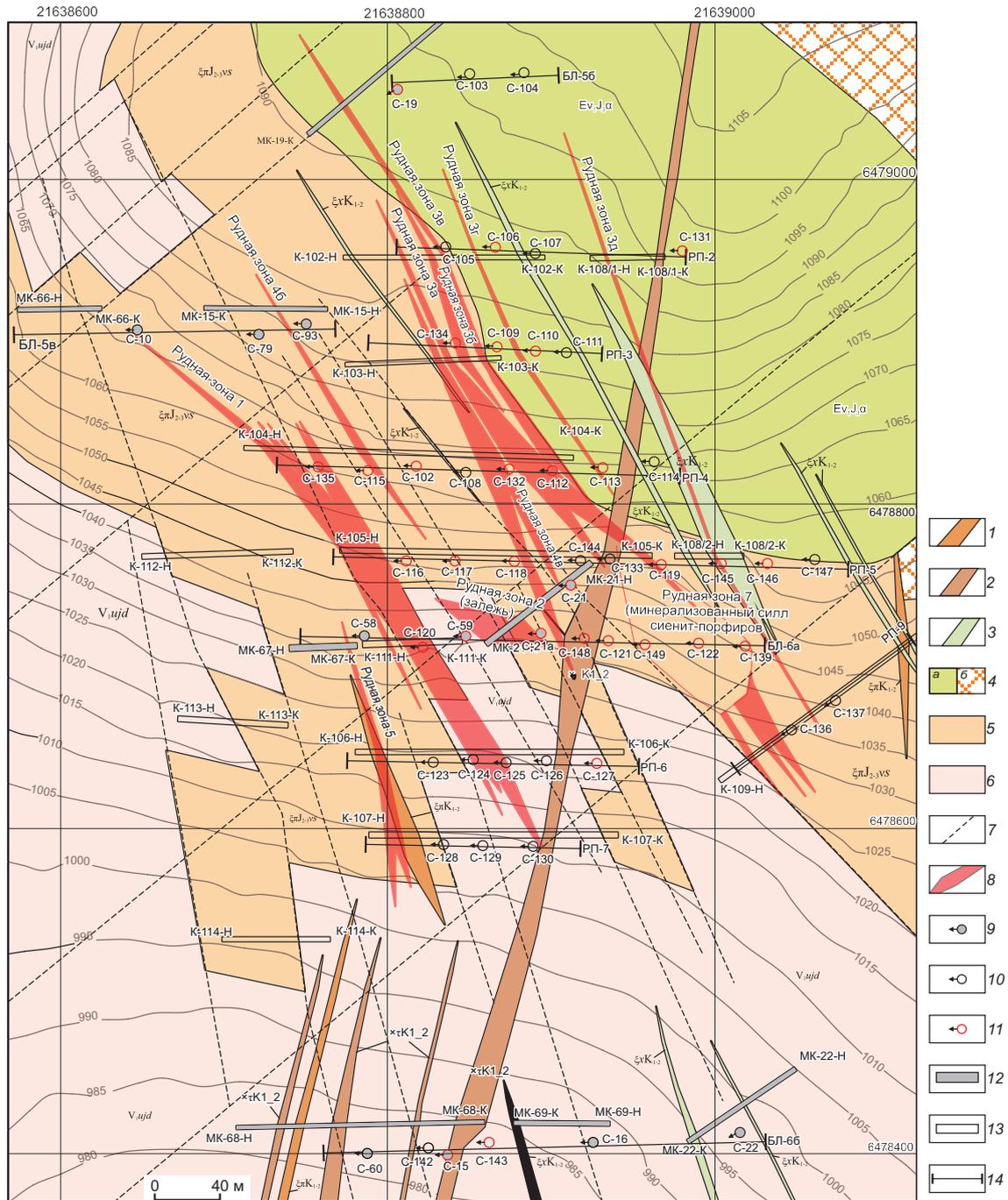


Рис. 2. Схематическая геологическая карта участка Чулковский. По данным работ АО Росгео 2017–2019 и 2021 гг.:

мезозойский вулcano-плутонический комплекс, дайки: 1 – роговообманковых сиенит-порфиров ($\xi\tau K_{1-2}$), 2 – ортофиров ($\chi\tau K_{1-2}$), 3 – минетт ($\xi\tau K_{1-2}$); Алданский плутонический комплекс фергусит-щёлочносиенитовый: 4 – первая фаза: а – штоки, мелкие интрузии шонкинитов, биотитовых пироксенитов, б – магнезиальных скарнов; верхнеселигдарский комплекс щёлочноземельных и умеренно-щелочных сиенит-порфиров: 5 – силлы, дайки роговообманковых и авгит-роговообманковых щёлочноземельных сиенит-порфиров ($\xi\tau J_{2-3} vs$); Венд, Устьюдомская свита: б – доломиты, песчаные доломиты (V_{ujd}), 7 – тектонические разрывные нарушения; 8 – рудолокализирующие гидротермально-метасоматические минерализованные зоны; 9–10 – номер скважины, её высотная отметка и направление бурения ГРП (годы): 9 – 2018–2019, 10 – 2021–2023; 11 – скважины, вскрывшие значимые содержания Au; 12–13 – номер канавы и её высотная отметка ГРП (годы): 12 – 2018–2019, 13 – 2021–2022; 14 – буровой профиль и его номер

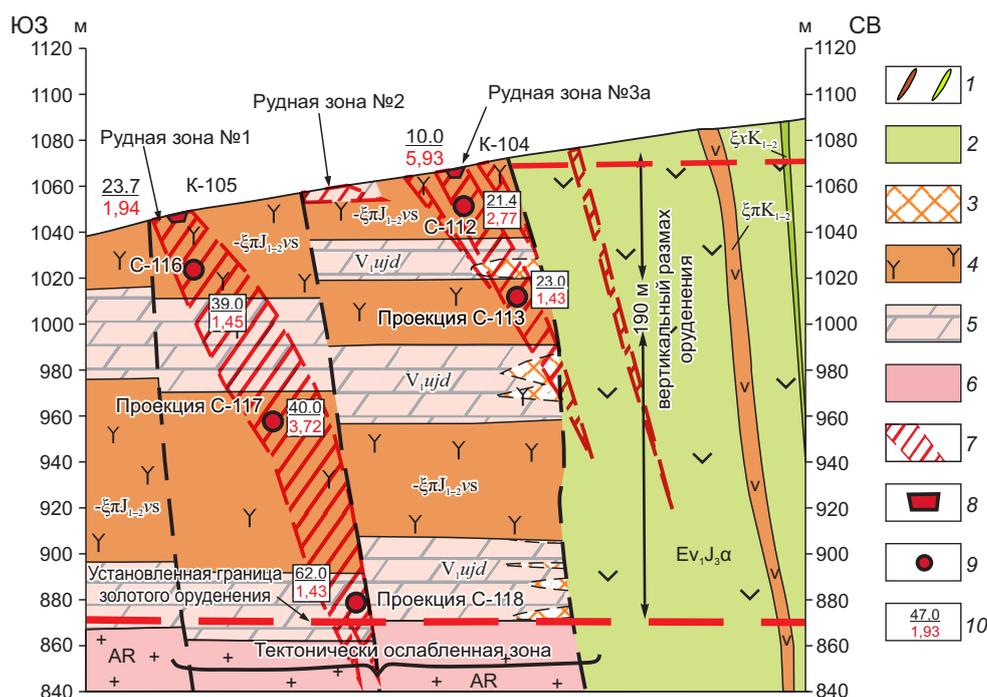


Рис. 3. Поперечный разрез и принципиальная модель рудопроявления Чулковское. На основе фактических данных 2018–2019 и 2021–2023 гг.:

мезозойский вулcano-плутонический комплекс: 1 – дайки роговообманковых ортофиоров ($\xi\pi K_{1-2}$), минетт ($\xi x K_{1-2}$); Алданский плутонический комплекс фергусит-щёлочно-сиенитовый: 2 – первая фаза, штоки, лакколлиты щелочных сиенитов: шонкинитов, микрошонкинитов ($Ev_1 J_3 \alpha$); 3 – магнизиальные скарны; верхнеселигдарский комплекс щёлочноземельных и умеренно-щелочных сиенит-порфиоров: 4 – силлы, дайки роговообманковых и авгитроговообманковых щёлочноземельных сиенит-порфиоров (вогезиты?), субщёлочных сиенитов ($\xi\pi J_{2-3} vs$); Венд, Устьюдомская свита: 5 – доломиты песчаные и глинистые, реже кварц-полевошпатовые песчаники ($V_1 ujd$); Архей нерасчленённый: 6 – граниты, гранито-гнейсы (AR); 7 – рудные зоны; горно-буровые выработки: 8 – каналы, пройденные в 2021–2023 гг., 9 – скважины и проекции скважин 2021–2023 гг.; 10 – параметры скважин (дробь): числитель – мощность, знаменатель – содержание золота, г/т (борт 0,5 г/т)

прожилковании и последующей лимонитизации за счёт окисления пирита.

Комплекс пород кристаллического фундамента и платформенного чехла перекрыт разнообразными рыхлыми кайнозойскими отложениями. Наиболее древние из них – реликты химических кор выветривания эоцен-олигоценного возраста. Площадные коры выветривания по гранитам, гнейсам, кристаллосланцам представлены выветрелой дресвой с сохранением текстурных особенностей изначальной породы, которая обычно окрашена лимонитом в ржаво-бурый цвет. Широко развитые площадные коры выветривания по сиенитам дресвяно-глинистые с примесью гидроксидов марганца сохраняют унаследованную текстуру. Мощность отложений 5–7 м.

Золоторудная минерализация наиболее ярко проявлена в поле мощной толщи доломитов устьюдомской свиты, вмещающей субгоризонтально залегающие силлы роговообманковых сиенит-порфиоров и плагиопорфиоров. Вся толща прорвана серией субвертикальных даек сиенит-порфиоров, ортофиоров и лампрофиоров северо-западного простирания, а также единичной протяжённой секущей дайкой сиенит-порфиоров северо-восточного простирания; на востоке расположен шток шонкинитов (см. рис. 2).

Золоторудная прожилково-вкрапленная минерализация анкерит-пирит-кварц-полевошпатового состава с золотом и серебром локализована в зонах дробления, часто вмещающих дайки различного состава, которые, в свою очередь, образуют

собственные субпараллельные золоторудные тела (зоны). Мощность зон варьирует от первых метров до 40–80 м.

На одном из участков интенсивно проявленной магматической активизации (штоки шонкинитов, силлы сиенитов и сиенит-порфиоров, лакколлиты сиенитов, многочисленные дайки) выявлена золоторудная зона северо-западного простирания – Чулковская золото-сульфидно-кварцевой формации. В её пределах золоторудная минерализация довольно широко развита в породах осадочного чехла, более локально в дайках и их экзоконтактах, максимально – в силле сиенит-порфиоров верхнеселигдарского комплекса. Максимальные содержания золота (34,4 и 122 г/т) приурочены к интервалам с интенсивно развитым пирит-кварцевым прожилкованием в метасоматически изменённых сиенит-порфирах (рудная зона-3а).

В центральной части участка были выделены две основные крутопадающие рудные зоны с серией более мелких опережающих зон и субгоризонтальные рудные тела с золотым оруденением в силле сиенит-порфиоров (рудная зона-7) и породах осадочного чехла (рудная зона-(залежь)-2) (см. рисунки 2, 3).

В ряде канав, вскрывающих рудные зоны золото-сульфидно-кварцевой формации различных структурно-морфологических типов (залежей, субвертикальных минерализованных зон, даек и др.) с характерным окварцеванием, сульфидизацией, анкеритизацией и интенсивной лимонитизацией, проведено опробование предполагаемого элювия в стенке канавы, а также параллельное бороздовое опробование оруденелых пород, вскрывающихся в полотне канавы и являющихся продуцентами россыпного золота на этой площади.

Методика исследования. Шлихоминералогические пробы из элювия объёмом 0,02 м³ отмывались на лотке. Протолочные бороздовые пробы массой 10–12 кг отбирались на аналогичных интервалах канавы с последующим дроблением до 1 мм и промывкой. При промывке все пробы домывались до «серого шлиха». После просушки шлихи проходили пробоподготовку по единой схеме, включающей: 1) выделение магнитной фракции, 2) электромагнитную сепарацию, 3) домывку в чашках до «чёрного шлиха» с предварительной расситовкой материала немагнитной фракции на сите 2 мм, выделением золотого концентрата и оперативным подсчётом количества золотин. При изучении золотого оруденения сопостав-

лялись особенности самородного золота (морфологические и гранулометрические характеристики, оценка степени окатанности, наличие сростков), полученного при шлихоминералогическом опробовании разборного плотика элювия, с золотом протолочных проб, которые были отобраны из оруденелых пород, вскрывающихся в канаве и являющихся продуцентами россыпного золота на участке Чулковский. При просмотре шлихов из бороздовых проб установлено, что количество выделенных знаков самородного золота отличается в исследованных пробах на порядок и варьирует в пределах от десяти до сотни знаков. В шлихах из элювия количество выделенных знаков самородного золота, как правило, больше и колеблется в пределах от нескольких десятков до сотен знаков золота, что объясняется обогащением в процессе формирования физической коры выветривания. По цвету выделенные знаки золота во всех пробах близки между собой с незначительными вариациями и смещением оттенка в сторону светло-жёлтого. Пробность золота в основном 700–900 ‰. При этом существенно отличаются их гранулометрические и морфологические характеристики.

Типоморфные признаки золота изучались по его монофракциям, отобраным как из протолочных проб по сечениям рудных зон участка Чулковский, так и из элювия над этими зонами.

К основным характеризующим признакам самородного золота относятся: состав золотоносных минеральных ассоциаций, цвет, размеры частиц, форма выделений, состав (пробность, элементы-примеси) и внутреннее строение золотин. По перечисленным признакам (кроме внутреннего строения) и проводилось изучение самородного золота. Гранулометрический состав изучался путём разделения совокупности зёрен на классы крупности и по соотношению различных классов визуально (полуколичественно) с дальнейшим расчётом среднего размера с учётом определённого соотношения (среднемассовый размер).

Форма золотин служит показателем характера среды, в которой они отлагались, состава и фазового состояния растворов и условий кристаллизации. Формы и рельеф поверхности обособлений самородного золота изучались при помощи сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и под бинокулярной лупой. Описание проведено в соответствии с морфогенетической систематикой выделений самородного золота, составленной

Н. В. Петровской [19]. Соотношение различных форм самородного золота определялось полуколичественно для следующих основных морфологических типов: комковидное, губчатое, интерстициальное, трещинное, кристаллическое, дендриты и дендритоиды. Для трещинного золота отдельно оценивалась доля пластинчатого и каркасного (цементационного) самородного золота, для кристаллического – доля изометричных, уплощённых и удлинённых кристаллов. Гемиидиоморфные (комбинированные) формы самородного золота учитывались по соотношению простых форм с отнесением их к собственным морфологическим типам. Кроме того, определялось соотношение простых и смешанных (гемиидиоморфных) форм. Поверхность частиц самородного золота исследовалась под бинокулярным микроскопом по категориям: гладкая (блестящая), шагреньевая, мелкопористая, пористая, крупнопористая с параллельной оценкой наличия поверхностных образований. Также оценивался характер краёв частиц золота по категориям: ровные, неровные, неровные острые.

Оцениваемые параметры обуславливаются совокупностью различных факторов – формационной принадлежностью объекта, морфологическим типом оруденения, минеральным составом и структурой вмещающего агрегата, степенью обогащённости золотом и др. – и являются информативными критериями при проведении поисково-оценочных работ [13].

Распределение содержаний золота и серебра в отдельных золотилах и установление набора и концентрации второстепенных элементов-примесей в них определялись при помощи микрорентгеноспектрального анализа в ИГЕМ РАН (г. Москва) по нескольким точкам на каждой частице.

Рудная зона-1 (см. рис. 2) прослежена на протяжении 400 м и сложена преимущественно силлами метасоматически изменённых роговообманковых сиенит-порфиров селигдарского комплекса и разделяющими их доломитами усть-юдомской свиты. В сиенит-порфирах развиты вкрапленная пиритизация и пирит-кварцевые прожилки. Пирит, как правило, нацело окислен до образования массивных лимонит-гематитовых руд (рис. 4). Морфологически рудная зона-1 представляет собой линейный штокверк длиной в наиболее продуктивной части 180 м, погружающийся на северо-восток до глубины 140–180 м без изменения содержаний золота.



Рис. 4. Кварц-лимонит-гематитовая руда. Содержание золота 1,4 г/т (рудная зона-1)

По канавам выделяются значимые рудные интервалы мощностью 30 и 33 м, со средним содержанием Au соответственно 1,74 г/т и 1,85 г/т при максимальном 33,1 г/т. В пределах рудной зоны-1 золотоносны как сиенит-порфиры, так и доломиты. Рудные образования содержат значимые концентрации Ag – до 124 г/т.

Зона изучена на глубину по падению скважинами. С глубиной отмечается увеличение мощности ореолов метасоматически изменённых пород с 30–35 м на верхних горизонтах (30–40 м от дневной поверхности) до 60–86 м стволовой мощности скважин на нижних горизонтах. Золотое оруденение развивается по силлам сиенит-порфиров и породам осадочного чехла, в то же время максимальные концентрации золота получены из пластовых интрузий.

В качестве рудоподводящих каналов, по аналогии с геологической обстановкой на месторождении Морозкинское, служат зоны тектонических нарушений. Морозкинское месторождение расположено в центральной части Лебединского рудного узла. В геологическом строении месторождения участвуют породы кристаллического фундамента (нижний структурный этаж), на котором с резким стратиграфическим несогласием залегают осадочные карбонатные породы венда (верхний структурный этаж). Вся эта толща прорвана разнообразными по составу и морфологии интрузивными образованиями мезозойского возраста. Месторождение локализовано в крутопадающих зонах дробления внутри тел мезозойских интрузий сиенит-порфиров и метаморфитов кристаллического фундамента. Некоторые зоны являются рудоподводящими каналами для залежей лебединского типа в породах осадочного чехла,

большая часть которых была отработана ещё в 30–40-е годы прошлого века [4, 14, 15, 18].

Самородное золото из рудной зоны-1 и её предполагаемого продолжения изучалось в пробах отобранном по канавам.

Канавой МК-22 вскрывается предполагаемое южное окончание рудной зоны-1, где среди изменённых доломитов обнаруживается субпластовое тело сильно выветренных субщелочных пород, предположительно лампрофиров, которое сечётся серией субвертикальных минерализованных зон дробления, характеризующихся окварцеванием, сульфидизацией и лимонитизацией. Зоны дробления в ряде случаев вмещают дайки лампрофиров. В шлихоминералогической пробе, отобранной из элювия по зоне дробления с дайкой лампрофиров, секущей пластовое тело субщелочных пород, найдено самородное золото в количестве 41 знака. Его максимальный размер 0,35 мм (рис. 5). Здесь же из полотна канавы отобрана бороздовая проба, в которой выделено более 35 знаков. Максимальный размер 0,35 мм (рис. 6).

Рудная зона-2, вскрытая канавой МК-21 и скважинами 21 и 21 а (см. рис. 2), представлена рудным телом залежного типа на контакте силла роговообманковых сиенит-порфиров с доломитами в узле пересечения с субмеридиональными разломами, где образовалась мощная зона интенсивно лимонитизированных и метасоматически изменённых пород с пирит-кварцевой минерализацией.

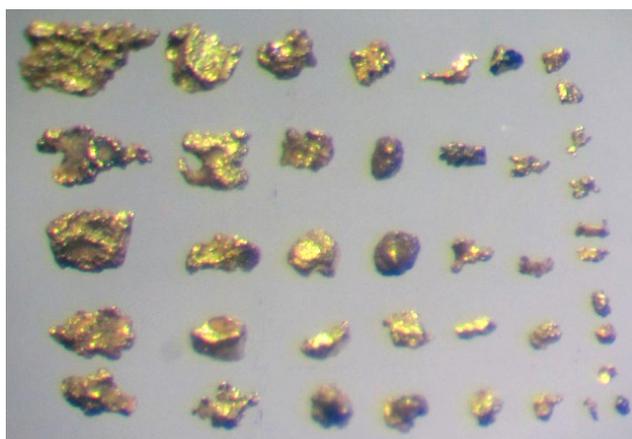


Рис. 5. Элювиальное золото рудного облика из зоны дробления, вмещающей дайку лампрофиров и секущей пластовое тело субщелочных пород

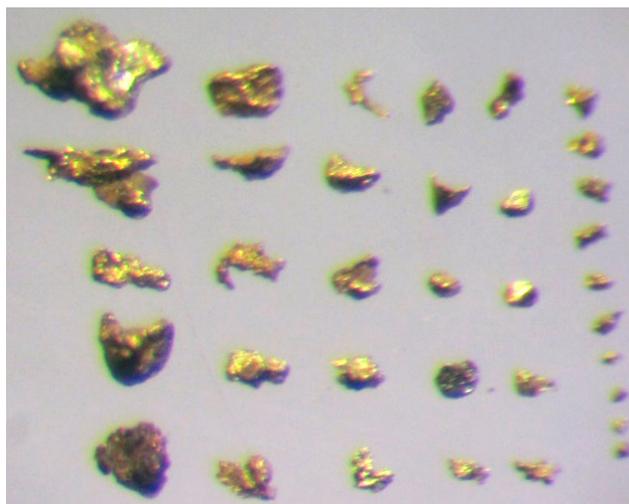


Рис. 6. Золото из бороздовой пробы из зоны дробления, вмещающей дайку лампрофиров и секущей пластовое тело субщелочных пород

Длина залежи порядка 70 м, стволовая мощность по скважинным пересечениям 6,2–8,0 м, ширина около 30 м. Простираение залежи северо-западное (300 °), в северо-восточном направлении она полого погружается в сторону штока шонкинитов и обрывается на северо-восточном окончании дайкой роговообманковых сиенит-порфиров.

В строение залежи участвуют доломиты и обломочно-глинистые образования, чередующиеся в разрезе скважин друг с другом. Доломиты желтовато-серые, песчанистые, участками брекчированные, кавернозного облика, с карбонатным цементом, рассечены кварц-карбонатными тонкими прожилками, лимонитизированы, содержат мелкую вкрапленность окисленного пирита (менее 1 %). По плоскостям трещин наблюдаются дендриты марганца. Обломочно-глинистые и суглинистые образования имеют серовато-коричневую до бурой окраску.

Контакты силла с вмещающими доломитами нечёткие, сильно издробленные. Силл сиенит-порфиров сечётся несколькими в различной степени минерализованными субвертикальными зонами дробления. Породы на этих интервалах разбиты до щебнистого материала, местами окварцованы, интенсивно лимонитизированы. Иногда их секут разнонаправленные сульфидные, сульфидно-кварцевые и кварцевые прожилки мощностью до 1–2 см. Кварц в прожилках тёмно-серый

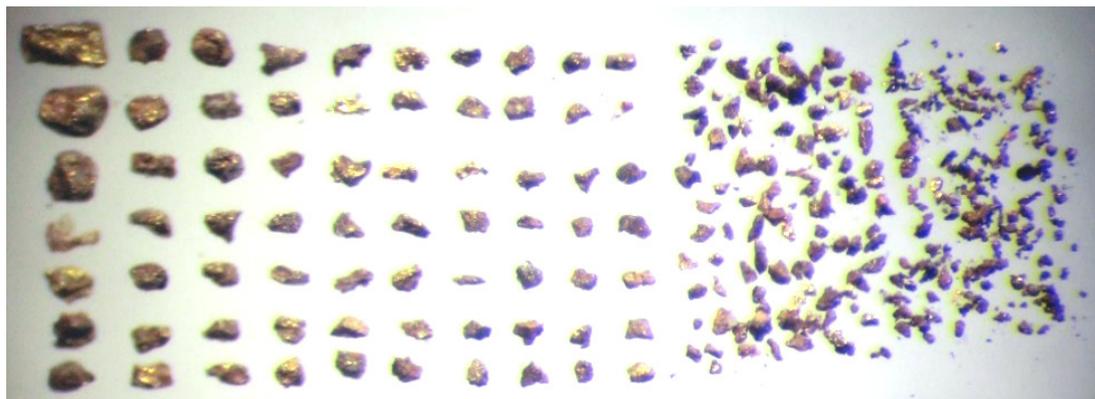


Рис. 7. Эльвиальное золото рудного облика из зоны дробления по дайке сиенит-порфиров в доломите

сливной; сульфиды полностью окисленные, замещённые рыхлыми бурыми агрегатами лимонита, местами выщелочены.

Мощность зоны в канаве составляет порядка 22 м, среднее содержание золота 1,11 г/т. В ряде скважинных пересечений в породах осадочной толщи венд-кембрийских отложений также фиксируются рудные тела залежного типа, в том числе и на границе с кристаллическим фундаментом.

Максимальные содержания Au в залежи достигают 9,6 г/т, Ag 34,0 г/т и приурочены непосредственно к глинистым образованиям (скв. 21). В целом, по данным опробования, соотношение золота к серебру в рудной зоне-2 составляет 1 : 3, средневзвешенное содержание Au по трём пересечениям – 1,85 г/т, Ag – 5,67 г/т.

В шлихоминералогической пробе, отобранной из элювия по зоне дробления дайки роговообманковых сиенит-порфиров, установлено самородное золото в количестве более 200 знаков. Максимальный размер 0,32 мм (рис. 7). Здесь же из полотна канавы отобрана бороздовая проба, из которой выделены более 114 знаков. Максимальный размер 0,4 мм (рис. 8).

Рудная зона-3 (см. рис. 2) представлена серией параллельных рудных тел (зон) 3а, 3б, 3в, 3г и 3д, располагающихся в юго-западном экзо- и эндоконтакте штока шонкинитов алданского комплекса. Рудные зоны сложены пирит-полевошпат-кварцевыми метасоматитами, как по сиенит-порфирам, так и по шонкинитам. В отдельных случаях по метасоматитам развиты зоны дробления. Протяжённость рудных тел 250–350 м,

мощность от одного до 15–20 м. Расстояние между рудными телами 6–70 м. При этом рудные тела размещаются как в силле сиенит-порфиров, так и в штоке шонкинитов. Для зон характерны интенсивная лимонитизация и трещиноватость пород. Повышенные содержания золота (до 34 г/т и более) свойственны лимонит-пирит-кварцевым прожилкам, мощность которых обычно не превышает 5–10 см, и метасоматически изменённым сиенит-порфирам.

Рудные зоны-3а и 3б локализованы в метасоматически изменённых сиенит-порфирах, при этом их центральные части представлены полностью проявленными пирит-полевошпат-кварцевыми

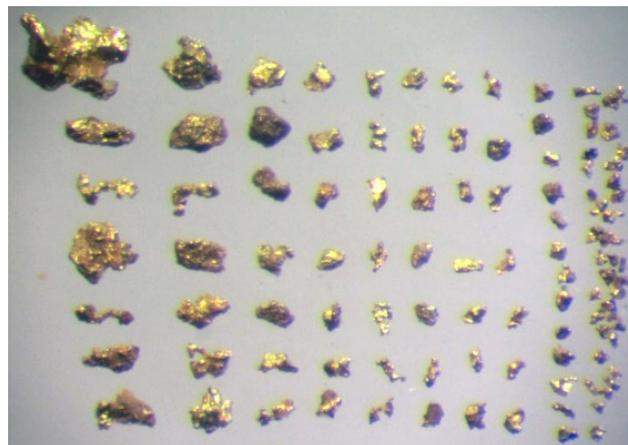


Рис. 8. Золото из бороздовой пробы из зоны дробления по дайке сиенит-порфиров в доломите



Рис. 9. Пирит-полевошпат-кварцевый метасоматит по сиенит-порфиру, содержание золота 16,8 г/т (рудная зона-3а)

метасоматитами мощностью порядка 1 м. Для этих участков характерны интенсивная лимонитизация и трещиноватость пород. Повышенные содержания золота (до 4–6 г/т и более до 122 г/т) присущи лимонит-пирит-кварцевым прожилкам мощностью обычно не более 5–10 см. Пирит в прожилках мелкий, окислен и полуокислен, содержание его иногда достигает 10–15 % (рис. 9). В метасоматически изменённых сиенит-порфирах содержание пирита, как правило, не превышает первые проценты, количество пирит-кварцевых прожилков незначительно, мощность до 1–2 см.

Рудные зоны-3г и 3д локализованы в штоке шонкинитов и представляют собой крутопадающие пластинообразные тела, сложенные лимонитизированными шонкинитами, рассечёнными тонкой сетью кварцевых прожилков с мелким вкрапленным пиритом и пирит-кварцевыми жилками мощностью до 10–15 см. Зачастую рудная минерализация приурочена к дайкам лампрофиров мощностью первые метры и их контактам с вмещающими породами.

Рудная зона-3в представлена зоной дробления на контакте штока шонкинитов с породами осадочного чехла, где сформировались мощные зоны скарнов диопсид-флогопит-кальцитового состава. В основном сульфидная минерализация в скарнах практически отсутствует. Объёмная вкрапленная пиритизация отмечается только в скважине на интервале 57–59 м. Контакты скарнов с шон-

кинитами заливообразные, с доломитами более резкие.

В отобранных шлихоминералогических пробах по скарнам установлено самородное золото в количестве от 5 до 28 знаков. В бороздовых пробах золото не выявлено.

Помимо этого, канавой МК-19 вскрываются минерализованные зоны, приуроченные к субвертикальной зоне дробления в штоке шонкинитов, а также контакта шонкинитов и дайки сиенит-порфиров, где установлена пирит-кварцевая прожилковая минерализация. В субвертикальной зоне дробления шонкиниты интенсивно фрагментированы, сульфидизированы, лимонитизированы и окварцованы. В некоторых обломках присутствуют кубические реплики пирита. Из отобранной бороздовой пробы отобрано 39 зёрен самородного золота с максимальным размером 0,6 мм (рис. 10).

В зоне контакта шонкинитов с дайкой сиенит-порфиров порода интенсивно передроблена, сульфидизирована, лимонитизирована и окварцована вплоть до появления обломков кварцевых прожилков. Дайка сиенит-порфиров также интенсивно издроблена, лимонитизирована. Повсеместно отмечаются чёрные плёнки вторичных минералов марганца. В шлихоминералогической пробе,

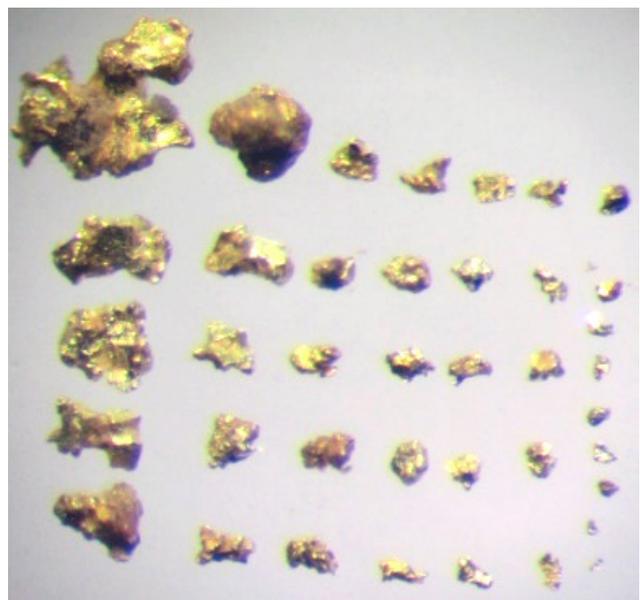


Рис. 10. Самородное золото из бороздовой пробы из зоны дробления по шонкинитам

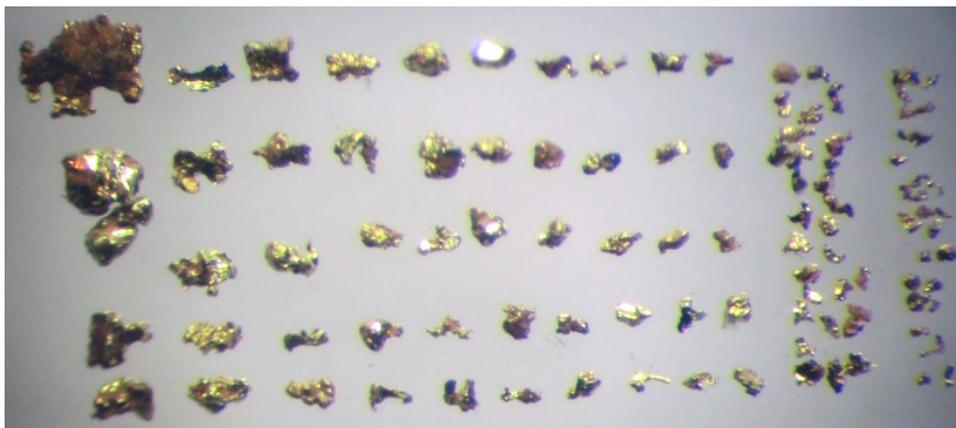


Рис. 11. Эльвиальное золото рудного облика из зоны дробления по шонкинитам на контакте с дайкой сиенит-порфиров

отобранной из элювия по зоне дробления на контакте шонкинитов с дайкой, установлено самородное золото в количестве 110 знаков с максимальным размером 0,55 мм (рис. 11). Здесь же из полотна канавы отобрана бороздовая проба, из которой выделено 43 зерна с максимальным размером 0,6 мм (рис. 12).

Гранулометрические особенности шлихового золота определяются, с одной стороны, исходными размерами частиц золота, локализованными в элювии (что зависит напрямую от типа коренного источника), а с другой – динамической сортировкой кластического материала, обусловленной его транспортировкой и аккумуляцией. При этом элювиальный металл из разборного плотика практически неокатан, т. е. перемещение основного количества золота практически отсутствовало или было крайне незначительным для небольшого количества делювиального золота. Следовательно, на изменчивость гранулометрического состава в шлиховых пробах влияет исключительно тип коренного источника.

При изучении гранулометрического состава самородного золота, выделенного из протолочных проб и из шлихов, определение размера золотин и разделение на классы крупности ввиду малого размера навесок проводилось не при помощи ситового анализа, а под бинокулярным микроскопом. Соотношение различных классов крупности оценивалось визуально (полуколичественно).

Ряд протолочных проб, отобранных из оруденелых пород, вскрывающихся в канавах и являющихся продуцентами россыпного золота на этой

площади, содержат значимое количество (порядка 38–50 %) золота «крупных» классов $-+0,5$ мм (рис. 13).

В расчистках, отобранных из элювия, отмечалось похожее соотношение металла данных

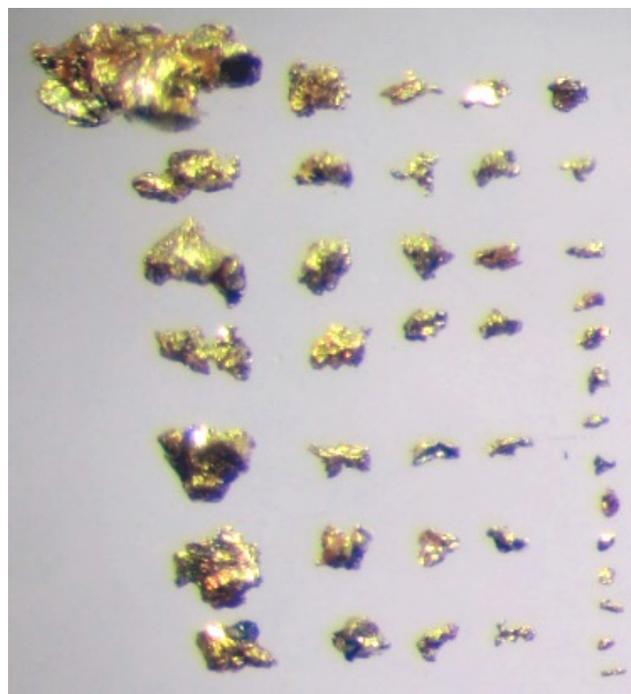


Рис. 12. Золото из бороздовой пробы из зоны дробления по шонкинитам на контакте с дайкой сиенит-порфиров

классов, при этом выход золота класса +0,5 мм составлял порядка 23 % (см. рисунки 5–8 и 10–12).

В ряде случаев наблюдалось несоответствие низких содержаний золота, по данным пробирного анализа и большого количества знаков золота, в том числе «относительно крупных» классов +0,3 мм, полученного из проб протолок и из элювия. Этот факт однозначно свидетельствует о неравномерном распределении самородного золота различного гранулометрического состава в рудах на участке Чулковский, что может значительно влиять на результаты анализа «эффекта самородка», приводящего к систематическому занижению содержаний при использовании проб малого объёма.

На гистограммах гранулометрического состава золота, полученного по рудной зоне-3 как из элювия, так и из бороздовых проб, хорошо видно, что иногда наибольшее количество золота (порядка 50 %), приходится на класс +0,5 мм, значимое количество металла (до 30 %) – на класс -0,5+0,3 мм. Аналогичное соотношение гранулометрического состава в ряде случаев наблюдается по рудным зонам-1 и 2 (см. рис. 13).

Проблема занижения содержаний золота, определённых атомно-абсорбционным методом анализа, при наличии в пробах «относительно крупного» металла (класса +0,3 мм) характерна также для месторождений Лебединского рудно-россыпного узла [22].

В настоящее время актуальна задача вовлечения в эксплуатацию золоторудных месторождений с низкими (1–2 г/т) содержаниями золота. При оценке рентабельности таких объектов занижение среднего содержания золота на десятые доли грамма на тонну могут быть решающими. При этом на ряде месторождений при оценке достоверности опробования прожилково-вкрапленных руд с содержаниями Au порядка 2–5 г/т установлено существенное занижение содержаний золота, определённых атомно-абсорбционным методом анализа [17]. Занижения были обусловлены наличием в рудах «относительно крупного» (класса +0,3 мм) самородного золота и, как следствие, неравномерностью его распределения, в результате чего стандартная исследуемая навеска становилась неrepresentative. Отсюда следует, что для оценки объектов с повышенной крупностью золота одним из необходимых мероприятий является изменение способа пробоподготовки и методики определения содержания. Поэтому одна из основных задач при проведении

ГРП – оперативное определение наличия крупного золота в пробах, обуславливающего «эффект самородка».

В соответствии с рекомендациями ГКЗ для руд с крупными зёрнами золота, особенно с невысокими его содержаниями (до 5 г/т), для повышения надёжности определений рекомендуется применять пробирную плавку большой массы руды или гравитационное выделение свободного золота из всей массы отобранной пробы после дробления до крупности 1–2 мм [23]. Первый метод отличается большой трудоёмкостью и практически не применяется. Помимо этого, выполняются анализы с предварительным отсевом крупного золота на сите и отдельным анализом надрешётного и подрешётного продуктов (ОСТ 48–276–86). Метод используется многими лабораториями, но масса навески на ситовой анализ, как правило, ограничивается 0,5–1,0 кг, которая для руд некоторых объектов недостаточна.

На основании изучения данной проблемы рядом авторов были сформулированы следующие выводы.

1. Присутствие крупного свободного золота в рудах, особенно с невысокими средними содержаниями, и его неравномерное распределение при отборе навесок для пробирного анализа приводят к значительному влиянию «эффекта самородка» на результаты анализа.

2. Для руд с преобладанием мелкого и тонкого золота в основном размером не более -0,2 мм вполне достоверны результаты пробирных анализов проб малой массы.

3. Для руд с большим количеством золота средних размеров (+0,3–0,5 мм) необходимо применять или гравитационное выделение свободного золота из всей массы отобранной пробы после дробления до крупности 1–2 мм, или проводить предварительный мокрый отсев крупного золота на сите с отдельным анализом надрешётного и подрешётного продуктов.

Таким образом, при оценке промышленной значимости рудопроявлений участка Чулковский с невысокими средними содержаниями и наличием крупного золота на первое место выдвигается вопрос определения истинного содержания золота. Отсюда следует, что актуальной задачей является определение наличия металла крупных классов крупности на ранних стадиях ГРП.

Морфология золота участка Чулковский характеризуется разнообразием форм с преобладанием гемиидиоморфных (комбинированных)

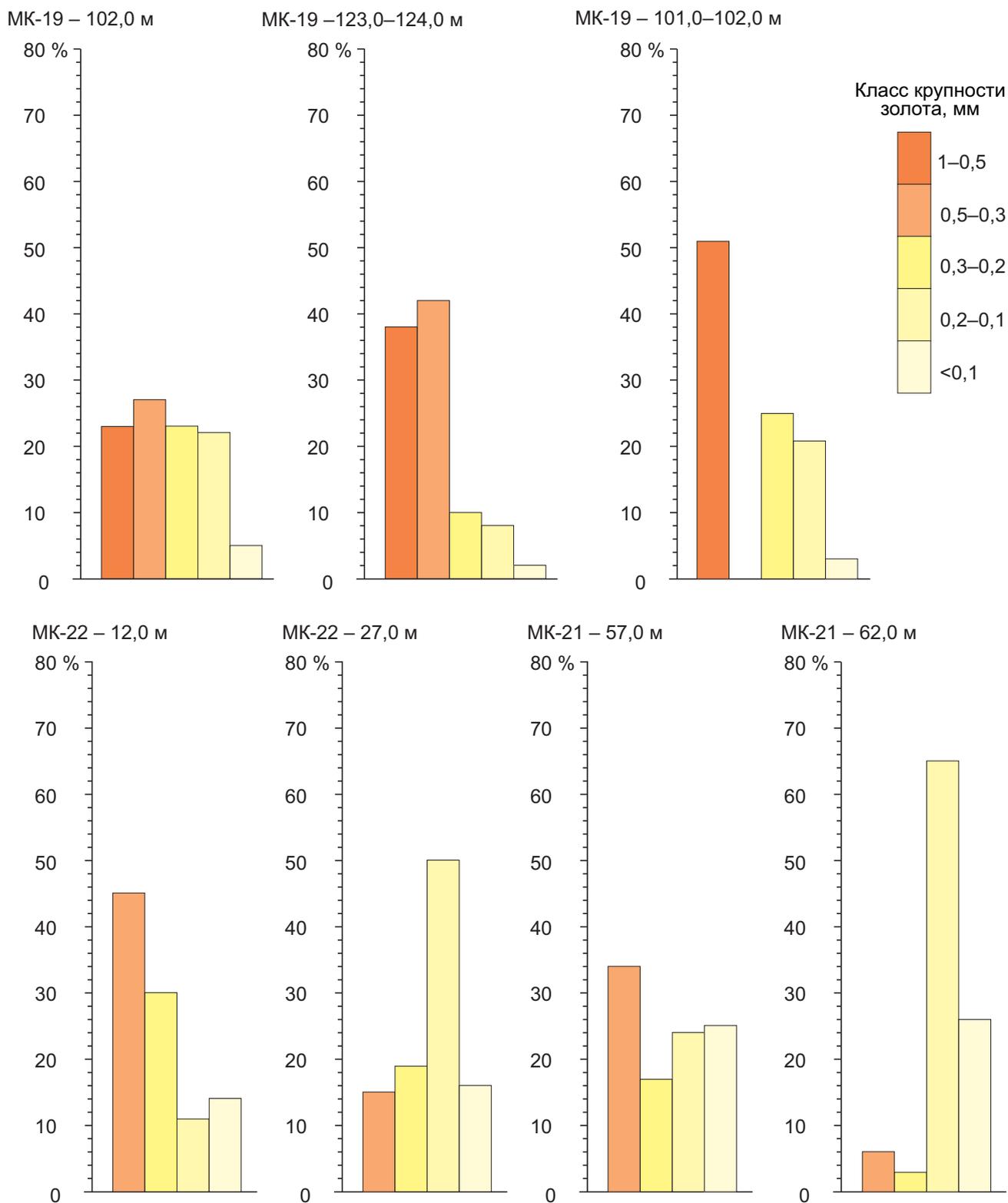


Рис. 13. Особенности гранулометрического состава самородного золота, выделенного из борзодовых проб и из элювия рудных зон участка Чулковский

с большой долей золота комковидной, интерстициальной, губчатой и трещинно-каркасной (цементационной) морфологии с мелкопористой или ячеистой поверхностью и неровными острыми краями [16]. Часто отмечаются кристаллы и сростки кристаллов, в ряде случаев со ступенями роста (см. рисунки 14, 15). Губчатое самородное золото иногда представлено полифазным минеральным агрегатом мелких изометричных золотинок, сцементированных гидроксидами железа. Значимая часть золотинок, полученных из проб протолок, находится в «рубашках» гидроксидов железа и марганца, часто отмечаются сростки с кварцем.

Шлиховое золото, полученное из элювия, идентично рудному золоту из бороздовых проб и также характеризуется преобладанием гемиидиоморфных (комбинированных) форм с большой долей золота комковидной, интерстициальной и трещинно-каркасной (цементационной) морфологии (см. рис. 14) с мелкопористой или ячеистой поверхностью и неровными острыми краями.

Более мелкие золотины имеют гладкую блестящую поверхность. По золоту фиксируются частые примазки гидроксидов железа (примерно в 10–15 %). Порядка 10 % золотинок приходится на сростки с кварцем. Отмечается большое количество

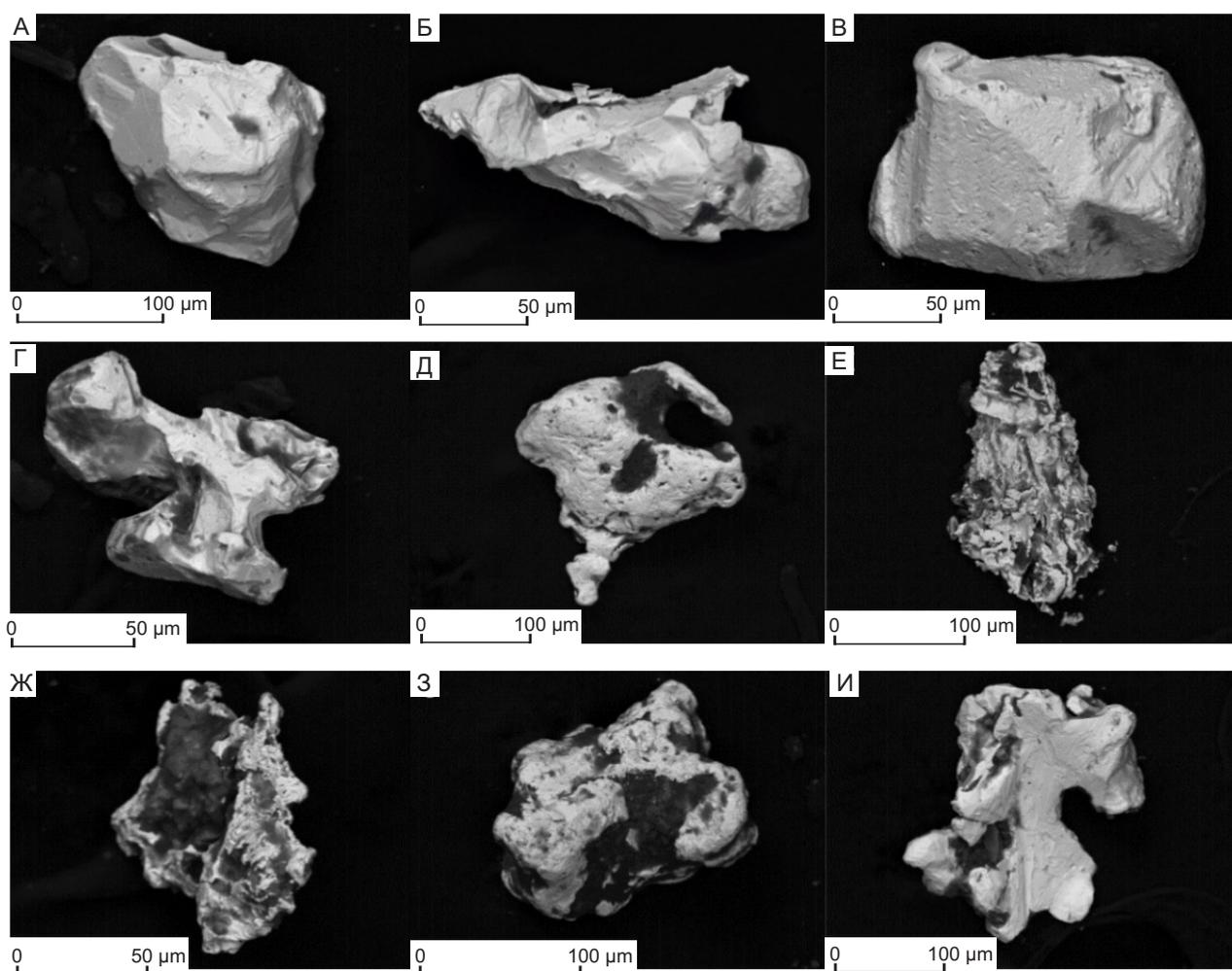


Рис. 14. Морфология зёрен самородного золота на участке Чулковский: объёмные кристаллы (А–В), сложные кристаллические сростки (Г), трещинные (Д), ячеисто-каркасные (цементационные) (Е), прожилково-губчатые (цементационные) (Ж), комковидные (гемиидиоморфные) (З), пластинчатые (гемиидиоморфные) (И):

золотины А, Г – из пробы БК-21/57 (из элювия); Б, Е–Ж – БК-19/102 (из элювия); В, Д, З – БК-22/63 (из элювия); И – БК-21/57-58 (из бороздовой пробы)

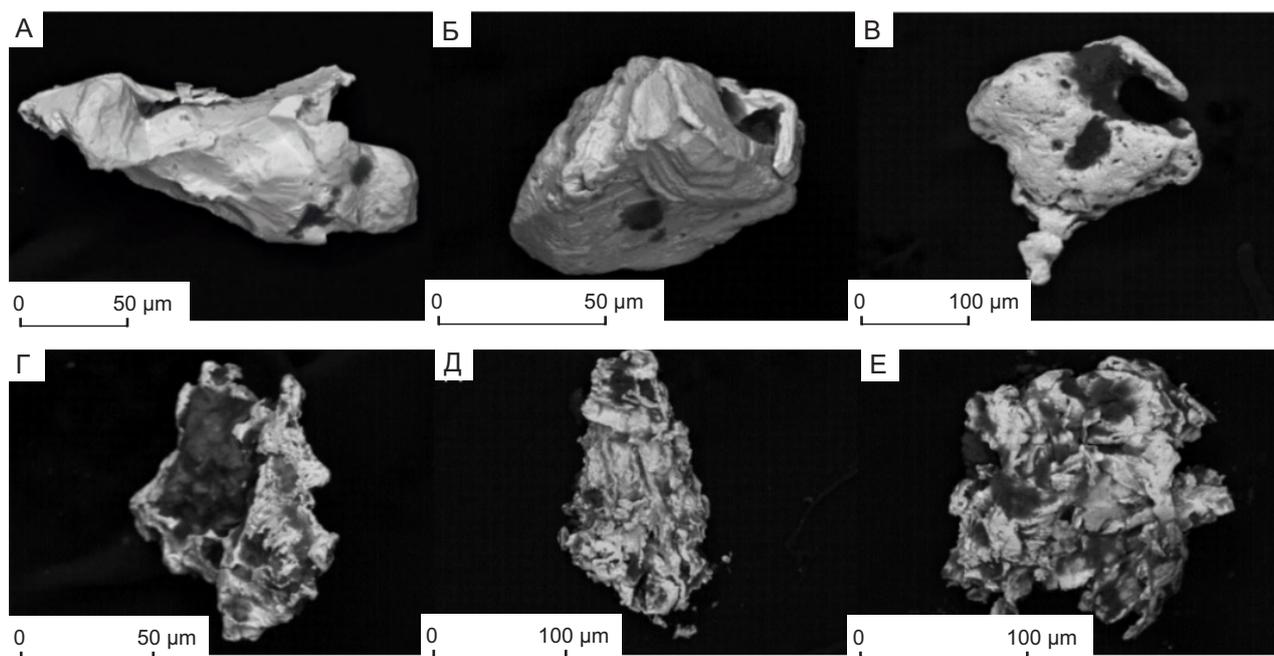


Рис. 15. Виды поверхности самородного золота из элювия участка Чулковский:

гладкая со ступенями роста (А), бугорчатая со ступенями роста (Б–В), ямчато-ячеистая (Г), губчатая (Д–Е); золотины А–Б, Г–Д – из пробы БК-19/102; В, Е – БК-22/63

сростков с интенсивно лимонитизированными минералами вмещающих пород.

Установленные морфологические особенности изученного элювиального самородного золота позволяют с высокой вероятностью говорить о незначительной степени его окатанности. То есть по шестибальной шкале окатанности золото с данного профиля в большинстве относится к 1 баллу – почти неокатанные золотины, у которых лишь притуплены острые концы выступов и изогнуты наиболее тонкие ответвления. Часто отмечаются сростки золота (до 20 % от общего количества металла) с минералами вмещающих пород с кварцем, гидрогётитом и полевым шпатом. На 10–15 % золотин можно допустить наличие признаков слабой и очень слабой окатанности (2 балла) (см. рисунки 14, 15). Подобные признаки характерны именно для элювиальных россыпей и однозначно свидетельствуют об отсутствии перемещений подавляющего большинства частиц самородного золота при формировании коровых отложений.

Помимо этого, необходимо отметить, что существенная доля губчатого самородного золота представляет собой полифазный минеральный агре-

гат, состоящий из очень мелких изометричных выделений самородного золота и гидроксидов железа. Такие сростки, вероятно, являются результатом гипергенного преобразования пирита с густой вкрапленностью или гнездовыми скоплениями мелкой вкрапленности самородного золота. Данные образования при лёгком надавливании рассыпаются на несколько частиц и также могут говорить об отсутствии перемещения от коренного источника, что свидетельствует в пользу автохтонного происхождения подавляющей части полученного шлихового металла.

Проба золота составляет от 800–920 ‰. Для золота из зоны окисления характерна более низкая проба порядка 700–870 ‰. Подобное соотношение типично для лебединского геолого-генетического типа в пределах Центрально-Алданского рудного района [2, 12].

По результатам микрорентгеноспектрального анализа золото участка Чулковский характеризуется сложным гетерофазным строением с вариациями пробности внутри отдельных золотин от 793 до 989 ‰. Среди элементов-примесей постоянно отмечается серебро, спорадически – теллур, медь.

По результатам изучения самородного золота выделены четыре генерации.

Золото первой генерации относительно низкой пробности (700–800 ‰) является наиболее ранним и слагает центральные зоны кристаллов. На него нарастает золото второй генерации средней пробности (800–900 ‰). Граница между генерациями чаще всего резкая со скачкообразным повышением пробности на 10 ‰ и более. Подобное строение характерно для большей части золотин всех трёх рудных зон, что подтверждает генетическое единство проявленного на площади золотого оруденения. Выявленный скачкообразный рост отношения Au/Ag при этом указывает на достаточно резкое изменение условий рудоотложения.

Золото третьей генерации высокой пробности (900–930 ‰) образует каймы и микропрожилки, секущие золото предшествующих генераций.

На всех описанных разновидностях золота имеются коррозионные гипергенные каймы, сложенные весьма высокопробным (980–990 ‰) золотом четвёртой генерации.

По минеральному составу золотое оруденение Чулковского рудопроявления относится к золото-сульфидно-кварцевому типу с серебро-золотыми рудами.

Предварительная модель формирования оруденения участка Чулковский. На основании полученных данных при проведении горно-буровых работ в 2017–2019 и 2021 годах на участке недр (Чулковская площадь) история геологического становления представляется следующим образом (начиная с мезозойской магматической активизации).

Этап 1 – магматический. Внедрение пластовых интрузий верхнеселигдарского комплекса.

Этап 2 – тектонический. Формирование тектонических зон северо-западного и северо-восточного простирания.

Этап 3 – магматический. Внедрение штока шонкинитов алданского комплекса.

Этап 4 – магматический. Внедрение штоков сиенитов и монзонитов лебединского комплекса.

Этап 5 – магматический. Внедрение пород дайковой серии – сиенит-порфиров, ортофиров, минетт.

Этап 6 – собственно гидротермальный. Поступление рудоносных флюидов (см. рисунки 3, 16).

Таким образом, основной объём субщелочных пород участка сформировался на раннемеловом этапе мезозойского магматизма, широко проявленного в пределах Центрально-Алданского руд-

ного района. Согласно современным представлениям, данный возраст соответствует основной стадии магматизма и сопряжённой с ней гидротермально-метасоматической деятельности [5, 11, 25]. Одним из основополагающих этапов является собственно тектонический с образованием диагональных зон разломов северо-западного и северо-восточного простираний. В узле пересечения зон разломов произошло и внедрение штока шонкинитов алданского комплекса. На завершающем этапе в уже подготовленную тектонически ослабленную матрицу за счёт сбросо-сдвиговых деформаций и, как следствие, образования интенсивно раздробленных пород поступали гидротермальные рудные растворы. Большой объём растворов поступил в максимально ослабленную область – в район узла пересечения тектонических структур. Этим и объясняется здесь мощность метасоматически изменённых пород – до 60–80 м, причём золоторудная минерализация накладывается как на сиенит-порфиры верхнеселигдарского комплекса, так и на доломиты осадочного чехла, т. е. на блок пород, претерпевших тектонические нагрузки.

Шток шонкинитов играет особую роль в структуре проявления. Шонкиниты в большем своём объёме практически стерильны на сульфидную минерализацию, а на тех участках, где она и проявляется в виде мелкого рассеянного неокисленного пирита (дорудная стадия) в количестве до 5–10 %, содержания золота не превышают 0,1 г/т. Золоторудная минерализация в штоке шонкинитов фиксируется только в узких трещинах отрыва, формирующих маломощные (0,5–5 м) зоны метасоматически изменённых сиенит-порфиров с пирит-кварцевым прожилкованием. Экзоконтакты массива, граничащие с рудными зонами, не претерпели метасоматических изменений, а содержания золота в шонкинитах при переходе от метасоматически изменённых сиенит-порфиров верхнеселигдарского комплекса без постепенных переходов резко снижаются до нулевых значений. То есть шонкиниты являются своеобразным буфером для распространения золоторудных гидротермальных растворов. Последние проникали только в маломощные зоны дробления в шонкинитах, образовавшихся уже в рудную стадию. Не исключено, что в момент внедрения шонкиниты образовали серию кулисоподобных отрывов, параллельных контакту штока, которые также сыграли благоприятную роль в размещении рудных растворов.

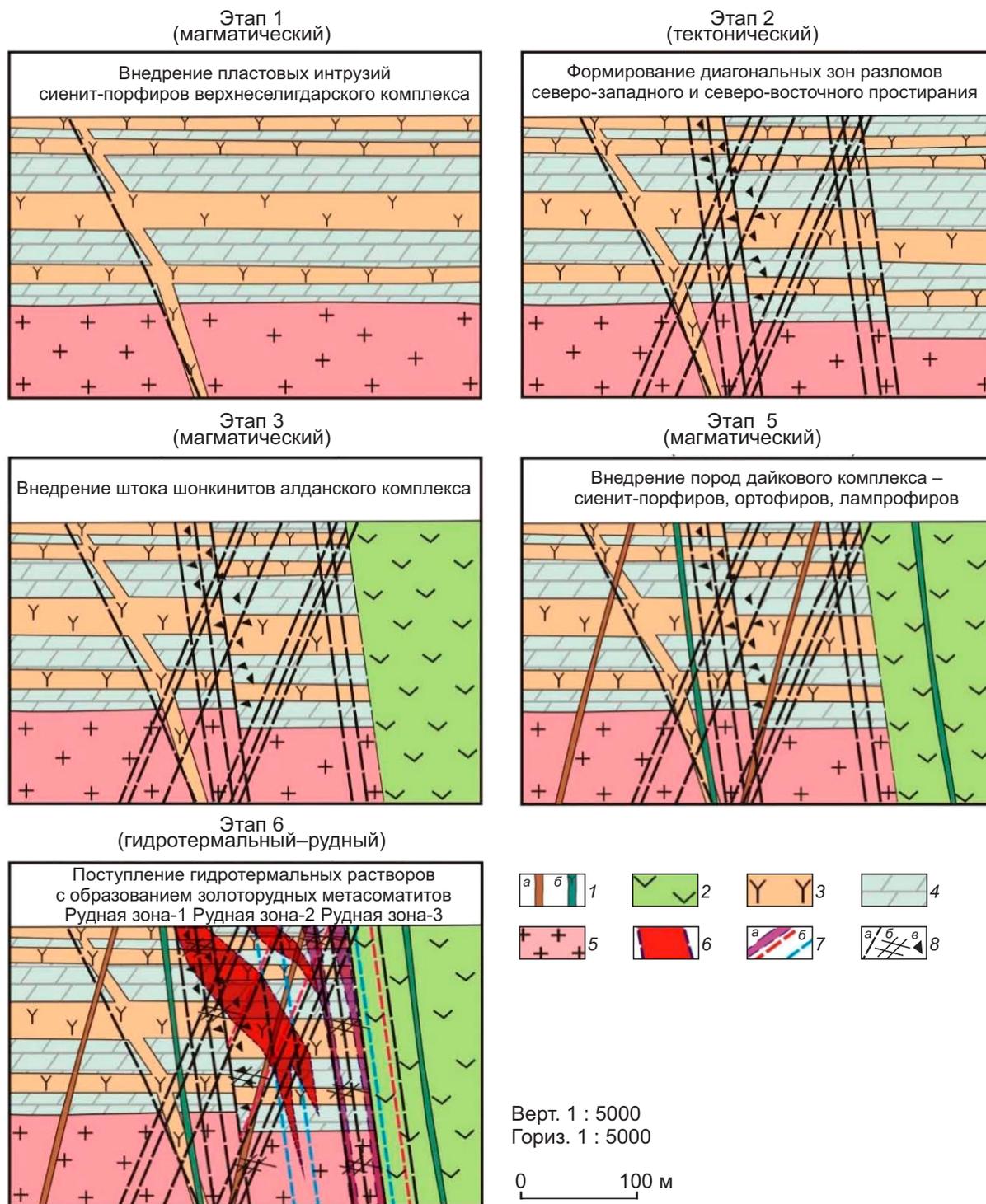


Рис. 16. Модельная обстановка и этапы формирования проявления рудного золота Чулковское:

1 – дайки: а – сиенит-порфиров, ортофиоров, б – лампрофиоров; 2 – алданский комплекс, шонкиниты; 3 – верхнеселигдарский комплекс, роговообманковые и авгит-роговообманковые сиениты и сиенит-порфиры; 4 – венд-кембрийские отложения: доломиты песчанистые, глинистые, кремнистые; 5 – архей-протерозойские породы кристаллического фундамента: граниты, гнейсы, кристаллосланцы; 6 – штокверковая зона золотоносных метасоматитов; 7 – линейные зоны метасоматитов с вкрапленно-прожилковой пирит-кварцевой минерализацией (а), пирит-кварцевые жилы (б); 8 – разломы (а), зоны дробления (б), тектонические брекчии (в); этап 4 не приводится, так как интрузивы Лебединского комплекса размещаются за пределами участка недр Чулковская площадь

Если бы становление шонкинитов произошло до формирования тектонически ослабленных структур северо-восточного и северо-западного простираний, то этот процесс затронул бы и шонкиниты, но мы этого не наблюдаем.

В эндоконтакте штока шонкинитов по породам осадочного чехла сформировались мощные (до 30–40 м) зоны скарнов диопсид-флогопит-кальцитового состава. Скарны практически не пиритизированы и не затронуты процессами метасоматических изменений, за исключением локальных участков в ряде скважин. Здесь пиритизация накладывается на маломощные участки (залиты?) материнских шонкинитов и достигает в них 15–20 % от объёма породы в виде равномерно рассеянной мелкой вкрапленности.

Таким образом, массив шонкинитов выступает в роли рудоконтролирующего фактора, рудовмещающей средой в свою очередь служат тектонически ослабленные зоны северо-восточного и северо-западного простираний в породах осадочного чехла и сиенит-порфирах, а точнее узел их пересечения. Рудные растворы концентрировались в экзоконтакте массива шонкинитов в уже подготовленной матрице интенсивно раздробленных пород. Несомненно, перспективы на наличие золоторудной минерализации имеет южный и юго-восточный экзоконтакты штока шонкинитов, а также юго-восточный фланг структуры Туманная-Дальняя на интервале проявления Чулковское – долина руч. Прямой (восточная часть Чулковской площади).

Во вторичных ореолах рассеяния рудоносная структура, представленная вертикальными зонами дробления, фиксируется контрастными положительными аномалиями Au, Ag, Pb, W, As. Менее контрастно выражены ореолы кадмия и цинка, сурьма не образует площадных или линейных аномалий и проявляется лишь точечно.

Основными поисковыми признаками для выявления золотого оруденения, аналогичного рудным телам и зонам проявления Чулковское, следует считать: наличие узлов пересечения разломных структур и комплексных литогеохимических аномалий Au, Ag, As, Pb, W, пространственно совпадающих с электроразведочными аномалиями пониженного сопротивления. Как дополнительный фактор можно рассматривать наличие штоков мезозойских магматитов, располагающихся в непосредственной близости от тектонических структур и узлов их пересечения.

Исходя из вышеизложенного можно заключить следующее.

1. В результате проведённых поисковых работ установлено, что золото-серебряное оруденение на участке Чулковский локализуется в виде залежей лебединского типа как в доломитах, так и в силлах сиенит-порфиров, а также в субвертикальных зонах дробления в субщелочных породах. По структурно-вещественным характеристикам и морфологическому типу рудных тел рудопроявление Чулковское обнаруживает сходство с геолого-промышленным типом Гора Рудная золото-порфирового рудно-формационного типа, эталонном которого является месторождение Морозкинское Лебединского рудного узла (табл. 1).

2. В ряде случаев рудопроявления и месторождения этого типа характеризуются наличием в рудах «относительно крупного» (класса +0,3 мм) самородного золота, что приводит к неравномерности его распределения и оказывает влияние на достоверность опробования руд традиционными методами. Гистограммы гранулометрического состава самородного золота, полученного из протолочных проб, однозначно показали наличие значимых содержаний металла крупных классов. На золото класса +0,5 мм нередко приходится порядка 38–50 %.

3. Самородное золото из шлиховых проб, отобранных из разборного плотика (элювия), также показало сопоставимый выход золота этого класса. Выход золота класса +0,3 мм составляет 40–65 %. То есть гранулометрический состав элювиального шлихового золота, полученного из зоны разборного плотика, также достаточно надёжен для определения значимых содержаний класса +0,3 мм. Таким образом, использование экспрессного шлихоминералогического метода опробования элювия над минерализованными зонами позволяет на ранних стадиях ГРП достаточно надёжно оценить соотношение различных классов золота в изучаемых золоторудных объектах и при наличии крупного, неравномерно распределённого золота рекомендовать предварительную обработку проб с выделением из них крупного металла, что позволит снизить влияние неравномерности его распределения.

4. В соответствии с рекомендациями ГКЗ для руд с крупными зёрнами золота, особенно с невысокими его содержаниями (до 5 г/т), в целях повышения надёжности определений рекомендуется применять пробирную плавку большой массы руды или гравитационное выделение свободного золота из всей массы отобранной пробы после

Таблица. Поисковые критерии и признаки месторождения Морозкинское (Гора Рудная), с использованием данных [1, 3, 7, 8, 10 и др.]

Критерии и признаки	Тип Горы Рудной (месторождение Морозкинское)	Рудопроявление Чулковское
Название металлогенического таксона	ЦАР. Месторождения центральной части Лебединского РУ	ЦАР. Юго-западный фланг Лебединского РУ
Геохронологические	Мезозойская ТМА	Мезозойская ТМА
Геодинамические	Относительно стабильные блоковые структуры II-го порядка с уменьшенной мощностью карбонатного чехла. Опущенные блоки фундамента контролируются зонами региональных разломов. Блоки характеризуются относительной стабильностью, но при этом находятся в пределах влияния узлов мезозойской ТМА. Массив Гора Рудная размещён на северо-западной периферии Верхне-Якутской грабен-впадины	Относительно стабильные блоковые структуры II-го порядка с уменьшенной мощностью карбонатного чехла. Опущенные блоки фундамента контролируются зонами региональных разломов. Блоки характеризуются относительной стабильностью, но при этом находятся в пределах влияния узлов мезозойской ТМА. Рудопроявление Чулковское размещено на западной периферии Верхне-Якутской грабен-впадины
Магматогенные	Основным структурным элементом является лакколитообразный массив Горы Рудной, сложенный в основном кварцевыми лейкомонциодорит-порфирами поздней фазы становления монцит-сиенитовой формации ороченского комплекса с жильно-штокерковым золото-сульфидно-кварцевым оруденением золото-порфирового типа	Толща доломитов вмещает субгоризонтально залегающие силлы роговообманковых и авгит-роговообманковых сиенит-порфиров верхнеселигдарского комплекса. Породы фундамента и платформенного чехла прорваны штоками интрузий лебединского комплекса – меланократовых субщелочных сиенитов, кварцосодержащих сиенитов, дайками минетт, ортофиоров, бостонитов и штоком шонкинитов алданского комплекса с жильно-штокерковым золото-сульфидно-кварцевым оруденением
Литолого-фациальные	Промышленная золоторудная минерализация в основном сосредоточена на участках рудных зон, вмещаемых породами силла. Маломощные реликты венда вмещают залежный тип оруденения. В породах архейского фундамента, мощность рудных тел, выполняющих зоны разломов, как правило, ниже, чем в породах лакколита	Золотое оруденение развивается по зонам дробления в интрузии шонкинитов, доломитах, по дайкам бостонитов, минетт и преимущественно по силлам сиенит-порфиров. В породах венда вскрыты маломощные, непротяжённые рудные тела залежного типа. Рудные зоны выклиниваются на границе с кристаллическим фундаментом. В скважинах в фундаменте отмечаются лишь маломощные интервалы с содержанием золота, не превышающим 1 г/т

Критерии и признаки	Тип Горы Рудной (месторождение Морозкинское)	Рудопроявление Чулковское
Название металлогенического таксона	ЦАР. Месторождения центральной части Лебединского РУ	ЦАР. Юго-западный фланг Лебединского РУ
Структурно- тектонические	Томмот-Эльконская зона глубинных разломов с широким развитием разрывных нарушений трёх основных направлений: субмеридиональное, северо-западное и северо-восточное. Основная доля тектонических элементов в выделенных системах представлена крутопадающими трещинами скола и отрыва субвертикального залегания. Золоторудные тела локализуются в протяжённых, крутопадающих минерализованных зонах преимущественно северо-восточного простирания и оперяющих их разрывных структурах субмеридионального и северо-западных простираний. Минерализованные зоны, пересекающие породы силла и фундамента, сложены катаклазитами и тектоническими брекчиями алюмосиликатных пород	Обобщающими факторами и критериями локализации рудопроявления Чулковское на площади Селигдарского рудного поля являются его положение в узле пересечения протяжённой Юхтинско-Нимгерканской зоны разломов северо-западного простирания и Томмот-Эльконской зоны глубинных разломов с широким развитием разрывных нарушений трёх основных направлений: субмеридиональное, северо-западное и северо-восточное. Золоторудные тела локализуются в крутопадающих на северо-восток минерализованных зонах трещиноватости и дробления
Рудоконтролирующие структуры	Протяжённые разломные структуры взбросово-сбросовой кинематики Томмот-Эльконской зоны разломов. Внутриинтрузивные зоны дробления	Протяжённые разломные структуры взбросово-сбросовой кинематики Томмот-Эльконской и Юхтинско-Нимгерканской зон разломов. Внутриинтрузивные зоны дробления
Морфологический	Оруденение относится к трём морфологическим типам: оруденению в минерализованных зонах дробления и прокварцевания в породах докембрийского фундамента (рудоподводящие структуры), субгоризонтальным рудным телам (залежам) лебединского типа в чехле карбонатных отложений на границе с перекрывающими фундамент мезозойскими сиенит-порфирами и стержневым субвертикальным рудным телам и сопровождающему их прожилково-вкрапленному и жильно-штокверковому оруденению в мезозойском силле сиенит-порфиров	Оруденение относится к двум морфологическим типам: оруденению в минерализованных зонах дробления и прокварцевания в породах чехла, силлах сиенит-порфиров и штоке шонкинитов, субгоризонтальным рудным телам (залежам) лебединского типа в чехле карбонатных отложений на границе с перекрывающими фундамент мезозойскими сиенит-порфирами и на границе с кристаллическим фундаментом

Окончание таблицы

Критерии и признаки	Тип Горы Рудной (месторождение Морозкинское)	Рудопоявление Чулковское
Название металлогенического таксона	ЦАР. Месторождения центральной части Лебединского РУ	ЦАР. Юго-западный фланг Лебединского РУ
Гидротермально-метасоматические	В массиве лейкомонцодиорит-порфиров, несущем штокверковое и жильно-прожилковое золотое оруденение, проявлена объёмная дорудная березитизация, а в рудных зонах – кварц-калишпатовые, кварц-серицитовые, серицитовые, кварцевые, кварц-карбонатные и аргиллизитовые изменения до высокой интенсивности. Крутопадающие минерализованные зоны в породах фундамента сопровождаются эпидотизацией, хлоритизацией и карбонатизацией метаморфических пород. В локальных зонах проявлены березитизация и кварц-серицитовые преобразования	В породах осадочного чехла гидротермальные изменения выражаются в лимонитизации и анкеритизации, в силах сиенит-порфиров мезозойского возраста – в калишпатизации, пирит-кварцевом прожилковании и последующей лимонитизации за счёт окисления пирита. В зонах дробления отмечается анкеритизация и мраморизация доломитов
Минералогические	В штокверковых рудах и минерализованных зонах в фундаменте и лакколите Горы Рудная преобладают пирит-кварцевые прожилки и жилы. Общими поисковыми признаками служат золотоносные россыпи, шлиховые потоки рассеяния золота. Интенсивная окисленность руд, являющаяся наиболее характерной чертой Лебединского рудного узла, определяет ведущую роль в качестве минералогических поисковых признаков таких минералов, как гётит, гидрогётит, лимонит, англезит, малахит и азурит. Проба золота от 840–920 ‰	В минерализованных зонах дробления, локализованных в доломитах чехла и в мезозойских породах, преобладают пирит-кварцевые прожилки. Общими поисковыми признаками служат золотоносные россыпи, шлиховые потоки рассеяния золота. Интенсивная окисленность руд, являющаяся наиболее характерной чертой Лебединского рудного узла, определяет ведущую роль в качестве минералогических поисковых признаков таких минералов, как гётит, гидрогётит, лимонит, англезит
Рудно-формационный тип	Золото-порфировый	Золото-сульфидно-кварцевый
Геохимические	Геохимические аномалии золота, серебра, свинца, меди, цинка (для золотосульфидного типа руд) и золота, серебра, мышьяка, сурьмы и ртути (для золото-пирит-кварцевых жил)	Геохимические аномалии золота, серебра, меди, висмута, сурьмы, мышьяка
Геофизические	Линейные отрицательные гравитационные аномалии фиксируются над зонами разломов и разуплотнения пород; линейные зоны развития кварц-сульфидных и кварц-лимонитовых руд фиксируются наименьшим электрическим сопротивлением в сотни Ом·м. Дайки субщелочных пород выделяются по магниторазведке максимумами в магнитном поле, а также по каротажу в скважинах методом КМВ	Линейные зоны развития золото-сульфидно-кварцевых и кварц-лимонитовых руд фиксируются наименьшим электрическим сопротивлением в сотни Ом·м. Дайки субщелочных пород выделяются по магниторазведке, максимумами в магнитном поле, а также по каротажу в скважинах методом КМВ

дробления до крупности 1–2 мм [23]. При этом первый метод отличается большой трудоёмкостью и практически не применяется [21].

В настоящее время участок Чулковский наиболее перспективен для Селигдарского рудного поля. В пределах рудной зоны Чулковская прогнозные ресурсы рудного золота и попутного се-

ребра категории P_1 геометризованы в двух блоках, по категории P_2 – в трёх. Всего по категории P_1 оценено 16,9 т золота при среднем содержании 1,89 г/т, 59,1 т серебра при содержании 6,6 г/т; по категории P_2 оценено 12,1 т золота при содержании 1,88 г/т, 41,6 т серебра при содержании 6,4 г/т.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бойцов В. Е., Пилипенко Г. Н., Дорожкина Л. А. Золоторудные и золотоурановые месторождения Центрального Алдана. Крупные и суперкрупные месторождения рудных полезных ископаемых. В 3 томах. Т. 2 : Стратегические виды рудного сырья. – М. : ИГЕМ РАН, 2006. – С. 215–240.
2. Ветлужских В. Г. Золотое оруденение эпохи мезозойской тектоно-магматической активизации Алдано-Становой провинции : специальность 04.00.11 «Геология, поиски и разведка рудных и нерудных месторождений, металлогения» : дисс. доктора г.-м. наук / Валерий Георгиевич Ветлужских. – Москва–Якутск, 1990. – 325 с.
3. Ветлужских В. Г. Казанский В. И., Кочетков А. Я. [и др.] Золоторудные месторождения Центрального Алдана // Геология рудных месторождений. – 2002. – Т. 44, № 6. – С. 467–499.
4. Гузев В. Е., Терехов А. В., Крымский Р. Ш., Беляцкий Б. В., Молчанов А. В. Морозкинское золоторудное месторождение (южная Якутия): возраст и источники рудного вещества // Записки Горного института. – 2021. – Т. 252. – С. 801–813.
5. Гузев В. Е., Терехов А. В., Скублов С. Г. [и др.] Первые данные о U-Pb возрасте и составе циркона из рудоносных сиенитов горя Рудная (Южная Якутия) // Тихоокеанская геология. – 2021. – Т. 40, № 6. – С. 85–99.
6. Дворник Г. П. Золотоаргиллизитовое оруденение и аметистовая минерализация Нимгерканского рудного узла (Алданский щит) // Вестник Уральского отделения РМО. – 2011. – № 8. – С. 23–28.
7. Золоторудные месторождения России / Отв. ред. Константинов М. М. – М. : Акварель, 2010. – 349 с.
8. Казанский В. И. Уникальный Центрально-Алданский золото-урановый рудный район (Россия) // Геология рудных месторождений. – М. : Наука. – 2004. – Т. 46, № 3. – С. 195–211.
9. Кондратьева Л. А., Минаков А. В., Кравченко А. А. Золото-теллуридная минерализация Нимгерканского рудного узла (Алданский щит) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России : материалы X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Якутск : Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова, 2020. – С. 231–236.
10. Кочетков А. Я. Мезозойские золотоносные рудно-магматические системы Центрального Алдана // Геология и геофизика. – 2006. – Т. 47, № 7. – С. 850–864.
11. Кукушкин К. А., Молчанов А. В., Радьков А. В. [и др.] О расчленении мезозойских интрузивных пород Центрально-Алданского района (Южная Якутия) // Региональная геология и металлогения. – 2015. – № 64. – С. 48–58.
12. Леонтьев В. И. Особенности проявления золотого оруденения лебединского типа в Джекондинском рудном узле (Центрально-Алданский рудный район) // Региональная геология и металлогения. – 2016. – № 65. – С. 84–92.
13. Методическое руководство по изучению самородного золота при геологоразведочных работах / Л. А. Николаева. – М. : ЦНИГРИ, 1985. – 76 с.
14. Молчанов А. В., Терехов А. В., Шатов В. В. [и др.] Золоторудные районы и узлы Алдано-Становой металлогенической провинции // Региональная геология и металлогения. – 2017. – № 71. – С. 93–111.
15. Молчанов А. В., Терехов А. В., Шатов В. В., Белова В. Н., Радьков А. В., Соловьев О. Л., Степунина М. А. Лебединский золоторудный узел (Особенности геологического строения, метасоматиты и оруденение) // Региональная геология и металлогения. – 2013. – № 55. – С. 99–110.
16. Николаева Л. А., Гаврилов А. М., Яблокова С. В., Шатилова Л. В. [и др.] Изучение самородного золота при геологоразведочных работах : методические рекомендации. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : ЦНИГРИ, 2023. – 74 с.
17. Остапенко Л. А., Стружков С. Ф., Рыжов О. Б. [и др.] Оценка достоверности опробования руд на крупнообъемных золоторудных месторождениях в терригенных толщах на примере Дегдеканского месторождения // Руды и металлы. – 2004. – № 2. – С. 42–55.
18. Петров О. В., Молчанов А. В., Терехов А. В., Шатов В. В. Морозкинское золоторудное месторождение (особенности геологического строения и краткая

- история открытия) // Региональная геология и металлогения. – 2018. – № 75. – С. 112–116.
19. *Петровская Н. В.* Самородное золото. – М.: Наука, 1973. – 349 с.
 20. *Рекомендации к управлению и контролю качеством рядового опробования месторождений твёрдых полезных ископаемых (кроме углей и горючих сланцев).* – М.: Минприроды России, 2015. – 56 с.
 21. *Романчук А. И., Жарков В. В., Богомолов В. А.* Оценка методов определения Au в рудах с крупным золотом // Руды и металлы. – 2013. – № 4. – С. 61–68.
 22. *Столяренко В. В., Минаков А. В., Чернов Е. Е.* [и др.] Использование шлихоминералогического метода на ранних стадиях ГРП для оперативной оценки наличия крупного золота (на примере Центрально-Алданского района) // Руды и металлы. – 2019. – № 3. – С. 28–43.
 23. *Требования к обоснованию достоверности опробования рудных месторождений (утверждены Председателем ГКЗ В. М. Толкачевым 23.12.1992)* // Сборник нормативно-методических документов, погеолого-экономической оценке, месторождений полезных ископаемых. – М.: ГКЗ РФ, 1992.
 24. *Угрюмов А. Н., Дворник Г. П., Балахонов В. С.* Позднемезозойские метасоматиты и золотое оруденение Нимгерканского рудного узла (Алданский щит) // Изв. УГГГА. Сер. Геология и геофизика. – 1998. – Вып. 8. – С. 99–104.
 25. *Шатова Н. В., Молчанов А. В., Терехов А. В.* [и др.] Рябиновое медно-золото-порфировое месторождение (Южная Якутия): геологическое строение, геохимия изотопов благородных газов и изотопное (U-Pb, Rb-Sr, Re-Os) датирование околорудных метасоматитов и оруденения // Регион. геология и металлогения. – 2019. – № 77. – С. 75–97.

REFERENCES

1. *Boytsov V. Ye., Pilipenko G. N., Dorozhkina L. A.* Zolotorudnyye i zolotouranovyye mestorozhdeniya Tsentral'nogo Aldana. Krupnyye i superkrupnyye mestorozhdeniya rudnykh poleznykh iskopayemykh. V 3 tomakh. T. 2, Strategicheskiye vidy rudnogo syr'ya [Gold ore and gold uranium deposits of Central Aldan. Large and super-large deposits of ore minerals. In 3 volumes. Vol. 2, Strategic types of ore raw materials], Moscow, IGEM RAN publ., 2006, pp. 215–240. (In Russ.)
2. *Vetluzhskikh V. G.* Zolotoye orudneniye epokhi mezozoyskoy tektono-magmaticheskoy aktivizatsii Aldano-Stanovoy provintsii [Gold mineralization of the era of Mesozoic tectonic-magmatic activation of the Aldan-Stanovoy province], Moskva–Yakutsk, 1990, 325 p. (In Russ.)
3. *Vetluzhskikh V. G., Kazanskiy V. I., Kochetkov A. Ya.* [et al.] Zolotorudnyye mestorozhdeniya Tsentral'nogo Aldana [Gold ore deposits of the Central Aldan], Geologiya rudnykh mestorozhdeniy, 2002, V. 44, No. 6, pp. 467–499. (In Russ.)
4. *Guzev V. Ye., Terekhov A. V., Krymskiy R. Sh., Belyatskiy B. V., Molchanov A. V.* Morozkinskoye zolotorudnoye mestorozhdeniye (yuzhnaya Yakutiya): vozrast i istochniki rudnogo veshchestva [Morozkinskoye gold deposit (southern Yakutia): age and sources of ore substance], Zapiski Gornogo instituta, 2021, V. 252, pp. 801–813. (In Russ.)
5. *Guzev V. Ye., Terekhov A. V., Skublov S. G.* [et al.] Per-vyye dannyye o U-Pb vozraste i sostave tsirkona iz rudsonosnykh siyenitov gorya Rudnaya (Yuzhnaya Yakutiya) [First data on the U-Pb age and composition of zircon from ore-bearing syenites of the Rudnaya mountain (Southern Yakutia)], Tikhookeanskaya geologiya, 2021, V. 40, No. 6, pp. 85–99. (In Russ.)
6. *Dvornik G. P.* Zolotoargillizitovoye orudneniye i ametistovaya mineralizatsiya Nimmerkanskoego rudnogo uzla (Aldanskiy shchit) [Gold-argillizite mineralization and amethyst mineralization of the Nimmerkan ore cluster (Aldan shield)], Vestnik Ural'skogo otdeleniya RMO, 2011, No. 8, pp. 23–28. (In Russ.)
7. *Zolotorudnyye mestorozhdeniya Rossii* [Gold ore deposits of Russia], ed. Konstantinov M. M, Moscow, Akvarel' publ., 2010, 349 p. (In Russ.)
8. *Kazanskiy V. I.* Unikal'nyy Tsentral'no-Aldanskiy zoloto-uranovyy rudnyy rayon (Rossiya) [Unique Central Aldan gold-uranium ore region (Russia)], Geologiya rudnykh mestorozhdeniy, Moscow, Nauka publ., 2004, V. 46, No. 3, pp. 195–211. (In Russ.)
9. *Kondrat'yeva L. A., Minakov A. V., Kravchenko A. A.* Zoloto-telluridnaya mineralizatsiya Nimmerkanskoego rudnogo uzla (Aldanskiy shchit) [Gold-telluride mineralization of the Nimmerkan ore cluster (Aldan shield)], Yakutsk, Severo-Vostochnyy federalnyy universitet imeni M. K. Ammosova publ., 2020, pp. 231–236. (In Russ.)
10. *Kochetkov A. Ya.* Mezozoyskiye zolotonosnyye rudno-magmaticheskiye sistemy Tsentral'nogo Aldana [Mesozoic gold-bearing ore-magmatic systems of Central Aldan], Geologiya i geofizika, 2006, V. 47, No. 7, pp. 850–864. (In Russ.)
11. *Kukushkin K. A., Molchanov A. V., Radkov A. V.* [et al.] O raschlenenii mezozoyskiykh intruzivnykh porod Tsentral'no-Aldanskogo rayona (Yuzhnaya Yakutiya) [On the dissection of Mesozoic intrusive rocks of the

- Central Aldan region (Southern Yakutia)], *Regionalnaya geologiya i metallogeniya*, 2015, No. 64, pp. 48–58. (In Russ.)
12. *Leontyev V. I.* Osobennosti proyavleniya zolotogo orudneniya lebedinskogo tipa v Dzhekondinskom rudnom uzle (Tsentral'no-Aldanskiy rudnyy rayon) [Features of the manifestation of gold mineralization of the Lebedinsky type in the Dzhekondinsky ore cluster (Central Aldan ore region)], *Regionalnaya geologiya i metallogeniya*, 2016, No. 65, pp. 84–92. (In Russ.)
 13. *Metodicheskoye* rukovodstvo po izucheniyu samorodnogo zolota pri geologorazvedochnykh rabotakh [Methodological guide for the study of native gold in geological exploration], ed. L. A. Nikolayeva, Moscow, TSNIGRI publ., 1985, 76 p. (In Russ.)
 14. *Molchanov A. V., Terekhov A. V., Shatov V. V.* [et al.] Zolotorudnyye rayony i uzly Aldano-Stanovoy metallogenicheskoy provintsii [Gold ore regions and nodes of the Aldan-Stanovoy metallogenic province], *Regional'naya geologiya i metallogeniya*, 2017, No. 71, pp. 93–111. (In Russ.)
 15. *Molchanov A. V., Terekhov A. V., Shatov V. V., Belova V. N., Rad'kov A. V., Solov'yev O. L., Stepunina M. A.* Lebedinskiy zolotorudnyy uzel (Osobennosti geologicheskogo stroyeniya, metasomatity i orudneniye) [Lebedinsky gold ore cluster (Features of geological structure, metasomatites and mineralization)], *Regional'naya geologiya i metallogeniya*, 2013, No. 55, pp. 99–110. (In Russ.)
 16. *Nikolayeva L. A., Gavrilov A. M., Yablokova S. V., Shatilova L. V.* [et al.] Izucheniye samorodnogo zolota pri geologorazvedochnykh rabotakh, metodicheskiye rekomendatsii [Study of native gold in geological exploration, methodological recommendations], Moscow, TSNIGRI publ., 2023, 74 p. (In Russ.)
 17. *Ostapenko L. A., Struzhkov S. F., Ryzhov O. B.* [et al.] Otsenka dostovernosti oprobovaniya rud na krupnobyemnykh zolotorudnykh mestorozhdeniyakh v terrigennykh tolshchakh na primere Degdekanskogo mestorozhdeniya [Evaluation of the reliability of ore sampling at large-volume gold deposits in terrigenous strata using the Degdekan deposit as an example], *Rudy i metally* [Ores and Metals], 2004, No. 2, pp. 42–55. (In Russ.)
 18. *Petrov O. V., Molchanov A. V., Terekhov A. V., Shatov V. V.* Morozkinskoye zolotorudnoye mestorozhdeniye (osobennosti geologicheskogo stroyeniya i kratkaya istoriya otkrytiya) [Morozkinskoye gold deposit (features of geological structure and brief history of discovery)], *Regionalnaya geologiya i metallogeniya*, 2018, No. 75, pp. 112–116. (In Russ.)
 19. *Petrovskaya N. V.* Samorodnoye zoloto [Native gold], Moscow, Nauka publ., 1973, 349 p. (In Russ.)
 20. *Rekomendatsii k upravleniyu i kontrolyu kachestvom ryadovogo oprobovaniya mestorozhdeniy tverdykh poleznykh iskopayemykh (krome ugley i goryuchikh slantsev)*, Moscow, Minprirody Rossii publ., 2015, 56 p. (In Russ.)
 21. *Romanchuk A. I., Zharkov V. V., Bogomolov V. A.* Otsenka metodov opredeleniya Au v rudakh s krupnym zolotom [Evaluation of methods for determining Au in ores with large gold], *Rudy i metally* [Ores and Metals], 2013, No. 4, pp. 61–68. (In Russ.)
 22. *Stolyarenko V. V., Minakov A. V., Chernov Ye. Ye.* [et al.] Ispol'zovaniye shlichomineralogicheskogo metoda na rannikh stadiyakh GRR dlya operativnoy otsenki nalichiya krupnogo zolota (na primere Tsentral'no-Aldanskogo rayona) [Use of the shlichomineralogical method at the early stages of exploration for the rapid assessment of the presence of large gold (using the Central Aldan region as an example)], *Rudy i metally*, 2019, No. 3, pp. 28–43. (In Russ.)
 23. *Trebovaniya k obosnovaniyu dostovernosti oprobovaniya rudnykh mestorozhdeniy (utverzhdeny Predsedatelem GKZ V. M. Tolkachevym 23.12.1992)* [Requirements for substantiating the reliability of sampling of ore deposits (approved by the Chairman of the State Reserves Committee V. M. Tolkachev on 23.12.1992)], *Sbornik normativno-metodicheskikh dokumentov, po geologo-ekonomicheskoy otsenke, mestorozhdeniy poleznykh iskopayemykh*, Moscow, GKZ RF publ., 1992. (In Russ.)
 24. *Ugryumov A. N., Dvornik G. P., Balakhonov V. S.* Pozdnemezozoyskiye metasomatity i zolotoye orudeniye Nimgerkanskogo rudnogo uzla (Aldanskiy shchit) [Late Mesozoic metasomatites and gold mineralization of the Nimgerkan ore cluster (Aldan shield)], *Izv. UGGGA. Ser. Geologiya i geofizika*, 1998, Is. 8, pp. 99–104. (In Russ.)
 25. *Shatova N. V., Molchanov A. V., Terekhov A. V.* [et al.] Ryabinovoye medno-zoloto-porfirovoye mestorozhdeniye (Yuzhnaya Yakutiya): geologicheskoye stroyeniye, geokhimiya izotopov blagorodnykh gazov i izotopnoye (U-Pb, Rb-Sr, Re-Os) datirovaniye okolorudnykh metasomatitov i orudeniya [Ryabinovoye copper-gold-porphyry deposit (Southern Yakutia): geological structure, geochemistry of noble gas isotopes and isotope (U-Pb, Rb-Sr, Re-Os) dating of wallrock metasomatites and mineralization], *Regionalnaya geologiya i metallogeniya*, 2019, No. 77, pp. 75–97. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 18.11.24; одобрена после рецензирования 05.12.24; принята к публикации 05.12.24.
The article was submitted 18.11.24; approved after reviewing 05.12.24; accepted for publication 05.12.24.

Структурные условия формирования, источники металлов и морфологические типы минерализации Кировского золоторудного месторождения (Приамурье, Россия)

Аннотация. Дано краткое описание истории открытия, разведки и обработки Кировского золоторудного месторождения, его геологического положения и структурных условий рудолокализации. На основании проведённого нами совокупного анализа материалов предшественников и собственных исследований установлено следующее: 1) источником золота являлся магматический очаг и инициировавшие его мантийные расплавы; 2) золотоносные флюиды поступали в верхнюю кору из глубинного магматического очага, сформировавшего вблизи поверхности Джалиндинский плутон и серию сопровождающих его даек пёстрого состава. Золоторудная минерализация формировалась с некоторым отставанием от формирования дифференциатов магматического очага, в парагенетической связи с ними; 3) на глубинных уровнях гидротермальной системы золото переносилось флюидами в составе растворимых комплексов с Cl^- и $(\text{OH})^-$ в лигандах, а на верхних уровнях – также и в составе гидросульфидных комплексов и в твердофазной форме; 4) на участках резких снижений давления флюида, при значительных раскрытиях трещин и полостей, в гидротермальной системе происходили следующие взаимосвязанные явления: кипение флюида, его гетерогенизация, дегазация, приводившие к резким его пересыщениям растворимыми комплексами Au и массовым зарождениям наночастиц самородного золота. Гидрофобность их поверхности способствовала образованию подвижных ассоциатов « $\text{Au}_{\text{кр}}$ + пузырьки газа», их естественной флотации на верхние уровни гидротермальной системы и накоплению в интерстициях формирующихся агрегатов кварца, а также на участках выполаживания полостей и на верхних перифериях раздувов мощности жильных тел. Агрегация наночастиц и кластеров золота в скоплениях ассоциатов приводила к образованию богатых скоплений укрупнённого свободного золота в виде гнезд, бонанцев и рудных столбов. Реальность такого механизма подтверждена нами в экспериментах. Месторождение оценено как потенциально крупный рудный объект на обнаружение новых богатых жильных тел и крупнообъёмных рудных тел с промышленной сульфидно-золото-кварцевой прожилково-вкрапленной минерализацией для подземной и открытой обработки.

Ключевые слова: золоторудное месторождение, источники флюидов и золота, минеральные ассоциации, естественная газовая флотация золота, факторы рудолокализации.

ОСТАПЕНКО НИКОЛАЙ СТЕПАНОВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, руководитель лаборатории рудогенеза, ostapenko_ns@mail.ru

НЕРОДА ОЛЬГА НИКОЛАЕВНА, научный сотрудник лаборатории рудогенеза, neroda67@mail.ru

Институт геологии и природопользования (ИГиП) ДВО РАН, г. Благовещенск

The structural formation conditions, sources of metals, and morphological types of ore mineralization of the Kirovskoe gold deposit, Amur region, Russia

N. S. OSTAPENKO, O. N. NERODA

Institute of Geology and Environmental Management (IGiP) FEB RAS, Blagoveshchensk

Annotation. A brief description is given of the history of discovery, exploration, and operation of the Kirovskoye gold deposit and of its geological position and structural conditions of the ore localization. Based on the combined analysis of data of the predecessors and of our own studies, the following has been established: (1) the gold source was represented by a magmatic chamber and its initiating mantle melts; (2) the gold-bearing fluids entered the upper crust from a deep-seated magmatic chamber that had formed the Dzhalinginsky pluton near the surface and a series of its accompanying dikes of variegated composition; the gold ore mineralization formed with some delay from the formation of the differentiates of the magmatic chamber, in paragenetic connection with them; (3) gold was transported by

fluids as part of soluble complexes with Cl^- and $(\text{OH})^-$ in the ligands at deep levels of the hydrothermal system and also as part of hydrosulfide complexes and in solid-phase form at its upper levels; and (4) in areas of sharp decreases in the fluid pressure caused by significant openings of cracks and cavities, the following interrelated phenomena occurred in the hydrothermal system: fluid boiling, its heterogenization, and degassing, which led to its sharp supersaturation with the soluble Au complexes and mass nucleation of nanoparticles of native gold. A hydrophobicity of the surface of the particles facilitated formation of mobile associates "Au_{cr} + gas bubbles", their natural flotation to the upper levels of the hydrothermal system, and accumulation in the interstices of the forming quartz aggregates, as well as in the areas of flattening of the cavities and in the upper peripheries of swells of the vein bodies. Aggregation of the gold nanoparticles and clusters in the accumulations of the associates led to formation of rich accumulations of enlarged free gold in the form of nests, bonanzas, and ore shoots. Plausibility of such a mechanism was experimentally confirmed by us. The gold ore deposit has been estimated as a potentially large ore object promising for discovery of new rich vein bodies and large-volume ore bodies with commercial-grade sulfide-gold-quartz veinlet-disseminated mineralization suitable for underground and open-pit exploitation.

Key words: gold ore deposit, sources of fluids and gold, mineral assemblages, natural gas flotation of gold, ore localization factors.

Введение. Кировское золоторудное месторождение является первым рудным объектом, выявленным в Приамурье и на территории Российского Дальнего Востока ещё в XIX в. Первые богатые золотом жильные тела были обнаружены старателями в 1884 г. при отработке в истоках р. Джалинда богатых россыпей золота, выявленных здесь ранее (в 1866 г.) экспедицией Н. П. Аносова [23]. Месторождение расположено в 50 км севернее станции Большой Невер Транссибирской железнодорожной магистрали.

Основные этапы истории освоения месторождения следующие.

1 этап (1884–1919 гг.) – бессистемная разведка и старательская отработка выявленных по свалам золотоносного кварца жильных тел до глубин 5–26 м. Сведения о количестве добытого рудного золота на этом этапе не сохранились.

2 этап (1930–1961 гг.) – разведка жильных тел геологическими партиями трестов Союззолото, Амурзолото и прииска Соловьевский; запуск в 1934 г. рудника с амальгамационной фабрикой для механизированной подземной отработки разведанных запасов руд. За этот период были добыты 9,41 т рудного золота.

В 1962 г. из-за значительного истощения разведанных запасов руд, удорожания себестоимости подземной отработки золота и значительного износа оборудования работу рудника приостановили. Он был поставлен на мокрую консервацию, а через 2–3 года прекратили и разведочные работы. В последующем, до конца XX в., на территории рудного поля серьёзные разведочные работы на рудное золото и отработки не проводились, хотя в разные годы месторождение

привлекало внимание геологов и сотрудников различных научных институтов – ЦНИГРИ, ДВГИ и АмурКНИИ ДВО РАН (в том числе и авторов этой статьи) – своей неординарностью, разнообразием минералогического состава, богатством отработанных жильных тел и россыпей золота, недостаточной изученностью ряда генетических вопросов и не оценённостью дальнейших перспектив объекта.

Цели и задачи исследований авторов состояли в выяснении генетических вопросов – вероятных источников флюидов и металлов, накопившихся в рудах, установлении структурных условий локализации и механизмов формирования богатых руд и рудных столбов, а также общей оценке его перспектив на возможность обнаружения крупных ресурсов рудного золота на этом длительно периодически эксплуатировавшемся, но ещё геологически слабоизученном рудном объекте.

Методы исследования. Авторы в разные годы проводили полевые исследования склонов и днищ водотоков на участках отработки россыпей и за их пределами с отбором каменного материала для определения геохимического фона неизменённых пород и изучения околорудного аномального геохимического поля по пробам, отобранным из отвалов ранее пройденных разведочных канав и из сохранившегося керна буровых скважин. Отобранные пробы жильных и вкрапленных руд анализировались на золото и серебро пробирным методом. Пробы вмещающих пород на широкий спектр сопутствующих элементов анализировались в Аналитическом центре ИГиП ДВО РАН приближённо-количественным

спектральным методом и спектрохимическим методом – на золото и серебро с чувствительностью 0,001 г/т. Из образцов пород и руд готовились и микроскопически исследовались шлифы и аншлифы. Авторами также были проведены модельные лабораторные эксперименты [10] по оценке возможности естественной газовой флотации нанозародков самородного золота в гидротермальном процессе.

Положение месторождения в региональных геологических структурах и основные черты его геологического строения и минерализации.

В региональном плане Кировское месторождение расположено в юго-восточном обрамлении Сибирской платформы (рис. 1). Оно приурочено к зоне субширотного Северо-Тукурингского глубинного разлома (СТР) левосдвиговой природы, являющегося составной частью Монголо-Охотской сутуры. Разлом отделяет [18] докембрийские гнейсогранитоидные комплексы Становой складчатой системы от палеозойских и мезозойских вулканогенно-осадочных и терригенных толщ Монголо-Охотского складчатого пояса (рис. 2). В позднеюрское время была сформирована приразломная

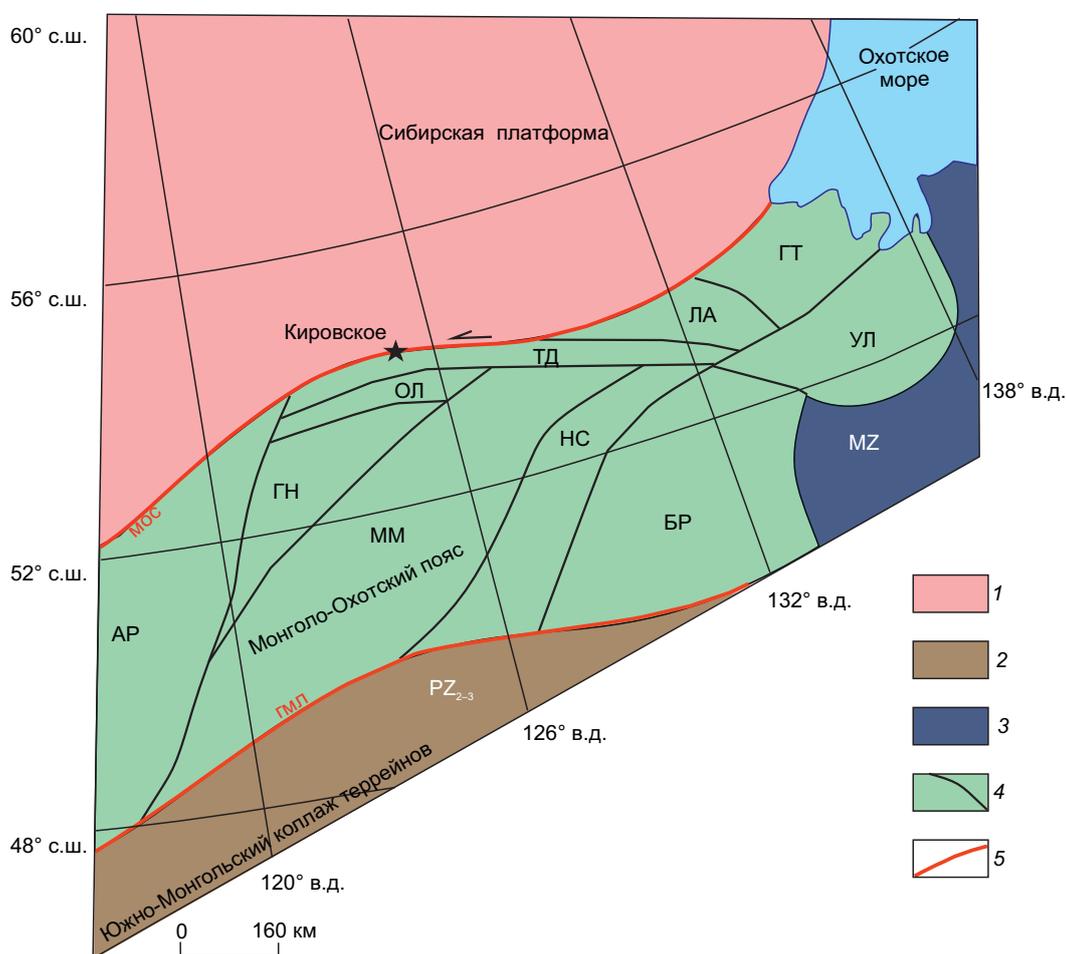


Рис. 1. Схема размещения Кировского золоторудного месторождения относительно основных мегаструктур Востока России. По И. В. Гордиенко и др. [5], с генерализацией:

1 – Сибирская платформа; 2–3 – прилегающие аккреационно-коллизонные системы: 2 – герцинские (PZ_{2-3}), 3 – киммерийские (MZ) Сихотэ-Алиньского орогенного пояса; 4 – террейны Монголо-Охотского пояса и их границы: АР – Аргунский, БР – Буреинский, ГТ – Галамско-Тугурский, ЛА – Ланский, НС – Нора-Сухотинский, ОЛ – Ольдойский, ГН – Гонжинский, ММ – Мамынский, ТД – Тукурингро-Джагдинский, УЛ – Ульбанский; 5 – крупные системы разломов: МОС – Монголо-Охотская сutura, ГМЛ – Главный Монгольский линеймент

Стрелкинская впадина, выполненная юрским терригенным комплексом пород, а несколько позднее, уже в раннем мелу, в северном борту этой впадины в зоне влияния поперечного Янканского глубинного разлома (ЯР), в породах докембрия были сформированы двухфазный Джалиндинский pluton диорит-гранодиоритового состава и сопровождающий его сложный многофазный дайко-

вый комплекс. В современном эрозионном срезе Джалиндинский гранитоидный pluton занимает площадь около 50 км². Он окружён кольцом из докембрийских интрузивных и гнейсовых пород, входящих в состав нижней части вмещающего комплекса пород. Западная и юго-восточная части plutона, контактирующие с габброидами и амфиболитами докембрия, сложены кварцевыми

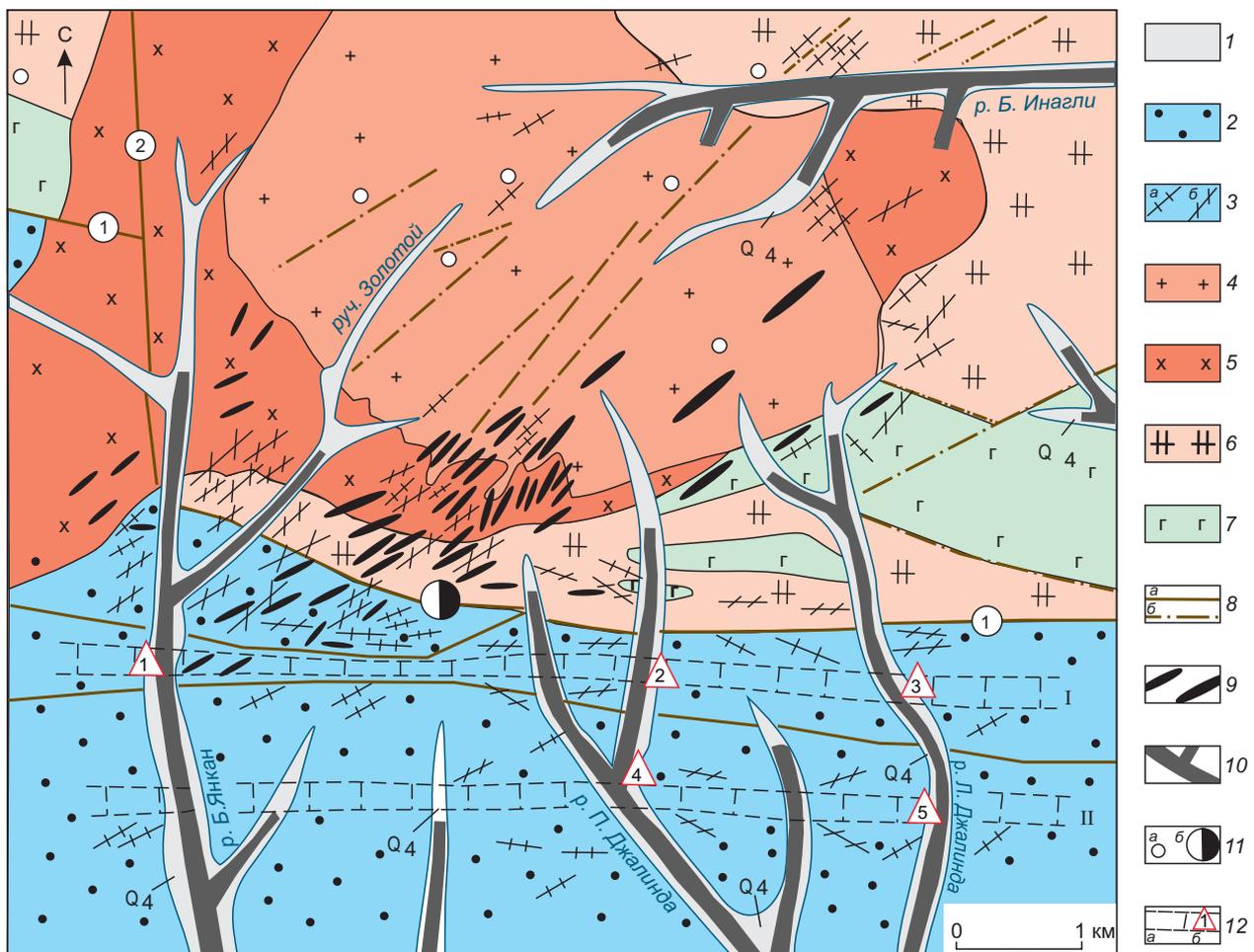


Рис. 2. Схематическая геологическая карта района Кировского золоторудного месторождения. По материалам А. С. Давыдова, 1988, А. В. Зуева, 1999, с дополнениями авторов:

1 – аллювий водотоков Q₄; 2 – средне-верхнеюрские отложения: алевролиты, песчаники, туфопесчаники, конгломераты, гравелиты; 3–5 – раннемеловой интрузивный комплекс: 3 – дайки: а – гранодиорит-порфиры и б – диоритовых порфиритов, 4–5 – Джалиндинская интрузия: 4 – гранодиориты, граниты (2 фаза), 5 – габбродиориты и кварцевые диориты (1 фаза); 6 – раннепротерозойский позднестановой комплекс: субщелочные гнейсовидные граниты; 7 – раннеархейский комплекс: габбро-амфиболиты; 8 – разломы: а – основные, в том числе региональный Северо-Тукурингрский (1) и субмеридиональный Верхнеянканский (2) – цифры в кружках, б – второстепенные; 9 – рудные тела; 10 – россыпи золота по водотокам; 11 – рудопроявления (а) и месторождение Кировское (б); 12 – выделенные авторами потенциально рудные зоны (I и II) с прожилково-вкрапленной минерализацией (а) и места их опробования (б)

диоритами, а центральная его часть – гранодиоритами. На контактах с ним вмещающие юрские алевролиты и песчаники в полосе шириной до 2–3 км ороговикованы [6]. Все вмещающие Джалиндинский плутон докембрийские комплексы пород и терригенные юрские отложения около-разломного Стрелкинского прогиба насыщены крутозалегающими дайками различного состава – от долеритов и диоритовых порфиритов до гранодиорит-порфиров и гранит-порфиров. Они так же присутствуют и в южной приразломной части плутона. На преобладающей части территории рудного поля простирание даек – северо-восточное, а на юге есть и широтные дайки, субпараллельные СТР. U-Pb изотопный возраст гранитоидов Джалиндинского плутона, по [3], составляет $125,44 \pm 0,68$ млн лет, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ изотопный возраст сопровождающих его даек, по [25], составляет $128\text{--}126 \pm 2$ млн лет.

На территории южной части Джалиндинского гранитоидного массива выявлено большое число проявлений золото-кварцевой и умеренной золото-сульфидно-кварцевой жильной и прожилково-вкрапленной минерализации. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ возраст околорудных метасоматитов по серициту составляет $120\text{--}122 \pm 2$ млн лет [25]. Частичная эрозия верхних уровней жильных тел и минерализованных зон месторождения обеспечила формирование богатых россыпей золота в аллювии верховьев рек Джалинда, Большой Янкан и Инагли с их истоками, берущими начало с территории рудного поля. Из них добыты около 75 т рассыпного золота [23].

Дифференциаты Джалиндинского гранитоидного плутона обладают повышенной щёлочностью ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 6,30\text{--}8,50$) и преобладанием натрия над калием ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 1,9\text{--}1,2$). Эти особенности пород массива сближают его с высокопродуктивными позднемезозойскими гранитоидными интрузивными комплексами золотоносных районов Центрального Алдана и других регионов Востока России [13, 15].

Основным каналом поступления металлоносных флюидов к поверхности являлся участок наиболее тектонически нарушенных пород, примыкающий к узлу пересечения глубинных разломов СТР и ЯР в верховьях реки Большой Янкан. Главным рудоконтролирующим разломом являлся СТР, а рудовмещающими – оперяющие его разрывные нарушения северо-восточного и субширотного простираний.

Золотоносные жилы месторождения протягиваются широкой полосой северо-восточного направления вдоль юго-восточных эндо- и экзоконтактов Джалиндинского плутона (рис. 2), располагаясь также во вмещающих гранитоидах и габброидах докембрия, песчаниках и алевролитах позднеюрского возраста. Часть жил и минерализованные зоны имеют широтное простирание. В ряде случаев кварцево-жильные тела и прожилковая минерализация размещаются вдоль контактов даек или непосредственно наложены на метасоматизированные дайки [2, 6]. Эти данные свидетельствуют о длительном и динамичном развитии структуры рудного поля, высокой активности позднемезозойского глубинного магматического очага от раннего до завершающего этапов его становления, его высокой флюидонасыщенности, обеспечивающей подвижность слагающих плутон гранитоидных расплавов, внедрение даек пёстрого состава и длительное поступление металлоносных флюидов на постмагматическом этапе. В жильных телах месторождения присутствуют (табл. 1) магнетит, турмалин, шеелит, молибденит, арсенопирит, пирит, сфалерит, халькопирит, висмутин, самородный висмут, блёклые руды, в меньших количествах теллуриды висмута, золота, а также диспергированное в сульфидах и свободное самородное золото, кварц нескольких генераций, серицит и карбонаты. Общее количество широко распространённых и редких минеральных видов в рудах превышает 30 [2, 3, 6]. Суммарное количество сульфидов в жильных телах варьирует от 1–3 до 7–20 % на отдельных участках, а в среднем 3–7 %. В узких околожильных зонах (первые сантиметры–десятки сантиметров) гранитоиды и гнейсы превращены в березиты, а на больших удалениях они слабо березитизированы, серицитизированы и пропицитизированы с сохранением структуры пород. При этом метасоматиты обычно содержат маломощные прожилки кварца, карбонатов и вкрапленность сульфидов.

Минеральные ассоциации. Золоторудная минерализация месторождения развивалась сложно и длительно. Н. И. Бабинцев (1942), Л. П. Гуров [6] и другие исследователи выделяли в составе рудных тел от 6 до 8 разновозрастных минеральных ассоциаций (мы выделили 7 ассоциаций), характеристики которых приведены в табл. 1. В различных сочетаниях ими сложены жильные тела и зоны прожилково-вкрапленной минерализации.

Табл. 1. Минеральные ассоциации Кировского золоторудного месторождения. По [6], с изменениями

№ п/п	Ассоциации	Минералы		Элементы-примеси в минералах, г/т	Температура гомогенизации флюидных включений в кварце, карбонатах, °С
		распространённые	малораспространённые		
1	Кварц-турмалин-магнетитовая	Кварц, турмалин, магнетит	Пирит-1, золото-1	Турмалин (5): Au 0,5–5,26; магнетит (2); Au 32,7–68,4; Ag 0,5–9,5	280–320
2	Существенно кварцевая	Кварц, молибденит, шеелит, пирит-2 арсенопирит-1	Кобальтин, золото дисперсное в наложенных сульфидах	Кварц (9): Au сл.–1,39; арсенопирит (3): 3,57–13,32	270–310
3	Пирит-арсенопиритовая	Кварц, пирит-2, арсенопирит-1, пирротин	Дисперсное золото, кобальтин	Пирит (5): Au 4–24, Ag 3–26,6; Арсенопирит (2): Au 8–33,2, Ag 8–318	180–210
4	Кварц-висмутин-халькопиритовая: 1) парагенезис кварц-висмутиновый, 2) кварц-халькопиритовый	1) кварц, висмутин, самородный висмут, крупное свободное самородное золото-2; 2) кварц, халькопирит-1, карбонаты	1) тетрадимит, 2) эмплектит, виттихенит, висмутин, пирит-2	Халькопирит (5): Au 2,21–19,2, Ag н/о	190–200
5	Полисульфидная	Марматит, пирит-3, арсенопирит-2, блёклые руды, кварц, карбонаты	Марказит, пирротин, галенит, халькопирит-2, менегинит, бурнонит, буланжерит, сульфосоли Cu и Pb, джемсонит, сульфотеллуриды Pb и Cu, самородное золото-3	Марматит (7): Au 0,37–5,5, Ag до 99,8	180–200
6	Кварц-антимонитовая	Халцедоновидный кварц, антимонит, кальцит, барит	Киноварь	Антимонит (7): из них: (5) – Au 0,013–0,06, (2) – Au 1,0–5,0, (6) – Ag н/о, (1) – Ag 10,0	140–180
7	Послерудная кварц-карбонатная	Халцедоновидный кварц, кальцит	н/о	н/о	

Примечание. В скобках указано число анализов, н/о – не обнаружено.

Наиболее ранней является **кварц-турмалин-магнетитовая минеральная ассоциация**, пространственно размещающаяся на западном фланге месторождения, вблизи основного канала поступления глубинных металлоносных флюидов. Локализована она непосредственно в западном и юго-западном эндо- и экзоконтактах Джалиндинского плутона – в узле пересечения СТР и ЯР разломов, в основном на правом берегу р. Большой Янкан. Она слагает прожилки и единичные жильные тела в юрских терригенных отложениях и в прорывающих их раннемеловых диоритах первой фазы Джалиндинского плутона. Эта минеральная ассоциация, по [6, 9], является наиболее высокотемпературной (T декрипитации 340–380 °С, а T гомогенизации 280–320 °С). В этой ассоциации минералов в агрегатах магнетита и турмалина установлено присутствие невысоких концентраций мелкого и тонкого золота пробностью около 970 ‰. В этих жилах присутствует незначительная вкрапленность пирротина, пирита и арсенопирита.

Следующая **существенно кварцевая ассоциация** с молибденитом и шеелитом широко распространена в жилах на территории западной части Центрального участка месторождения, расположенного в междуречье рек Большой Янкан и Правой Джалинды. Ею сложены значительные объёмы протяжённых жил северо-восточного простирания и некоторых жил широтного простирания различной протяжённости. В ней доминирует молочно-белый мелкозернистый наиболее высокотемпературный кварц. На отдельных участках по трещинам в призальбандовых частях жил присутствует молибденит, а ближе к центральным частям – гнёзда и вкрапленность шеелита. По более поздним трещинам на отдельных участках жил в различных объёмах отлагались некоторые из последующих (см. табл. 1) минеральных ассоциаций. Сульфидов в таких жилах в среднем не более 1–3 ‰, иногда наблюдается свободное золото, видимо связанное с наложением последующих ассоциаций. Поэтому золотоносность участков жил, сложенных в основном этой ассоциацией, неравномерная и невысокая (от 0,1 до 7–8 г/т).

Во время практически повсеместного отложения в порах и трещинах проницаемых пород и кварцевых жилах в переменных количествах следующей вкрапленной и прожилковой **пирит-арсенопирит-кварцевой** минеральной ассоци-

ции золото отлагалось одновременно с сульфидами в дисперсной форме с размерами выделений менее 1 мкм, иногда несколько более крупных. Пробирными анализами в монофракциях этих сульфидов установлены содержания такого золота от 5 до 57–80 г/т и более [6]. Расчёты показывают, что на участках более высоких скоплений сульфидов этой ассоциации с дисперсным золотом, содержания золота в рудах могли достигать 1–3 г/т.

Более поздняя **золото-висмутин-халькопирит-кварцевая** минеральная ассоциация, по [6], которую мы разделяем на два последовательно сформировавшихся сближенных во времени и пространстве парагенезиса (золото-висмутин-кварцевый и халькопирит-кварцевый), активно отлагалась в жильных телах центральной части территории месторождения при подновлениях трещин и дополнительных дораскрытиях жильных полостей в зонах нарушений север-северо-восточного и северо-восточного простираний. Первый парагенезис слагает зонки, прожилки, гнёзда и более крупные участки высокопродуктивных кварцевых жил сложного состава с крайне невыдержанными содержаниями золота в отобранных при разведке бороздовых пробах (от 0,7 до 814 г/т и более). Мощность таких жил, зон, гнёзд и секущих прожилков в минерализованных телах сложного состава обычно варьирует от первых до нескольких десятков сантиметров, редко до метра в раздувах, а в среднем составляет 0,2–0,6 м. Сложены они тонко- и мелкозернистым кварцем с переменным количеством висмутина и самородного висмута, выделившегося ближе к зальбандам. На многих участках жил и прожилков в кварце, особенно в пространственной ассоциации с висмутином, присутствует свободное видимое золото размерами от 0,1 до 2 мм или скопления таких золотин (рис. 3, А, Б). Это главный продуктивный парагенезис месторождения.

При разведке вскрытых эрозией жильных тел, на малых глубинах иногда встречались самородки золота величиной до 1 см и более, сформировавшиеся в интерстициях и в друзовых пустотах в мелкозернистом жильном кварце или в пустотках, образовавшихся на пересечениях нескольких мелких трещин (рис. 4). Проба золота, ассоциированного с висмутином, – 920–950 ‰.

Второй, кварц-халькопиритовый, парагенезис распространён в тех же жилах Центрального участка месторождения не менее широко, чем

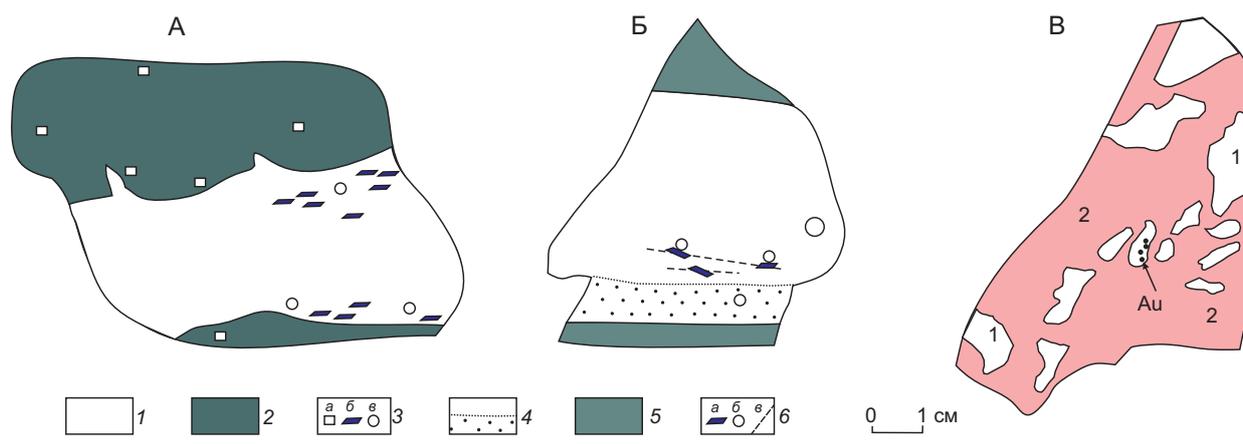


Рис. 3. Зарисовки штурфов малосульфидных (А, Б) и умеренносульфидных (В) золото-кварцевых руд из жильных тел Кировского месторождения:

А – золото-висмутин-кварцевая жила с калишпат-кварцевым метасоматитом и пиритом в зальбандах: 1 – мелкозернистый кварц, 2 – метасоматит, 3 – вкрапленные рудные минералы: а – пирит, б – висмутин, в – самородное золото крупностью 0,3–0,7 мм, обособленное от висмутина; Б – золото-висмутин-кварцевая жила: 4 – мелкозернистый кварц с зонкой тонкозернистого кварца в нижнем зальбанде, 5 – калишпат-кварцевый метасоматит, 6 – вкрапленные рудные минералы: а – висмутин, б – комковидное самородное золото крупностью 0,2–1,2 мм, которое выделялось в сростках с висмутином и обособленно (крупным кружком показана золотины 1,2 мм), в – внутростадийные трещины; В – золото-кварц-халькопиритовая руда: брекчия раннего мелкозернистого кварца (1) с четырьмя комковидными золотины (Au) крупностью 0,4–0,6 мм в одном из его обломков (золотины показаны чёрными точками) в кварц-халькопиритовом цементе (2)

кварц-висмутиновый, но макроскопически видимое золото на спилах большого числа образцов в нём не встретили. О более позднем времени его формирования свидетельствуют наблюдения Н. И. Бабинцева (1942 г.) и цементация этим минеральным парагенезисом брекчий предыдущего парагенезиса, в том числе с видимым золотом, по нашим наблюдениям (см. рис. 3, В). В призальбандовых частях жил и прожилков с висмутиновой и халькопиритовой минерализацией и в околорудных метасоматитах часто присутствуют вкрапленные пирит и арсенопирит.

Низкотемпературная *полисульфидная минеральная ассоциация* самостоятельных жил не образует. Она встречается в малых количествах во многих прожилковых зонах и жильных телах широтного простирания, но в большей мере она проявлена на восточных флангах рудных тел Центрального участка в северном крыле СТР и восточнее – на Джалиндинском участке месторождения (на отрезке между долинами рек Левая и Правая Джалинда), где она наложилась на предшествующие ассоциации (особенно на пирит-

арсенопиритовую) по трещинам, вероятно, вследствие фокусирования и конвекции флюида. В составе этой ассоциации в малых количествах отлагались (см. табл. 1) сфалерит, галенит, минералы меди, серебра, блёклые руды, теллуриды золота, сульфосоли и сульфотеллуриды Cu, Pb, Bi и некоторое количество тонкого и дисперсного золота. Из жильных минералов в ней отлагались кварц и карбонаты [3, 6]. Минерализация этой сравнительно более низкотемпературной ассоциации проявлена в рудных телах и рудоносных зонах в виде мелких гнёзд и тонких кварц-полисульфидных прожилков, наложенных на предыдущие парагенезисы или заполняющих мелкие обособленные ответвления (апофизы). Вклад этой ассоциации в общую золотоносность основных рудных тел длительного формирования незначителен.

Наиболее низкотемпературная поздняя *кварц-антимонитовая минеральная ассоциация* присутствует в некоторых рудных телах Центрального и промежуточного Джалиндинского участков месторождения, но в большей мере она



Рис. 4. Интерстициальный самородок золота размером около $1 \times 0,5$ см, выделенный травлением из рудного кварца Кировского месторождения. Состоит из массы агрегированных овоидных частиц (фото Л. П. Гурова, 1969ф)

проявилась на дальнем восточном фланге рудного поля – в бассейне р. Малый Уркан. Здесь жильные тела сурьмяного месторождения Дорожное имеют в основном кварц-карбонат-антимонитовый состав и содержит барит. Мощность их составляет в среднем 0,2–0,6 м, содержания антимонита в рудах достигают 5–7 %, в редких пробах – до 15 %. Золотоносность этой минерализации крайне низкая, так как свободное золото в них не установлено, а содержания примесного золота в антимоните – от следов до 1 г/т [6]. В этих рудах анализами также установлены низкие содержания примесей В, Ag, Bi, As и присутствие Hg в форме киновари [6].

Наиболее поздняя послерудная **кварц-кальциевая минеральная ассоциация** отмечается в виде прожилков в рудных телах, особенно по восточному и южному периметрам рудного поля. Кварц в этих прожилках обычно низкотемпературный халцедоновидный.

Таким образом, самородное золото в жильных телах Кировского месторождения является сквозным минералом. Оно выделялось в виде дисперсных частиц, при кристаллизации всех сульфидных минералов на предрудном и рудных этапах, размещаясь в их матрице, а также в виде свободных более крупных частиц на продуктивной стадии. Можно выделить основные генерации при-

сутствующего в рудах свободного самородного золота различной крупности: Au_1 – мелкое золото, присутствующее в составе ранней турмалин-магнетитовой ассоциации, его пробность 960–973 ‰ [6]; Au_2 – наиболее крупное, выделявшееся в составе продуктивного парагенезиса кварца с висмутином (см. рис. 3), пробность этого золота 920–950 ‰; Au_3 – преимущественно тонкое и мелкое золото пробностью около 800–850 ‰, выделявшееся в составе более низкотемпературной менее распространённой полисульфидной ассоциации минералов. Наибольший вклад в качество жильных руд месторождения вносило свободное золото различной крупности висмутинкварцевого парагенезиса. Оно также является главным источником формирования его россыпей.

Геохимия вмещающих пород и минерализации Кировского месторождения изучалась нами ещё в 1980-х годах. Характеристика геохимического фона пород и окорудных эндогенных ореолов месторождения и другие показатели отражены в табл. 2. Фоновые содержания золота, серебра, свинца, цинка, меди, бора в неизменённых гранитоидах Джалиндинского плутона близки к кларкам гранодиоритов земной коры. В продуктивных жильных телах месторождения, по сравнению с фоновыми содержаниями в породах, накапливалось больше золота в среднем в 10–15 тыс. раз. По этому показателю к золоту приближаются мышьяк и висмут (соответственно в 500 и 1000 раз), а вольфрам, сурьма и серебро накапливались в меньших количествах (до 100–400 раз). В концентрациях до 50 раз выше фона вмещающих пород в рудах присутствует медь и до 20 раз – свинец, цинк и бор. По максимальным показателям накопления в рудах золота и висмута, по сравнению с другими сопутствующими элементами, это месторождение относится к золото-висмутовому типу мало- и убогосульфидной золото-кварцевой формации. Жильные тела месторождения сопровождаются ореолами привноса во вмещающие породы всех перечисленных рудогенных элементов, но в значительно меньших, чем в жилы, количествах. Ширина околожильных эндогенных ореолов элементов достигает 50–80 метров и коррелируется с продуктивностью рудных тел по золоту и сопутствующим элементам. Максимальное накопление привнесённых рудогенных элементов в околожильных ореолах, по сравнению с их фоновыми содержаниями в неизменённых вмещающих

в породах, увеличивается в 100–300 и более раз. Это характерно для той же группы элементов, которые были привнесены в рудные тела, а именно для золота, серебра, мышьяка, висмута (см. табл. 2). Промежуточные значения этого показателя свойственны сурьме и вольфраму. Распределение содержаний элементов в ореолах рудных тел, особенно группы наиболее контрастно накапливающихся из них в рудах, характеризуются тенденцией неравномерных снижений к периферии ореолов. Зоны выноса рудогенных эле-

ментов (или ореолы их околорудного выщелачивания из вмещающих пород до нижефоновых значений) не установлены. Следовательно, источник их глубинный. Приведённые в табл. 2 ряды накопления привнесённых элементов в руды и ореолы имеют близкую последовательность. Рассчитанный нами по методике [12] ряд вертикальной зональности отложения элементов в ореолах рудных тел свидетельствует об отложении основных количеств вольфрама, бора, молибдена и цинка преимущественно на их нижних уровнях, мышьяка

Табл. 2. Характеристики элементов рудного спектра и фонового геохимического поля Кировского золоторудного месторождения. По данным авторов

Химические элементы	Содержания химических элементов, г/т				Коэффициенты их накопления		
	Кларки гранодиоритов земной коры	Неизменённые кварцевые диориты, гранодиориты, монцититы Джалиндинского плутона		Рудные тела	Околорудные ореолы	в рудных телах	в ореолах
		Фон неизменённых пород	Минимально-аномальные				
Золото	0,0012	$\frac{0,001-0,003}{0,002}$	0,005	20–30	0,01–0,5	10 000–15 000	5–250
Серебро	0,051	$\frac{0,02-0,07}{0,05}$	0,1	10	0,5–5	200	10–100
Мышьяк	1,9	2	30	до ≥ 1 %	30–700	5000	15–350
Свинец	15	$\frac{10-19}{15}$	25	300	50–100	20	3–7
Цинк	56	$\frac{40-60}{50}$	80	до 1000	120–250	20	3–5
Медь	26	$\frac{12-25}{20}$	30	до 1000	60–200	50	3–10
Висмут	0,01	0,03	0,5	10–1000	1–30	300–10 000	30–1000
Сурьма	0,2	0,5	10	200	30	400	60
Ртуть	0,067	0,01	0,02	–	0,03–0,27	–	3–27
Молибден	1,2	0,5	1	6	1,5–5	12	3–10
Вольфрам	1,7	2	10	200	10–100	100	5–50
Бор	12	10	15	200	20–50	20	2–5

Примечание. В числителе – пределы вариации содержаний, в знаменателе – среднее значение, в г/т; прочерк – пробы не анализировались; ряды накопления элементов относительно фона (в порядке снижения): в рудах – Au–Bi–As–Sb–Ag–W–Cu, Pb, Zn, В, в ореолах – Bi–Au–As–Ag–Sb–W–Hg–Cu, Pb, Zn, В. Ряд вертикальной зональности ореолов (сверху вниз): Au, Ag–Bi, Pb–As, Cu–W, В, Мо–Zn.

и меди – на промежуточных, а золота, серебра, висмута, сурьмы и свинца преимущественно на их верхних уровнях. На основании этих данных уровень эрозионного среза жильных тел месторождения оценён как средне-верхнерудный.

Обсуждение роли различных геологических факторов в формировании золоторудной минерализации Кировского месторождения. Изложенные выше данные о большом числе присутствующих в жильных телах контрастных по составу и температурам образования последовательных минеральных ассоциаций и неравномерном их распространении в рудных телах на территории рудного поля и месторождения свидетельствуют о заметном влиянии ряда геологических факторов на формирование промышленных рудных тел или богатых золотом их участков. В числе таких факторов отметим следующие: структурно-тектонический, магматический, неоднородность литологии и особенно петрохимического состава рудовмещающих пород, многокомпонентность исходного состава флюида, многократная изменчивость его основных физико-химических параметров (в первую очередь *P* и *T*) и, как следствие, дискретную (при многократных раскрытиях трещин и дораскрытиях рудовмещающих полостей) эволюцию состава магмато-генно-гидротермальных металлоносных флюидов. Охарактеризуем их значение в рудообразовании несколько подробнее.

Глубинные разломы и оперяющие их разломы меньшего ранга важны для локализации магматических и рудных тел. Положение рудного поля в зоне регионального субширотного глубинного Северо-Тукурингского разлома – свидетельство роли палеозойско-раннемезозойской конвергенции и поздне-мезозойской коллизии Сибирского кратона и Амурского супертеррейна [5, 11, 18], а конкретнее его Тукурингро-Джагинского террейна (см. рис. 1), в формировании разграничивающей их глубинной зоны дислокаций пород, проницаемой для поступающих в ранне-меловое время на верхние уровни коры магматических расплавов – дифференциатов глубинного магматического очага, а в последующем и постмагматических флюидов. Тектоническая активизация разновозрастных геологических блоков, примыкающих к рудоконтролирующему СТР разлому, в процессе продолжающегося левостороннего сдвига по СТР [5, 18], способствовала (в соответствии со схемой А. В. Пейве

[19, с. 210, рис. 1]) возникновению зоны растяжения, а в ней – серии оперяющих его разрывных нарушений меньшего ранга, вместивших дайки и жильные тела (см. рис. 2) северо-восточного и субширотного простираний и поддержанию их флюидопроницаемости на постмагматическом продуктивном рудном этапе. В длительном процессе развития тектонических подвижек жёстких блоков пород в структурах юга Становой складчатой области возникали и неоднократно подновлялись взбросы, надвиги и сдвиги, а в комплексах осадочных терригенных пород мезозоя околоразломного Стрелкинского прогиба формировались складки и дизъюнктивы. Системы указанных на рис. 2 разрывных нарушений и особенно участки нарушенных пород в зонах их сопряжения и пересечения являлись каналами инфильтрации металлоносных глубинных флюидов в границах рудного поля с участками накопления минерализации в обоих крыльях СТР.

Роль состава рудовмещающих пород. Различие петрохимического состава вмещающих пород, несомненно, отражалось на составе минерализации. Так, турмалин-магнетит-кварцевая минерализация ассоциируется с наиболее высокожелезистыми породами рудного поля – диоритами и кварцевыми диоритами ранней фазы в приразломной юго-западной части Джалиндинской интрузии. Жильные тела в высокожелезистых базитах (например, жила Джалиндинская на склоне долины р. Левая Джалинда) более обогащены пиритом, арсенопиритом и халькопиритом, местами до 20–30 % и дисперсным золотом в них. В составе сульфидной минерализации, наложенной на дайки порфиритов и долеритов, дополнительно обнаружены пентландит и кобальтин [3]. В широтных минерализованных зонах I и II участка Южного (рис. 2), залегающих в лежачем крыле СТР среди терригенных пород юрского возраста, наряду с кварцем и вкрапленными сульфидами отмечаются повышенные содержания карбонатов, а содержания золота в отобранных из них штучных и сколково-бороздовых пробах достигает 1,2–6 г/т.

Роль физико-химических параметров флюида. По Л. П. Гурову [6], минеральные ассоциации руд (см. табл. 1) формировались в интервале температур 320–140 °C¹. Из них первые четыре более

¹ Приведены температуры гомогенизации.

высокотемпературные ассоциации (320–220 °С) размещаются на западной и центральной территориях месторождения, непосредственно вблизи основного канала поступления глубинных металлоносных флюидов, а последующие более низкотемпературные – в основном на верхних уровнях жильных тел Джалиндинского участка и на дальней восточной периферии Джалиндинского рудного поля – на левобережье реки Малый Уркан. Таким образом, разнотемпературные минеральные ассоциации Кировского месторождения формировались зонально на различных участках градиентного теплового поля конвектирующего флюида с наложением последующих ассоциаций на предыдущие, исключая самую раннюю.

Отложение минеральных парагенезисов каждой из последовательно формировавшихся всё более низкотемпературных минеральных ассоциаций происходило как в объёмах единых, периодически подновлявшихся проницаемых зон тектонических нарушений, так и во вновь раскрывавшихся оперяющих их трещинах. Это свидетельствует об активном пульсационном тектоническом режиме рудоформирования и длительном фокусированном поступлении металлоносного флюида из глубинного магматического очага по одним и тем же основным долгоживущим, периодически подновлявшимся каналам. При этом состав флюида непрерывно эволюционировал: плавно – в периоды тектонических пауз, при его спокойном прохождении с активным взаимодействием с вмещающими породами разного состава, и ускоренно-дискретно – в периоды его неоднократного вскипания и фазового расслоения на участках тектонического подновления рудовмещающих структур, а также смешения с трещинно-поровыми водами при каждом резком приращении в них свободного объёма. Об этом свидетельствуют наблюдаемые нами и отмечаемые предшественниками факты неоднократного брекчирования ранних и промежуточных парагенезисов руд и гнездового и прожилкового наложения более поздних ассоциаций на более ранние парагенезисы минералов или обособленное их отложение в поздних трещинах и апофизах рудных тел.

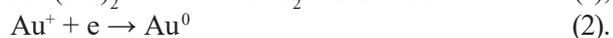
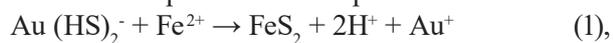
Таким образом, главную роль в формировании разнообразия минерализации в рудах, очевидно, играл фактор снижения давления флюида. Именно неоднократные резкие его снижения не только вызывали кипение и гетерогенизацию флюида,

но и, как следует из разнообразия составов флюидных включений в минералах [9, 14], ускоряли снижение температуры и эволюцию его состава, а также приводили к насыщению и пересыщению его определёнными металлами, газами и минералоотложению. Но, что особенно важно, они запустили механизм образования и естественной газовой флотации нанозарождений самородного золота (как это изложено далее) и предопределяли места формирования богатых золотом рудных столбов и бананцев [14, 17].

О формах и механизмах переноса и отложения флюидами золота в процессе гидротермального рудообразования. Обычно считается, что золото в гидротермальном процессе переносится кислыми флюидами в составе растворимых комплексов с лигандами Cl^- , $(\text{OH})^-$, $(\text{HS})_2^-$ и др., устойчивых при определённых физико-химических параметрах [1, 7, 9, 29]. Многие исследователи золоторудных месторождений полагают, что в формировании богатых рудных тел и бананцев участвуют также и коллоидные растворы [27, 28 и др.].

Учитывая наблюдаемую обычность взаимосвязанных проявлений кипения, смешения, гетерогенизации и дегазации флюида вслед за резкими спадами давления в гидротермальных системах и последующих его пересыщений золотом при формировании золоторудных месторождений, мы обосновываем возможность переноса золота при формировании богатых руд, наряду с растворимыми формами, также и в твёрдофазной форме по механизму естественной газовой флотации в составе ассоциатов « $\text{Au}_{\text{кр}} + \text{пузырьки газа}$ ». Этот механизм по ряду признаков обосновывается нами для многих малосульфидных золото-кварцевых жильных месторождений Приамурья [13, 14, 17], в том числе и для Кировского месторождения. Его признаками является фазовая гетерогенизация флюида и установленные контрастные различия состава фаз такого флюида в кварце и самородном золоте из продуктивных ассоциаций [9, 17]. В процессе предрудного кислотного выщелачивания вмещающих пород этого месторождения, поступающий в трещины, полости и поровое пространство пород кислый металлоносный глубинный магматогенный флюид взаимодействовал с железосодержащими темноцветными минералами вмещающих пород, разлагал их и обогащался ионами железа. Присутствовавшая во флюидах в различных соединениях

сера, в том числе в составах H_2S и дестабилизирующихся и частично распадающихся при снижении P и T флюида гидросульфидных комплексах золота, активно вступала в реакции с ионами железа с образованием пирита:



При этом непосредственно у поверхности растущих кристаллов пирита по реакции (1) в процессе снижения температуры, гетерогенизации и дегазации флюида в его жидкой фазе возникали условия для локального насыщения и пересыщения свободными ионами золота. Высвобождавшиеся в зоне этой реакции ионы золота, по реакции (2), восстанавливались на пирите и других сульфидах. При этом из них зарождались наночастицы самородного золота. Находясь вблизи фронта реакции и укрупняясь, они могли сорбироваться, в соответствии с экспериментальными данными [20, 24], непосредственно на гранях растущих кристаллов пирита и вращать в их матрицы (**механизм-1 отложения дисперсного золота на сульфидах**) в виде наносфероидов и нанопластинок дисперсного золота.

На рудном этапе, при повышении трещиноватости и проницаемости вмещающих пород, в процессе раскрытия трещин, полостей, ускорения инфильтрации флюида и его кипения, подобные реакции серы с ионами железа и других металлов, очевидно, могли происходить на всех участках снижения давления флюида в объёмах каналов инфильтрации. При этом зарождения кристаллов пирита и других сульфидов на всех стадиях рудного процесса закреплялись и продолжали укрупняться как на стенках полостей, трещин и открытых пор, так и в интерстициях формирующихся зернистых минеральных агрегатов сульфидов и кварцев, захватывая в свою матрицу наночастицы самородного золота и соосаждающихся частиц других минералов в виде примесей. Поэтому дисперсное золото в тех или иных количествах (от 1,0 до $n \cdot 10$ г/т, см. табл. 1) присутствует во всех сульфидах рудных ассоциаций Кировского месторождения, как, впрочем, и в рудах других золоторудных месторождений Приамурья, а также других регионов [20].

В процессе интенсивного и длительного внутривещного кипения, гетерогенизации, ошлачивания и пересыщения золотом металлоносного флюида одновременно происходили массовые зарождения наночастиц самородного золота

и выделялись пузырьки газовой фазы, обычно с доминирующим CO_2 [9, 16, 20]. В связи с гидрофобностью поверхности частиц самородного золота [10, 17, 20] и высокой удельной поверхностной энергией его наночастиц в процессе их сорбции пузырьками газа или зарождения и роста пузырьков газа на поверхностях частиц золота (как это наблюдалось нами в экспериментах [10, 17]) в гидротермальном процессе образовывались прочные ассоциаты состава « $Au_{кр} +$ пузырьки газа», обогащённые CO_2 . Обладая достаточной подъёмной силой, такие ассоциаты способны опережающе флотировать (механизм-2 переноса золота) сквозь насыщенную золотом жидкую фазу флюида в раскрытых полостях, а также по всему насыщенному флюидом трещинно-поровому пространству вышележащих жилонмещающих пород, от мест зарождения ассоциатов на более высокие уровни – до пологих малопроницаемых и непроницаемых (экранирующих) поверхностей или сужений каналов и выклинивания трещин [14]. На таких участках из накопленных ассоциатов за счёт агрегации и срастания контактирующих наночастиц и кластеров могли образовываться более крупные индивиды золота, а также их скопления, как показано в [17, рис. 5], и даже самородки (**по механизму-2 естественного флотационного переноса и отложения самородного золота**). Реальность и важность такого механизма для формирования бонанцев и рудных столбов показана авторами ранее на примере формирования золоторудных жильных тел месторождений Токур, Иннокентьевское, Пионер в Приамурье [14, 17], а также месторождений Бестюбе в Казахстане и Старо-Берикульское в Сибири [14, рисунки 6 и 7]. Эффективность такого механизма переноса золота подтверждена в наших экспериментах [10, 17]. В качестве подтверждения реальности такого механизма переноса золота в гидротермальном процессе приводим опубликованные факты обнаружения массовых скоплений наночастиц золота в многофазных флюидных включениях в кварце из зоны минерализации в керне сверхглубокой скважины СГ-3, пробуренной в Печенгском районе Кольского полуострова (Россия) и вскрывшей её на глубинах 9052–10 745 м от поверхности. Во всех типах газовой-жидких включений в кварцах этой минерализованной зоны в интервале указанных глубин [22] обнаружены переменные количества наночастиц золота (174 анализа, метод исследования LA ICP MS).

Во всех случаях наночастицы золота имеют сферическую форму, размеры 10–40 нм и располагаются во флюидных включениях в кварце только по границам газовых пузырьков с жидкой фазой.

Таким образом, на Кировском золоторудном месторождении первый механизм переноса и отложения золота формировал, соответственно, рассеянную (до 0,1 г/т) вкрапленную минерализацию с дисперсным золотом в сульфидах предрудных метасоматитов и бедные (обычно 0,5–3 г/т золота) прожилково-вкрапленные руды **кварц-пирит-арсенопиритовой ассоциации**, а также отложение дисперсного золота в различных сульфидах всех последующих минеральных ассоциаций в рудах. Второй механизм – естественной газовой флотации наночастиц золота, способствовал формированию богатых участков рудных тел с крайне неравномерным распределением золота на продуктивных стадиях всех вышеуказанных месторождений, например, образование сближенных золотин от мелких до крупных размеров с содержаниями золота до 100–1000 и более г/т в пробах, отобранных из порового пространства выше раздувов жильных тел или выше скоплений прожилков кварца, как показано нами в бананцах штокверкового месторождения Пионер [17, рисунки 4 и 5]. Другие примеры образования богатых самородным золотом гнезд, бананцев и рудных столбов в жильных телах ряда золоторудных месторождений приведены в работе [14]. Продуктивные тела этих месторождений обычно имеют переменную мощность. Наиболее высокие концентрации золота сосредоточены в верхних частях раздувов жильных тел, но ещё в большей мере в верхних сужениях выклинивающихся полостей. На этих примерах отчётливо видна положительная роль резких снижений давления флюида, его гетерогенизации, дегазации, пересыщения золотом, зарождения и естественной флотации его ассоциатов и их накопления в экранированных «ловушках» с образованием богатых руд.

Заключение. Исходя из геологического строения рудного поля и отмеченного зонального пространственного распределения в нём минеральных ассоциаций, модель формирования Кировского золоторудного месторождения представляется в следующем виде. В результате позднемезозойской коллизии Сибирского кратона с Амурским супертеррейном, а также постколлизивной раннемеловой тектоно-магматической активиза-

ции разновозрастных геологических блоков пород в полосе сочленения Становой и Монголо-Охотской складчатых областей, контактирующих по зоне Северо-Тукурингского глубинного разлома (синоним Монголо-Охотская сутура, см. рис. 1) при левосдвиговых подвижках в его крыльях возникли, а затем многократно подновлялись оперяющие его тектонические нарушения северо-восточного и широтного простираний. Вследствие этого активизировались прежние и появлялись новые проницаемые для флюидов зоны и узлы трещиноватости. В наиболее тектонически нарушенной части этой площади, в узле сопряжения разломов СТР и ЯР (см. рис. 2) в раннемеловое время сформировался обширный проницаемый канал для проникновения из глубинного магматического очага расплавов, сформировавших раннемеловой Джалиндинский гранитоидный плутон и сопровождающие его дайковые серии основного, среднего и кислого состава. В связи с продолжавшимися в раннемеловое время по СТР левосторонними сдвигами [5, 18] и образованием оперяющих разрывов северо-восточного простирания возникли благоприятные условия для длительного поступления из глубинного магматического очага металлоносных флюидов, формировавших в процессе их эволюции убого-, мало- и умеренносульфидную золото-кварцевую минерализацию рудного поля. Источниками флюидов и металлов для месторождения являлись расплавы нижнекорового магматического очага с участием мантийной составляющей, о чём свидетельствует глубинный изотопный состав серы из пиритов, арсенопиритов и висмутинов из руд Кировского месторождения [4]. Диапазон вариаций $\delta^{34}\text{S}$ в сульфидах узкий – $\pm 3\%$ относительно метеоритного стандарта.

О тесной парагенетической взаимосвязи указанных событий свидетельствуют такие факты, как отмеченная выше близкая по времени проявления последовательность тектонических событий, магматизма, минерализации и пространственно-структурная совмещённость проявлений указанных процессов. Дополнительным свидетельством такой связи являются отмеченная латеральная минералогическая и температурная зональность золоторудной минерализации рудного поля относительно положения указанного основного канала поступления постмагматических глубинных металлоносных флюидов и в равной мере относительно размещения околоинтрузивного

градиентного теплового поля Джалиндинского гранитоидного массива на этапе его становления. Именно в южной приразломной части Джалиндинского плутона и в прилегающем к нему блоке пород докембрия сосредоточены все известные к настоящему времени продуктивные на золото жильные тела северо-восточного и широтного простирания. В южном же крыле СТР, в терригенных отложениях верхней юры Стрелкинского прогиба, расположены выявленные нами (Остапенко, Белоусов, 1985) и рекомендованные для детального опробования две крупные субширотные потенциально рудные зоны I и II с прожилково-вкрапленным типом сульфидно-золото-кварцевой минерализации (см. рис. 2) с содержаниями золота 1–6 г/т.

Кировское месторождение признано нами неглубоко эродированным (средне-верхнерудный

уровень), перспективным и недоразведанным по латерали и на глубину рудным объектом. Его геолого-структурным аналогом является Дарасунское золоторудное месторождение Забайкалья [21, 26], разведанное до гораздо больших глубин (1500 м) с возможным продолжением промышленной минерализации на большие глубины. В 2007–2011 гг. и позднее при проведении оценочных и затем поисково-оценочных работ на участке Южном Кировского месторождения, а именно на западном фланге рекомендованной нами потенциально рудной зоны-I (см. рис. 2), ЗАО ГРК «Дальгеология» выявлены и разведаны первые промышленные рудные тела жильного и прожилково-вкрапленного типов минерализации. По данным [8], с 2015 г. начата их отработка открытым способом, при среднем содержании золота в рудах 3,7 г/т.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акинфеев Н. Н., Зотов А. В. Термодинамическое описание хлоридных, гидросульфидных и гидрокомплексов Ag (I), Cu (I) и Au (I) в диапазоне температур 20–500 °С и давлений 1–2000 бар // *Геохимия*. – 2001. – № 10. – С. 1083–1099.
2. Вах А. С., Гвоздев В. И., Горячев Н. А., Хороводнов С. А., Карабцов А. А. Особенности минерального состава прожилково-вкрапленных золото-сульфидных руд Кировского месторождения Верхнего Приамурья // *Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии*. III Всерос. науч. конф. : сборник докладов. – Благовещенск : ИГиП ДВО РАН, 2014. – Т. 1. – С. 70–73.
3. Гвоздев В. И., Горячев Н. А., Вах А. С., Федосеев Д. Г., Семяняк Б. И. Минеральный состав и типоморфные особенности минералов золоторудных жил Кировского месторождения (Верхнее Приамурье) // *Тихоокеанская геология*. – 2013. – Т. 32, № 6. – С. 40–51.
4. Голубчина М. Н., Загрузина И. А., Путинцев В. К., Эйриш Л. В. Изотопный состав серы сульфидов золоторудных месторождений Дальнего Востока СССР // *Тихоокеанская геология*. – 1985. – № 6. – С. 113–118.
5. Гордиенко И. В., Метелкин Д. В., Ветлужских Л. И. Строение Монголо-Охотского складчатого пояса и проблема выделения Амурского микроконтинента // *Геология и геофизика*. – 2019. – Т. 60, № 3. – С. 318–341.
6. Гуров Л. П. Минеральные ассоциации Кировского золоторудного месторождения (Верхнее Приамурье) // *Золоторудные минерализации Верхнего и Среднего Приамурья* : сборник трудов. – Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1978. – С. 11–86.
7. Летников Ф. А., Вилор Н. В. Золото в гидротермальном процессе. – М. : Недра, 1981. – 225 с.
8. Мельников А. В., Степанов В. А., Вах А. С., Вьюнов Д. Л., Дененциенко А. И., Пересторонин А. Е. Месторождения рудного золота Приамурской провинции. – Благовещенск : АмГУ, 2017. – 151 с.
9. Моисеенко В. Г. Геохимия и минералогия золота рудных районов Дальнего Востока. – М. : Наука, 1977. – 304 с.
10. Нерода О. Н., Остапенко Н. С. Экспериментальное воспроизведение возможности естественной флотации самородного золота в рудном процессе // *Вопросы геологии и комплексного изучения экосистем Восточной Азии: VI Всерос. науч. конф. : сборник докладов*. – Благовещенск : ИГиП ДВО РАН, 2022. – С. 58–61.
11. Нужнов С. В., Карпузов А. Ф., Рейтлингер А. С., Фролов В. Н. Позднемезозойская коллизийная тектоника юго-востока Сибири и северо-восточной окраины Центральной Азии. – М. : Геоинформарк, 1999. – 49 с.
12. Овчинников Л. Н., Григорян С. В. Закономерности состава и строения первичных геохимических ореолов сульфидных месторождений // *Научные*

- основы геохимических методов поисков глубоко-залегающих рудных месторождений. – Иркутск : СибГЕОХИ, 1970. – 312 с.
13. *Остапенко Н. С.* К обоснованию гидротермально-флотационной модели формирования золоторудных столбов в жилах выполнения // История исследования золотоносности Приамурья : сборник трудов. – Благовещенск : ВМО Амур. отд., 1989. – С. 62–64.
 14. *Остапенко Н. С.* О естественной флотации гидробных минералов в гидротермальном рудообразовании и ее следствиях (на примере месторождений золота) // Руды и металлы. – 2016. – № 1. – С. 78–86.
 15. *Остапенко Н. С.* Петрохимические особенности мезозойских интрузивных комплексов Приамурья с различной металлогенией // Магматизм и метаморфизм зоны БАМ и их роль в формировании полезных ископаемых : тезисы всесоюзного совещания. – Улан-Удэ : Наука, Сиб. отд., 1979. – С. 136–138.
 16. *Остапенко Н. С.* Применение диаграммы $FeO/Fe_2O_3 - Na_2O/K_2O$ для петрохимической и металлогенической типизации гранитоидных комплексов // Потенциальная рудоносность, геохимические типы и формации магматических пород : материалы совещания. – Новосибирск : Наука, сибирское отделение, 1991. – С. 71–76.
 17. *Остапенко Н. С., Нерода О. Н.* Причины и факторы формирования бананцев в рудных телах зоны Бахмут штокверкового золоторудного месторождения Пионер (Приамурье) // Тихоокеанская геология. – 2023. – Т. 42, № 3. – С. 52–71.
 18. *Парфенов Л. М., Берзин Н. А., Ханчук А. И., Бадарч Г., Беличенко В. Г., Булгатов А. Н., Дриль С. И., Кириллова Г. Л., Кузьмин М. И., Ноклеберг У., Прокопьев А. В., Тимофеев В. Ф., Томуртоого О., Янь Х.* Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии // Тихоокеанская геология. – 2003. – Т. 22, № 6. – С. 7–41.
 19. *Пейве А. В.* Глубинные разломы и их роль в строении земной коры : Избранные труды / А. В. Пейве. – М. : Наука, 1990. – 352 с.
 20. *Петровская Н. В.* Самородное золото. – М. : Наука, 1973. – 345 с.
 21. *Прокофьев В. Ю., Banks D. A., Лобанов К. В., Селектор С. Л., Миличко В. А., Luders V., Акинфеев Н. Н., Боровиков А. А., Чичеров М. В.* Природные флюиды с наночастицами золота // Супрамолекулярные системы на поверхности раздела VI Междунар. конф. : сборник статей. – Вып. 6. – М. : ИФХЭ РАН, 2019. – С. 95–100.
 22. *Прокофьев В. Ю., Бортников Н. С., Зорина Л. Д., Куликова З. И., Матель Н. Л., Колпакова Н. Н., Ильина Г. Ф.* Генетические особенности золото-сульфидного месторождения Дарасун (Восточное Забайкалье, Россия) // Геология рудных месторождений. – 2000. – Т. 42, № 6. – С. 526–548.
 23. *Савватеев А. С.* История развития золотодобычи в Соловьевском золоторудном районе // История геологических исследований и развитие горного промысла в Верхнем Приамурье. – Благовещенск : ПКИ, 2001. – С. 96–117.
 24. *Сахарова М. С., Лобачева И. К.* Электрохимическое исследование процессов отложения золота на сульфидных минералах // Геология рудных месторождений. – 1967. – Т. 9, № 4. – С. 46–55.
 25. *Сорокин А. А., Пономарчук А. В., Травин А. В., Пономарчук В. А., Вахтомин К. Д.* $^{40}Ag / ^{39}Ag$ -возраст гранитоидов и связанного с ними оруденения месторождения Кировское (Юго-восточное обрамление Северо-Азиатского кратона) // Доклады академии наук. – 2014. – Т. 458, № 4. – С. 452–458.
 26. *Спиридонов А. М., Зорина Л. Д., Кутаев Н. А.* Золотоносные рудно-магматические системы Забайкалья. – Новосибирск : НАИ Гео, 2006. – 292 с.
 27. *Hannington M., Garbe-Schönberg D.* Detection of gold nanoparticles in hydrothermal fluids // Economic Geology. – 2019. – V. 2. – P. 397–400.
 28. *Saunders J. A., Schoenly P. A.* Boiling, colloid nucleation and aggregation, and the genesis of bonanza Au-Ag ores of the Sleeper deposit, Nevada // Mineralium Deposita. – 1995. – V. 30. – P. 199–210.
 29. *Stefansson A., Seward T. M.* Gold (I) complexing in aqueous sulphide solutions to 500 °C at 500 bar // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2004. – V. 68(20). – P. 4121–4143.

REFERENCES

1. *Akinfeyev N. N., Zotov A. V.* Termodinamicheskoye opisaniye khloridnykh, gidrosul'fidnykh i gidrokompleksov Ag (I), Cu (I) i Au (I) v diapazone temperatur 20–500 °C i davleniy 1–2000 bar [Thermodynamic description of chloride, hydrosulfide and hydrocomplexes of Ag (I), Cu (I) and Au (I) in the temperature range of 20–500 °C and pressures of 1–2000 bar], Geokhimiya, 2001, No. 10, pp. 1083–1099. (In Russ.)
2. *Vakh A. S., Gvozdev V. I., Goryachev N. A., Khorovodnov S. A., Karabtsov A. A.* Osobennosti mineral'nogo sostava prozhilkovo-vkraplennykh zoloto-sul'fidnykh

- rud Kirovskogo mestorozhdeniya Verkhnego Priamur'ya [Features of the mineral composition of veinlet-disseminated gold-sulfide ores of the Kirovskoye deposit in Upper Priamurye], Voprosy geologii i kompleksnogo osvoyeniya prirodnykh resursov Vostochnoy Azii. III Vseros. nauch. konf., Collection of reports, Blagoveshchensk, IGI P DVO RAN publ., 2014, V. 1, pp. 70–73. (In Russ.)
3. *Gvozdev V. I., Goryachev N. A., Vakh A. S., Fedoseyev D. G., Semenyak B. I.* Mineral'nyy sostav i tipomorfnyye osobennosti mineralov zolotorudnykh zhil Kirovskogo mestorozhdeniya (Verkhneye Priamur'ye) [Mineral composition and typomorphic features of minerals of gold ore veins of the Kirovskoye deposit (Upper Amur region)], Tikhookeanskaya geologiya, 2013, V. 32, No. 6, pp. 40–51. (In Russ.)
 4. *Golubchina M. N., Zagruzina I. A., Putintsev V. K., Eyrish L. V.* Izotopnyy sostav sery sul'fidov zolotorudnykh mestorozhdeniy Dal'nego Vostoka SSSR [Isotopic composition of sulfur in sulfides of gold deposits in the Far East of the USSR], Tikhookeanskaya geologiya, 1985, No. 6, pp. 113–118. (In Russ.)
 5. *Gordiyenko I. V., Metelkin D. V., Veltuzhskikh L. I.* Stroyeniye Mongolo-Okhotskogo skladchatogo poyasa i problema vydeleniya Amurskogo mikrokontinenta [Structure of the Mongol-Okhotsk folded belt and the problem of identifying the Amur microcontinent], Geologiya i geofizika, 2019, V. 60, No. 3, pp. 318–341. (In Russ.)
 6. *Gurov L. P.* Mineral'nyye assotsiatsii Kirovskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya (Verkhneye Priamur'ye) [Mineral associations of the Kirov gold deposit (Upper Amur region)], Zolotorudnyye mineralizatsii Verkhnego i Srednego Priamur'ya, Collection of reports, Vladivostok, DVNTS AN SSSR publ., 1978, pp. 11–86. (In Russ.)
 7. *Letnikov F. A., Vilor N. V.* Zoloto v gidrotermal'nom protsesse [Gold in the hydrothermal process], Moscow, Nedra publ., 1981, 225 p. (In Russ.)
 8. *Mel'nikov A. V., Stepanov V. A., Vakh A. S., V'yunov D. L., Denentiyenko A. I., Perestoronin A. Ye.* Mestorozhdeniya rudnogo zolota Priamurskoy provintsii [Deposits of ore gold of the Amur province], Blagoveshchensk, AmGU publ., 2017, 151 p. (In Russ.)
 9. *Moiseyenko V. G.* Geokhimiya i mineralogiya zolota rudnykh rayonov Dal'nego Vostoka [Geochemistry and mineralogy of gold in ore regions of the Far East], Moscow, Nauka publ., 1977, 304 p. (In Russ.)
 10. *Neroda O. N., Ostapenko N. S.* Eksperimental'noye vosproizvedeniye vozmozhnosti yestestvennoy flotatsii samorodnogo zolota v rudnom protsesse [Experimental reproduction of the possibility of natural flotation of native gold in the ore process], Voprosy geologii i kompleksnogo izucheniya ekosistem Vostochnoy Azii: Shestaya Vseros. nauch. konf., Collection of reports, Blagoveshchensk, IGI P DVO RAN publ., 2022, pp. 58–61. (In Russ.)
 11. *Nuzhnov S. V., Karpuzov A. F., Reytlinger A. S., Frolov V. N.* Pozdnevezozoyskaya kollizionnaya tektonika yugo-vostoka Sibiri i severo-vostochnoy okrainy Tsentral'noy Azii [Late Mesozoic collision tectonics of southeastern Siberia and the northeastern margin of Central Asia], Moscow, Geoinformmark publ., 1999, 49 p. (In Russ.)
 12. *Ovchinnikov L. N., Grigoryan S. V.* Zakonomernosti sostava i stroyeniya pervichnykh geokhimicheskikh oreolov sul'fidnykh mestorozhdeniy [Regularities of the composition and structure of primary geochemical halos of sulfide deposits], Nauchnyye osnovy geokhimicheskikh metodov poiskov glubokozalegayushchikh rudnykh mestorozhdeniy, Irkutsk, SibGEOKHI publ., 1970, 312 p. (In Russ.)
 13. *Ostapenko N. S.* K obosnovaniyu gidrotermal'no-flotatsionnoy modeli formirovaniya zolotorudnykh stolbov v zhilakh vypolneniya [On the substantiation of the hydrothermal-flotation model of the formation of gold ore columns in the veins of the filling], Istoriya issledovaniya zolotonosnosti Priamur'ya, Sb. trudov, Blagoveshchensk, VMO Amur. otd. publ., 1989, pp. 62–64. (In Russ.)
 14. *Ostapenko N. S.* O yestestvennoy flotatsii gidrofobnykh mineralov v gidrotermal'nom rudoobrazovanii i yeye sledstviyakh (na primere mestorozhdeniy zolota) [On the natural flotation of hydrophobic minerals in hydrothermal ore formation and its consequences (using gold deposits as an example)], Rudy i metally, 2016, No. 1, pp. 78–86. (In Russ.)
 15. *Ostapenko N. S.* Petrokhimicheskiye osobennosti mezozoyskikh intruzivnykh kompleksov Priamur'ya s razlichnoy metallogeniyei [Petrochemical features of Mesozoic intrusive complexes of the Amur region with different metallogeny], Magmatizm i metamorfizm zony BAM i ikh rol' v formirovanii poleznykh iskopayemykh, Tezisy vsesoyuznogo soveshchaniya, Ulan-Ude, Nauka, Sib. otd. publ., 1979, pp. 136–138. (In Russ.)
 16. *Ostapenko N. S.* Primeneniye diagrammy $\text{FeO, Fe}_2\text{O}_3 - \text{Na}_2\text{O, K}_2\text{O}$ dlya petrokhimicheskoy i metallogenicheskoy tipizatsii granitoidnykh kompleksov [Application of the $\text{FeO, Fe}_2\text{O}_3 - \text{Na}_2\text{O, K}_2\text{O}$ diagram for petrochemical and metallogenic typification of granitoid complexes], Potentsial'naya rudonosnost', geokhimicheskiye tipy i formatsii magmaticheskikh porod, Materialy soveshchaniya, Novosibirsk, Nauka, Sib. otd. publ., 1991, pp. 71–76. (In Russ.)
 17. *Ostapenko N. S., Neroda O. N.* Prichiny i faktory formirovaniya bonantsev v rudnykh telakh zony Bakhmut shtokverkovogo zolotorudnogo mestorozhdeniya Pioner (Priamur'ye) [Causes and factors of bonanza formation in ore bodies of the Bakhmut zone of the Pioneer stockwork gold deposit (Amur Region)], Tikhookeanskaya geologiya, 2023, V. 42, No. 3, pp. 52–71. (In Russ.)
 18. *Parfenov L. M., Berzin N. A., Khanchuk A. I., Bardarch G., Belichenko V. G., Bulgatov A. N., Dril S. I.,*

- Kirillova G. L., Kuzmin M. I., Nokleberg U., Prokopyev A.V., Timofeev V.F., Tomurtogoo O., Yan H.* Model' formirovaniya orogennykh poyasov Tsentral'noy i Severo-Vostochnoy Azii [Model of formation of orogenic belts of Central and North-East Asia], *Tikhookeanskaya geologiya*, 2003, V. 22, No. 6, pp. 7–41. (In Russ.)
19. *Peyve A. V.* Glubinnyye razlomy i ikh rol' v stroyenii zemnoy kory, *Izbrannyye trudy* [Deep faults and their role in the structure of the earth's crust, Selected works], Moscow, Nauka publ., 1990, 352 p. (In Russ.)
 20. *Petrovskaya N. V.* Samorodnoye zoloto [Native gold], Moscow, Nauka publ., 1973, 345 p. (In Russ.)
 21. *Prokofiev V. Yu., Banks D. A., Lobanov K. V., Selector S. L., Milichko V. A., Luders V., Akinfeev N. N., Borovikov A. A., Chicherov M. V.* Prirodnyye flyuidy s nanochastitsami zolota [Natural fluids with gold nanoparticles], *Supramolekulyarnyye sistemy na poverkhnosti razdela.VI Mezhdunar. konf., Sb. statey, Is. 6*, Moscow, IFKHE RAN publ., 2019, pp. 95–100. (In Russ.)
 22. *Prokof'yev V. Yu., Bortnikov N. S., Zorina L. D., Kulikova Z. I., Matel' N. L., Kolpakova N. N., Il'ina G. F.* Geneticheskiye osobennosti zoloto-sul'fidnogo mestorozhdeniya Darasun (Vostochnoye Zabal'kal'ye, Rossiya) [Genetic features of the Darasun gold-sulfide deposit (Eastern Trans-Balkaria, Russia)], *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 2000, V. 42, No. 6, pp. 526–548. (In Russ.)
 23. *Savvateyev A. S.* Istoriya razvitiya zolotodobychi v Solov'yevskom zolotorudnom rayone [History of gold mining development in the Solovyevsky gold mining region], *Istoriya geologicheskikh issledovaniy i razvitiye gornogo promysla v Verkhnem Priamur'ye, Blagoveshchensk, PKI publ.*, 2001, pp. 96–117. (In Russ.)
 24. *Sakharova M. S., Lobacheva I. K.* Elektrokhimicheskoye issledovaniye protsessov otlozheniya zolota na sul'fidakh [Electrochemical study of gold deposition processes on sulfides], *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 1967, V. 9, No. 4, pp. 46–55. (In Russ.)
 25. *Sorokin A. A., Ponomarchuk A. V., Travin A. V., Ponomarchuk V. A., Vakhtomin K. D.* ^{40}Ar , ^{39}Ar -vozrast granitoidov i svyazannogo s nimi orudneniya mestorozhdeniya Kirovskoye (Yugo-vostochnoye obramleniye Severo-Aziatskogo kratona) [^{40}Ar , ^{39}Ar age of granitoids and associated mineralization of the Kirovskoye deposit (southeastern framing of the North Asian craton)], *Doklady akademii nauk*, 2014, V. 458, No. 4, pp. 452–458. (In Russ.)
 26. *Spiridonov A. M., Zorina L. D., Kitayev N. A.* Zolotonosnyye rudno-magmaticheskiye sistemy Zabaykal'ya [Gold-bearing ore-magmatic systems of Transbaikalia], *Novosibirsk, NAI Geo publ.*, 2006, 292 p. (In Russ.)
 27. *Hannington M., Garbe-Schönberg D.* Detection of gold nanoparticles in hydrothermal fluids, *Economic Geology*, 2019, V. 2, pp. 397–400.
 28. *Saunders J. A., Schoenly P. A.* Boiling, colloid nucleation and aggregation, and the genesis of bonanza Au-Ag ores of the Sleeper deposit, Nevada, *Mineralium Deposita*, 1995, V. 30, pp. 199–210.
 29. *Stefansson A., Seward T. M.* Gold (I) complexing in aqueous sulphide solutions to 500 °C at 500 bar, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2004, V. 68(20), pp. 4121–4143.

Статья поступила в редакцию 21.10.24; одобрена после рецензирования 19.11.24; принята к публикации 20.11.24.
The article was submitted 21.10.24; approved after reviewing 19.11.24; accepted for publication 20.11.24.

Эпигенетические изменения в кембрийских и пермских осадочных породах в Мало-Ботуобинском районе Якутии

Аннотация. Рассмотрено геологическое строение и стратиграфические подразделения на поисковой площади Бестях на севере известного Мало-Ботуобинского алмазоносного района Якутии. На основании изучения 238 разрезов поисковых скважин выделены зоны эпигенетического пластового и трещинного окисления. Прослежены полосы выклинивания таких зон, соответственно пластовых в угленосных пермских отложениях, трещинных в битуминозных терригенно-карбонатных породах кембрия. В кембрийской толще установлены меридиональные, вытянутые вдоль разломов полосы проявлений прожилкового битума, которые не только являются прямым признаком вероятных месторождений углеводородов, но и представляют собой объёмную восстановительную среду, благоприятную для осаждения стратегических редких элементов. В зонах выклинивания пластового и трещинного окисления предполагаются концентрации ванадия, скандия и рения.

Ключевые слова: осадочные породы, зоны пластового окисления, битумы, скандий.

ИГНАТОВ ПЁТР АЛЕКСЕЕВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой геологии месторождений полезных ископаемых¹, ignatovpa@mgru.ru

ЕРЕМЕНКО РУСЛАН УМАРОВИЧ, аспирант, инженер-исследователь кафедры геологии месторождений полезных ископаемых¹, eremenko-ruslan@mail.ru

ТОЛСТОВ АЛЕКСАНДР ВАСИЛЬЕВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник², tols61@mail.ru

ВАСИЛЬЕВ АЛЕКСАНДР ПЕТРОВИЧ, руководитель проекта³, Vasilev_ap@alrosa.ru

ОВЧИННИКОВ ИЛЬЯ МАКСИМОВИЧ, эксперт Управления планирования производства³, ovchinnikovilm@alrosa.ru

¹ ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», г. Москва

² Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, г. Якутск

³ АК «Алроса» (ПАО), г. Мирный

Epigenetic transformations in the Cambrian and Permian sedimentary rocks in the Malo-Botuobinsky district of Yakutia

P. A. IGNATOV¹, R. U. EREMENKO¹, A. V. TOLSTOV², A. P. VASILIEV³, I. M. OVCHINNIKOV³

¹ Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University", Moscow

² Institute of Diamond and Precious Metals Geology SB RAS, Yakutsk

³ JSC "Alrosa", Mirny

Annotation. The article considers the geological structure and stratigraphic units in the Bestyakh prospecting area in the north of the well-known Malo-Botuobinsky diamondiferous district of Yakutia, based on the study of 238 sections of prospecting drillholes. Zones of bedded and fractured epigenetic oxidation have been identified. Bands of wedging-out of such zones have been traced, that are bedded type in coal-bearing Permian deposits and fractured in bituminous terrigenous-carbonate rocks of the Cambrian, respectively. In the Cambrian sequence, meridional bands of manifestations of veined bitumen, stretched along the faults, have been revealed, which are not only a direct sign of probable hydrocarbon deposits, but they also represent a voluminous reducing environment favorable for precipitation of strategic rare elements. Concentrations of vanadium, scandium, and rhenium are assumed to be confined to the wedging-out zones of bedded and fractured oxidation.

Key words: sedimentary rocks, bedded oxidation zones, bitumen.

Введение. Мало-Ботуобинский район Западной Якутии хорошо изучен [3, 17, 22]. Кроме коренных и россыпных месторождений алмазов, здесь осваивается Иреляхское месторождение газа [1, 21], имеются проявления нефти, бурого угля и металлоносных рассолов [5]. Обоснованы перспективы обнаружения этих месторождений, а также скандия и других видов минерального сырья [10, 11]. Добыча таковых в условиях вечной мерзлоты возможна и проводится в настоящий момент [4].

Ниже приведены результаты картирования зон пластового и пластово-трещинного окислений, распространённых в породах верхнего кембрия и перми в пределах поисковой площади Бестях на севере Мало-Ботуобинского района. Здесь, как и по всей западной Якутии, широко распространены горизонтально залегающие терригенные угленосные отложения перми. Они с несогласием перекрывают терригенно-карбонатные морские отложения раннего палеозоя, включающие силлы и дайки среднепалеозойских траппов, тела кимберлитов, эруптивных брекчий базитов и монцонит-порфиоров. Пермские отложения часто вмещают силлы триасовых траппов и перекрыты юрскими угленосными континентальными отложениями.

Фактический материал и методы исследований. Для анализа использованы данные специальной авторской документации [13] и изучения керна поисковых скважин, вскрывших разрезы осадочного чехла до глубин порядка 100 м. Поисковая площадь Бестях, Мало-Ботуобинского района занимает меридиональную полосу 3×9 км и находится приблизительно в 30 км на север от города Мирный. Изучен керн 238 скважин, пройденных Вилюйской ГРЭ по поисковой сети 500×500 и 250×250 м. Все факты с картогра-

фической основой введены в составленную авторами базу данных, по которой создан геоинформационный проект в среде Quantum GIS (QGIS).

Пробы отбирались из пермских отложений. Содержание элементов корректно определены методами ИСП-АЭС, которые используются в практике работ Вилюйской ГРЭ [15]. Анализы выполнены в её центральной аналитической лаборатории на приборе iCAP 6300Duo производителя Thermo Scientific (США) по методике БГРЭ-МП5 мод III категории точности.

Геологическое строение. Кристаллический фундамент Мало-Ботуобинского района представлен метаморфическими породами архея. Осадочный чехол, мощностью порядка 3500 м, сложен вендскими, кембрийскими, ордовикскими, силурийскими, каменноугольными, пермскими, юрскими и четвертичными отложениями.

Самые древние породы, вскрытые поисковым бурением, – верхние горизонты холомолохской свиты верхнего кембрия, представленные красноватыми и сероцветными глинистыми, известковистыми доломитовыми алевролитами, известняками и доломитами [6]. Проявления зон пластового окисления прослежены только в породах каменноугольного и пермского возраста.

Минералогические, литолого-фациальные характеристики и палеогеографические условия накопления карбон-пермских отложений Западной Якутии хорошо изучены и опубликованы в работах В.П. Афанасьева, И.И. Антипина, Е.Н. Белова, Н.Н. Зинчука, Б.А. Калмыкова, И.Г. Коробкова, М.В. Куликова, С.Ф. Павлова, В.Г. Подвысоцкого, О.Г. Салтыкова, В.Н. Устинова, Ю.М. Эринчека и др.

Ботуобинская свита ($C_{2-3}bt$) сложена гравийно-галечными, песчаными и глинисто-алевролитовыми

выми породами первично серого цвета. Преобладают песчаники. В составе терригенного материала преобладают кварциты, кварц, кремнистые породы, встречается галька щелочных порфиров. Состав их преимущественно кварц-полевошпатовый. Среди минералов лёгкой фракции преобладает кварц (46 %), полевые шпаты составляют 17 %, плагиоклазы и слюды не превышают 15 %. В группе минералов тяжёлой фракции распространены эпидот (26 %), ильменит и магнетит (20 %), гранат (24 %), лейкоксен (9 %), турмалин (3 %).

Алевритовые породы слагают верхнюю часть разреза свиты. Цвет пород тёмно-серый, серый, иногда светло-серый и коричнево-серый. Обломочный материал алевролитов представлен кварцем и полевым шпатом, в меньшей степени кремнями, присутствует тонкий углефицированный детрит. Цементирующая масса сложена глинисто-карбонатным и глинистым материалом. Глинистые минералы представлены смектитом (50–60 %), каолинитом (15–25 %) и иллитом (10–20 %), в подчинённом количестве присутствует хлорит (до 10 %).

Ахтарандинская свита (P₁ah) представлена серыми и голубовато-серыми кварц-полевошпатовыми песчаниками и тёмно-серыми горизонтально-слоистыми углистыми алевролитами со слоями углистых глин. Свита содержит богатый комплекс отпечатков флоры. В тяжёлой фракции встречаются ильменит, альмандин, эпидот, турмалин, сфен, пироп и пикроильменит, единичные находки алмаза.

Боруллойдская свита (P₂br) сложена серыми песчаниками, песками, алевролитами, аргиллитами с прослоями бурых углей. Пески и песчаники – полевошпатово-кварцевые крупнозернистые, реже средне-мелкозернистые с рассеянной примесью гравийных зёрен, с мелкой и средней галькой кварца, кремней, средних и кислых эффузивов. Алевролиты менее распространены. В разрезах преобладает горизонтальная, полого-наклонная косая однонаправленная слоистость. Присутствует углефицированный детрит. Связующая масса сложена слюдисто-глинистым материалом. Минеральный состав тяжёлой фракции близок подстилающим породам.

В боруллойдской свите встречаются прослойки пирокластических туфов основного состава. На западе есть участки, сложенные грубозернистыми

туфами базальтового состава чичиканской свиты нижнего триаса, залегающими на породах нижнего палеозоя.

На большей части площади Бестях в карбон-пермской толще распространены силлы габбро-долеритов триасового возраста, достигающие ста и более метров.

На востоке площади имеются перекрывающие юрские отложения укугутской и оруктахской свит. *Укугутская свита (J_{uk})* сложена аллювиальными песками с прослоями гравийно-галечных конгломератов, глинистыми алевролитами и аргиллитами, иногда с прослоями углей. Среди обломочного материала наряду с кварцем значительную роль играют разноокрашенные кремни, иногда отмечаются обломки окремнённой древесины и в различной степени выветрелые породы трапповой формации. Отмечаются горизонтальная, полого-наклонная, линзовидно-волнистая слоистости, подчёркиваемые гранулометрией, цветовыми оттенками и скоплениями детрита. *Оруктахская свита (J_{or})* представлена русловыми, пойменными и озёрно-болотными кварцевыми песками, глинистыми и углистыми алевролитами.

Полученные результаты. На рассматриваемой площади в породах нижнего палеозоя установлены признаки восстановительного эпигенеза. Они выражены в проявлениях битумов и прожилковом осветлении пород холомолохской свиты кембрия. Битумы найдены в сероцветных породах карбонатного состава. Они, как правило, чёрно-серого цвета, матовые, но встречены и блестящие, типа оксикерита.

Проявления битумов сопровождаются сорбированными углеводородными газами с резким запахом свежего асфальта, выделяющиеся при раскалывании породы. Проявления углеводородов в разрезах кембрия выражаются и в прожилках осветления, которые пересекают первично красные карбонатно-глинистые породы верхнего кембрия. Такое осветление распространено в алмазоносных районах Якутии и Архангельской области, маркирует разломы и отражает привнос углеводородных газов в породы нижнего палеозоя и вынос железа (осветление пород) [12].

На данной поисковой площади проведено детальное картирование вторичных битумов, распространённых в кембрии. Установлены узкие, до нескольких сотен метров, и протяжённые до 2,5 км

меридиональные ореолы (рис. 1). Они сопровождаются точечными проявлениями битумов, объединёнными в линзовидные ореолы. Линейная битуминизация локализована вдоль разломов, входящих в региональный Вилуйско-Мархинский среднепалеозойский дайковый пояс.

В битумах могут быть высокие концентрации ванадия и редких элементов, характерные для вязких нефтей [23]. В одной из двух проб глинистых доломитов кембрия, с выделениями битумов около 20 %, по данным ИСП-МС в лаборатории ВИМСа, установлены содержания вана-

дия 178 г/т (9 кларков концентрации карбонатных пород), урана – 7,2 г/т (3 кларка концентрации карбонатных пород), скандия – 14 г/т (14 кларков концентрации карбонатных пород). Проявления углеводородов представляют собой объёмную восстановительную среду, благоприятную для осаждения редких элементов при окислительно-восстановительных процессах.

В терригенных угленосных породах перми на рассматриваемой площади встречены проявления эпигенетического пластового окисления, закономерно сопровождаемые осветлением серо-

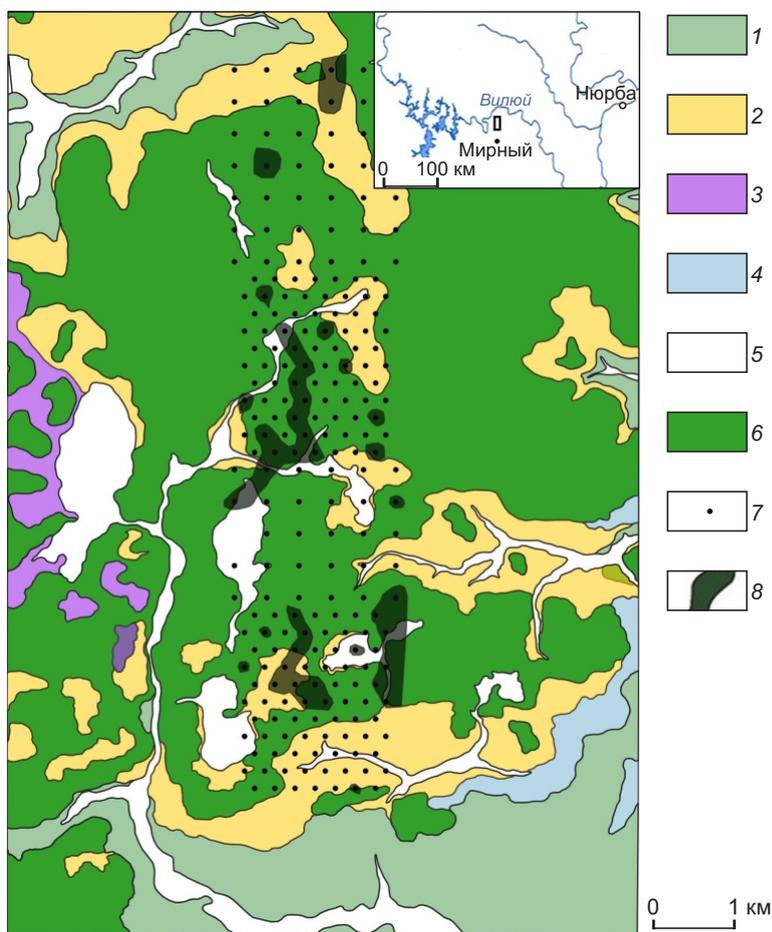


Рис. 1. Геологическая схема и ореолы прожилково-вкрапленных битумов в породах кембрия на площади Бестях Мало-Ботубинского района:

1 – терригенно-карбонатные породы холомолохской свиты верхнего кембрия; 2 – песчаники боруллойской свиты средней перми; 3 – туфы чичиканской свиты нижнего триаса; 4 – песчаники оруктахской свиты нижней юры; 5 – аллювиальные четвертичные отложения; 6 – триасовые габбро-долериты; 7 – устья скважин; 8 – ореолы прожилково-вкрапленных битумов в породах холомолохской свиты

цветных песчаников (рис. 2, А). Данное осветление, по-видимому, обусловлено окислением углестого органического вещества, распространённого в песчаных породах перми в виде тонкого детрита. Встречаются разрезы, в которых непосредственно контактируют окисленные лимонитизированные песчанки и бурые угли (см. рис. 2, Б, В). В таких местах предполагаются концентрации редких элементов в углях на контрастном восстановительном и сорбционном барьере.

Данные ИСП-АЭС двух проб на контакте угля и лимонитизированного песчаника (см. рис. 2, В) подтверждают это (табл. 1). В угле обнаружены

концентрации, превышающие кларковые (в г/т): скандия – 20, ванадия – 276, иттрия – 147, редких земель, особенно неодима – 121 и церия – 214. Их можно связать с сорбцией органическим веществом. Также повышены концентрации никеля и кобальта, которые, очевидно, накапливались на сульфидном барьере. Если же обстановка не столь контрастная и контакт окисленных песчаников и углей не ярко выражен, то существенного накопления элементов не происходит.

В сероцветных песчаниках перми надо отметить заметные концентрации ряда элементов относительно кларка: ванадия – в 2 раза, молибдена –



Рис. 2. Фрагменты разрезов пермских отложений по керну со 100 % выхода с ярко выраженной контрастностью внутрипластового окисления:

А – фрагмент серого углестого песчаника в окисленных, лимонитизированных и осветлённых песчаниках; скважина № 60.8-117.2, интервал 52–56 м; Б – контакт мелкозернистых лимонитизированных песчаников и углестого алевролита с прослоями бурого угля, скважина № 59.532-116.475, интервал 21–24 м; В – контакт лимонитизированного песчаника и угля, скважина № 58.666-117.225, интервал 21–22 м; 1–6 – пробы, отобранные для ИСП анализа (см. табл. 1)

Табл. 1. Результаты ИСП анализов (в г/т) керновых проб, отобранных из фрагментов разрезов скважин, показанных на рис. 2

№ скважин	№ проб (глубина отбора, м)	Породы	La	Nd	Y	Ce	Mo	Sc	V	Co	Ni
59.532-116.475	1 (21,5)	Песчаник сероцветный	40	39	23	70	11	13	71	6	25
	2 (22)	Лимонитизированный песчаник	39	36	24	69	4	8	55	19	38
	3 (22,3)	Углистый алевролит на контакте с окисленным песчаником	42	38	23	72	1	14	75	9	30
	4 (24)	Углистый алевролит	51	45	34	87	1	14	73	17	67
58.666-117.225	5 (21,8)	Уголь	98	121	147	214	4	20	276	31	198
	6 (21,9)	Лимонитизированный песчаник	15	17	10	26	1	5	71	2	19
Кларк для песчаников [24]			15	18	18	35	1	7	30	9	35
Кларк для углей [14]			11	12	8	23	2	4	25	5	13

в 10 раз, скандия – в 2 раза, лантана – в 2,5 раза и церия – в 2 раза. В то же время концентрации никеля и ванадия больше кларка для углей в 10 раз, кобальта и скандия – приблизительно в 5 раз, а редкоземельных элементов (Ce, La, Y, Nd) на порядок.

Содержания урана как в первичных, так и в изменённых кембрийских и пермских породах по данным ИСП не определялись. По малочисленным данным рентгено-флуоресцентного анализа, выполненного в лаборатории Вилюйской ГРЭ, и гамма-каротажу, они субкларковые. Это следует связать с отсутствием в областях питания подземных вод геохимически специализированных на уран комплексов: нет углеродистых сланцев, нет гранитоидов.

Известно, что уран-редкометалльные месторождения роллового типа локализованы в зонах

выклинивания пластового окисления, ширина которых составляет десятки-первые сотни метров. Имеющаяся сеть наблюдений (250 × 200 и 400 × 400) явно недостаточна для вскрытия таких тел. Полученные единичные анализы следует рассматривать как ориентировочные. В данном районе, вероятно, надо прогнозировать самостоятельные эпигенетические месторождения V, Sc и сопутствующих редких элементов.

Установленные концентрации редких элементов указывают на существование первичных геохимических ореолов вероятных рудоносных зон.

Результаты детального картирования лимонитизированных и осветлённых пород пермской толщи, вмещающей триасовые силлы долеритов, показали наличие полосы, выклинивания зоны внутрипластового окисления, представленной

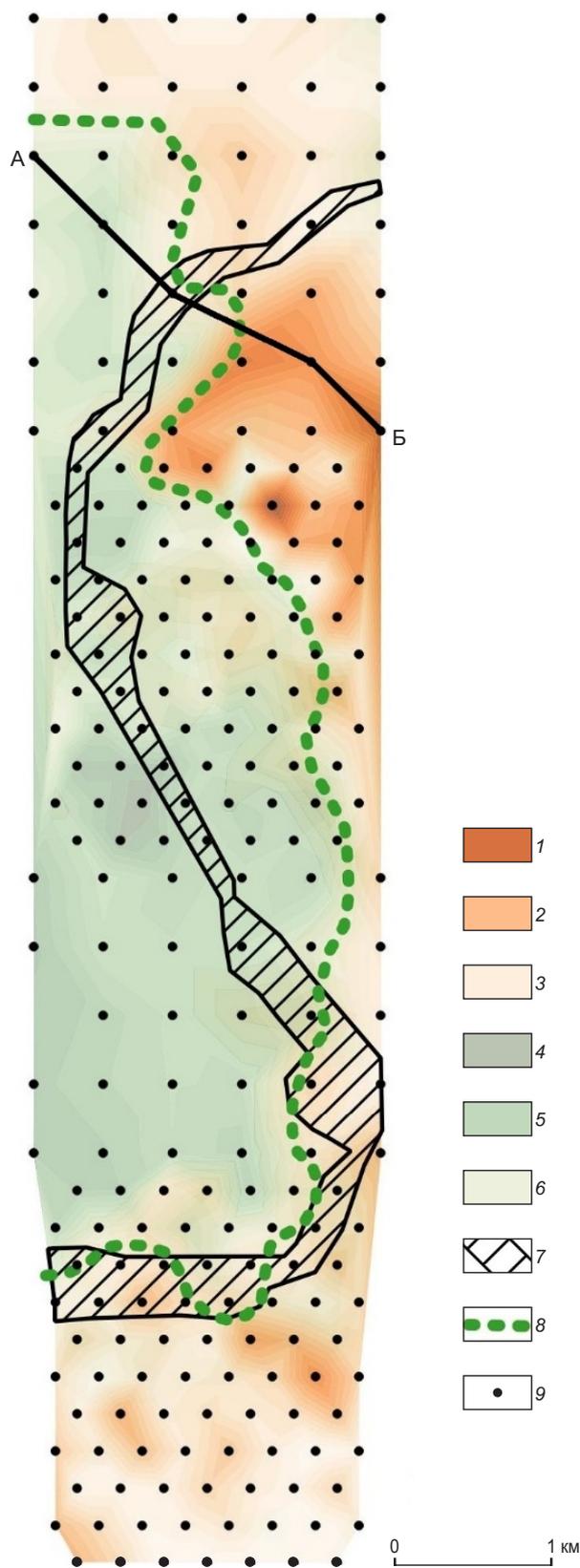


Рис. 3. Карта равных мощностей интервалов лимонитизации и осветлённых пермских пород и залегающих в них силлов триасовых траппов площади Бестях:

1–3 – мощности лимонитизированных песчаников (в м): 1 – 36–55, 2 – 18–35, 3 – 1–17; 4–6 – мощности триасовых траппов (в м): 4 – 82–112, 5 – 22–81, 6 – 1–21; 7 – полоса осветлённых пород пермской толщи, маркирующая зону выклинивания пластового окисления; 8 – граница распространения силла; 9 – скважины; А–Б – линия геологического профиля

осветлёнными песчаниками. Она прослежена на расстоянии более 10 км (рис. 3).

На рис. 3 видно, что граница максимальных мощностей полностью окисленных песчаников конформна линии выклинивания силла. Частично лимонитизированные и осветлённые породы распространяются глубже под маломощным козырьком траппов. Также видно, что осветлённые породы, которые маркируют зону выклинивания окисления, слагают полосу, уходящую под траппы. Эти факты указывают на вероятную инфильтрацию окислительных вод, распространявшихся от древних поднятий, где траппы эродированы (трапповых «окон»). Также можно предположить, что силлы играли роль водоупоров при формировании внутрислового окисления в пермских песчаниках.

На геологическом профиле показано сложное строение зоны пластового окисления и осветления (рис. 4). Надо отметить, что окисление захватывает песчаники перми и подстилающие породы кембрия.

В Мало-Ботуобинском и других алмазоносных районах Якутии в венд-кембрийской толще широко распространены древние, в том числе каменноугольного возраста, захороненные коры выветривания [7], в которых установлены повышенные концентрации скандия, ванадия, кобальта, никеля, лантана и церия [9, 11]. Материал кор выветривания вполне мог попадать в область питания инфильтрационных артезианских бассейнов триасового и более молодого возраста и служить источником рудообразования.

В пределах рассматриваемой площади на горизонты выветривания и подстилающие их терри-

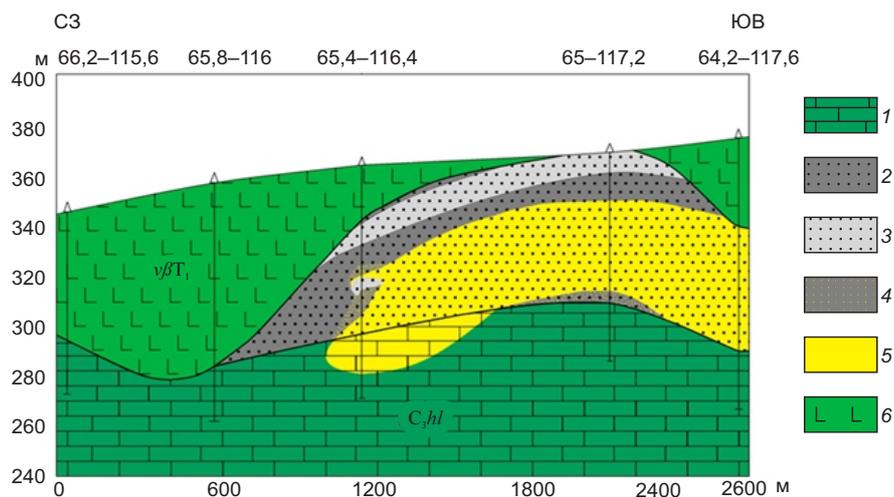


Рис. 4. Геологический профиль на севере площади Бестях, отражающий зоны пластового окисления:

1 – терригенно-карбонатные отложения холомолохской свиты кембрия; 2 – пермские сероцветные угленосные песчаники; 3 – осветлённые песчаники перми; 4 – частично лимонитизированные песчаники перми; 5 – полностью лимонитизированные породы; 6 – силлы триасовых габбро

генно-карбонатные породы холомолохской свиты накладываются трещинное и пластово-трещинное окисление в виде лимонита и гематита (рис. 5).

На площади Бестях проведено картирование прожилковых и пластовых гидроксидов желе-

за в кровле холомолохской свиты. Интересно отметить, что максимальное трещинное окисление распространяется за пределы ореола битумов, где они, очевидно, окислены (рис. 6).

Полученные результаты и их обсуждение. Полученные данные позволяют предположить,



Рис. 5. Распространение гидроксидов железа по тектоническим трещинам и слоям глинистых доломитов в кровельной части холомолохской свиты верхнего кембрия. Фрагмент разреза по керну по скважине № 66.2-116.4, интервал 90–94 м

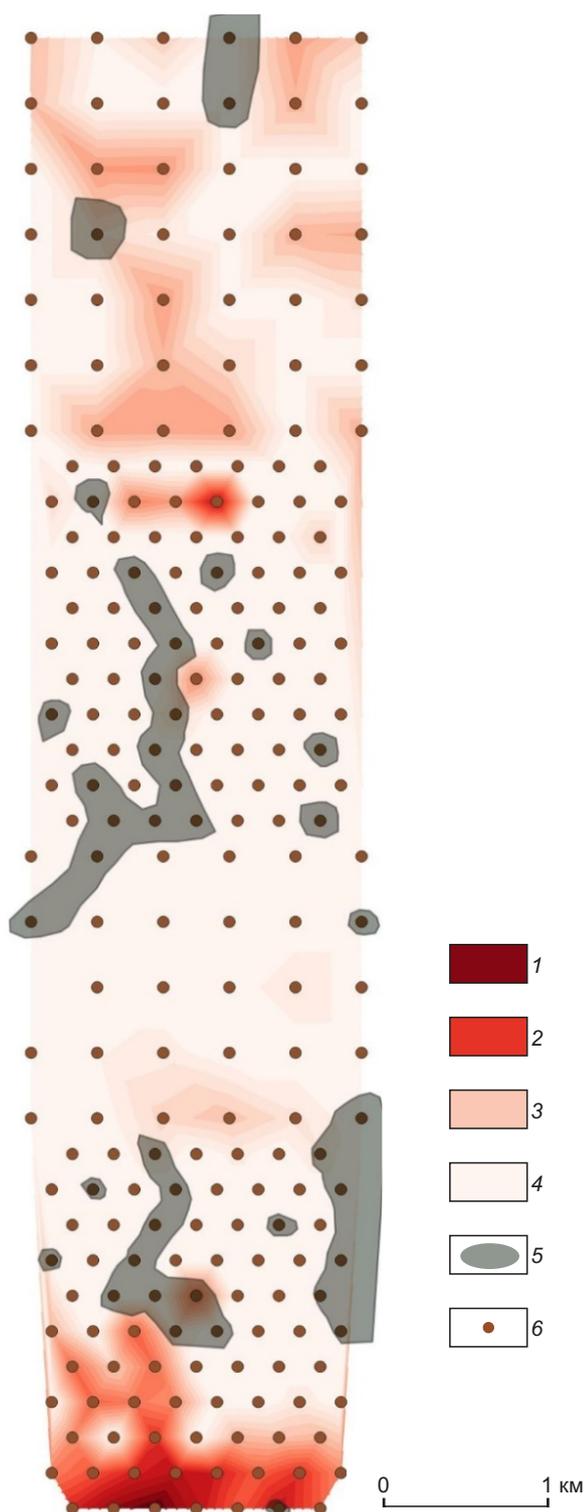


Рис. 6. Карта равных мощностей распространения гидроксидов железа по трещинам в кровле холомогоской свиты и прожилков битумов:

1–4 – мощности интервалов с гидроксидами железа (в м): 1 – 47–52,5, 2 – 31,5–47, 3 – 16–31,5, 4 – 1–16; 5 – прожилки битумов; 6 – скважины

что выделенные участки выклинивания зон пластового и трещинно-пластового окисления могут быть потенциально рудоносными. По аналогии с известными месторождениями песчаникового типа и в палеодолинах в них могут быть концентрации редких и рассеянных элементов – ванадия, скандия и рения. Известно, что это базитофильные элементы [16, 18], следовательно, источником их вполне могли быть распространённые в районе триасовые вулканические туфы основного состава и силлы траппов. Также характерны повышенные фоновые концентрации этих элементов в тяжёлых нефтях и битумах [19, 20, 23]. Широкое распространение битуминозных пород показано выше.

Таким образом, на контакте сероцветных угленосных пород и осветлённых окисленных песчаников перми, а также битуминозных и окисленных пород кембрия вероятны концентрации ванадия и скандия. Можно предположить концентрации рения, для которого в геологическом строении рассматриваемой территории есть много общего с Брикетно-Желтухинским уран-рениевым месторождением, роллоподобные залежи которого локализованы в каменноугольных терригенных отложениях южного крыла Московской синеклизы. Их генезис связывают с пластовым окислением [2].

Полученные материалы по поисковой площади Бестях в Мало-Ботуобинском районе следует рассматривать в качестве постановочных для обоснования поисков месторождений ванадия, скандия и других редких и рассеянных элементов, в том числе рения, в зонах контакта окисленных и неизменённых угленосных пермских песчаников и углей, а также окисленных и битуминозных глинисто-карбонатных пород верхнего кембрия. Изученную площадь Бестях следует считать наиболее подготовленной для проведения поисковых работ на указанные виды стратегического дефицитного сырья.

Работа выполнена в рамках исследований МГРИ по гранту Российского Научного Фонда № 23–27–00280.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев С. А., Соболев П. Н., Таффарель Е. С., Голованова М. П., Гарифуллин И. И. Нефтегазодность Вилюйской синеклизы и перспективы

- поисков залежей углеводородов // Геология, физика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2018. – № 12. – С. 14–26.
2. Викентьев И. В., Кайлачаков П. Э. Уникальное месторождение рения в угленосных песках карбона русской плиты. Сообщение 1. Геологическое строение // Литология и полезные ископаемые. – 2020. – № 3. – С. 209–226. – DOI : 10.31857/S0024497X20030064.
 3. Граханов С. А., Шаталов В. И., Штыров В. А., Кычкин В. Р., Сулейманов А. М. Россыпи алмазов России. – Новосибирск : Академическое изд-во «Гео», 2007. – 437 с.
 4. Добыча урана подземным выщелачиванием в криолитозоне / Под ред. И. Н. Солодова. – М. : ZetaPrint, 2022. – 183 с.
 5. Дроздов А. В., Иост Н. А., Лобанов В. В. Криогидрогеология алмазных месторождений Западной Якутии. – Иркутск : Изд-во ИГТУ, 2008. – 507 с.
 6. Дукардт Ю. А., Блажкун Д. В. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Серия Верхневиллюйская. Лист Р-50-II. Объяснительная записка. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2001.
 7. Зинчук Н. Н. Коры выветривания и вторичные изменения кимберлитов Сибирской платформы. – Новосибирск : Изд-во НГУ, 1994. – 240 с.
 8. Иванов В. В. Экологическая геохимия элементов : Справочник. Книга 4. Главные d-элементы. – М. : Издательство «Экология», 1996. – 206 с.
 9. Игнатов П. А., Еременко Р. У., Толстов А. В., Овчинников И. М. Перспективы выявления месторождений скандия в Якутской алмазоносной провинции // Горный журнал. – 2022. – № 7. – С. 12–21.
 10. Игнатов П. А., Еременко Р. У., Толстов А. В., Овчинников И. М. Перспективы обнаружения месторождений стратегических полезных ископаемых (Cu, Co, Ni, EPG, Sc, V, Li, REE, Li, Sr, графит, углеводороды) в алмазоносных районах юга Западной Якутии // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2024. – Т. 66, № 1. – С. 65–78.
 11. Игнатов П. А., Еременко Р. У., Толстов А. В., Овчинников И. М. Пластовое и пластово-трещинное окисление в карбоново-пермских отложениях и древней коре выветривания Западной Якутии и связанные с ним рудопроявления скандия // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2023. – № 28(2). – С. 187–201.
 12. Игнатов П. А., Зарипов Н. Р., Ковальчук О. Е. Индикаторные свойства прожилкового осветления красноцветных отложений при прогнозировании и поисках кимберлитов : методическое пособие. – Мирный : АЛРОСА, 2022. – 155 с.
 13. Игнатов П. А., Новиков К. В. Полевая диагностика тектонических нарушений и флюидоразрывных образований в кимберлитовмещающих отложениях нижнего палеозоя : методическое руководство. – Мирный : АЛРОСА, 2019. – 76 с.
 14. Кетрис М. П., Юдович Я. Э. Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях. – Екатеринбург : УрО РАН, 2005. – 648 с.
 15. Кириллина А. В., Васильева В. И., Симоненко В. И. Геохимические методы поисков кимберлитов на закрытых территориях западной Якутии // Роль геохимии в развитии МСБ ТПИ : прогноз, поиски, оценка инновационные технологии освоения редкометалльных объектов. – М. : ИМГРЭ, 2016. – С. 44–47.
 16. Ключарев Д. С. Требования к качеству минерального сырья, содержащего редкие и редкоземельные металлы. Рений : справочник / Научная редакция Быховского Л. З., редактор Спорыхина Л. В. – М. : ВИМС, 2016. – 39 с.
 17. Костровицкий С. И., Спецрус З. В., Яковлев Д. А., Фон-дер-Флаас Г. С., Суворова Л. Ф., Богуш И. Н. Атлас коренных месторождений алмазов Якутской кимберлитовой провинции / Отв. редактор ак. Н. П. Похиленко. – Мирный : АЛРОСА, 2015. – 480 с.
 18. Поликашина Н. С. Требования к качеству минерального сырья, содержащего редкие и редкоземельные металлы. Скандий : справочник / Научный редактор Быховский Л. З., редактор Тигунов Л. П. – М. : ВИМС, 2016. – 65 с.
 19. Поплавко Е. М., Иванов В. В., Карасик Т. Г. [и др.] О концентрации рения в нефтях, нефтяных битумах и горючих сланцах // Геохимия. – 1974. – № 9. – С. 1399–1402.
 20. Торикова М. В., Кудинов Ю. А., Тимофеев П. В. Редкие металлы в нефтях, ископаемых углях, продуктах их переработки и минерализованных водах // Разведка и охрана недр. – 1996. – № 8. – С. 21.
 21. Фролов С. В., Карнюшина Е. Е., Коробова Н. И., Бакай Е. А., Курдина Н. С., Крылов О. В., Тарасенко А. А. Особенности строения, осадочные комплексы и углеводородные системы Лено-Виллюйского нефтегазоносного бассейна // Георесурсы. – 2019. – Т. 21, № 2. – С. 13–30.
 22. Харьков А. Д., Зинчук Н. Н., Крючков А. И. Коренные месторождения алмазов мира. – М. : Недра, 1998. – 555 с.
 23. Якуцени С. П. Распространенность углеводородного сырья, обогащенного тяжелыми элементами-примесями. Оценка экологических рисков. – СПб. : Недра, 2005. – 370 с.
 24. Средние содержания химических элементов [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.geokniga.org/geowiki/средние-содержания-химических-элементов> (дата обращения 03.02.2022)

REFERENCES

1. *Vasilyev S. A., Sobolev P. N., Taffarel Ye. S., Golovanova M. P., Garifullin I. I.* Neftegazonosnost Vilyuyskoy sineklizy i perspektivy poiskov zalezhey uglevodorodov [Oil and gas potential of the Vilyui syncline and prospects for hydrocarbon deposits], *Geologiya, fizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*, 2018, No. 12, pp. 14–26. (In Russ.)
2. *Vikentyev I. V., Kaylachakov P. E.* Unikalnoye mestorozhdeniye reniya v uglenosnykh peskakh karbona russkoy plity. Soobshcheniye 1. Geologicheskoye stroyeniye [Unique rhenium deposit in carboniferous coal-bearing sands of the Russian plate. Communication 1. Geological structure], *Litologiya i poleznye iskopyemye*, 2020, No. 3, pp. 209–226, DOI : 10.31857/S0024497X20030064. (In Russ.)
3. *Grakhanov S. A., Shatalov V. I., Shtyrov V. A., Kychkin V. R., Suleymanov A. M.* Rossypi almazov Rossii [Placers of diamonds of Russia], *Novosibirsk, Geo publ.*, 2007, 437 p. (In Russ.)
4. *Dobycha urana podzemnym vyshchelachivaniyem v kriolitozone* [Uranium mining by underground leaching in the cryolithozone], ed. I. N. Solodov, Moscow, ZetaPrint publ., 2022, 183 p. (In Russ.)
5. *Drozhdov A. V., Iost N. A., Lobanov V. V.* Kriogidrogeologiya almaznykh mestorozhdeniy Zapadnoy Yakutii [Cryohydrogeology of diamond deposits of Western Yakutia], *Irkutsk, IGTU publ.*, 2008, 507 p. (In Russ.)
6. *Dukardt Yu. A., Blazhkun D. V.* Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1, 200 000. Seriya Verkhnevilyuyskaya. List P-50-II. Obyasnitelnaya zapiska [State Geological Map of the Russian Federation, scale 1, 200,000. Verkhnevilyuyskaya Series. Sheet P-50-II. Explanatory note], *St. Petersburg, VSEGEI publ.*, 2001. (In Russ.)
7. *Zinchuk N. N.* Kory vyvetriviya i vtorichnyye izmeneniya kimberlitov Sibirskoy platformy [Weathering crusts and secondary changes in kimberlites of the Siberian platform], *Novosibirsk, NGU publ.*, 1994, 240 p. (In Russ.)
8. *Ivanov V. V.* Ekologicheskaya geokhimiya elementov, Spravochnik. Kniga 4. Glavnyye d-elementy [Ecological geochemistry of elements, Handbook. Book 4. Main d-elements], Moscow, *Ekologiya publ.*, 1996, 206 p. (In Russ.)
9. *Ignatov P. A., Yeremenko R. U., Tolstov A. V., Ovchinnikov I. M.* Perspektivy vyyavleniya mestorozhdeniy skandiya v Yakutskoy almazonosnoy provintsii [Prospects for identifying scandium deposits in the Yakut diamond province], *Gornyy zhurnal*, 2022, No. 7, pp. 12–21. (In Russ.)
10. *Ignatov P. A., Yeremenko R. U., Tolstov A. V., Ovchinnikov I. M.* Perspektivy obnaruzheniya mestorozhdeniy strategicheskikh poleznykh iskopyemykh (Cu, So, Ni, EPG, Sc, V, Li, REE, Li, Sr, grafit, uglevodorody) v almazonosnykh rayonakh yuga Zapadnoy Yakutii [Prospects for discovering deposits of strategic minerals (Cu, Co, Ni, EPG, Sc, V, Li, REE, Li, Sr, graphite, hydrocarbons) in diamond-bearing regions of the south of Western Yakutia], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka*, 2024, V. 66, No. 1, pp. 65–78. (In Russ.)
11. *Ignatov P. A., Yeremenko R. U., Tolstov A. V., Ovchinnikov I. M.* Plastovoye i plastovo-treshchinnoye okisleniye v karbonovo-permskikh otlozheniyakh i drevney kore vyvetriviya Zapadnoy Yakutii i svyazannyye s nim rudoproyavleniya skandiya [Stratum and strata-fracture oxidation in Carboniferous-Permian deposits and ancient weathering crust of Western Yakutia and associated scandium ore occurrences], *Prirodnyye resursy Arktiki i Subarktiki*, 2023, No. 28(2), pp. 187–201. (In Russ.)
12. *Ignatov P. A., Zaripov N. R., Kovalchuk O. Ye.* Indikatornyye svoystva prozhilkovogo osvetleniya krasnotsvetnykh otlozheniy pri prognozirovanii i poiskakh kimberlitov, metodicheskoye posobiye [Indicator properties of vein lightening of red-colored deposits in forecasting and prospecting for kimberlites, methodological manual], *Mirny, ALROSA publ.*, 2022, 155 p. (In Russ.)
13. *Ignatov P. A., Novikov K. V.* Polevaya diagnostika tektonicheskikh narusheniy i flyuidorazryvnykh obrazovaniy v kimberlitovmeshchayushchikh otlozheniyakh nizhnego paleozoya, metodicheskoye rukovodstvo [Field diagnostics of tectonic faults and fluid-fracturing formations in kimberlite-hosting deposits of the Lower Paleozoic, methodological guide], *Mirny, ALROSA publ.*, 2019, 76 p. (In Russ.)
14. *Ketris M. P., Yudovich Ya. E.* Toksichnyye elementy-primesi v iskopyemykh uglyakh [Toxic impurity elements in fossil coals], *Yekaterinburg, UrO RAN publ.*, 2005, 648 p. (In Russ.)
15. *Kirillina A. V., Vasilyeva V. I., Simonenko V. I.* Geokhimicheskiye metody poiskov kimberlitov na zakrytykh territoriyakh zapadnoy Yakutii [Geochemical methods of kimberlite exploration in closed territories of western Yakutia], *Rol geokhimii v razvitiy MSB TPI, prognoz, poiski, otsenka innovatsionnyye tekhnologii osvoyeniya redkometalnykh obyektov*, Moscow, *IMGRE publ.*, 2016, pp. 44–47. (In Russ.)
16. *Klyucharev D. S.* Trebovaniya k kachestvu mineralnogo syr'ya, soderzhashchego redkiye i redkozemelnyye metally. Reniy, spravochnik [Requirements for the quality of mineral raw materials containing rare and rare earth metals. Rhenium, reference book], ed. Bykhovskiy L. Z., Sporykhin L. V., Moscow, *VIMS publ.*, 2016, 39 p. (In Russ.)
17. *Kostrovitskiy S. I., Spetsius Z. V., Yakovlev D. A., Fon-der-Flaas G. S., Suvorova L. F., Bogush I. N.* Atlas korennykh mestorozhdeniy almazov Yakutskoy

- kimberlitovoy provintsii [Atlas of primary diamond deposits of the Yakut kimberlite province], ed. N. P. Pokhilenko, Mirny, ALROSA publ., 2015, 480 p. (In Russ.)
18. Polikashina N. S. Trebovaniya k kachestvu mineralnogo syrya, soderzhashchego redkiye i redkozemelnyye metally. Skandiy, spravochnik [Requirements for the quality of mineral raw materials containing rare and rare earth metals. Scandium, reference book], ed. Bykhovsy L. Z., Tigonov L. P, Moscow, VIMS publ., 2016, 65 p. (In Russ.)
 19. Poplavko Ye. M., Ivanov V. V., Karasik T. G. [et al.] O kontsentratsii reniya v neftyakh, neftyanykh bitumakh i goryuchikh slantsakh [On the concentration of rhenium in oils, oil bitumens and oil shales], Geokhimiya, 1974, No. 9, pp. 1399–1402. (In Russ.)
 20. Torikova M. V., Kudinov Yu. A., Timofeyev P. V. Redkiye metally v neftyakh, iskopayemykh uglyakh, produktakh ikh pererabotki i mineralizovannykh vodakh [Rare metals in oils, fossil coals, their processing products and mineralized waters], Razvedka i okhrana neдр, 1996, No. 8, pp. 21. (In Russ.)
 21. Frolov S. V., Karnyushina Ye. Ye., Korobova N. I., Bakay Ye. A., Kurdina N. S., Krylov O. V, Tarasenko A. A. Osobennosti stroyeniya, osadochnyye komplekсы i uglevodorodnyye sistemy Leno-Vilyuyskogo neftegazonosnogo basseyna [Structural features, sedimentary complexes and hydrocarbon systems of the Lena-Vilyui oil and gas basin], Georesursy, 2019, V. 21, No. 2, pp. 13–30. (In Russ.)
 22. Kharkiv A. D., Zinchuk N. N., Kryuchkov A. I. Korennyye mestorozhdeniya almazov mira [Primary diamond deposits of the world], Moscow, Nedra publ., 1998, 555 p. (In Russ.)
 23. Yakutseni S. P. Rasprostranennost uglevodorodnogo syrya, obogashchennogo tyazhelymi elementami-primesyami. Otsenka ekologicheskikh riskov [Prevalence of hydrocarbon raw materials enriched with heavy impurity elements. Assessment of environmental risks], St. Petersburg, Nedra publ., 2005, 370 p. (In Russ.)
 24. Sredniye sodержaniya khimicheskikh elementov [Average contents of chemical elements], available at: <https://www.geokniga.org/geowiki/средние-содержания-химических-элементов> (03.02.2022)

Статья поступила в редакцию 08.11.24; одобрена после рецензирования 28.11.24; принята к публикации 03.12.24.
The article was submitted 08.11.24; approved after reviewing 28.11.24; accepted for publication 03.12.24.

К 80-й годовщине Победы в Великой Отечественной войне 1941–1945 годов

Малоизвестный факт из жизни учёного Г. В. Богомолова

ГАЕВ АРКАДИЙ ЯКОВЛЕВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, профессор

ИСАЕВА СОФИЯ ДАВИДОВНА, доктор технических наук, кандидат геолого-минералогических наук, заведующая отделом¹, isaevasofia@gmail.com

МАНУКЬЯН ДАВИД АШИКОВИЧ, доктор технических наук, кандидат геолого-минералогических наук, профессор, davmanuk@gmail.com

НИКОЛАЕВ АЛЕКСАНДР ПЕТРОВИЧ, генеральный директор², info@geodin.ru

ТАГИЛЬЦЕВ СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ, доктор технических наук, кандидат геолого-минералогических наук, профессор кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии³, tagiltcev@k66.ru

¹ ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова», г. Москва

² ООО «Геодин», г. Москва

³ Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

A little-known fact about the life of scientist G. V. Bogomolov

A. Ya. GAEV, S. D. ISAEVA¹, D. A. MANUKYAN, A. P. NIKOLAEV², S. N. TAGILTSEV³

¹ N. N. Kostyakov Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation, Moscow

² LLC "Geodin", Moscow

³ Ural State Mining University, Yekaterinburg



Профессор Г. В. Богомолов, полковник инженерных войск, заведующий кафедрой гидрогеологии и инженерной геологии МГУ им. М. В. Ломоносова, 1942 г.

Герасим Васильевич Богомолов – один из основателей гидрогеологической и инженерно-геологической школы, академик, государственный деятель, заслуженный деятель науки и техники БССР, академик НАН Беларуси, доктор геолого-минералогических наук, профессор, участник Великой Отечественной войны.

В 1942 г. по распоряжению советского правительства для обеспечения страны необходимыми геологическими кадрами в составе Московского ордена Ленина Государственного университета им. М. В. Ломоносова был организован геолого-разведочный факультет. «Заведующие кафедрами этого нового факультета МГУ были утверждены приказами Всесоюзного комитета по делам высшей школы 13 апреля 1943 г. и объявлены приказом по МГУ за № 162 от 27 мая 1943 г.» [2]. Кафедру гидрогеологии и инженерной геологии возглавил профессор Г. В. Богомолов. Данный факт был обнаружен в архиве в 2006 г. В. А. Всеволожским



Справка о деятельности Г. В. Богомолова в период ВОВ

[1] и позже опубликован В. Т. Трофимовым с соавторами [2]. Эти уникальные события суровых военных лет ждут своих исследователей, в том числе исследователей кафедры гидрогеологии МГУ, поскольку её сотрудники провели в 1942–

1943 годах два полевых сезона, обеспечивая водой предприятия и людей оборонного комплекса. Недаром коллектив, возглавляемый Г. В. Богомоловым, был удостоен Правительственных наград, а в 1947 году – Сталинской премии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Всеволожский В. А.* Несколько слов о себе // Старейшие гидрогеологи мира. – Минск : Белорусская наука, 2016. – С. 111–120.

2. *Трофимов В. Т., Пуцаровский Д. Ю., Рябухин А. Д.* Особенности и малоизвестные факты о развитии геологии в Московском Университете в годы Великой Отечественной Войны // Вестник Моск. Ун-та. Сер. 4. Геология. – 2011. – № 4. – С. 3–6.

REFERENCES

1. *Vsevolzhskiy V. A.* Neskolko slov o sebe [A few words about myself], Stareyshiye gidrogeologi mira, Minsk, Beloruskaya navuka publ., 2016, pp. 111–120. (In Russ.)

2. *Trofimov V. T., Pushcharovskiy D. Yu., Ryabukhin A. D.* Osobennosti i maloizvestnyye fakty o razvitii geologii v Moskovskom Universitete v gody Velikoy Otechestvennoy Voyny [Features and little-known facts about the development of geology at Moscow University during the Great Patriotic War], Vestnik Mosk. Un-ta. Ser. 4. Geologiya, 2011, No. 4, pp. 3–6. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 18.11.24; одобрена после рецензирования 10.12.24; принята к публикации 10.12.24. The article was submitted 18.11.24; approved after reviewing 10.12.24; accepted for publication 10.12.24.

Памяти Семёна Матвеевича Бескина



25.01.1930–19.01.2025

Семён Матвеевич Бескин

Бескин Семён Матвеевич родился в Москве в семье служащих. Его отец погиб на фронтах Великой Отечественной войны. В 1948 г. С. М. Бескин поступил на геологоразведочный факультет Московского геологоразведочного института имени С. Орджоникидзе, но в феврале 1950 г. был незаконно арестован за участие в «тайной» организации, противопоставляющей себя комсомолу. Заключение отбывал в Казахстане на шахтах и рудниках Экибастуза и Джезказгана. В конце 1954 г. был реабилитирован и восстановлен на втором курсе во МГРИ. После окончания института в 1958 г. по распределению работал в геофизической партии Централизованной поисково-ревизионной экспедиции, занимающейся детальными поисками редкометалльных гранитных пегматитов, затем старшим геологом в Казахстанской экспедиции на разведке и добыче пьезокварца. В 1966 г. Семён Матвеевич поступил на работу в Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, где и трудился до последнего времени. Крупный учёный внёс значительный вклад в расширение минерально-сырьевой базы цветных, ред-

ких и благородных металлов СССР и России на основе разработок геолого-формационных металлогенических моделей. Им была предложена новейшая технология изучения эволюции гранитных формаций и связанного с ними оруденения, выявления критериев прогноза и количественной оценки ресурсного потенциала рудных районов, полей, месторождений. Докторская диссертация учёного посвящена редкометалльным гранитовым формациям. С. М. Бескин занимался разработкой научно-методической и технологической базы для комплексных работ по геологическому изучению недр. Он автор большого количества работ, в том числе новой классификации геолого-промышленных типов месторождений редких элементов, а также «Прогнозно-металлогенической карты России на редкие элементы масштаба 1 : 5 000 000». Научные интересы Семёна Матвеевича были связаны с выявлением, локализацией и оценкой ресурса месторождений различных генетических типов: это редкоземельные коры выветривания (Урал), гранитогенное оруденение (Sn-W-Mo-Be-Li-Ta) (Приморье, Приамурье, Забайкалье, Центральный Казахстан, Урал), пьезооптическое сырьё (Забайкалье, Центральный Казахстан) и др. Семён Матвеевич до последних лет оставался в строю, много работал, консультировал коллег. За последние годы им был написан ряд статей и монографий, среди которых «Геология и индикаторная геохимия тантал-ниобиевых месторождений России (редкометалльные граниты)», «Медно-порфировое оруденение России. Перспективные регионы и площади», «Пегматитоносные гранитовые системы. Систематика и продуктивность», «Известково-магнезиальные тренды гранитов как индикаторы металлогенической специализации их возможных финальных дифференциатов».

Чувство товарищества, интеллигентность, принципиальное, но доброжелательное отношение к коллегам, верность Геологии снискали Семёну Матвеевичу высокий авторитет среди товарищей. В научных кругах С. М. Бескин пользовался большим и заслуженным уважением как человек, геолог и учёный.

Светлая память о Семёне Матвеевиче сохранится в сердцах его коллег и друзей. Выражаем соболезнования родным и близким Семёна Матвеевича Бескина.

Коллеги, друзья

Список статей, опубликованных в журнале
«Отечественная геология» в 2024 году

ОРГАНИЗАЦИЯ, УПРАВЛЕНИЕ, ЭКОНОМИКА,
НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

Алексеев Я. В., Корчагина Д. А., Куликов Д. А., Наумов Е. А., Конкин В. Д., Мигачёв И. Ф., Донец А. И., Барышев А. Н. Особенности освоения, воспроизводства и прогноз развития по 2040 г. сырьевой базы свинца и цинка России. № 2. С. 19.

Гермаханов А. А. Основные результаты геологоразведочных работ на твёрдые полезные ископаемые в 2023 г. и задачи на 2024 г. № 2. С. 3.

Иванов А. И., Алексеев Я. В., Наумов Е. А., Куликов Д. А., Корчагина Д. А., Мигачёв И. Ф., Барышев А. Н., Донец А. И., Звездов В. С., Конкин В. Д. Минерально-сырьевая база алмазов, цветных и благородных металлов Российской Федерации в XXI веке. № 6. С. 3.

Минькин К. М., Столяров И. О., Старостин И. А. Оценка результативности завершённых в 2023 г. геологоразведочных работ на цветные и благородные металлы, выполненных за счёт средств федерального бюджета. № 4. С. 3.

Фаррахов Е. Г., Костюченко С. Л., Милетенко Н. В. Состояние и задачи подготовки специалистов среднего звена для геологического изучения недр. № 1. С. 3.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И ПРИКЛАДНОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Карамышев А. В. Автоматизированное картирование металлотектов с использованием методов глубокого машинного обучения. № 4. С. 19.

МИНЕРАГЕНИЯ

Звездов В. С. Влияние геотектонических обстановок формирования вулcano-плутонических поясов на металлогению медно-порфириновых рудных районов и узлов. № 5. С. 54.

Звездов В. С., Куликов Д. А. Вулcano-плутонические пояса и медно-порфириновые системы Новой Гвинеи: обстановки формирования и металлогения. № 6. С. 20.

МЕСТОРОЖДЕНИЯ РУДНЫХ И НЕРУДНЫХ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Гусарова В. В., Раткин В. В., Чугаев А. В., Тихомиров Д. В., Елисеева О. А. Месторождение Южное: Sn-Ag-Pb-Zn орогенная металлогения Сихотэ-Алиня. № 4. С. 35.

Иванов А. И. Прогнозно-поисковые модели полихронных и полигенных золоторудных месторождений – особенности создания и представления. № 5. С. 3.

Ладный О. С. Геолого-структурная позиция и генезис золоторудного месторождения Совиное (Чукотка). № 2. С. 38.

Михеева Е. Д., Кузьменко П. С., Ключарев Д. С. Геолого-генетическая модель, поисковые критерии и признаки месторождений литиеносного гидроминерального сырья. № 1. С. 33.

Нуржанов Г. Ж., Ниценко П. А., Гусев А. В. Халькозиновая минерализация как основа длительной эксплуатации месторождения Жезказган и её генетические особенности. № 5. С. 38.

Остапенко Н. С., Нерода О. Н. Структурные условия формирования, источники металлов и морфологические типы минерализации Кировского золоторудного месторождения (Приамурье, Россия). № 6. С. 75

Столяренко В. В., Алферова В. А., Минаева С. В., Рябошапка А. Г., Минаков А. В. Золотое оруденение участка Чулковский Селигдарского рудного поля (Республика Саха (Якутия)). № 6. С. 51

Четвертаков И. В., Джангиров М. Ю., Шарыгин И. С., Гладкочуб Е. А. Золотоносные россыпи Юрского месторождения и их возможные коренные источники (Становой хребет). № 4. С. 49.

Чугуевская Э. А. Методические аспекты и ограничения использования химического состава хромшпинелидов при прогнозе и поисках месторождений алмаза (на примере бассейна р. Алымджа, Якутия). № 2. С. 55.

Яблокова С. В., Позднякова Н. Н., Шатилова Л. В. Изучение самородного золота при геологоразведочных работах. Методические рекомендации. № 1. С. 20.

РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ

Зинчук Н. Н. Геолого-тектоническое строение и особенности развития Сибирской платформы в связи с алмазопроисковыми работами. № 3. С. 43.

Игнатов П. А., Еременко Р. У., Толстов А. В., Васильев А. П., Овчинников И. М. Эпигенетические изменения в кембрийских и пермских осадочных породах в Мало-Ботуобинском районе Якутии. № 6. С. 93.

ПЕТРОЛОГИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ,
ЛИТОЛОГИЯ

Глухов А. Н., Колова Е. Е. Медно-порфирировое оруденение мезозойских вулcano-плутонических поясов Северо-Востока Азии: черты сходства и различия по петрохимическим и изотопно-геохимическим данным. № 3. С. 3.

Глухов А. Н., Колова Е. Е., Соловов Р. В., Танченко М. А., Ползунов Г. О. Верхне-Мяунджинский рудный узел – порфиново-эпитермальная система в Центральном сегменте Яно-Колымского орогенного пояса. № 5. С. 71.

Михайлов М. С. Новый подход к оценке геохимических гипергенных аномалий золота на примере массива Солдат (Мурунский массив Алданского щита). № 5. С. 87.

Петроченков Д. А., Барабошкин Е. Ю. Декоративно-ювелирные гетероморфные аммониты из кампанских

отложений (р. Северная Сосьва, Северный Урал): новый минеральный тип. № 3. С. 26.

Позднякова Н. Н., Зубова Т. П. Типоморфизм самородного золота как критерий определения типа золоторудной минерализации в корах выветривания Еравнинского рудного района (Республика Бурятия). № 1. С. 43.

Хачатрян Г. К., Анашкина Н. Е. ИК-микроскопия как эффективный метод исследования редкоземельных минералов – монацита и ксенотима. № 3. С. 18.

Хачатрян Г. К., Анашкина Н. Е. Экспрессное определение полиморфных минералов в шлиховых пробах методом ИК-микроскопии (на примере кианита, силлиманита, андалузита). № 4. С. 67.

ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ

Гаев А. Я., Исаева С. Д., Манукьян Д. А., Николаев А. П., Тагильцев С. Н. Малоизвестный факт из жизни учёного Г. В. Богомолова. № 6. С. 105.

Памяти Евгения Ивановича Филатова. № 5. С. 106.

Памяти исследователя рудных месторождений Юрия Ивановича Новожилова. № 2. С. 75.

Сочнева Э. Г., Сидорова Е. В. Минералог В. А. Новиков – специалист из числа незаменимых. К 120-летию организатора и первого руководителя минералогических исследований НИГРИЗолото–ЦНИГРИ. № 5. С. 97.

СООБЩЕНИЯ

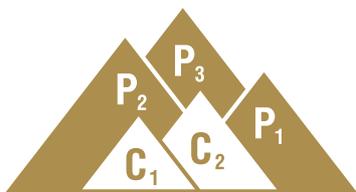
Белозеров Н. И., Дугин С. В., Гиренко И. В. Редкие элементы в каменных углях Огоджинского месторождения (Верхнее Приамурье, Дальний Восток России). № 1. С. 53.

ДИСКУССИИ

Филитов В. А. Кужинская серия: причины выделения и следствия. № 3. С. 73.

ХРОНИКА, ИНФОРМАЦИЯ

Сагалевиц А. М. Исследование озера Байкал с применением глубоководных обитаемых аппаратов. № 2. С. 66.



XIV

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

ГЕОЛОГИЯ, ПРОГНОЗ, ПОИСКИ И ОЦЕНКА
МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ, БЛАГОРОДНЫХ
И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

посвящённая 90-летию ЦНИГРИ (1935–2025)

15–18 апреля 2025 г., ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ВТОРОЙ ЦИРКУЛЯР

ФГБУ «ЦНИГРИ»

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт
цветных и благородных металлов»

ВАЖНЫЕ ДАТЫ

28.10.2024

открытие регистрации

03.02.2025

окончание регистрации и приема тезисов

07.03.2025

подтверждение включения докладов
в программу конференции

15–18.04.2025

проведение конференции

КОНТАКТЫ

Ученый Секретарь,
к. г.-м. н. Фомина Марина Ивановна
+7 (495) 315-4365 (доб. 121);

Цепелева Маргарита Сергеевна
+7(495)315-4365 (доб. 173)

Москва, Варшавское шоссе, 129, корп. 1
www.tsnigri.ru

conference@tsnigri.ru
www.conf.tsnigri.ru