DOI: 10.25283/2223-4594-2017-4-83-97
УДК 553.41:553.261

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ДОБЫЧИ ЗОЛОТА В ЧУКОТСКОМ АВТОНОМНОМ ОКРУГЕ

А. В. Волков, А. Л. Галямов, А. А. Сидоров
ФГБУН Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН
(Москва, Российская Федерация)

В экономике Чукотского автономного округа (ЧАО) золотодобывающая промышленность исторически занимает центральное место, что обуславливает высокую значимость оценки состояния, проблем освоения и динамики развития минерально-сырьевой базы (МСБ) золота. В современной российской добыче золота доля ЧАО составляет 12,2%, а его доля в общероссийских запасах — 3%. К настоящему времени уровень золотодобычи в округе сложился в пределах 25—28 т в год. Результаты рудноформационного и металлогенического анализа показывают, что в новых, неосвоенных районах ЧАО наиболее интересны в промышленном плане бонанцевые эпитермальные Au-Ag месторождения (такие как Купол, Двойной и др.), Au-сульфидные вкрапленные месторождения (Майское, Туманное и др.), Au-Bi месторождения, связанные с интрузивами гранитоидов (Кекурное и др.), золото-кварцевые месторождения в турбидитах (Совиное, Сквозное и др.), Cu-Au-порфировые месторождения. ЧАО обладает заметным потенциалом развития МСБ прибрежно-морских и техногенных россыпей золота.

Ключевые слова: *Арктическая зона, Чукотский автономный округ, золото, серебро, рудные месторождения, россыпи, металлогенический прогноз.*

Статья поступила в редакцию 3 июля 2017 г.

Введение

Чукотский автономный округ (ЧАО) — крайняя северо-восточная и наиболее золотоносная часть Арктической зоны России (рис. 1). В 2017 г. исполняется 70 лет с начала промышленной добычи золота в ЧАО. За этот период на территории округа было добыто более 1200 т золота и 2000 т серебра. Кроме того, здесь добыто более 200 тыс. т олова, около 90 тыс. т вольфрама и порядка 30 млн т угля. ЧАО занимает второе место в стране после Красноярского края по количеству ежегодно извлекаемого драгоценного металла.

Настоящая публикация продолжает серию статей [1—8], посвященных минеральным ресурсам Арктики, подготовленных в ходе реализации проекта Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН «Разработка научных основ новой технологии прогнозирования месторождений стратегических видов минерального сырья (цветных, редких и благородных металлов) Арктической зоны Российской Федерации».

© Волков А. В., Галямов А. Л., Сидоров А. А., 2017

В статье рассматриваются современное состояние, проблемы освоения и перспективы развития минерально-сырьевой базы (МСБ) золота ЧАО. Она написана по результатам геолого-экономического и металлогенического анализа, а также на основе авторских экспертных оценок и доступных данных, опубликованных в научной и периодической печати, на интернет-сайтах. Главная цель публикации — показать перспективы развития золотодобывающей промышленности ЧАО.

Следует отметить, что стремительный рост цены золота на глобальном рынке [1] послужил основной причиной активизации добычи этого металла в Чукотском автономном округе, самом удаленном регионе российской Арктической зоны.

Общие сведения

ЧАО расположен на крайнем северо-востоке России, занимает часть Азиатского материка, Чукотский полуостров и ряд островов (Врангеля, Ратманова, Айон, Аракамчечен, Геральда и др.), омывается Восточно-Сибирским, Чукотским и Беринговым морями. Бо́льшая его часть находится в восточном

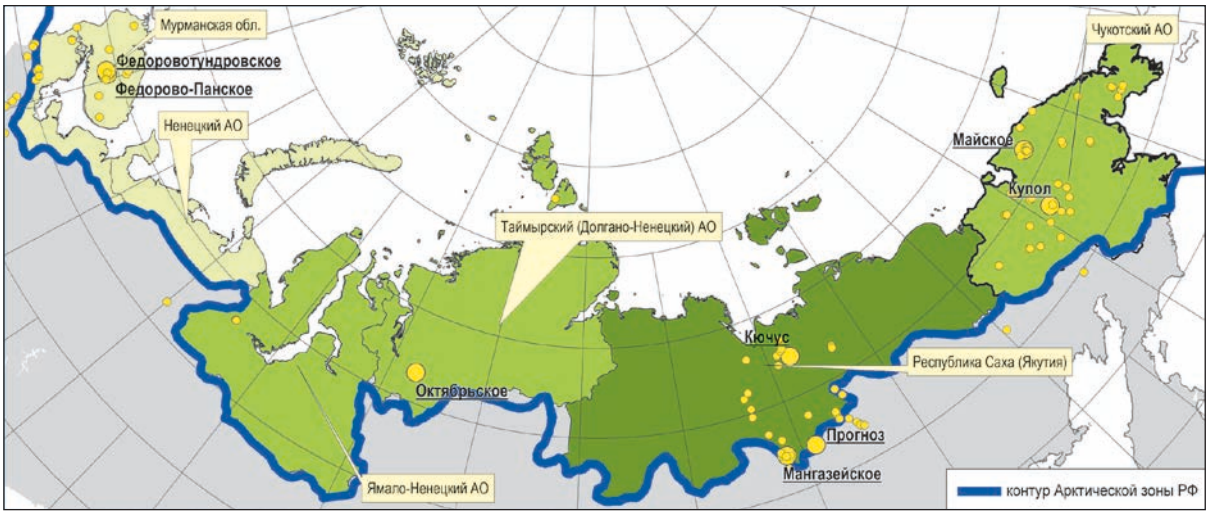

Рис. 1. Положение ЧАО в Арктической зоне России

полушарии, но сам Чукотский полуостров — в западном. Около половины территории округа расположено за Полярным кругом. Площадь округа — 721,5 тыс. км^2, что составляет 4,2% территории России, 11,7% Дальневосточного федерального округа и 17% Арктической зоны Российской Федерации (рис. 2).

По суше округ граничит с Якутией, Магаданской областью и Камчатским краем, а восточной его границей служит морская государственная граница России с США. Население — 49 822 человека, плотность — 0,07 чел./км^2 (1 января 2017 г.), 66,5% населения проживает в трех городах (Анадыре, Билибине и Певеке) и 15 поселках городского типа. Коренное население (чукчи, эскимосы, эвены, коряки и др.) составляет 26% жителей округа. Природные условия для жизни малоблагоприятные. Климат суровый, продолжительность зимы — 10 месяцев. Средние температуры января — –15...–39°С, июля — 5...10°С. Количество осадков — 200—500 мм в год.

Повсеместно распространены многолетнемерзлые породы. С юга на север последовательно сменяются зоны лесотундры, тундры и арктических пустынь. Железных дорог на территории округа нет. Протяженность

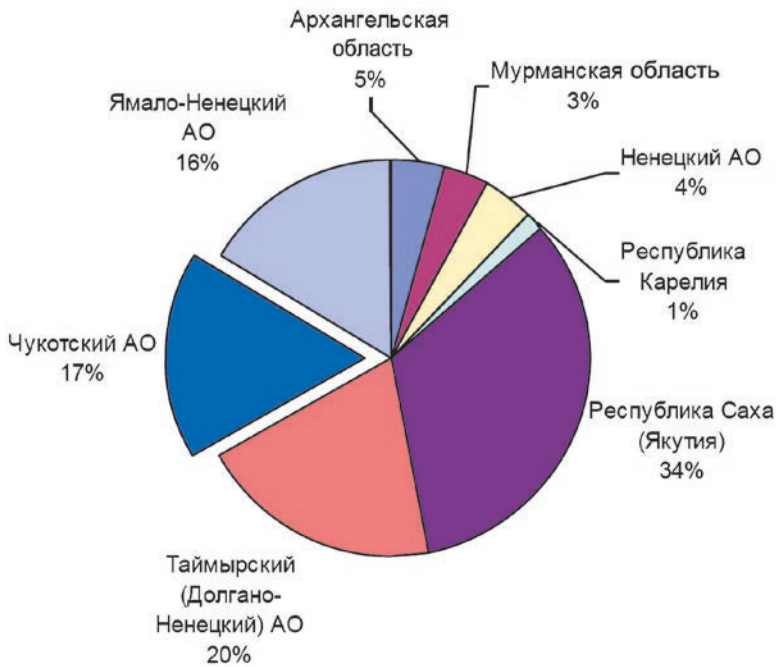

Рис. 2. Соотношение площадей субъектов Федерации, включенных в Арктическую зону России

автомобильных дорог — около 5000 км. Из них 3096 км — автозимники, 1271 км — автозимники с продленным сроком эксплуатации, с низшим типом покрытия, 566 км — дороги IV—V категорий с переходным типом покрытия. В навигационный период используется водный транспорт. Главные морские порты: Анадырь, Певек, Провидения, Беринговский, Эгвекинот. Река Анадырь судоходна на протяжении 570 км, от устья до села Марково. Основу энергетики составляют тепловые электростанции, работающие на угле (Певекская, Эгвекинотская, Анадырская, Беринговская), а также Билибинская атомная электростанция, которая будет остановлена в 2019 г. Ее заменит плавучая АЭС, поставленная в порту Певек.

Большинство эксплуатируемых и подготовленных к освоению месторождений золота ЧАО расположено в непосредственной близости к морским портам (Певек, Шмидт, Эгвекинот, Беринговский) либо

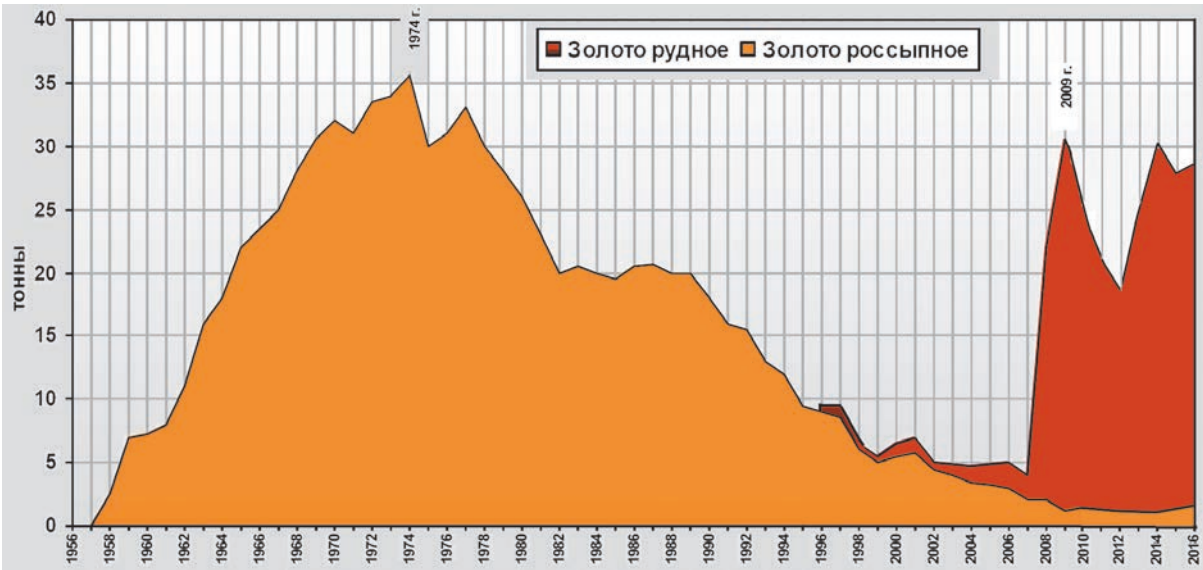

Рис. 3. Динамика добычи золота в ЧАО (1957—2016 гг.)

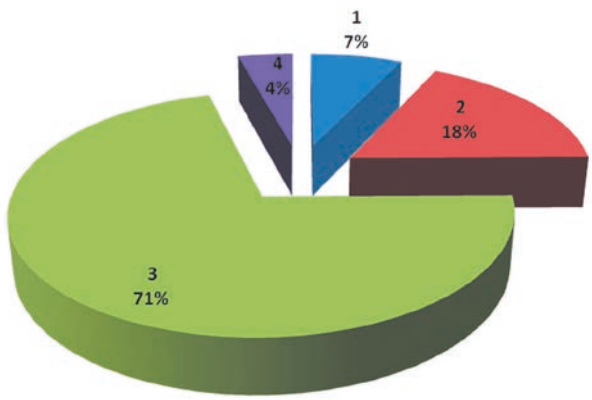

Рис. 4. Распределение добычи золота в ЧАО (2016 г.) по промышленным типам месторождений: 1 — золото-кварцевый, 2 — золото-сульфидный вкрапленный, 3 — золото-серебряный эпитермальный, 4 — россыпи

связано с последними грунтовыми дорогами (сфера деятельности бывших Иультинского и Комсомольского горно-обогатительных комбинатов). Исключение составляют месторождения Билибинского и Анадырского районов, где основной грузопоток от морских портов Зеленый Мыс, Певек и Анадырь проходит по автозимникам. Все районные центры имеют аэропорты, принимающие малую и среднюю авиацию; аэропорты Певек, Анадырь и Мыс Шмидта принимают все типы самолетов.

Динамика добычи золота ЧАО

Добыча золота в ЧАО стартовала в 1957 г. Она велась только из россыпных месторождений, и лишь в 1996 г. в эксплуатацию были включены первые коренные месторождения (Каральвеем, Двойное, Сопка Рудная, Сыпучее, Северо-Восток). В этот период добыча золота в округе стремительно снизилась с 20 т в год в 1980—1990-х годах до 4,5 т в 2004 г. (рис. 3), чему способствовали ухудшение социально-экономической ситуации и реформирование предприятий золотодобывающей отрасли, а также истощение МСБ россыпного золота и неподготовленность к эксплуатации золоторудных месторождений.

В 2004 г. первое золото получено из руд Валунистого месторождения. Доля рудного золота в добыче округа возросла до 30%. Однако по-прежнему в добыче преобладало россыпное золото, хотя потенциал россыпных месторождений в значительной мере был исчерпан. С 2001 по 2007 гг. объем добычи золота сохранялся на уровне 6,4—4,4 т в год (см. рис. 2), причем доля добычи рудного золота постепенно увеличивалась в основном за счет эксплуатации месторождений Каральвеем, Валунистое и Двойное.

В 2008 г. произошел крутой поворот в добыче золота не только в ЧАО, но и в России в целом; получено первое золото из руд богатейшего золото-серебряного месторождения мирового класса Купол. В этом году ЧАО впервые обогнал по уровню добычи золота своего знаменитого соседа — Магаданскую область и вплотную приблизился по этому показателю к штату Аляска [1].

Сложившийся к настоящему времени уровень золотодобычи в округе составляет 25—28 т в год. Преобладает доля золота, полученного из эпитермальных бонанцевых месторождений (Купол, Двойное, Валунистое), на втором месте — золото-сульфидное вкрапленное месторождение Майское, на третьем — россыпные месторождения, далее рудник Каральвеем, разрабатывающий золото-кварцевые руды (рис. 4).

Состояние МСБ золота Чукотки

В современной российской добыче золота доля ЧАО составляет 12,2%, а его доля в общероссийских запасах — 3%.

Таблица 1. Состояние МСБ золота Чукотки (на 1 января 2017 г.)

Месторождение	Компания	Запасы, т	Ресурсы, т	Добыча (2016 г.), т
Купол	«Kinros Gold»	52,37	10,2	10,738
Песчанка	«Милхауз»	378,11	112,0	0
Майское	«Полиметалл»	143,00	100,0	3,555
Двойное	«Kinros Gold»	19,25	4,4	10,514
Каральвеем	«Леваев групп»	157,00	100,0	1,358
Кекура	«Highland Gold Mining»	48,00	42,0	0
Клен	«Highland Gold Mining»	19,50	3,0	0
Валунистый	«Милхауз»	37,50	50,0	0,893
Морошка	«Kinros Gold»	6,80	5,0	0
Россыпи		*60,00*	*60,0*	*2,126*
Итого		*921,53*	*286,6*	*29,184*

Примечание. По данным официальных сайтов компаний. Выделены разрабатываемые месторождения.

В последние годы, по данным Чукотнедра, балансовые запасы рудного золота увеличились на 60%, в то время как запасы россыпного золота уменьшились на 30%. Резкий скачок в добыче золота в ЧАО (см. рис. 2) связан с вводом в эксплуатацию вначале месторождения Купол (2008 г.), а затем Майского и Двойного (2013 г.). Действующие горные предприятия обеспечены запасами золота на 5—10 лет.

В связи с истощением МСБ (запасы россыпного золота сосредоточены преимущественно в объектах с низкой рентабельностью) добыча россыпного золота и среднее содержание в отрабатываемых россыпях ежегодно снижаются.

МСБ золота ЧАО, рассматриваемая в статье, представлена в основном коренными месторождениями, запасы и ресурсы которых оценены в соответствии с международными стандартами, учтены государственным балансом России (российские ресурсы относятся к категории Р1). Характеристика МСБ золота ЧАО приведена в табл. 1.

Добыча золота в ЧАО в последние годы развивалась темпами, сопоставимыми со штатом Аляска, и значительно опережала соседнюю Магаданскую область [1]. В 2016 г. ЧАО добыл 29,18 т золота, а производство серебра составило 156 т. Добыча из россыпей составила всего 2,1 т.

В настоящее время в ЧАО разрабатываются лишь пять из восьми основных рудных месторождений золота (см. табл. 1). В 2018 и 2019 гг. «Highland Gold Mining» планирует ввести в эксплуатацию еще два рудника на месторождениях Клен и Кекурное. Месторождение Песчанка, по-видимому, будет осваиваться уже после 2025 г. Потенциал ресурсов золота россыпей Чукотки также далеко не исчерпан. Реальная оценка запасов россыпного золота в округе составляет порядка 60 т.

За последние пять лет, по данным Чукотнедра, горнодобывающим компаниям переданы в пользование 17 площадей, перспективных на открытие новых месторождений золота и серебра, с общим ресурсным потенциалом золота около 1200 т и серебра более 7000 т, что позволяет надеяться на получение значительного прироста запасов этих драгоценных металлов к 2025 г. В последние годы финансирование геолого-разведочных работ за счет недропользователей находится на уровне 2 млрд руб. в год.

Развитие МСБ ЧАО рассматривается как составная часть стратегии социально-экономического развития Дальневосточного федерального округа, который вместе с Байкальским регионом [9] должен стать мощной основой развития промышленности России на ближайшие десятилетия. Кроме того, развитие МСБ ЧАО предусмотрено также «Стратегией развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года» [10].

Перспективы развития добычи россыпного золота

Истощение МСБ россыпного золота в ЧАО и высокие цены на мировом рынке определяют острую необходимость поисков новых объектов. Золотоносный потенциал арктических шельфовых областей округа сопоставим с крупными золотоносными районами страны. По продуктивности первое место в ЧАО занимает Валькарайский район. Высоки

перспективы открытия крупных россыпей золота и на острове Врангеля. В пределах Валькарайского района все разведанные на сегодня запасы и ресурсы россыпного золота сосредоточены в проливе Лонга и лагуне Рыпильхин. Крупная россыпь Рыпильхин (запасы — более 35 т) прослежена на дне моря до глубин 30—35 м, мощность торфов составляет 5—30 м, золотоносных пластов — 0,5—0,8 м, содержание золота — 2,5—7,5 г/м^3.

Новый этап в россыпной золотодобыче на территории ЧАО — максимально эффективное использование значительного потенциала техногенного золота для поддержания объемов добычи на социально приемлемом уровне за счет роста технической оснащенности процесса и использования самых передовых технологий добычи, возможных при укрупнении предприятий. Исследования, проведенные институтами РАН, показали, что материал техногенного комплекса россыпной добычи пригоден к сплошной переработке с использованием современных высокопроизводительных технологий. Однако массовое вовлечение в эксплуатацию техногенных отложений сдерживается отсутствием четкой и эффективной нормативно-правовой базы в этой сфере недропользования.

На территории ЧАО за 70-летнюю историю золотодобычи из россыпей в результате переработки золотосодержащих песков образовано порядка 150 млн м^3 техногенного комплекса (вскрышные породы, гале-эфельные отвалы, песчано-глинистые и илистые отложения «хвостов» промывки песков). По предварительным оценкам специалистов, в этих техногенных образованиях содержится от 150 до 200 т золота. По-видимому, запасы золота в техногенных месторождениях ЧАО, как и Яно-Колымской провинции (за пределами лицензионной деятельности), практически неисчерпаемы, и при устойчивости высоких рыночных цен на золото их хватит еще на многие десятилетия.

Определенные перспективы в развитии добычи россыпного золота в ЧАО связываются с принятием закона о «вольном приносе» золота, который разрешит разработку россыпных и техногенных месторождений частным лицам.

Перспективы развития добычи золота из рудных месторождений

С 80-х годов прошлого века перспективы развития золотодобычи на территории ЧАО связывают главным образом с поисками, разведкой и освоением золоторудных и комплексных золотосодержащих месторождений, локализованных в различных тектоно-металлогенических обстановках (рис. 5). Более половины коренных проявлений (преимущественно золота и олова) из 3 тыс. объектов ЧАО залегает в терригенных породах триаса и мела, а также в раннемеловых гранитоидах (рис. 5а). Они пространственно приурочены к областям повышенной мощности литосферы (рис. 5б).

По составу и строению геологических формаций здесь выделяются Чукотская и Корякско-Камчатская складчатые системы (пояса), Охотско-Чукотский и Олойский вулканно-плутонические пояса (рис. 5в). Особое место занимает Южно-Анюйская зона, рассматриваемая в качестве коллизионной структуры, отделяющей мезозоиды, тесно связанные с эволюцией арктической области, от тихоокеанских литосферных блоков [12].

Среди потенциально промышленных золоторудных месторождений на территории ЧАО выделяются основные рудно-формационные типы:

- эпитермальные золото-серебряные месторождения вулканно-плутонических поясов;
- золотосодержащие медно-порфировые месторождения вулканно-плутонических поясов;
- мезотермальные золото-кварцевые в терригенных толщах и золото-висмутовые, связанные с интрузивами гранитоидов месторождения приурочены к орогенным (поздняя юра — мел) складчатым поясам;
- золото-сульфидные месторождения вкрапленных «упорных» руд в перивулканических зонах тектономагматической активизации (ТМА);
- обогащенные золотом колчеданно-полиметаллические месторождения островодужных вулканических поясов.

Запасы и прогнозные ресурсы золота распределены на территории Чукотского АО весьма неравномерно. Из 2 тыс. золоторудных объектов округа около трети, включая 15 месторождений, локализовано в пределах **Чукотского складчатого пояса**, наиболее изученного в геологическом плане. Здесь сосредоточены основные запасы и прогнозные ресурсы россыпного золота, выявлены и разведаны многочисленные коренные месторождения и перспективные проявления преимущественно золото-кварцевого (Каральвеем, Совиное, Секущий, Ураганное и др.), золото-редкометалльного (Палянгай, Стадухинская группа и др.) и золото-сульфидного вкрапленного типов (Майское, Сильное, Туманный, Эльвиней и др.). Месторождения располагаются в крупных ареалах развития нижнемелового гранитоидного магматизма, часто в полях базитовых интрузий триас-юрского возраста.

Второй по запасам и ресурсам — **Охотско-Чукотский вулканно-плутонический пояс** (ОЧВП). В его пределах залегает более 500 рудных объектов, в том числе более 10 месторождений, среди которых значительную часть составляют меловые эпитермальные золотосеребряные месторождения и рудопроявления (Купол, Двойное, Сентябрьское, Морошка, Валунистое, Горное, Жильное и др.). Здесь, как и в Олойском поясе, велики перспективы открытия крупных золотосодержащих молибден-медно-порфировых месторождений (Танюрерский район, Ольховский узел и др.). Известные золото-серебряные месторождения чаще всего располагаются в участках наиболее полного проявления рядов

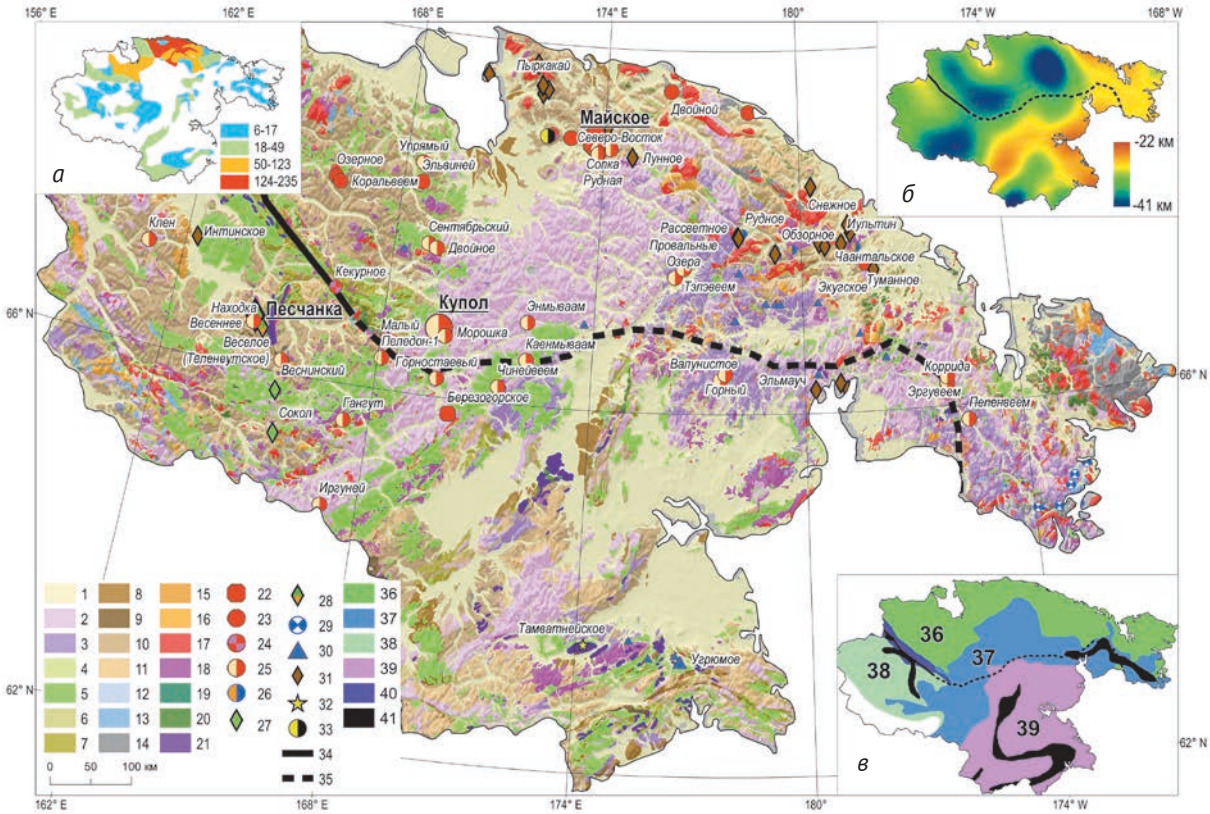

Рис. 5. Позиция коренных месторождений и проявлений благородных и цветных металлов различных типов в геологических формациях ЧАО (по материалам Чукотнедра).

Формации: **1 — четвертичные, 2 — преимущественно риолитовые, 3 — риолит-дацитовые, 4 —андезитовые, 5 — базальтовые, 6—7 — вулканногенно-терригенные, 8 — терригенные нерасчлененные, 9 — крупнообломочные, 10 — мелкообломочные и глинистые, 11 — карбонатно-терригенные, 12 — терригенно-карбонатные, 13 — карбонатные, 14 — метаморфические комплексы древнего основания, 15 — щелочных гранитов, 16 — сиенитов и граносиенитов, 17 — гранитов, лейкогранитов и гранит-порфиров, 18 — диоритов, гранодиоритов и монцонитов, 19 — габбро-диоритов, 20 — габбро, 21 — ультрабазитов.**

Рудные формации: **22 — золото-сульфидно-вкрапленные, 23 — золото-кварцевые, 24 — золото-висмутовые (редкометалльные), 25 — золото-серебряные эпитермальные, 26 — серебро-полиметаллические, 27 — медно-молибден-порфировые, в том числе золотосодержащие (28), 29 — скарново-полиметаллические, 30 — золото-колчеданно-полиметаллические, 31 — касситерит-силикатные, 32—33 — ртутные, 34—35 — Южно-Анюйская сутура (34 — на дневной поверхности, 35 — погребенная).**

Врезки: ***а*** **— ареалы проявления преимущественно раннемелового интрузивного гранитоидного магматизма, ранжированные по количеству золоторудных объектов (месторождений и рудопроявлений),** ***б*** **— поверхность Мохо (по материалам [11]),** ***в*** **— тектоническая схема ЧАО (36 — Чукотский складчатый пояс, 37 — Охотско-Чукотский вулканно-плутонический пояс (ВПП), 38 — Олойский ВПП, 39 — Корякско-Камчатский складчатый пояс, 40 — Южно-Анюйская сутура, 41 — офиолиты)**

магматизма, причем в центральной части ОЧВП возраст интрузий преимущественно верхнемеловой, а на периферии ВПП — нижнемеловой.

Третий по количеству запасов и прогнозных ресурсов **Олойский вулканно-плутонический пояс** (ОВП), характеризуется повышенной россыпной золотоносностью и позднеюрскими-раннемеловыми, размещающимися в ареалах наиболее полного развития нижнемелового магматизма месторождениями (6 объектов) и рудопроявлениями (более 150) преимущественно золотосеребряного эпитермального (Клен, Весенний, Смешливое и др.), золото-висмутого (Стадухинская площадь, Кекурное) и золотосодержащего медно-порфирового (Песчанка, Находка и др.) рудноформационных типов.

Корякско-Камчатский металлогенический пояс (ККМП), на территории которого размещается около двух сотен рудных точек, наименее изучен на территории Чукотки. Здесь перспективы заключаются в выявлении палеоген-неогеновых комплексных золотосодержащих медно-молибден-порфировых и золото-колчеданно-полиметалических (типа Куроко) месторождений, признаки которых часто пространственно связаны здесь с ареалами проявления базитового и среднего интрузивного магматизма нижнемелового и триас-юрского возрастов.

В настоящее время в пределах ККМП отрабатываются россыпные месторождения золота и известен ряд рудопроявлений золотокварцевого типа (Нутэкин и др.). В фундаменте вулканоструктур

Таблица 2. Геолого-экономическая характеристика перспективных золоторудных месторождений ЧАО

Характеристика	Жильное	Эргувеем (Коррида)	Сетябрьское	Туманное	Совиное	Палянгай
Рудный район	Канчаланский	Эргувеемский	Илирнейский	Экугский	Рывеемский	Палянский
Вмещающие породы	Флюидальные риодациты	Андезиты и их туфы	Андезиты, их туфы и лавобрекчии	Алевролиты, песчаники	Песчаники, алевролиты	Гранодиориты
Промышленные типы руд	Au-Ag-кварцевый	Au-Ag-кварцевый	Au-Ag-кварцевый	Au-As-Sb сульфидный	Au-кварцевый	Au-Bi кварцевый
Среднее содержание, г/т:						
золота	5,5—18,0	10—15	15—20	14	12,5	1—5
серебра	30—150	100—150	40—160	4	—	10—30
Пробность Au (средняя)	600	630—800	620—820	890—950	550—950	800—950
Геохимическая ассоциация элементов	Au, Ag, As, Sb	Au, Ag, Sb, As	Au, Ag, As, Te, Sb	Au, Ag, As, Sb, Sn	Au, As, W	Au, Ag, As, Bi, Sb, Sn, W, Te, Hg
Доля сульфидных руд, %	1	1—2	1	8	3	3—5
Структурно-морфологические типы рудных тел	Жилы, жильные зоны	Жилы, жильные зоны	Жилы, жильные зоны	Вкрапленный, жильно-прожилковый	Жильный, штокверковый	Жильный, прожилково-штокверковый
Параметры рудных тел (средние), м:						
мощность	2,5—5,1	2,5—5,1	6,5	4	2,5	48
протяженность	180—340	200—500	200—250	1500	800—1200	500—700
глубина распространения	80—160	150	280	> 1000	> 500	300
Запасы + ресурсы, т	30	50	50	150	180—210	100
Владелец лицензии	«Millhouse»		АОЗТ «Северное золото»			
Способ отработки	Карьер-подземный	Карьер-подземный	Карьер-подземный	Подземный	Карьер-подземный	Карьер-подземный

и их обрамлении возможно выявление большеобъемных месторождений Карлинского и нового комплексного Au-Ag-Bi-Te типа оруденения, связанного с гранитоидами, которые могут стать промышленно перспективными в ближайшем будущем. Здесь возможно выделение перспективных площадей на открытие богатых комплексных (Zn, Pb, Ag, Au, In) полиметаллических месторождений, аналогичных месторождению Тайоха на острове Хоккайдо (Япония).

Характеристика перспективных золоторудных месторождений ЧАО приведена в табл. 2.

Au-Ag эпитермальные месторождения

Подавляющее большинство проявлений руд этого типа известно в пределах ОЧВП и Анюйско-Чукотской складчатой системы и залегает в позднемеловых риолит-дацитовых эффузивах, часто в ареалах наиболее полного развития мелового

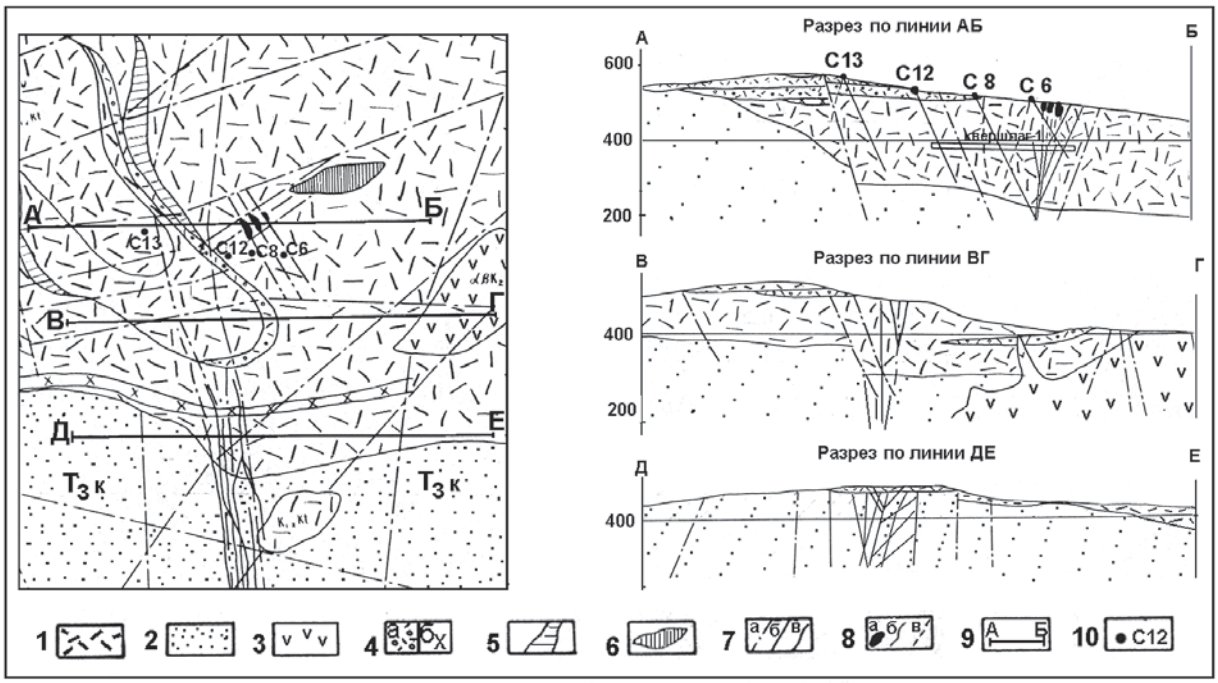

Рис. 6. Схематическая геологическая карта и разрезы месторождения Сопка Рудная: 1 — вулканиты (переслаивание игнимбритов, лав, туфов, туфоконгломератов), 2 — терригенные толщи верхнего триаса, 3 — субвулканические тела андезитов, 4 — тело магматической брекчии (а) и дайка андезито-базальтов (б), 5 — зона надрудных аргиллизитов, 6 — делювиальная россыпь золота, 7 — разрывные нарушения (а — предполагаемые, б — картируемые) и геологические границы (в), 8 — рудные тела (а — штокверк, б — жилы, в — предполагаемые), 9 — линии разрезов, 10 — буровой профиль (номер скважины)

магматизма. Пространственный анализ размещения магматических формаций показывает, что ареалы интрузивов нижнемелового завершенного ряда приурочены к окраинам ОЧВП, с другой стороны, проявления верхнемеловых комплексов располагаются в осевой части пояса. Поскольку ОЧВП слабо изучен, весьма реальны перспективы пополнения МСБ рудного золота за счет золото-серебряных месторождений эпитермального типа. Об этом свидетельствует сравнительно недавнее открытие крупного месторождения Купол и последовавшие за ним открытие и доразведка новых рудных тел на Сентябрьском и Двойном месторождениях, а также небольшого месторождения Морошка (см. рис. 5). Месторождения этого типа — первые по потенциальной промышленной значимости в ЧАО (см. табл. 1).

Ближайшие перспективы роста уровня добычи золота из этих месторождений связаны с наращиванием добычи на уже работающих рудниках Двойном и Валунистом, а также с освоением новых месторождений (Морошка, Сентябрьское, Жильное, Клен, Весеннее и др.). В целом на перечисленных объектах ежегодная добыча золота может составить около 5 т.

Более отдаленные перспективы развития добычи золота связаны с открытием новых эпитермальных месторождений. В частности, по аналогии с богатейшим месторождением Хисикари (Япония) развития эпитермального оруденения в терригенном основании вулканоструктур следует ожидать в пределах рудных полей, расположенных как во внешней зоне, так и в раме тектонических окон или непосредственно над куполами и валообразными поднятиями терригенных блоков фундамента во внутренней зоне вулканических поясов [13]. Типичный пример — месторождение Сопка Рудная (рис. 6). Здесь песчано-сланцевые карнийские толщи перекрываются эффузивами верхнемелового возраста. Терригенные толщи основания слагают слабо проявленную купольную структуру, осложняющую северо-западное крыло брахисинклинальной складки, что очень похоже на геологическую структуру месторождения Хисикари. Золото-серебряная минерализация выявлена в горизонтально залегающем вулканическом покрове и в терригенных толщах фундамента.

В вулканно-плутонических поясах ЧАО также весьма вероятно выявление большеобъемных высокосульфидизированных (ВС) эпитермальных золотосеребряных месторождений [14]. За последние 50 лет систематическими геолого-съемочными и поисковыми работами в ОЧВП открыты многочисленные эпитермальные Au-Ag месторождения и рудопроявления. Однако крупных ВС объектов мирового класса (с запасами более 300 т золота) в пределах ЧАО до сих пор не выявлено. Стремительный рост в мире добычи золота из ВС месторождений стимулировал постановку прогнозно-металлогенических исследований, направленных на прогнозирование

Рис. 7. Потенциально золотоносные эпитермальные метасоматиты (район месторождения Пепенвеем, см. рис. 5)

подобных месторождений на территории ЧАО и прежде всего в ОЧВП, например в районе месторождения Пепенвеем (рис. 7).

Au-As-сульфидные месторождения вкрапленных руд

Вторые по потенциальной промышленной значимости для ЧАО — Au-As-сульфидные месторождения упорных вкрапленных руд (ЗСМВР) (см. рис. 3). *Ввод в эксплуатацию* (2013 *г.) крупного Майского месторождения рассматриваемого типа создал предпосылки для поисков новых перспективных объектов, а также для разведки и освоения уже известных на территории ЧАО* Au-As-сульфидных объектов (Туманного, *Сильного*, *Эльвенейского* и *др.)* (см. рис. 5).

Подробная характеристика ЗСМВР приведена в [16]. Месторождения с этим типом оруденения располагаются преимущественно в терригенных и терригенно-карбонатных углеродистых толщах в основном в ареалах развития малых гранитоидных тел. Золотоносные сульфиды образуют мелкую и тонкую вкрапленность в зонах дробления и рассланцевания пород. Оруденение непрерывно прослеживается без существенного изменения своего состава и содержания золота на глубины, превышающие 1 км. Постоянно устанавливается тесная корреляционная связь золота и мышьяка. Для рудных тел характерно наличие антимонита, с которым спорадически ассоциирует относительно крупное позднее золото.

Правильное определение золото-сульфидного вкрапленного типа оруденения весьма важно для последующего развития геолого-разведочных работ. На ряде месторождений ЧАО (Случайном, Сильном, Сыпучем, Туманном, Элвинейском и др.) (см. рис. 5) золото-сульфидные вкрапленные руды по экономическим и технологическим причинам недоразведаны, запасы и прогнозные ресурсы этих руд не апробированы, и эти месторождения ошибочно отнесены к золото-кварцевой, золото-ртутной, золото-серебряной эпитермальной или золото-сурьмяной рудным формациям. Весьма перспективны на открытие новых месторождений зоны ТМА Восточной и Западной Чукотки (рис. 8), в которых известно несколько Au-As и Au-Sb проявлений, обладающих большим геологическим и минералого-геохимическим сходством с золото-мышьяковисто-сульфидными месторождениями вкрапленных руд.

Вовлечение в эксплуатацию большеобъемных ЗСМВР Чукотки позволит увеличить и стабилизировать уровень золотодобычи в этом регионе до конца текущего века, так как из каждого месторождения можно добывать десятилетиями ежегодно более 5 т золота. В различных золоторудных районах Чукотского складчатого пояса в перивулканических зонах

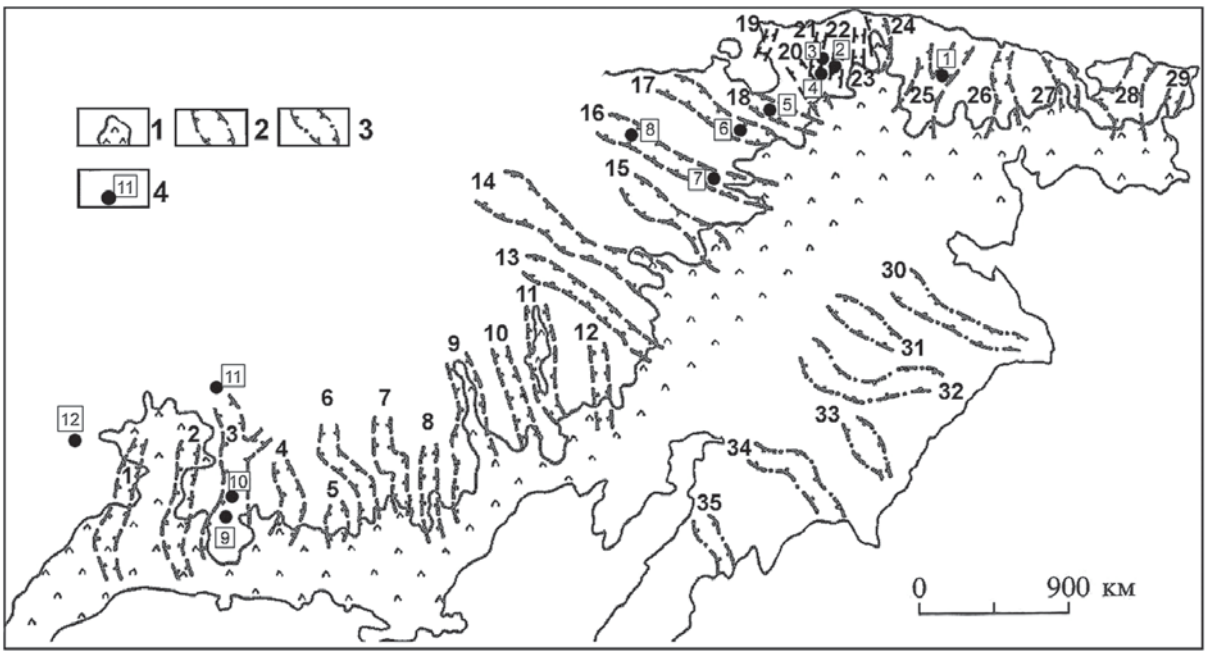

Рис. 8. Положение ЗСМВР на схеме зон ТМА СВР: 1 — ОЧВП, 2 — зоны позднемезозойской ТМА, 3 — зоны кайнозойской ТМА, 4 — месторождения и проявления ЗСМВР (1 — Туманное, 2 — Сильное, 3 — Майское, 4 — Сыпучинское, 5 — Эльвинейское, 6 — Случайное, 7 — Якорь, 8 — Эломбал, 9 — Павлик, 10 — Наталкинское, 11 — Сарылах, 12 — Нежданинское)

ТМА ОЧВП весьма высок потенциал открытия новых месторождений этого типа, а на многих известных месторождениях и рудопроявлениях возможен значительный прирост запасов и прогнозных ресурсов, так как поисковые и разведочные работы в их пределах не были завершены.

Au-Bi-месторождения

Третьи по потенциальной промышленной значимости Au-Bi месторождения, связанные с интрузивами гранитоидов, также расположены в перивулканических зонах ТМА и фундаменте вулканно-плутонических поясов разного возраста Чукотки. Важное преимущество месторождений этого типа по сравнению с ЗСМВР — возможность применения «кучного выщелачивания». Кроме золота, в рудах этих месторождений в заметных количествах присутствуют минералы молибдена, вольфрама, висмута, теллура, иногда олова и серебра.

В гранитоидных штоках и массивах в зонах ТМА происходит наложение друг на друга разных типов оруденения: раннего Au-Bi, Au-AS-сульфидного и Au-Ag эпитермального. В результате образуются крупные месторождения с богатыми бонанцовыми рудами. Развернутые в 1990-х годах поиски позволили выявить в различных районах ЧАО более 20 потенциально «золотоносных» штоков (Палянгай, Кекурное, Матенвунай, Каменный Пик и др.). Однако большинство из них по содержанию золота (1,5—2,5 г/т) не вполне удовлетворяют современным экономическим требованиям.

Бонанцевые Au-Bi объекты, аналогичные месторождениям Школьное (Магаданская область) и Кекурное (Стадухинский район, западная Чукотка), можно достаточно уверенно прогнозировать в зонах ТМА, оперяющих структуры ОЧВП. На Северо-Востоке России такие месторождения вслед за П. И. Скорняковым называют золото-редкометалльными; в отдельные группы выделяются золотокварцевые месторождения, наложенные на дайки, и полиформационные месторождения в штоках, образующиеся в зонах ТМА. В отличие от Cu-порфировых и месторождений Sn Au-Bi месторождения связаны с гранитоидами самого разного состава и происхождения. Месторождения формируются как в самих интрузивах и сопровождающих их дайках, так и в надинтрузивных роговиках, и слабоороговикованных терригенных толщах. Рудные тела месторождений этого типа представлены жилами мощностью 0,1—2,5 м и протяженностью до 100—1000 м, штокверками площадью 1—2 км^2, зонами дробления мощностью до 2—3 м и протяженностью до 200—2000 м. На ряде месторождений обычны сочетания нескольких или всех перечисленных выше типов рудных тел. Мощность околожильных метасоматически измененных пород достигает одного метра, а в штокверках и минерализованных зонах дробления охватывает площадь всей залежи. Месторождения характеризуются низким содержанием золота при крупных запасах металла; вертикальный размах оруденения превышает 300 м. В целом на месторождениях этого

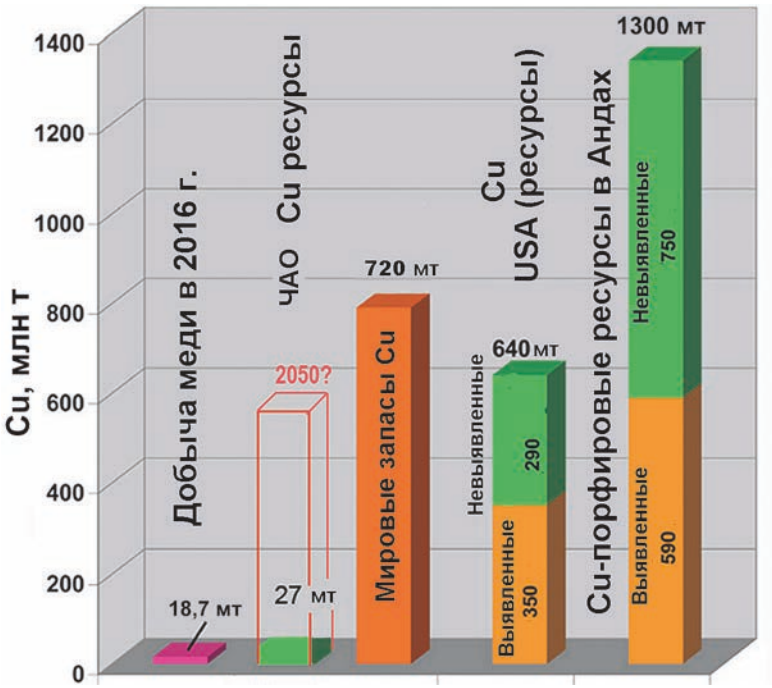

Рис. 9. Мировое производство и запасы меди (2015 г.), а также ресурсы меди ЧАО и других регионов мира (2008 г.) [17; 18]

типа в ЧАО добыча золота может составить до 10 т и более в год.

Золотокварцевые месторождения

Образование золотокварцевых жил в турбидитах Чукотского складчатого пояса связано преимущественно с аккрецией террейнов и последующим орогенезом [4]. На территории ЧАО выделяются по крайней мере три разновозрастных этапа формирования золотокварцевого оруденения: 1) домезозойский этап, связанный, по-видимому, с нижне — верхне-карбоновой коллизией и орогенезом; 2) раннеорогенный этап — юрско-раннемеловой, коллизионный (синаккреционный); 3) позднеорогенный этап — позднемеловой эпохи ТМА.

Оруденение раннего этапа развито в складчатых палеозойских толщах (D—P) как стратиформное метаморфогенно-гидротермальное, частично регенерированное в экзоконтактах мезозойских гранитоидных массивов (Куульское, Алярмаутское поднятия Чукотки). Типичный пример — месторождение Совиное (см. рис. 5) — резко выделяется среди известных золото-кварцевых месторождений Чукотки значительным размахом оруденения по простиранию и на глубину. Золоторудные месторождения с близким к Совиному типом оруденения — Бендиго, Баларат (Восточная Австралия) — отличаются развитием кварцево-жильного оруденения на глубину до 2 км [4]. В пределах месторождения Совиное также можно ожидать развития многоэтажного золото-кварцевого оруденения на значительную глубину.

Месторождения второго раннеорогенного (синаккреционного) этапа контролируются зонами продольных разломов, выраженными свитами даек и малых интрузий синаккреционной эпохи, поясами крупных коллизионных батолитов, полями зональных метаморфических пород, термальными куполами (Кэпервеемский, Ичувеемский, Иультинский рудные районы). Рудные поля располагаются в пределах тектонических блоков с отчетливой надинтрузивной позицией, часто в экзоконтактовых зонах батолитов и гранитоидных массивов раннемелового возраста (Ленотапское, Водораздельное, Солнечное и др.) или приурочены к мощным силлам триасовых габбро-диабазов (Каральвеемское) (см. рис. 5).

Месторождения третьего этапа связаны с позднеорогенными зонами разломов, занимающими поперечное секущее положение по отношению к раннеорогенным продольным зонам. Золото-кварцевые жилы выявлены в пределах дайковых полей интрузивно-купольных структур Чукотского металлогенического пояса, где они наложены на ранние золото-сульфидные вкрапленные руды (месторождения Майское, Туманное, Сыпучинское, Эльвинейское, Сильное и др.) (см. рис. 5).

В Корякско-Камчатском металлогеническом поясе месторождение Нутекинское (Сквозное) локализовано в юрско-раннемеловых терригенных толщах Кэнкэренского района (см. рис. 5), выходящих в эрозионно-тектоническом окне в пределах вулканогенного пояса. На этом месторождении золото-кварцевые жилы лестничного типа не выходят за пределы тел достаточно мощных даек габбро-диабазов позднемелового возраста.

На месторождениях этого типа, рассмотренных выше, добыча золота в ЧАО может составить более 10 т в год.

Au-Cu-Mo-порфировые месторождения

Проблема прогнозирования, изучения и оценки Au-Cu-Mo-порфировых месторождений в вулканогенных поясах на территории ЧАО — одна из наиболее актуальных задач для решения вопроса о расширении МСБ не только меди и молибдена, но и Au, Ag, PGE, полиметаллов, редких и редкоземельных элементов. В этих поясах в связи с их слабой опоискованности по аналогии с другими регионами Тихоокеанского кольца весьма реальны перспективы открытия новых месторождений, в том числе крупных и сверхкрупных (рис. 9). Оруденение связано

с синаккреционными позднеюрскими и постаккреционными меловыми многофазными интрузивами монцонитового, диоритового и гранодиоритового состава, а также с дайками трахиандезитов и диоритовых порфиритов.

В Баимской металлогенической зоне наряду с Au-Cu-Mo-порфировыми известны близповерхностные Au-Ag месторождения (см. рис. 5). В современных экономических условиях ЧАО бо́льшая часть выявленных Au-Cu-Mo-порфировых месторождений и проявлений не имеет перспективы промышленного освоения. Однако металлогенические пояса и зоны этих месторождений играют исключительно важную роль в прогнозировании богатых потенциально промышленных золото-серебряных эпитермальных месторождений.

Au-Cu-Mo-порфировое месторождение Песчанка сопоставимо по ряду параметров с таким рудным гигантом, как Бингем (США, штат Юта), и другими аналогичными месторождениями Тихоокеанского рудного пояса. При установленном содержании золота в рудах 0,42 г/т его запасы и ресурсы оценены как сверхкрупные (см. табл. 1). Кроме того, в Олойском поясе выявлено еще несколько штокверков с Au-Cu-Mo-порфировой минерализацией (Находка, Лучик, Камень Такмыка и др.). С вводом в эксплуатацию рудника на месторождении Песчанка запланирована добыча золота в размере 12 т в год.

В пределах Чукотского отрезка ОЧВП и в Олойском вулканогенном поясе по аналогии с другими регионами Тихоокеанского кольца можно ожидать открытия новых медно-порфировых золото- и серебросодержащих месторождений, которые по параметрам могут быть сопоставимы с объектами мирового класса.

Колчеданно-полиметаллические месторождения, обогащенные золотом и серебром

Промышленно значимые субмаринные колчеданно-полиметаллические (преимущественно типа Куроко) месторождения — отличительная черта вулканических поясов островодужного типа Тихоокеанского огненного кольца и металлогенического пояса Тетис — в ЧАО неизвестны. Подобные месторождения, по нашему мнению, могут быть интересны для горной промышленности даже в экономических условиях ЧАО. В частности, в североамериканских Кордильерах в экономических условиях, близких к ЧАО, выявлены и освоены уникально обогащенные золотом и серебром колчеданно-полиметаллические месторождения Грин Крик (США, Аляска) и Ескай Крик (Канада, Британская Колумбия). Только из месторождения Ескай Крик в Золотом треугольнике Канады за 14 лет было добыто более 100 т золота и 5000 т серебра. В то же время в вулканно-плутонических поясах островодужного типа ЧАО (Удско-Мургальском, Олойском и Западно-Корякско-Камчатском) известны несколько рудных районов, перспективных на открытие колчеданно-полиметаллических месторождений [14]. Однако детальные поисково-оценочные работы в их пределах не проводились.

О медно-колчеданных проявлениях Тамватней-Майницкой зоны (см. рис. 5) имеются весьма ограниченные сведения, полученные в результате геолого-съемочных работ 1:200 000 масштаба. По прогнозной оценке 1990 г. только Угрюмовский потенциальный рудный район этой зоны оценивался по категории P_3 в 10 000 т серебра. В аллювии ручьев, дренирующих район, устанавливаются многочисленные обломки медно-колчеданных руд.

Заключение

Выполненный анализ показал, что территория ЧАО обладает значительными ресурсами самородного золота. В последние годы интерес инвесторов к активам округа заметно растет и сопровождается ростом объемов золотодобычи и финансирования геолого-разведочных работ. Бо́льшая часть территории ЧАО в геологическом плане изучена недостаточно, и, следовательно, ее потенциал на золото далеко не реализован. Перспективы освоения месторождений золота ЧАО кроме масштаба и богатства их руд во многом определяются близостью к портам на Северном морском пути, что значительно повышает рентабельность работы рудников за счет использования водного транспорта.

В новых, не освоенных районах ЧАО наиболее интересны в промышленном плане: бонанцевые эпитермальные Au-Ag месторождения, такие как Купол, Двойной и др., Au-сульфидные вкрапленные месторождения (Майское, Туманное и др.), Au-Bi месторождения, связанные с интрузивами гранитоидов (Кекурное и др.), золото-кварцевые месторождения в турбидитах (Совиное, Сквозное и др.), Cu-Au-порфировые месторождения. ЧАО обладает заметным потенциалом развития МСБ прибрежно-морских и техногенных россыпей золота.

Сведения (во многом отрывочные) о геологическом строении островодужных вулканических поясов, претерпевших интенсивные процессы тектоно-магматической активизации, как и их североамериканские аналоги, позволяют рассчитывать на открытие в них колчеданных месторождений, обогащенных золотом и серебром. Особенно перспективны на выявление подобных месторождений зоны ТМА, наложенные на островодужные пояса ЧАО.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы Президиума РАН «Поисковые фундаментальные научные исследования в интересах развития Арктической зоны Российской Федерации».

Литература

1. *Бортников Н. С., Лобанов К. В., Волков А. В. и др.* Арктические ресурсы золота в глобальной

перспективе // Арктика: экология и экономика. — 2014. — № 4 (16). — С. 28—37.
2. *Бортников Н. С., Лобанов К. В., Волков А. В. и др.* Арктические ресурсы цветных и благородных металлов в глобальной перспективе // Арктика: экология и экономика. — 2015. — № 1 (17). — С. 38—46.
3. *Бортников Н. С., Лобанов К. В., Волков А. В. и др.* Месторождения стратегических металлов Арктической зоны // Геология руд. месторождений. — 2015. — Т. 57, № 6. — С. 479—500.
4. *Волков А. В., Сидоров А. А., Аристов В. В. и др.* Золото-кварцевые месторождения в турбидитах северо-восточной части Арктической зоны России // Арктика: экология и экономика. — 2015. — № 4 (20). — С. 48—60.
5. *Волков А. В., Галямов А. Л.* Перспективы горнодобывающей промышленности Гренландии // Арктика: экология и экономика. — 2016. — № 2 (22). — С. 24—34.
6. *Галямов А. Л., Волков А. В., Лобанов К. В.* Поисковая модель SEDEX-MVT месторождений арктической зоны // Арктика: экология и экономика. — 2016. — № 1 (21). — С. 47—55.
7. *Лаломов А. В., Бочнева А. А., Чефранов Р. М. и др.* Россыпные месторождения Арктической зоны России: современное состояние и пути развития минерально-сырьевой базы // Арктика: экология и экономика. — 2015. — № 2 (18). — С. 66—77.
8. *Галямов А. Л., Волков А. В., Лобанов К. В., Мурашов К. Ю.* Перспективы выявления месторождений стратегических металлов в Арктической зоне России // Арктика: экология и экономика. — 2017. — № 1 (25). — С. 59—74.
9. Стратегия социально-экономического развития Дальнего Востока и Байкальского региона на период до 2025 года. — URL: https://su12.ru/dfo.
10. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года. — URL: http://static.government.ru/media/files/2RpSA3sctElhAGn4RN9dHrtzk0A3wZm8.pdf.
11. *Bouman J., Ebbin J., Meekes S. et al.* GOCE gravity gradient data for lithospheric modeling // Int. J. Appl. Earth Observ. Geoinf. — 2015. — Vol. 35. — P. 16—30.
12. *Соколов С. Д., Тучкова М. И., Бондаренко Г. Е.* Тектоническая модель Южно-Анюйской сутуры и ее роль в формировании структур Восточной Арктики // Строение и развитие литосферы. — М.: Paulsen, 2010. — С. 204—227.
13. *Волков А. В., Сидоров А. А., Старостин В. И.* Металлогения вулканогенных поясов и зон активизации. — М.: ООО «МАКС Пресс», 2014. — 355 с.
14. *Сидоров А. А., Волков А. В., Савва Н. Е. и др.* Перспективы открытия колчеданно-полиметаллических месторождений с высокими содержаниями золота и серебра на северо-востоке Азии // Вестн. СВ НЦ ДВО РАН. — 2013. — № 4. — С. 41—54.
15. *Волков А. В., Савва Н. Е., Сидоров А. А. и др.* Эпитермальное золотосеребряное месторождение Аган и перспективы выявления минерализации высокосульфидизированного типа на северо-востоке России // Геология руд. месторождений. — 2015. — Т. 57, № 1. — С. 25—47.
16. *Волков А. В., Сидоров А. А.* Невидимое золото // Вестн. РАН. — 2017. — Т. 87, № 1. — С. 39—48.
17. Mineral commodity summaries 2016: U.S. Geological Survey. — [S. l.], 2017. — 196 p.
18. *Cunningham C. G., Zappettini E. O., Vivallo S. et al.* Quantitative mineral resource assessment of copper, molybdenum, gold, and silver in undiscovered porphyry copper deposits in the Andes Mountains of South America: Open-File Report 2008—1253: U.S. Geological Survey. — [S. l.], 2008. — 282 p.
19. *Михайлов Б. К., Петров О. В., Кимельман С. А. и др.* Богатство недр России: Минерально-сырьевой и стоимостный анализ: Изд. 3-е, доп. / Минприроды РФ, Роснедра, ФГУП «ВСЕГЕИ». — СПб: Изд-во ВСЕГЕИ, 2008. — 483 с.

Информация об авторах

Волков Александр Владимирович, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (119017, Россия, Москва, Старомонетный пер., д. 35), e-mail: tma2105@mail.ru.

Галямов Андрей Львович, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (119017, Россия, Москва, Старомонетный пер., д. 35), e-mail: alg@igem.ru.

Сидоров Анатолий Алексеевич, доктор геолого-минералогических наук, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (119017, Россия, Москва, Старомонетный пер., д. 35), e-mail: koluma@igem.ru.

Библиографическое описание данной статьи

Волков А. В., Галямов А. Л., Сидоров А. А. Перспективы развития добычи золота в Чукотском автономном округе // Арктика: экология и экономика. — 2017. — № 4 (28). — С. 83—97. DOI 10.25283/2223-4594-2017-4-87-97.

PROSPECTS OF GOLD MINING DEVELOPMENT IN THE CHUKOTKA AUTONOMOUS DISTRICT

Volkov A. V., Galyamov A. L., Sidorov A. A.
Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, RAS (Moscow, Russian Federation)

Abstract
In the Chukotka Autonomous Okrug (CHAO) economy, the gold mining industry historically occupies a Central place, which leads to the high importance of assessment, issues of development and dynamics of the mineral resource base of gold. In modern Russian gold mining CHAO share — 12.2%, and its share in Russia's total gold reserves — 3%. The present level of gold production in the district is 25 to 28 tons per year. The result of oreformation and metallogenic analysis shows that the new, undeveloped areas of CHAO the most interesting in industrial terms: riches epithermal Au-Ag deposits, such as the Kupol, Dvoynoy, etc., Au-sulfide disseminated deposits (Maysky, Tumannoe, etc.), Au-Bi deposits intrusions related (Kekurnoe, etc.), gold-quartz deposits in turbidite (Sovinoe, Skvosnoe, etc.), Cu-Au-porphyry deposits. CHAO has notable potential for development, as well as the coastal marine and technogenic gold placers.

Keywords: *Arctic zone, Chukotka, gold, silver, ore deposits, placers, metallogenic forecast.*

The paper was prepared with financial support under Fundamental Research Program of RAS Presidium "Fundamental research for development of the Arctic zone of the Russian Federation".

References

1. *Bortnikov N. S., Lobanov K. V., Volkov A. V. et al.* Arkticheskiye resursy zolota v globalnoy perspective. [Arctic Gold Resources in Global Prospect]. Arktika: ekologiya i ekonomika, 2014, no. 4 (16), pp. 28—37. (In Russian).
2. *Bortnikov N. S., Lobanov K. V., Volkov A. V. et al.* Arkticheskiye resursy tsvetnykh i blagorodnykh metallov v globalnoy perspektive. [Arctic resources of nonferrous and noble metals in global prospects]. Arktika: ekologiya i ekonomika, 2015, no. 1 (17), pp. 38—46. (In Russian).
3. *Bortnikov N. S., Lobanov K. V., Volkov A. V. et al.* Mestorozhdeniya strategicheskikh metallov Arkticheskoy zony. [Strategic metal ore deposits of Arctic zone]. Geologiya rud. mestorozhdeniy, 2015. vol. 57, no. 6, pp. 479—500. (In Russian).
4. *Volkov A. V., Sidorov A. A., Aristov V. V. et al.* Zolotokvartsevyye mestorozhdeniya v turbiditakh severovostochnoy chasti Arkticheskoy zony Rossii. [The gold-quartz deposits in turbidites of the northeastern part of the Russian Arctic]. Arktika: ekologiya i ekonomika, 2015, no. 4 (20), pp. 48—60. (In Russian).
5. *Volkov A. V., Galyamov A. L.* Perspektivy gornodobyvayushchey promyshlennosti Grenlandii. [Prospects for the mining industry in Greenland]. Arktika: ekologiya i ekonomika, 2016, no. 2 (22), pp. 24—34. (In Russian).
6. *Galyamov A. L., Volkov A. V., Lobanov K. V.* Poiskovaya model SEDEX-MVT mestorozhdeniy arkticheskoy zony. [Prospecting Model of SEDEX-MVT deposits in the Arctic zone]. Arktika: ekologiya i ekonomika, 2016, no. 1 (21), pp. 47—55. (In Russian).
7. *Lalomov A. V., Bochneva A. A., Chefranov R. M. et al.* Rossypnyye mestorozhdeniya Arkticheskoy zony Rossii: sovremennoye sostoyaniye i puti razvitiya mineralno-syryevoy bazy. [Placer deposits of the Arctic zone of Russia: the current state and development of mineral resources]. Arktika: ekologiya i ekonomika, 2015, no. 2 (18), pp. 66—77. (In Russian).
8. *Galyamov A. L., Volkov A. V., Lobanov K. V., Murashov K. Yu.* Perspektivy vyyavleniya mestorozhdeniy strategicheskikh metallov v Arkticheskoy zone Rossii. [Prospects for identifying strategic metals deposits in the Russian Arctic]. Arktika: ekologiya i ekonomika, 2017, no. 1 (25), pp. 59—74. (In Russian).
9. Strategiya sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya Dalnego Vostoka i Baykalskogo regiona na period do 2025 goda. [Strategy for socio-economic development of the Far East and the Baikal region for the period up to 2025]. Available at: https://su12.ru/dfo. (In Russian).
10. Strategiya razvitiya Arkticheskoy zony Rossiyskoy Federatsii i obespecheniya natsionalnoy bezopasnosti na period do 2020 goda. [The development strategy of the Arctic zone of the Russian Federation and national security for the period up to 2020]. Available at: http://static.government.ru/media/files/2RpSA3sctElhAGn4RN9dHrtzk0A3wZm8.pdf. (In Russian).
11. *Bouman J., Ebbin J., Meekes S. et al.* GOCE gravity gradient data for lithospheric modeling. Int. J. Appl. Earth Observ. Geoinf, 2015, vol. 35, pp. 16—30.
12. *Sokolov S. D., Tuchkova M. I., Bondarenko G. E.* Tektonicheskaya model Yuzhno-Anyuyskoy sutury i eye rol v formirovanii struktur Vostochnoy Arktiki. [Tectonic model of the South Anyui suture and its role in the formation of structures in the Eastern Arctic]. Stroyeniye i razvitiye litosfery. Moscow, Paulsen, 2010, pp. 204—227. (In Russian).
13. *Volkov A. V., Sidorov A. A., Starostin V. I.* Metallogeniya vulkanogennykh poyasov i zon aktivizatsii.

[Metallogeny of volcanogenic belts and zones of activation]. Moscow, OOO "MAKS Press", 2014, 355 p. (In Russian).
14. *Sidorov A. A., Volkov A. V., Savva N. E. et al.* Perspektivy otkrytiya kolchedanno-polimetallicheskikh mestorozhdeniy s vysokimi soderzhaniyami zolota i serebra na Severo-Vostoke Azii. [Perspectives of discovering pyrite-polymetallic deposits with high grades of gold and silver in Northeast Asia]. Vestn. SV NTs DVO RAN, 2013, no. 4, pp. 41—54. (In Russian).
15. *Volkov A. V., Savva N. E., Sidorov A. A. et al.* Epitermalnoye zolotoserebryanoye mestorozhdeniye Agan i perspektivy vyyavleniya mineralizatsii vysokosulfidizirovannogo tipa na Severo-vostoke Rossii. [The Agan Epithermal Gold–Silver Deposit and Prospects for the Discovery of High-Sulfidation Mineralization in Northeast Russia]. Geologiya rud. mestorozhdeniy, 2015, vol. 57, no. 1, pp. 25—47. (In Russian).
16. *Volkov A. V., Sidorov A. A.* Nevidimoye zoloto. [Invisible Gold]. Vestn. RAN, 2017, vol. 87, no. 1, pp. 39—48. (In Russian).
17. Mineral commodity summaries 2016: U.S. Geological Survey. [S. l.], 2017, 196 p.
18. *Cunningham C. G., Zappettini E. O., Vivallo S. et al.* Quantitative mineral resource assessment of copper, molybdenum, gold, and silver in undiscovered porphyry copper deposits in the Andes Mountains of South America: Open-File Report 2008—1253: U.S. Geological Survey. [S. l.], 2008, 282 p.
19. *Mikhaylov B. K., Petrov O. V., Kimelman S. A. et al.* Bogatstvo nedr Rossii: Mineralno-syryevoy i stoimostnyy analiz: Izd. 3-e. dop. [The Mineral Wealth of Russia. Mineral resource and value analysis]. Minprirody RF. Rosnedra. FGUP "VSEGEI". Saint-Petersburg, Izd-vo VSEGEI, 2008, 483 p. (In Russian).

Information about the authors

Volkov Alexander Vladimirovich, Doctor of Science, Chief Researcher, Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, RAS (35, Staromonetny per., Moscow, Russia, 119017), e-mail: tma2105@mail.ru.

Galyamov Andrey Lvovich, Ph.D., senior researcher, Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, RAS (35, Staromonetny per., Moscow, Russia, 119017), e-mail: alg@igem.ru.

Sidorov Anatoliy Alekseyevich, Doctor of Geologo-Mineralogical Sciences, Corresponding member RAS, Chief Researcher, Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, RAS (35, Staromonetny per., Moscow, Russia, 119017), e-mail: koluma@igem.ru.

Bibliographic description

Volkov A. V., Galyamov A. L., Sidorov A. A. Prospects of gold mining development in the Chukotka Autonomous district. The Arctic: ecology and economy, 2017, no 4 (28), pp. 83 —97. DOI: 10.25283/2223-4594-2017-4-83-97. (In Russian).

© Volkov A. V., Galyamov A. L., Sidorov A. A., 2017