

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

ЯКУБЧУК Александр Сергеевич

**МЕТАЛЛОГЕНИЯ ЗОЛОТА В ГЕОДИНАМИКЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ
АЗИИ**

**1.6.10 - Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых,
минералогия (геолого-минералогические науки)**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

доктора геолого-минералогических наук

Москва – 2023 г

Диссертация подготовлена на кафедре геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

Официальные оппоненты – **Волков Александр Владимирович**, доктор геолого-минералогических наук, член-корр. РАН, ФГБУН Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, лаборатория Геологии рудных месторождений, заведующий
Худолей Андрей Константинович, доктор геолого-минералогических наук, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», Институт наук о Земле, кафедра региональной геологии, профессор
Иванов Анатолий Иннокентьевич, доктор геолого-минералогических наук, ФГБУ «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов», и.о. генерального директора

Защита диссертации состоится 28 декабря 2023 г. в 14 часов 30 минут на заседании диссертационного совета МГУ.016.6 Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, геологический факультет, ауд. 415.

E-mail: dsmsu0403@yandex.ru

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27) и на портале: <https://dissovet.msu.ru/dissertation/016.6/2720>

Автореферат разослан «___» октября 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук

К.М. Кузнецов

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Золото присутствует во всех типах рудных месторождений на активных окраинах как главный или попутный металл. Если на ранней стадии развития будущих орогенных поясов, когда формируются юные островные дуги, оно более характерно как попутный продукт в порфириновых или колчеданных системах, то в более зрелых дугах его роль становится более значимой и часто определяющей как для порфириновых систем, так и для связанных с ними эпитермальных месторождений. Формирование преимущественно золоторудных месторождений в связи с гранитоидными интрузиями или в деформированных осадочных толщах происходит близко-синхронно с крупными тектоническими (орогенными) событиями при перестройке внутри островных дуг или в их тыловых частях. Таким образом, ввиду присутствия в месторождениях различного типа золото проявляется в различных геодинамических обстановках.

В Центральной Азии находятся одни из самых крупных золоторудных месторождений на планете как в виде основного, так и попутного металла. В Центральной Азии находятся, пожалуй, одни из самых сложноустроенных орогенов на Земле, сформировавшихся в результате многочисленных геодинамических событий. Расшифровка тектоники фанерозойских складчатых поясов осложняется наличием ороклинов и перекрывающих мезо-кайнозойских осадочных бассейнов.

Современный комплексный подход к изучению геологического строения конкретных месторождений и выявлению их позиции в металлогенической провинции или рудном районе позволяет устанавливать закономерности строения и прогнозировать выявление новых месторождений, в том числе таких, которые не были известны в конкретном рудном районе или провинции, что в итоге может иметь важные последствия для экономики того или иного региона и страны, имеющей сырьевую специализацию (Старостин и др., 2002; Yakubchuk, 2023).

Состояние проблемы. Развитие прецизионных геохронологических методов сделало возможным датирование не только вмещающих пород, но и рудного вещества. В результате, например, было установлено, что некоторые рудные системы формируются в течение очень коротких промежутков геологического времени порядка 1-5 млн лет как в молодых (мезозойско-кайнозойских), так и древних (архейско-протерозойских) орогенах (Stein et al., 1993). Не остались в стороне и неопротерозойско-палеозойские рудные системы, которые широко представлены в ЦАСП и датированы усилиями многих геологов и геологических организаций. Эти данные позволяют по-новому оценить место различных рудных систем в геодинамической эволюции Центральной Азии и выявить временные взаимоотношения между их различными типами.

Цель исследования. Целью исследования является синтез данных по золоторудным системам, включая их вещественно-тектонические и геохронологические характеристики и выявление пространственно-временных закономерностей их формирования с целью прогнозирования.

Основные задачи исследования

1. Выявить временные рамки золоторудных событий в Центральной Азии и провести корреляцию разных золоторудных систем между собой.
2. Установить связь с тектоно-магматическими событиями и выявить геодинамические обстановки формирования месторождений Центральной Азии на фоне их эволюции.

3. Выявить качественные и количественные закономерности изменения золоторудной компоненты в рудных системах на фоне геодинамической эволюции Центральной Азии.
4. Сопоставить выявленные металлогенические закономерности в Центральной Азии и других фанерозойских орогенах Земли.

Фактический материал. В основу работы положены фактические материалы, полученные автором в процессе многолетних (1984–2023 гг) исследований в Центральной Азии. Масштаб исследования заставил обратиться к опубликованным и производственным материалам по геологическому строению различных регионов, геохронологическому датированию и строению месторождений, собранным лично и по данным других исследователей.

Автор также имел возможность посетить действующие рудники и проекты в: Австралии (Балларат (Au), Джубили (Au), Калгурли (Au), Камбалда (Ni), Каннингтон (Pb-Zn-Ag), Олимпик Дам (Cu-Au-U), Фостервиль (Au)); Великобритании (оловянные рудники в Корнуолле, Парис Маунтин (колчеданная Cu)); Германии (Альтенберг (Sn), район Купфершифер (Cu)); Грузии (Маднеули Cu-Au, Бектакари Pb-Zn-Au-Ag); Казахстане (Аксу (Au), Бакырчик (Au), Бескауга (Cu-Au), Комаровское (Au), Коунрад (Cu), Нурказган (Cu-Au), Риддер-Сокольное (Cu-Pb-Zn-Au-Ag), Малеевское (Cu-Pb-Zn-Au-Ag), Юбилейное (Cu-Au)); Канаде (Cu-Au-порфиновые месторождения Британской Колумбии, Ред Лэйк); Китае (Au в провинции Юннань); Кыргызстане (Кумтор (Au), Талдыбулак Левобережный (Au), Макмал (Au), Мироновское (Au-Bi), Джеруй (Au)); Монголии (Боро (Au), Ою Толгой (Cu-Au)); России (Бараньевское (Au-Ag), Гросс (Au), Зун-Холба (Au), Кондёр (Pt), Норильск-Талнах-Октябрьское (Cu-Ni-МПГ), Маломыр (Au), Михайловское (Fe, КМА), Озерновское (Au-Ag), Олимпиада (Au-Sb), Погромное (Au), Покровское (Au-Ag), Сухой Лог (Au), Таборное (Au), Токур (Au), Удокан (Cu), Унгличикан (Au)); США (Карлин (Au), Комсток (Au-Ag)); Румынии (Cu-Au-порфиновые проекты Колник и Ровина); Сербии (порфиновые Бор и Борска Река (Cu-Au)); Турции (Кисладаг (Au)); Узбекистане (Мурунтау (Au), Амантайтау (Au), Даугызтау (Au), Высоковольтное (Ag), Зармитан (Au), Кальмакыр (Cu-Au), Кочбулак (Au-Ag), Кызата (Cu-Au), Кызылалмасай (Au-Ag)); Чили (Чукикамата (Cu-Mo), Эскондида (Cu-Mo), Сальвадор (Cu-Mo), Марте-Лобо (Au)); ЮАР (Клуф и Дрифонтейн, Витватерсранд (Au)).

Методы исследований. Основным методом исследования был террейновый анализ региональной тектоники Центральной Азии на основе геологических и геофизических данных разного масштаба с составлением региональной тектонической карты региона на ГИС-основе.

В основу работы положена база данных, составляемая автором из открытых источников. Для рассматриваемого региона Центральной Азии использованы данные по 445 золоторудным объектам. В ней учтены новейшие доступные геохронологические данные, а также опубликованные данные по ресурсам месторождений и типам месторождений.

На этой основе был проведен металлогенический анализ с выделением рудных поясов и провинций региона, а также временных интервалов формирования золоторудных месторождений разных типов. Результаты помещены на опубликованные и откорректированные автором палеотектонические реконструкции.

Личный вклад автора. Автор участвовал в открытии, проведении разведки или оценке ресурсов на нескольких месторождениях различного типа в Центральной Азии на протяжении последних 30 лет, включая личное руководство такими геологоразведочными работами. Некоторые из этих объектов были доведены до стадии банковского ТЭО, а также введены в эксплуатацию.

Среди введенных в эксплуатацию следует отметить Cu-колчеданное месторождение Карчига и Cu-Au-порфиново-скарновое Варваринское в Казахстане, Au-колчеданное Баян-Айраг в Монголии, а также опытно-промышленные работы на Сергеевском месторождении в Забайкалье РФ.

Автор руководил работами на: Cu-порфировом месторождении Тайсоган в Казахстане; Au-Cu-Mo-порфировом Талдыбулак и Тохтазанском золоторудном проявлении в связи с гранитоидами в Кыргызстане; золоторудных проектах на орогенных проявлениях в Кербинском, Ниманском и Нижнетумнинском районах на Северном Сихоте-Алине в РФ.

Автор участвовал в оценке ресурсов на орогенных месторождениях Дегдекан, Наталка, Павлик, Родионовское и Нежданинское в Верхояно-Чукотской провинции.

Автор также в разные годы участвовал в поисково-разведочных работах в разных странах (Сент-Айвс (Au) в Западной Австралии; Ред Лейк (Au) и Сигма-Ламак (Au) в Канаде; Cu-Au проекты (Баян-Айраг, Хармагтай, Шутэн) в Монголии; Брестовац-Чукару Пеки (Cu-Au) в Сербии; Дегдекан (Au), Сергеевское (Au-Cu), Ункур (Cu-Ag) в России; Белы Врх (Au) и Баньска Штявница (Au) в Словакии; Амуруско-Ристи (Au) в Финляндия; Мужиево-Берегово (Pb-Zn-Ag-Au) на Украине; Золотой треугольник (Au) в Южном Китае); на золото в Бодайбинском районе Иркутской области и Усть-Нерском районе Якутии.

Автор участвовал в составлении и редактировании ряда геологических и тектонических карт Центральной Азии (проект TUBITAK, IGCP-283), многочисленных статей и книг. Автор лично или в соавторстве участвовал в получении геохронологических данных по месторождениям Олимпиада, Сухой Лог, Баталинское, Сергеевское, Карчига, Тайсоган и ряду региональных геотраверсов в Центральной Азии и Монголии в рамках Центрально-Азиатских проектов CERCAMS Музея Естественной Истории, Лондон, Великобритания.

Выделение металлогенических единиц и представленные в диссертации обзорно-аналитические (компилятивные) разработки полностью являются авторскими.

Защищаемые положения

1. Золоторудные месторождения разных типов и возрастов Центральной Азии объединяются в двенадцать провинций, металлогенический потенциал которых не исчерпан и постоянно меняется. Месторождения в них могут быть пространственно совмещены или разобщены вследствие унаследованности или миграции геодинамических обстановок в системах палеозойских, мезозойских и кайнозойских островных дуг и их задуговых областей.
2. Формирование колчеданных и порфириновых систем, где золото является попутным металлом, и связанных с ними эпитермальных и скарновых месторождений происходило при формировании островных дуг. Орогенные и «гранитоидные» месторождения, содержащие золото как основной продукт, образовывались преимущественно при коллизионных деформациях осадочных

толщ в задуговых обстановках, а не в аккреционных комплексах во фронтальных частях островных дуг.

3. Двенадцать золоторудных провинций Центральной Азии характеризуются резко различной удельной золотоносностью, которая колеблется от 1-3 до 50 кг/км² и определяется особенностями их тектонического развития и набором месторождений всех типов.
4. От общего количества золота (без учета россыпей) с островодужными обстановками связано 37% металла, а 63% – с орогенными (коллизийными) событиями. При этом 73% металла содержится в собственно золоторудных месторождениях, а количество попутного золота оценивается в 27%.
5. Концентрация золота в месторождениях благородных и цветных металлов любого размера происходила в Центральной Азии пульсационно с неопротерозоя до конца мезозоя на фоне распада суперконтинента Родиния, сбора суперконтинента Пангея и последующего отчленения от него Евразии, в целом совпадая с крупными тектоническими событиями.

Научная новизна. В течение 30 лет автором прорабатывается связь тектономагматических и металлогенических событий для Центральной Азии. Понимание тектонического строения этого региона постоянно развивается на основе новых данных, при анализе региональных тектонических карт, а также при получении новых геохронологических датировок. Автором было комплексно изучено нескольких рудных систем разного возраста, типа и местоположения (от Урала до Дальнего Востока, включая Среднюю Азию и Монголию).

Автор принимал участие в нескольких международных проектах (IGCP 283, Алтаиды (TUBITAK, Турция), опробовании региональных траверсов (CERCAMS-NHM, Лондон, Великобритания), Всемирный Банк (Оттава, Канада), семинары в компаниях Би-Эйч-Пи, Голд Филдс, Рио Тинто). Во многом впервые для этого региона автором была показана связь месторождений с геодинамическими обстановками, включая синхронизм с ороклинными деформациями, что отражено в нескольких статьях по региональной металлогении (Yakubchuk et al., 2005; Yakubchuk et al., 2012). В работе отмечается, что гигантские месторождения золота формировались в любом промышленном типе и на любом этапе геодинамического развития этого обширного региона. Впервые произведено ранжирование золотоносных провинций по количеству золота как в качестве основного, так и попутного металла и через это показана связь с обстановками формирования.

Автором по-новому трактуется позиция орогенных месторождений золота в геодинамической модели активных палео-окраин Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП). Так, наиболее крупные месторождения золота такого типа формируются не в аккреционных комплексах во фронте островных дуг, а в деформированных задуговых бассейнах.

Сравнительный анализ общей золотоносности в фанерозойских поясах показывает, что неопротерозойско-мезозойские орогены Центральной Азии уступают только Северо-Тихоокеанскому складчатому поясу.

Практическая значимость. В разных регионах мира автор изучал и проводил разведку Cu-Au-Mo-порфировых, Cu-колчеданных, Au-орогенных, Au-Ag эпитермальных, Cu-Ni-сульфидных, золоторудных в связи с гранитоидами, медистых песчаников, латеритно-никелевых и прочих типов месторождений. На ряде из них были получены первые промышленные пересечения, на других проведена разведка с

подсчетом ресурсов и запасов вплоть до стадии банковского ТЭО, а также построены рудники (Карчига и Варваринское в Казахстане; ряд объектов группы рудников Сент-Айвс в Австралии; опытно-промышленные работы на месторождении Сергеевское в Забайкальском крае; добыча на месторождении Баян-Айраг в Монголии).

На основании системного анализа общих ресурсов золота в месторождениях каждой металлогенической провинции оценена и отранжирована их продуктивность и определены перспективы обнаружения новых объектов.

Автор лично или в соавторстве моделировал ресурсы и запасы месторождений, которые объявлялись на канадских биржах TSX и TSX-V, а также на лондонской бирже AIM, фондовой бирже Йоханнесбурга, в ГКЗ Казахстана и России или для внутреннего пользования компаний: Талдыбулак (Au-Cu-Mo-порфировое), Кыргызстан – 360 т Au экв; Карчига (Cu-колчеданный, тип Бесси), Казахстан – 200 тыс т Cu; Варваринское (скарн Au-Cu), Казахстан – 93 т Au экв; Наталка (орогенное Au), Россия – на тот момент >700 т Au; Павлик (орогенное Au), Россия – 150 т Au; Нежданинское (орогенное Au), Россия – на тот момент оценено 150 т Au; Тохтазан (золото в гранитоидной интрузии), Кыргызстан – 30 т Au; Сергеевское (золото в гранитоидных интрузиях), Россия – 45 т Au; Амурусско-Ристи (орогенное Au), Финляндия – 11 т Au; Ункур (медистые песчаники с серебром), Россия – 500 тыс т Cu экв; Берегово, Украина (эпитермальное) - >50 т Au и полиметаллы; Cukaru Peki (Au-Cu-порфировое) – >14 млн т Cu, 306 т Au; Red Lake, Ontario, Canada - >150 т Au; Sigma-Lamaque, Val-d'Or, Quebec, Canada - >100 т Au; St. Ives, Western Australia - >300 т Au.

Практические навыки, полученные при работе с вышеупомянутыми объектами, позволили автору занять третье место и пройти до финала двух публичных конкурсов в Канаде (Goldcorp Challenge в 2001 г и Integra Challenge в 2016 г), нацеленных на выявление новых ресурсов. В 2023 г автор отвечал за геологическую часть аудита крупнейшего в России Cu-Au-Mo-порфирового месторождения Песчанка (Баимка) с целью бридж-финансирования российскими банками.

Апробация результатов и степень достоверности. Результаты докладывались на многочисленных международных и российских конференциях (Международные геологические конгрессы в Киото и Осло; PDAC в Торонто, Канада; PACRIM, Индонезия; Cordilleran Roundup в Ванкувере, Канада; Конгрессе Европейского геологического союза в Страсбурге; Конференциях Общества Экономических Геологов в США, Канаде и Турции; Всесоюзные и Всероссийские тектонические совещания в Москве; Семинары CERCAMS, Музей Естественной Истории, Лондон, Великобритания; Ломоносовские и Смирновские чтения в МГУ им Ломоносова и др).

Понимание региональной металлогенической зональности и знание геологии рудных систем являлись ключевыми критериями при выборе поисково-разведочных участков в разных странах мира, на которых затем происходила и происходит постановка геологоразведочных работ с участием или под руководством автора.

Публикации. По теме диссертации опубликована 41 работа, включая 23 работы в рецензируемых периодических изданиях, входящих в наукометрические базы цитирования Web of Science, Scopus и РИНЦ, а также девять коллективных монографий.

Автор является членом редколлегии журналов Ore Geology Reviews (Elsevier), Геология Рудных Месторождений (Россия), Вестник СВНЦ (Россия). Автор неоднократно редактировал и рецензировал научные статьи и книги в ведущих международных журналах мира и был членом оргкомитета по выпуску юбилейного 100-

летнего тома Общества Экономических Геологов в 2005г (Society of Economic Geologists, USA).

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 180 страницах и состоит из введения, шести глав и заключения, а также 1 табличного приложения на 31 странице. Работа содержит 45 рисунков и 2 таблицы. Библиографический список включает 331 источник.

Благодарности. Результаты в разное время обсуждались со многими российскими и иностранными геологами (Р. Армстронг, А. Аррибас, Н. Арчибальд, Н.А. Афоничев, Г. Бадарч, Г. Бекк, У. Брокэвей, В.А. Буряк, В.С. Буртман, Б. Виндли, Э. Вюрст, Р. Голдфарб, И.М. Голованов, Н.А. Горячев, К.Е. Дегтярев, А.Н. Диденко, Н.Л. Добрецов, С. Дьяков, А. Ишиватары, П. Кани, Д. Кирвин, Р. Киркхэм, Дж. Клиффорд, Дж. Ковалик, Р. Колман, А.У. Корчагин, А. Крёнер, Е.Е. Лазько, Б. Леманн, Р. Липсон, М.И. Лесков, М.В. Мартынюк, В.В. Масленников, Ф.П. Митрофанов, Дж. Мишевич, Б.К. Михайлов, Э. Налдретт, Б.А. Натальин, А.М. Никишин, Х. Перейо, О.В. Петров, Ф. Пирайно, О.Ю. Плотинская, В.Н. Пучков, Ю.И. Радченко, В.А. Радько, А.В. Рязанцев, Ф. Робер, Л. Робб, С.Г. Самыгин, Р. Селтманн, Р. Силлитое, С.Г. Соловьев, Э.М. Спиридонов, В.И. Старостин, В.Г. Степанец, К. Стэнли, Т. Томуртогоо, И. Токовищев, Т.Ю. Толмачева, М. Томпсон, Э. Уайлд, Н. Уайт, Б. Уиндли, Б.С. Ужженов, В. Уолл, В.Е. Хаин, А.И. Ханчук, Хе Гоци, Дж. Хеденквист, Н.Н. Хераскова, Р. Херрингтон, К. Холлис, Дж. Хронски, А.А. Цветков, В.Н. Шаповаленко, В.В. Шатов, Дж. Шенгёр, Д. Шиссел).

Автор благодарен своим первым учителям – профессору Ю.А. Зайцеву (МГУ), доценту Б.Я. Журавлеву (МГУ) и академику Е.Е. Милановскому (МГУ), близкое общение с которыми на ранней стадии карьеры научило автора понимать геологию и находить решения самых сложных задач.

Автор благодарен российским и иностранным геологам, с которыми ему довелось совместно работать. В далеко неполный список входят: В.В. Адырхаев, Л.И. Бачуля, О.Е. Беляев, М. Бойз, В.И. Борисенок, М. Бота, В.С. Буртман, В.П. Валяев, А.Б. Веймарн, Т. Гараган, Н.А. Герасимова, А.Б. Гидаспов, К.Е. Дегтярев, А.Н. Демин, П. Donovan, В.М. Запорожцев, Б.А. Зарубин, Е.К. Игнатьев, Б.М. Кабазиев, В.А. Калмыков, И.Е. Кузнецов, Д. Кук, Л.А. Курковская, М.И. Лесков, К.В. Лобанов, М.В. Лучицкая, Дж. Мишевич, В.Г. Морозов, Б.А. Натальин, К. Нельсен, А.Е. Никитин, М.З. Новикова, Дж. Осборн, Ю.Е. Плотницкий, А.В. Рязанцев, В. Робб, Л. Робб, Н.Н. Сигачева, А.В. Тевелев, М. Хопли, А.Ф. Читалин, Дж. Шлодерер, С.А. Шматов, А. Эдвардс, М.А. Юдовская и многие другие.

Многолетнее сотрудничество с С.В. Курзиным позволило сделать открытия и провести разведку ряда медных и золотых объектов в Казахстане, Кыргызстане, России и на Украине несмотря на геополитические сложности работы в этих регионах, которые давали и дают себя знать.

ГЛАВА 1. ТЕКТОНИКА ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

Понимание металлогении золота Центральной Азии невозможно без полноценного понимания как тектоники и геодинамики ЦАСП, так и сопредельных кратонов и складчатых поясов Тетиса и запада Тихого океана.

Традиционно считается, что неопротерозойско-раннемезозойский (<0.6 млрд лет) ЦАСП расположен между кратонами с континентальной корой возрастом >0.6 и 1 млрд лет (Рис. 1.1). На границах с Восточно-Европейским и Сибирским кратонами присутствуют неопротерозойские орогены Тимана, с их продолжением на Арктическом

шельфе, а также в Енисейском Кряже (Милановский, 1996; Sengor, Natal'in, 1996; Никишин и др., 2020). При этом байкалиды в их классическом тектонотипе, включающем металлогенически важное Патомское нагорье, в настоящее время считаются раннепалеозойским орогеном (Donskaya et al., 2017).

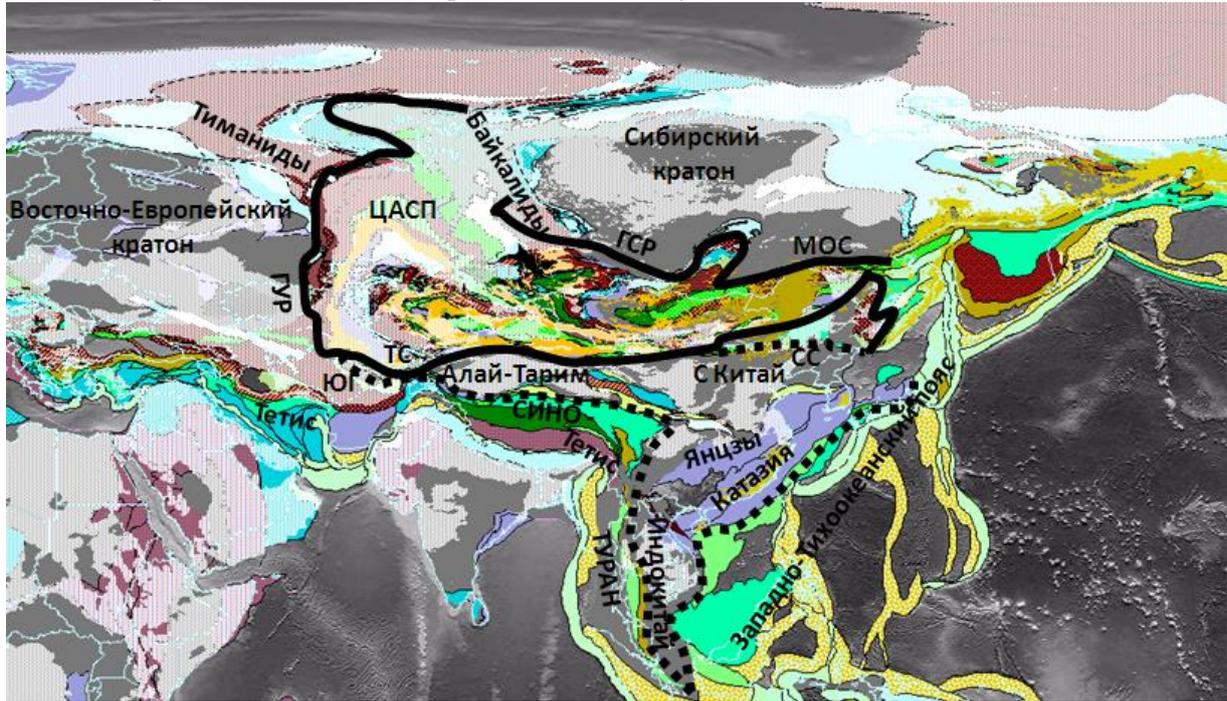


Рис. 1.1. Тектоническая позиция Центрально-Азиатского складчатого пояса и прилегающих кратонов. Сутуры: ГСР – Главный Саянский разлом, ГУР – Главный Уральский разлом, МОС – Монголо-Охотская, СС – Солонкерская, ТС – Туркестанская, ЮГ – Гиссар

На юге ЦАСП ограничен несколькими небольшими кратонами, отделяющими его от пояса Тетис. На востоке ЦАСП переходит в Западно-Тихоокеанский пояс. К западу от последнего располагаются кратоны Янцзы-Катазии и Индокитая, которые разделяют складчатые пояса западной части Тихого океана и Тетиса. В работе все кратоны от Алая до Индокитая предлагается выделять в качестве Сино-Туранской группы кратонов.

Граница ЦАСП наиболее четко проявлена на Урале (Рис. 1.1) вдоль Главного Уральского разлома (ГУР; Пучков, 2010). На север она трассируется по магнитным данным в Карском море до меридиана Енисея. Южное продолжение ГУР скрыто под мезозойско-кайнозойскими отложениями Туранского осадочного бассейна. На Тянь-Шане эквивалентом ГУР может являться либо Туркестанская сутура, либо сутура Гиссара (Самыгин, Буртман, 2009). Из Гиссара она может быть прослежена в пояс Тетиса как южное ограничение складчатых поясов на периферии Сино-Турана. Туркестанская сутура ясно прослеживается вдоль северного края Алая и Тарима, а затем ее продолжение, смещенное по системе мезо-кайнозойских левосторонних сдвигов, может быть прослежено в северо-восточном направлении внутри ЦАСП, хотя традиционно с ней коррелируют Солонкерскую сутуру (e.g., Sengor, Natal'in, 1996) вдоль северного края Северо-Китайского кратона (Рис. 1.1).

На востоке ЦАСП Монголо-Охотская сутура четко маркирует южную границу Сибирского кратона (Zonenshain et al., 1990; Xiao et al., 2015). В Забайкалье, учитывая раннепалеозойский возраст Байкальского орогена, граница должна проводиться по

южному краю Патомского нагорья и вдоль оз. Байкал, а от его юго-западной оконечности вдоль Главного Саянского разлома до границы с Западно-Сибирским осадочным бассейном, под которым она может быть прослежена еще на 1000 км по магнитным данным и данным бурения. Но далее прямое определение границы затруднено даже по геофизическим данным из-за широкого развития триассовых рифтов в фундаменте Западно-Сибирского бассейна, где по косвенным данным она протрассирована до восточной оконечности Новой Земли (Yakubchuk, Nikishin, 2004; Никишин и др., 2020).

Внутри ЦАСП в виде протяженных цепочек (до 7000 км) присутствуют террейны с континентальной корой возрастом >0.6 млрд лет (Degtyarev et al., 2017). Эти террейны обрамлены несколькими генерациями неопротерозойско-раннепалеозойских островодужных и палеозойских аккреционных террейнов с фрагментами офиолитов, вместе с которыми они полихронно изогнуты в палеозое и мезозое в серию ороклинов (Рис. 1.2). По структурному рисунку ЦАСП разделяется Транс-Евразийским разломом на юго-западный и северо-восточный домены (Yakubchuk, 2007).

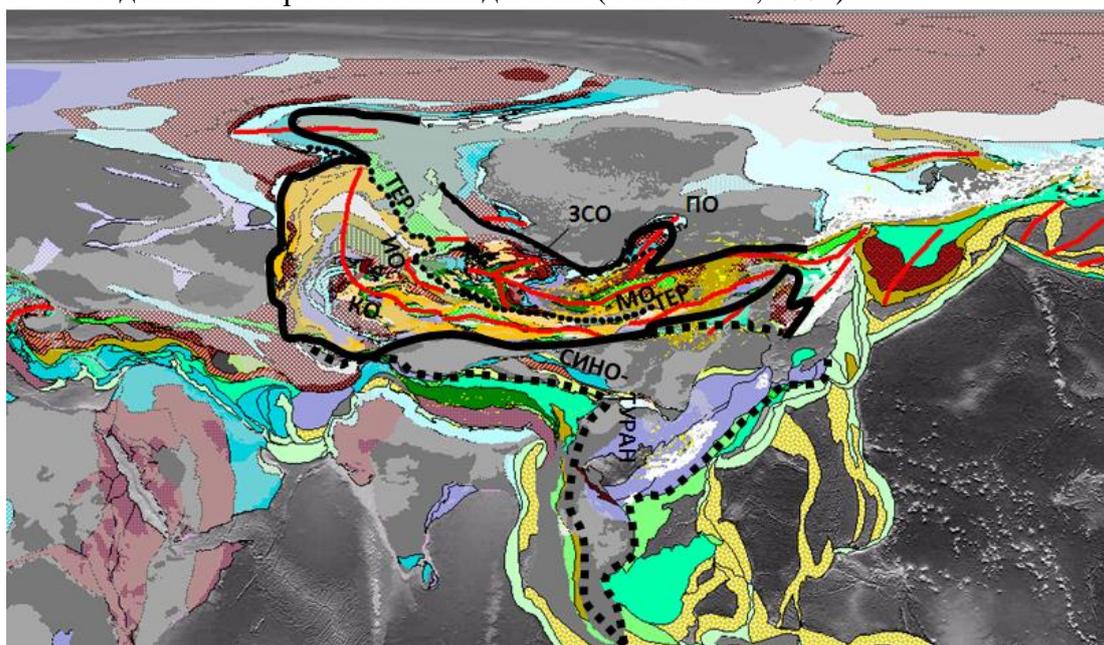


Рис. 1.2. Положение осей ороклинов и Транс-Евразийского разлома (ТЕР) внутри ЦАСП. Ороклины: ЗСО – Западно-Саянский, ИО – Иртышский, КО – Казахский, МО – Монгольский, ПО – Патомский.

В полосе шириной примерно 700 км между Северным Казахстаном и Кузнецким Алатау террейны с континентальной корой >0.6 млрд лет отсутствуют. Главными структурообразующими элементами здесь являются неопротерозойско-раннепалеозойские островодужные террейны (Рис. 1.3). «Бездокембрийская» полоса протягивается на 4700 км, сужаясь до сутуры между Аргунским и Буреинским террейнами на юге Дальнего Востока России.

Кроме раннепалеозойских магматических дуг в Центральном Казахстане выделены Среднепалеозойская (обычно называемая Девонской) и Балхаш-Илийская магматические дуги. В замковой части Казахского ороклина каждая из них смещена по отношению к раннепалеозойским островодужным террейнам в восточном направлении, что интерпретируется как «откат» зоны субдукции примерно на 600 км за 100 млн лет одновременно с ороклинным изгибанием (Yakubchuk et al., 2005; Vazhenov et al., 2012).

Сходная миграция островодужного магматизма наблюдается и в Алтае-Саянской области в юго-западном направлении.

На западном замыкании Казахского орогена присутствует наибольшее количество докембрийских метаморфических террейнов (Degtyarev et al., 2017). Вдоль их границ развита серия палеозойских вулканических дуг (включая раннепалеозойские островодужные террейны на Тянь-Шане). Все они наложены друг на друга без существенной миграции, но с небольшими временными перерывами в формировании. По совокупности геологических и геофизических данных на каменноугольном стратиграфическом уровне такая дуга может быть непрерывно прослежена на 4500 км из Чаткала в Узбекистане через Валерьяновскую зону Тургая. В Восточном Казахстане ее эквивалентом является Жарма-Саурская дуга, которая срезается Транс-Евразийским разломом (Yakubchuk, 2007).

В еще более внешней позиции к западу и северу по отношению к Казахскому нагорью располагаются ранне- и среднепалеозойские островодужные террейны и сутуры Урала (Рис. 1.3). Линейный Урал является лишь крылом гигантского орогена.

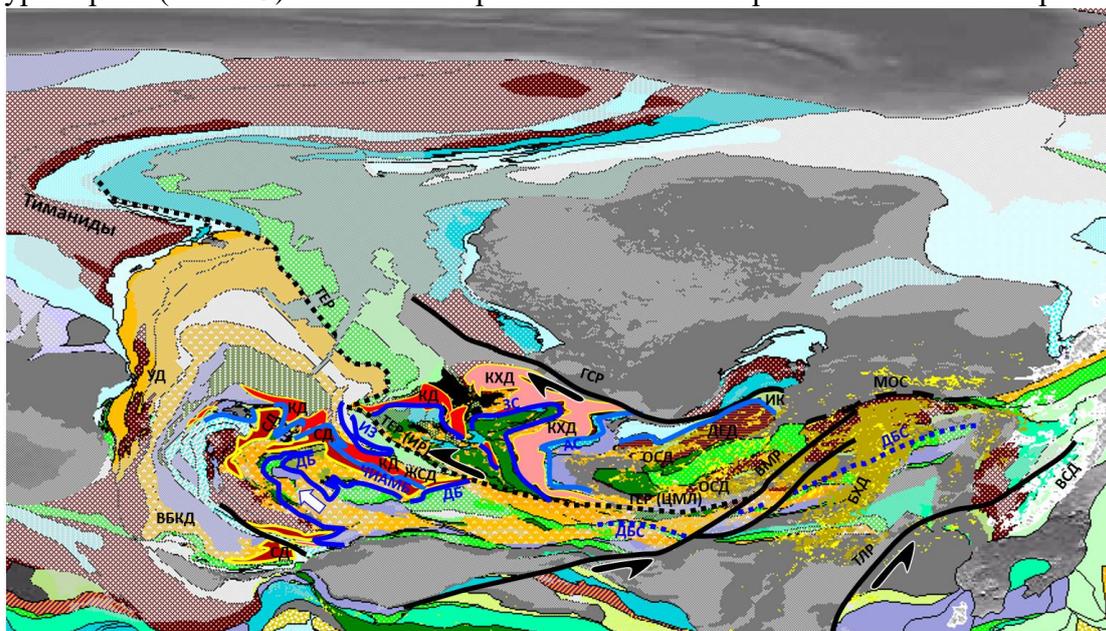


Рис. 1.3. Положение островодужных террейнов в «бездокембрийской» части ЦАСП. Магматические дуги: БХД – Большехинганская, ВБКД – Валериановско-Бельтау-Кураминская, ВСД – Восточно-Сихотэ-Алиньская, ДЕД – Джидино-Еравнинская, ЖСД – Жарма-Саурская, КХД – Кузнецко-Хамсаринская, КД – Кипчакская, СД – Сарыаркинская, ОСД – Орхон-Селенгинская, УД – Уральские. Раннепалеозойские зоны субдукции: ДБ – Джунгаро-Балхашская, ЗС – Западно-Саянская, ИЗ – Иртыш-Зайсанская. Сутуры: АС – Адагдарская, ДБС – Джунгаро-Балхашская, ИК – Икатская, МОС – Монголо-Охотская, ЧИАМБ – Чистопольско-Ирадыр-Акдым-Майкаин-Балкыбекская. Разломы: ВМР – Восточно-Монгольский, ГСР – Главный Саянский, ТЕР – Транс-Евразийский (включая Иртышский разлом (ИР) и Центрально-Монгольский линеамент (ЦМЛ)), ТЛР – Тан Лу.

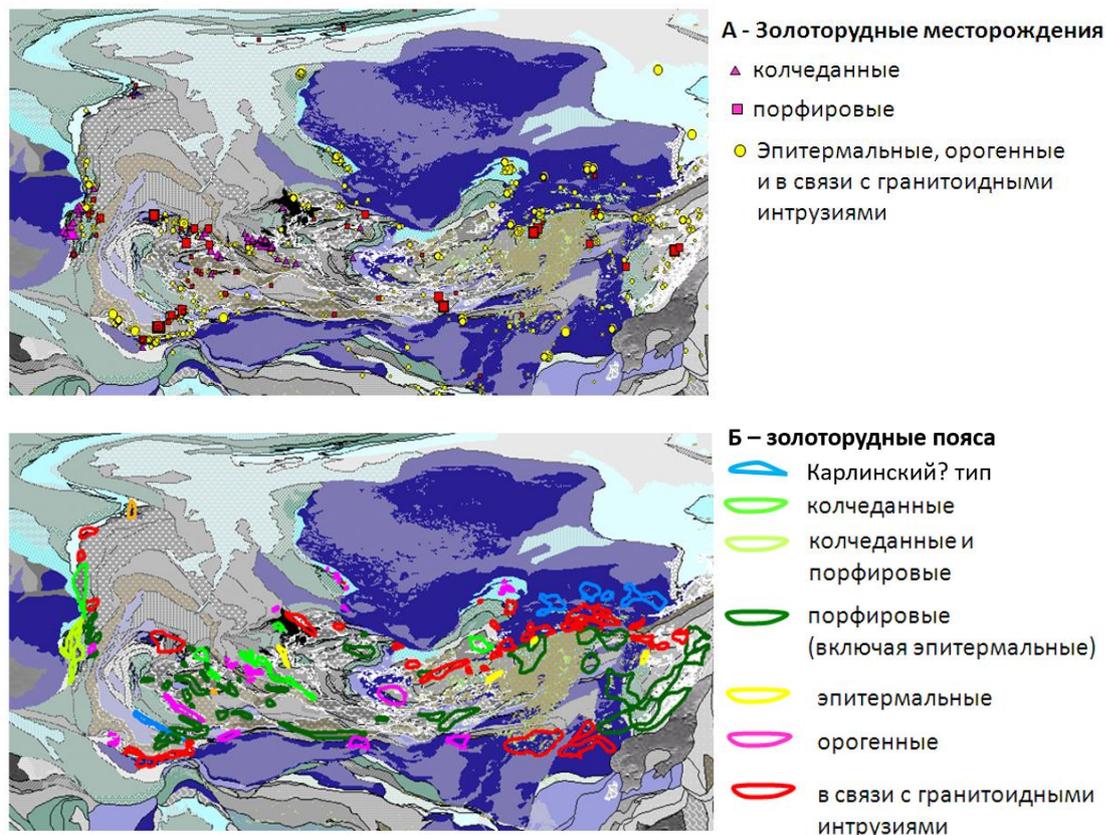
Забайкало-Монгольская складчатая область (Рис. 1.3), причлененная к Алтае-Саянской с юго-востока, разделяется Тувино-Монгольскими кратонными террейнами, протягивающимися С-образно на 3500 км от южного выступа Сибирского кратона через Северную Гоби до восточной части Монголо-Охотской сутуры. В их составе выделяются архейские, палео-, мезо- и неопротерозойские (Demoux, 2009; Козаков и др, 2021; Wilde et al., 2015) комплексы, местами разделенные сутурами с раннепалеозойскими офиолитами (Tomurtogoo, 2004). В Южном Забайкалье присутствует Джидинско-Еравнинский островодужный терреин с магматическими

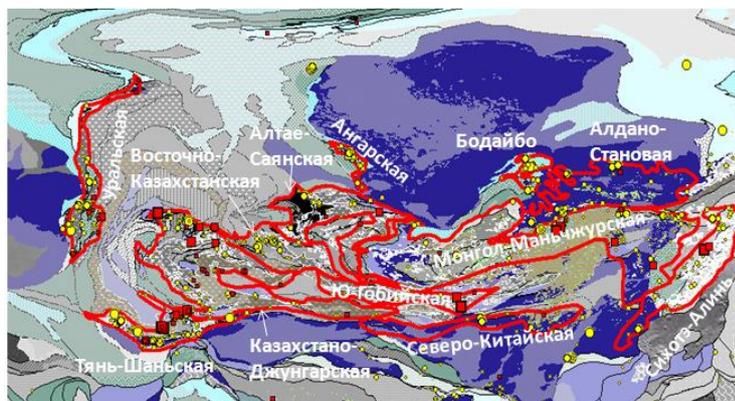
комплексами венда-раннего палеозоя (Руженцев и др., 2010). Центральная часть сложена неопротерозойско-палеозойскими турбидитовыми террейнами, омолаживающимися к востоку, где они сочленяются через Монголо-Охотскую сутуру с террейнами Западно-Тихоокеанского пояса. В целом в этом же направлении регистрируется омоложение сшивающих островных дуг.

ГЛАВА 2. МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, ПРИНЦИПЫ ВЫДЕЛЕНИЯ И СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ЗОЛОТОРУДНЫХ ПРОВИНЦИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

Центральная Азия богата месторождениями и золота, и цветных металлов. В последних благородные металлы часто являются попутными в островодужных комплексах всех возрастных генераций. Вообще золото присутствует в модели Groves et al. (1998) во всех типах месторождений, формировавшихся на конвергентных окраинах, включая колчеданные, порфировые и скарновые. Как главный металл золото присутствует в эпитермальных месторождениях. Особо следует отметить позицию орогенных месторождений золота, для которых, как будет показано ниже, положение в Центральной Азии является иным, а сама модель должна быть пересмотрена. Золото также присутствует в Cu-Ni месторождениях, которые здесь не рассматриваются.

На рисунке 2.1 показано распределение золотосодержащих месторождений разных типов, их объединение в рудные пояса и 12 провинций, внутри которых металлогеническая эволюция увязана с геодинамической. Металлогенические провинции распространены шире, чем тектонические элементы ЦАСП.





В - Золоторудные провинции

Рис. 2.1. Золоторудные месторождения (А), металлогенические пояса (Б) и провинции (В) Центральной Азии.

Таким образом, можно сформулировать первое защищаемое положение: Золоторудные месторождения разных типов и возрастов Центральной Азии объединяются в двенадцать провинций, металлогенический потенциал которых не исчерпан и постоянно меняется. Месторождения в них могут быть пространственно совмещены или разобщены вследствие унаследованности или миграции геодинамических обстановок в системах палеозойских, мезозойских и кайнозойских островных дуг и их задуговых областей.

ГЛАВА 3. ЗОЛОТОРУДНЫЕ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИЕ ПРОВИНЦИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

3.1. Ангарская провинция

В Ангарской провинции (700x80 км) выявлено более 3300 т коренного золота. Олимпиада - крупнейший и самый богатый объект провинции с конца 1970х гг (Sazonov et al., 2020; Yakubchuk, 2023). До открытия Благодатного и Ведугинского месторождений разрыв по количеству золота между Олимпиадой и Советским был очень контрастным.

Всё сооружение Енисейского Кряжа считается надвинутым на Сибирский кратон по Ишимбинско-Татарской системе разломов (Верниковская и др., 2009). В осевой части находится Центрально-Ангарский террейн, чьи сланцы, карбонатные породы и молассовидные образования интерпретируются разными авторами либо как пассивная окраина, либо как аккреционный комплекс, прорванный гранитами возрастом 760-720, 710-690 и 625-620 млн лет, а также щелочными мафит-ультрамафитовыми интрузиями 680-640 млн лет (Верниковская и др., 2002, 2007). Островодужные вулканические породы (700-630 млн лет), включая фрагменты офиолитов, находятся на западе Кряжа.

Золоторудные месторождения при общей вытянутости провинции на 600 км образуют кластеры с шагом около 50 км, почти не распространяясь восточнее Ишимбинского разлома, вдоль которого, как считается, и происходило основное проникновение рудоносных флюидов.

Большинство месторождений отнесено к орогенным, хотя для Олимпиады указываются черты месторождений карлинского типа. Некоторые проявления Партизанского узла находятся в гранитоидах, а Кузеевское и Богунаевское месторождения на юге Кряжа залегают среди палеопротерозойских метаморфических пород. Для многих месторождений провинции характерно присутствие повышенных содержаний мышьяка и сурьмы, вплоть до экономических концентраций последней.

Образования, несущие арсенопиритовую с золотом минерализацию, омолаживаются к югу с 830-820 и 776 млн лет на Советском месторождении; 795 млн лет на Эльдорадо; 754-698 млн лет на Благодатном; 805, 770, 720, 715, 691, 682 млн лет на Ведугинском; 699 млн лет на Васильевском. Имеющиеся датировки для Олимпиады (817-758 млн лет) также не дают узкого интервала, но указывают на частичное формирование синхронно с гранитоидным магматизмом (760-750 млн лет) Центрально-Ангарского террейна. В любом случае, формирование этих месторождений произошло до распада суперконтинента Родиния 720 млн лет назад и, очевидно, не связано с развитием ЦАСП. Однако во многих месторождениях регистрируются омолаживающие события 689-615 млн лет и даже 513-511 млн лет (Yakubchuk et al., 2014), которые могут отражать процессы в ЦАСП после распада Родинии.

Золоторудные месторождения провинции не имеют синхронных месторождений других типов. Их позиция в геодинамической модели (Groves et al., 1998) не соответствует положению в аккреционном комплексе, обращенном к реконструируемому океану. Наоборот, месторождения располагаются в деформированных осадочных толщах в тылу Исаковского островодужного террейна.

3.2. Алтай-Саянская провинция

Провинция содержит раннепалеозойские колчеданные, порфировые и орогенные(?) или связанные с гранитоидами золоторудные месторождения преимущественно среднего размера (общие ресурсы >1000 т). В Салаирской части присутствуют небольшие бедные золотом колчеданные месторождения (~500 млн лет). В Кузнецко-Хамсаринской дуге (Рис. 3.1) развиты кластеры порфировых и колчеданных месторождений (Yakubchuk et al., 2012). В турбидитах аккреционных комплексов во фронте дуги золоторудные месторождения не известны. Колчеданные месторождения имеют как более древний, так и почти синхронный возраст с порфировыми.

Среднего размера золоторудные месторождения в тылу Кузнецко-Хамсаринской дуги приурочены к позднекембрийским (495-487 млн лет) гранитоидным интрузиям и метаморфизованным осадочным толщам.

Таким образом, в провинции не соблюдается пространственная зональность, предусматриваемая металлогенической моделью (Groves et al., 1998) для золота орогенных и сингранитоидных месторождений. Их формирование происходило в тылу магматической дуги.

3.3. Казахстано-Джунгарская провинция

Провинция содержит типы месторождений, похожие на Алтай-Саянские, но более крупного размера, большего возрастного диапазона и с большими совокупными ресурсами (всего >4000 т). Самым крупным месторождением является Васильковское (>500 т), связанное с гранитоидной интрузией позднеордовикского возраста.

Провинция повторяет конфигурацию Казахского орогена (Рис. 3.1А). Так же, как в Алтай-Саянской, в палеозойских аккреционных комплексах магматических дуг орогенные месторождения золота не известны. Омоложение Cu-(Au)-порфировых месторождений происходило к югу-юго-востоку в соответствии с миграцией магматического фронта.

Наиболее древними являются хорошо изученные Au-Cu-порфировые месторождения в Бошекульском сегменте Кипчакского террейна (Бозшаколь - 491 млн

лет). Во времени они сменяются Au-колчеданными (Майкаин ~470 млн лет) при раскрытии междугового бассейна. Сутурирование последнего произошло в конце ордовика-начале силура (Якубчук, 1990; Якубчук, Дегтярев, 1991). В конце ордовика в Северном Казахстане разнородные террейны были спаяны ареалом гранитоидов (400x300 км), с ранними фазами которых (~445 млн лет) связаны средние и крупные золоторудные месторождения (Бестюбе), самые крупные в провинции.

На Северном Тянь-Шане фрагмент раннепалеозойской магматической дуги (Degtyarev et al., 2013) содержит Au-Cu-Mo-порфиновые (Yakubchuk et al., 2010) и скарновые месторождения возрастом 474-467 млн лет, а также месторождения золота в связи со средне-позднеордовикскими гранитоидами.

В Среднепалеозойской дуге присутствуют Cu-Au-порфиновые месторождения возрастом ~438 млн лет (Yakubchuk et al., 2012; Shen et al., 2018). В тыловой части дуги в Южном Казахстане располагаются средне-крупные жильные золоторудные (орогенные) месторождения Акбакайской группы, а в Предчингизье – девонские Au-полиметаллические колчеданные месторождения.

С конца девона стала функционировать Балхаш-Илийская магматическая дуга, с максимальным смещением на 400 км к юго-востоку относительно фронта Среднепалеозойской дуги на фоне дополнительного изгиба дуги в ороклин при продолжающейся субдукции. В Балхаш-Илийской дуге формировались Cu-порфиновые и скарновые месторождения возрастом 322-328 млн лет.

В Южном Казахстане и в северо-западном Китае сохранились позднепалеозойские (334-313 млн лет) эпitherмальные месторождения в широтном тренде длиной 450 км, а также порфиновые месторождения. Восточное продолжение остается плохо понятным из-за молодых образований и позднемезозойских сдвигов.

Таким образом, для дуговой и задуговой части провинции металлогеническая зональность в целом соответствует геодинамической модели (Groves et al., 1998), но во фронтальном аккреционном комплексе опять отсутствуют орогенные (синсубдукционные) месторождения золота. Месторождения золота в связи с гранитоидным магматизмом и орогенные месторождения снова отмечаются в тылу магматических дуг, формируясь после порфировых и колчеданных, одновременно с позднеордовикскими и раннесилурийскими деформациями Центрального Казахстана.

3.4. Восточно-Казахстанская провинция

Провинция (1400x450 км) содержит крупные месторождения золота разных типов (всего около 2500 т). Самыми крупными являются колчеданное Риддер-Сокольное и орогенный Бакырчик. Характерно присутствие большого количества малых месторождений. Возможно, часть из них содержит большие ресурсы, чем сейчас известно.

В пределах двух сшивающих магматических дуг провинции – девонско-каменноугольной Рудноалтайской на северо-востоке и каменноугольной Жарма-Саурской на юго-западе – известны типичные для таких геодинамических обстановок колчеданные (типа Куроко) и порфиновые месторождения, соответственно. Только из месторождения Риддер добыто свыше 500 т золота (Lobanov et al., 2014), что превышает запасы Бакырчикского месторождения орогенного золота.

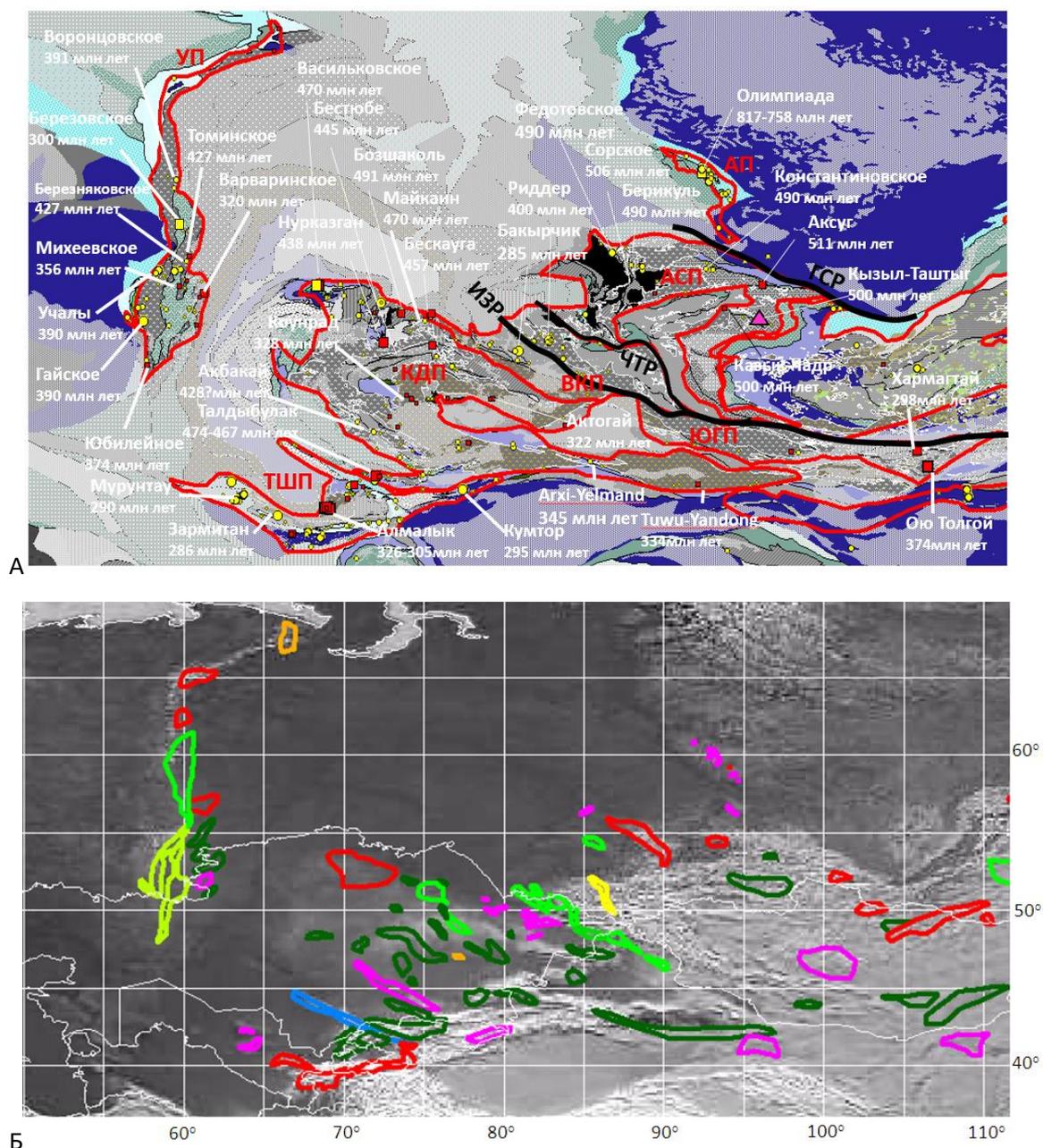


Рис. 3.1. Месторождения (А) и рудные пояса (Б) Ангарской (АП), Алтае-Саянской (АСП), Казахстано-Джунгарской (КДП), Южно-Гобийской (ЮГП), Восточно-Казахстанской (ВКП), Тянь-Шаньской (ТШП) и Уральской (УП) золоторудных провинций. Разломы: ИЗР – Иртышский, ЧТР – Чарышско-Теректинский. Условные обозначения для рудных поясов см на Рис. 2.1Б.

Наиболее древними на Рудном Алтае являются небольшие медно-(золото)-колчеданные месторождения типа Бесси (Lobanov et al., 2014). Датирование руд и вмещающих пород показало возраст метаморфизма 370 млн лет назад, а возраст их формирования может быть раннепалеозойским или даже неопротерозойским. Возраст метаморфизма частично перекрывается со знаменитыми Au-полиметаллическими месторождениями Рудного Алтая (тип Куроко) – 395-372 млн лет.

Жарма-Саурская магматическая дуга содержит Cu-Au-порфировые месторождения возрастом около 320 млн лет.

В центре провинции располагается Чарский аккреционный терреин с ордовикско-девонскими офиолитами и девонско-каменноугольными турбидитами,

смятыми в изоклиальный орокладин. Среди турбидитов присутствуют углеродистые сланцы. С ними связаны орогенные месторождения, образующие несколько рудных кластеров с шагом около 100 км. Возраст минерализации составляет 285 млн лет. По этому параметру рудоносное событие синхронно с Тянь-Шаньским орогенным золотом. Однако на месторождении Суздаль возраст минерализации - 248 млн лет.

Металлогеническая зональность формально соответствует модели (Groves et al., 1998) с орогенными месторождениями во фронтальном аккреционном комплексе по отношению к магматическим дугам. Однако явно более молодой возраст орогенных месторождений увязывает их с коллизионным закрытием Иртыш-Зайсанского океанического бассейна, а не с субдукционными процессами под Рудно-Алтайскую или Жарма-Саурскую дуги.

3.5. Южно-Гобийская провинция

Провинция (1500x250 км) по существу является восточным продолжением северного крыла Казахстано-Джунгарской провинции, но отделена от последней мезозойско-кайнозойскими осадочными бассейнами Джунгарской впадины. Она включает только Cu-Au-порфиновые и эпитеpmальные месторождения средне- и позднепалеозойского возраста в островодужных террейнах и сшивающих магматических дугах.

Порфиновые Ою-Толгой и Херуга являются крупнейшими золоторудными объектами, разведанными после 2000 года. Без новых открытий Южно-Гобийская провинция считалась бы очень слабоминерализованной. Группа Cu-Au-порфиновых месторождений Ою-Толгой имеет возраст 374 млн лет, а Cu-Au-порфировое месторождение Цаган-Суварга - 370 млн лет. Хармагтай образовался 298 млн лет назад, близкосинхронно группе Mo-порфирового Зун Мод (295 млн лет) и недавно открытому эпитеpmальному Баян-Хундию в западной части провинции.

В итоге однотипные месторождения разного возраста, типичные для субдукционного магматизма, телескопированы при полном отсутствии значимых месторождений орогенного золота.

3.6. Тянь-Шаньская провинция

Провинция (1600x200-400 км) содержит крупнейшие месторождения Центральной Азии (совокупно почти 14 500 т золота), включая супергиганты орогенного Мурунтау и Cu-Au-порфировую Алмалыкскую группу. Открытие новых или раскрытие потенциала уже известных средне-крупных месторождений представляется возможным, как это было реализовано после 2000 г сразу на нескольких известных объектах (Амантайтау, Галдыбулак, Пакрут и др).

Провинция включает несколько типов золоторудных месторождений позднепалеозойского возраста. Гигантские Cu-Au-порфиновые и крупные эпитеpmальные Au-Ag месторождения сформировались в Чаткало-Кураминской магматической дуге. В ее фронте располагаются аккреционные террейны Южного Тянь-Шаня с гигантскими орогенными месторождениями золота. В первом приближении такая зональность прекрасно вписывается в геодинамическую модель (Groves et al., 1998). Однако за последние 20 лет была выявлена принципиальная разновозрастность этих двух групп месторождений и смена геодинамических обстановок после коллизии вдоль Туркестанской сугуры ~312 млн лет назад, после чего континентальная кора Алай-Тарима субдуцировала под континентальную кору Срединного Тянь-Шаня вплоть до середины перми. Это заставляет считать гигантскую (>2500 т Au) порфирово-

эпитермальную систему Алмалыка возрастом 326-305 млн лет син-/пост-коллизией и увязывать ее со скрытой субдукцией или отрывом слэба. Обстановка похожа на современную ситуацию на севере о-ва Новая Гвинея с гигантскими Cu-Au-порфировыми месторождениями.

Тектонически необычное положение в провинции занимает цепочка редких и небольших золоторудных месторождений среди позднепалеозойских карбонатных пород вдоль Каратауских хребтов в 350 км в тылу Чаткало-Кураминской магматической дуги. По совокупности факторов они классифицируются как месторождения карлинского типа.

Гигантские орогенные месторождения Южного Тянь-Шаня (Yakubchuk et al., 2002; Seltmann et al., 2020) располагаются в разновозрастных метаморфизованных сланцах и интрузиях во фронте Чаткало-Кураминской дуги, будучи наложены на разнородные террейны (Yakubchuk et al., 2002). Несмотря на разновозрастность и разнотипность вмещающих пород и очень разный размер этих месторождений, геохронологическое датирование показало их формирование в узком интервале 295-285 млн лет назад.

Очевидно, что орогенные месторождения являются пост-коллизийными и должны быть увязаны с каким-то более молодым событием, чем субдукция под Чаткало-Кураминскую магматическую дугу. В качестве такового предлагается считать субдукцию со стороны Амударьинского океанического бассейна, соединяющего ЦАСП и пояс Тетис, под короткоживущую Южно-Гиссарскую дугу. В этом случае Южно-Тянь-Шаньские орогенные месторождения золота оказываются в тылу по отношению к дуге, которая прекратила свою активность уже в конце палеозоя после коллизии Каракумского террейна и Алая.

Таким образом, в Тянь-Шаньской провинции совмещены продукты двух субдукционных зон и одной коллизийной. На металлогенической модели такая ситуация должна быть показана как два последовательных события. В любом случае месторождения орогенного золота не связаны с формированием аккреционного комплекса, как это предусматривается моделью (Groves et al., 1998), а наложены на него после коллизийного события.

3.7. Уральская провинция

Самыми крупными являются колчеданное Гайское и «гранитоидное» Березовское месторождения (Рис. 3.1). Доразведка и запуск добычи на давно известных медно-золото-порфировых месторождениях раскрывает новый потенциал провинции (всего около 3100 т золота).

Порфиновые месторождения имеют возрастной диапазон формирования от 427 до 300 млн лет. Некоторые порфиновые месторождения практически синхронны колчеданным месторождениям, которые являются золотоносными. Самым крупным скоплением золота является Гайское месторождение, количество золота в котором превышает 560 т, а другие колчеданные месторождения имеют ресурсы до 200 т золота. Возраст колчеданных месторождений в Магнитогорском террейне – 400-387 млн лет, а в Тагильском – 440-430 млн лет.

Наиболее известное Березовское золоторудное месторождение Урала содержало не менее 350 т золота. Его возраст разными авторами оценивается в 314-285 млн лет или 305-285 млн лет, то есть оно моложе всех колчеданных и большинства порфировых месторождений Урала.

В рассматриваемой геодинамической модели (Groves et al., 1998) колчеданные, порфировые и золото-гранитоидные месторождения располагаются в пределах развивающейся магматической дуги (или дуг). Однако в пределах аккреционного комплекса вдоль западного фронта Уральских магматических дуг не выявляется орогенных месторождений золота, а небольшие Au-кварцевые месторождения Тургая занимают тыловое положение по отношению к ним.

3.8. Бодайбинская провинция

Провинция (420x420 км) чрезвычайно богата месторождениями золота (около 4500 т, не считая россыпей). На юге присутствуют среднего размера неопротерозойские (600 млн лет) месторождения в гранитоидах Парам-Килянкой островной дуги. Для них также регистрируется омолаживающее событие 290-250 млн лет, которое частично связано с Ангаро-Витимским гранитным батолитом и ранее воспринималось как основное рудное событие.

Наибольшие скопления золота обнаружены в пределах Патомско-Бодайбинского бассейна, задугового по отношению к Парам-Килянкой дуге. Он заполнен мощными (14 000 м) сериями сложнодеформированных и метаморфизованных терригенных пород неопротерозойско-раннекембрийского возраста (судя по обломочным цирконам 520 млн лет). Закартировано несколько уровней черных сланцев, с каждым из которых связаны орогенные золоторудные месторождения разного размера, включая Сухой Лог (~3000 т Au).

Уже деформированные и метаморфизованные породы задугового бассейна надвинуты на Сибирский кратон и изогнуты в Патомский ороклин. Большинство крупных месторождений располагается вблизи оси ороклина. Деформации и метаморфизм происходили неоднократно в палеозое при нескольких генерациях гранитоидов. Возраст метаморфизма оценивается в 516 млн лет, а возраст минералов (монацит, пирит) имеет разброс от 508 до 447 млн лет (Рис. 3.2), с омолаживающими событиями 354-320 млн лет в связи с Ангаро-Витимским батолитом (Vursiy et al., 2020).

Таким образом, золоторудные месторождения провинции были сформированы в результате нескольких событий, но металлогенически наиболее ранние гранитоидные месторождения формировались в островодужной обстановке, а орогенные – при деформации задугового бассейна.

3.9. Монголо-Маньчжурская провинция

Самая крупная по площади (2600x700-1800 км) металлогеническая провинция содержит ~4000 т золота. Крупнейшим является эпитермальное Тасеевское месторождение.

На первый взгляд, ее металлогеническая зональность имеет хаотический характер (Рис. 3.2), но с учетом ороклинов в ней выявляется S-образная упорядоченность. В провинции фиксируется почти полный набор типов золоторудных месторождений, которые охватывают и восточное окончание Северо-Китайского кратона.

Рудные пояса располагаются преимущественно вдоль Монголо-Охотской сутуры. Наиболее древними являются небольшие Au-колчеданные месторождения раннего неопротерозоя(?) в Тувино-Монгольском метаморфическом террейне. Они сформировались до посткинematических гранитов возрастом 860-720 млн лет и не относятся к истории собственно ЦАСП. Однако считается, что при тектоническом

преобразовании колчеданной минерализации сформировались и Au-сульфидные руды такого орогенного месторождения, как Зун-Холба (537±11 до 467±9 млн лет), что коррелирует с золоторудными событиями в Бодайбинской провинции.

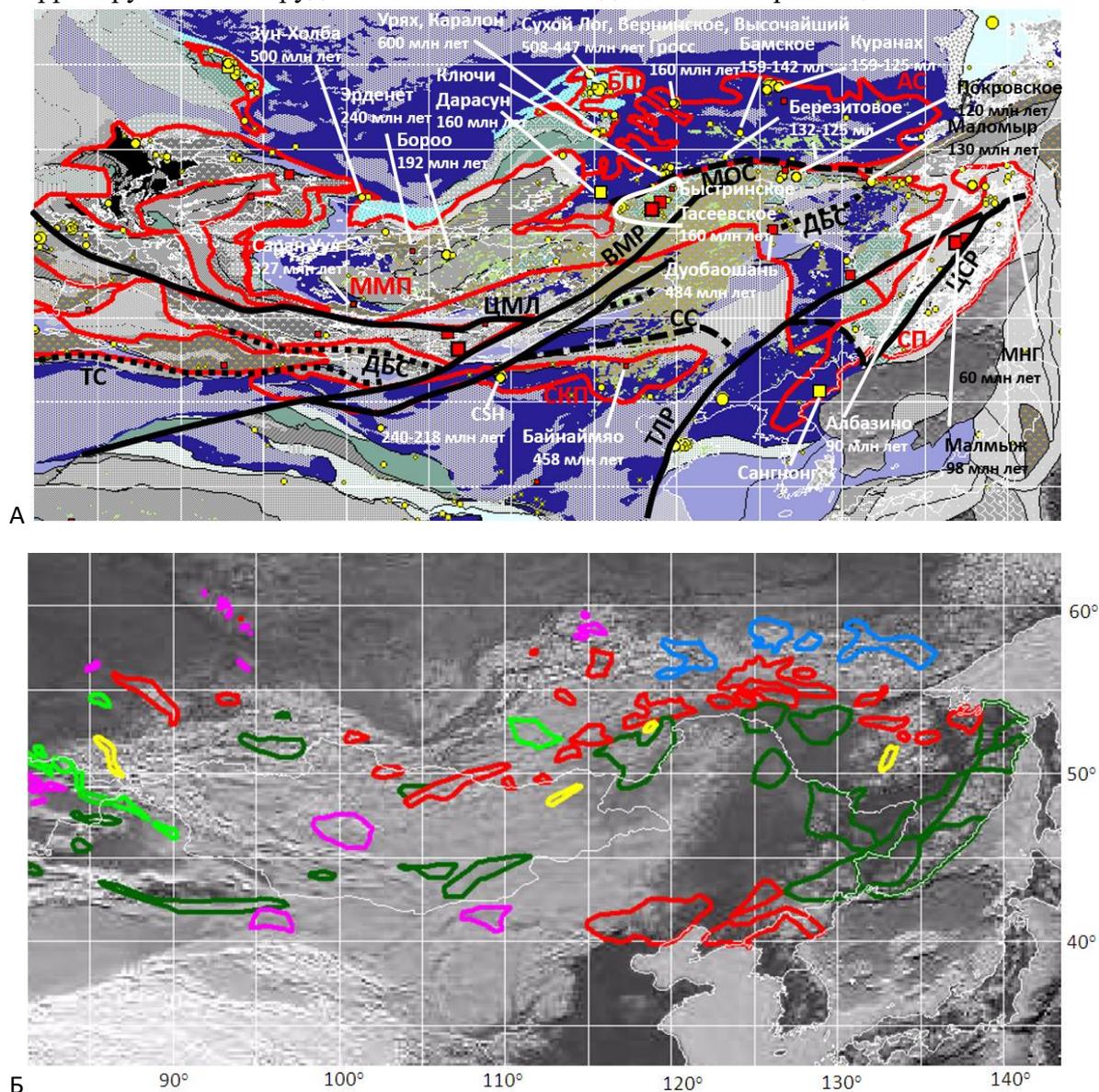


Рис. 3.2. Месторождения (А) и золоторудные пояса (Б) Ангарской, Алтае-Саянской, Южно-Гобийской, Бодайбинской, Северо-Китайской, Монголо-Маньчжурской, Алдано-Становой и Сихотэ-Алиньской провинций. Условные обозначения для рудных поясов см на Рис. 2.1Б. Золоторудные провинции: АС – Алдано-Становая, БП – Бодайбо, ММП – Монголо-Маньчжурская, СП – Сихотэ-Алиньская, СКП – Северо-Китайская. Сутуры: ДБС – Джунгаро-Балхашская, МОС – Монголо-Охотская, СС – Солонкерская, ТС – Туркестанская. Разломы: ВМР – Восточно-Монгольский, ТЛР – Тан Лу, ЦМЛ – Центрально-Монгольский линеймент

Также внутри или на границе с Тувино-Монгольским террейном в северо-восточном Китае встречаются Cu-Au-Mo-порфировые месторождения (484 млн лет) и позднепалеозойские (327 млн лет) проявления в Центральной Монголии. Наибольшее экономическое значение имеют порфировые месторождения в связи с каменноугольно-триасовой Орхон-Селенгинской магматической дугой (Cu-порфировое Эрденет

возрастом 240 млн лет и другие порфировые проявления в Монголии (220-230 млн лет) и северо-восточном Китае (225 млн лет)).

В западной части Монголо-Охотской сутуры распространены кластеры орогенных месторождений золота (Бороо –192 млн лет, Гатсуурт – 119 млн лет).

Наиболее золото-продуктивными в провинции оказались позднеюрско-раннемеловые металлогенические события, которые связаны с развитием Большехинганской магматической дуги, сшивающей все тектонические элементы фундамента ЦАСП к югу от Монголо-Охотской сутуры. Сутура интерпретируется как продукт коллизии метаморфических террейнов ЦАСП с Сибирским кратоном. При этом считается, что субдукция происходила под каждую из этих крупных тектонических единиц, постепенно прекращаясь и мигрируя в восточном направлении. С Большехинганской магматической дугой связаны многочисленные порфировые (185-183 млн лет) месторождения. Вдоль северного края Большехинганской дуги развиты эпитермальные, железо-медно-золото-скарновые и Cu-Au-порфировые месторождения возрастом ~160 млн лет.

В тыловой части дуги в Китае выявлены многочисленные Мо-порфировые системы 149-148 и 139-125 млн лет. На северо-востоке провинции на Российской территории располагаются эпитермальные Au-Ag месторождения 122-119 млн лет и Cu-Мо-порфировые проявления 123-122 млн лет.

Во фронтальной части дуги на восточном окончании Монголо-Охотской сутуры в метаморфизованных аккреционных террейнах развиты орогенные месторождения возрастом 134-130 млн лет. В данном случае их положение соответствует орогенным месторождениям в модели, но они формировались в том числе и после коллозии в МОС (Groves et al., 1998).

3.10. Северо-Китайская провинция

Провинция (2300x150 км) имеет наименьшее количество выявленного золота (около 850 т) в небольшом количестве месторождений. Кроме орогенных известно Cu-Au-порфировое месторождение возрастом 458 млн лет.

Формирование орогенных месторождений увязывается с коллизионными событиями вдоль Солонкерской сутуры между Северо-Китайским кратоном и террейнами ЦАСП. По тектонической позиции она сходна с Тянь-Шаньской, но Северо-Китайские месторождения сформировались 240-218 млн лет назад. По своей геодинамической позиции они также не соответствуют геодинамической модели Groves et al. (1998).

3.11. Алдано-Становая провинция

Общее количество золота в провинция (1700x550 км) составляет более 3300 т. Почти 20% из этого числа сосредоточено в месторождениях Куранахской группы.

Провинция включает практически всю площадь докембрийских выходов Сибирского кратона (Рис. 3.2). Среди них находится несколько проявлений и пока мелких месторождений в зеленокаменных поясах докембрия. Палеозойский гранитоидный магматизм регистрируется с ордовика, а самые молодые сохранившиеся вулканические породы датируются юрой-ранним мелом. Золоторудная минерализация приурочена к магматическим комплексам именно этого возраста.

Фронт мезозойской субдукции реконструируется вдоль южной окраины Алдано-Станового домена Сибирского кратона и совпадает с Монголо-Охотской сутурой. На

западе магматический фронт переходит в Орхон-Селенгинскую дугу, а на востоке – в Удско-Мургальскую. Прекращение надсубдукционного магматизма произошло в конце мелового периода после закрытия Монголо-Охотского океана.

Во фронтальной части провинции располагается несколько крупных золоторудных районов с шагом 100-150 км. Кроме золота в них присутствуют Mo-Cu-Au жилы в связи с гранитоидными интрузиями. Возраст минерализации – 160-142 млн лет. Восточнее располагаются Au-полиметаллические месторождения возрастом 132-125 млн лет.

В тыловой части провинции располагается серия золоторудных месторождений в связи с гранитоидными интрузиями (159-142 млн лет).

Вдоль северной периферии провинции находятся рудные узлы так называемого куранахского типа возрастом 150-135 млн лет (самые молодые значения - 125 млн лет). Для них характерны сильное окисление в приповерхностных условиях и развитие карста. Золоторудная минерализация разными авторами относится к эпитегрмальному, карлинскому, порфиоровому, кварцево-жильному и золото-урановому типам, а также к особому куранахскому типу.

В целом в этой провинции металлогеническая зональность соответствует активным континентальным окраинам модели Groves et al. (1998).

3.12. Сихотэ-Алиньская провинция

В провинции (2000x350 км; Рис. 3.2) выявлено более 1500 т золота в коренных объектах. До открытия Cu-Au-порфиорового Мылмыжского месторождения, самыми крупными были открытое в 1990-е гг месторождение Албазино, а до 1991 года – Многовершинное эпитегрмальное месторождение.

Провинция относится к Западно-Тихоокеанскому поясу и только в юго-западной части она наложена на террейны ЦАСП и Северо-Китайский кратон, показывая тектоническую и металлогеническую преемственность. Главной металлогенической специализацией провинции считались Sn, Pb-Zn, W, а также золото эпитегрмального типа. Однако открытие Cu-порфиоровых месторождений (120-98 млн лет) изменило это понимание. Их образование увязывается с косою трансляцией террейнов и изгибанием орокллина. На севере располагается район с месторождениями в связи с позднемеловыми (90 млн лет) интрузиями и эпитегрмальные месторождения (60 млн лет).

Тектоническое и металлогеническое развитие прервалось после раскрытия задугового бассейна Японского моря. Геодинамическая позиция эпитегрмальных и порфиоровых месторождений соответствует модели Groves et al. (1998), но орогенные и гранитоидные месторождения все-таки формировались в тылу дуги.

Таким образом, можно сформулировать второе защищаемое положение:

Формирование колчеданных и порфиоровых систем, где золото является попутным металлом, и связанных с ними эпитегрмальных и скарновых месторождений связано с формированием островных дуг. Формирование орогенных и «гранитоидных» месторождений, содержащих золото как основной продукт, происходило преимущественно при коллизионных деформациях осадочных толщ в задуговых обстановках, а не в аккреционных комплексах во фронтальных частях островных дуг.

ГЛАВА 4. АНАЛИЗ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ И ПРОДУКТИВНОСТИ ЗОЛОТОРУДНЫХ ПРОВИНЦИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

Общее количество коренного золота во всех типах месторождений может быть оценено почти в 43 700 т в 445 месторождениях и проявлениях (без Норильского рудного района и россыпей). Золото, добытое из россыпей, составляет еще ~7000 т (Беневольский, 2002). Максимальное количество золота в одном коренном месторождении превышает 6500 т (Мурунтау; Рис. 4.1).

В двенадцати выделенных металлогенических провинциях подсчитано совокупное количество золота во всех типах месторождений и рассчитана удельная золотоносность (Таблица 1).

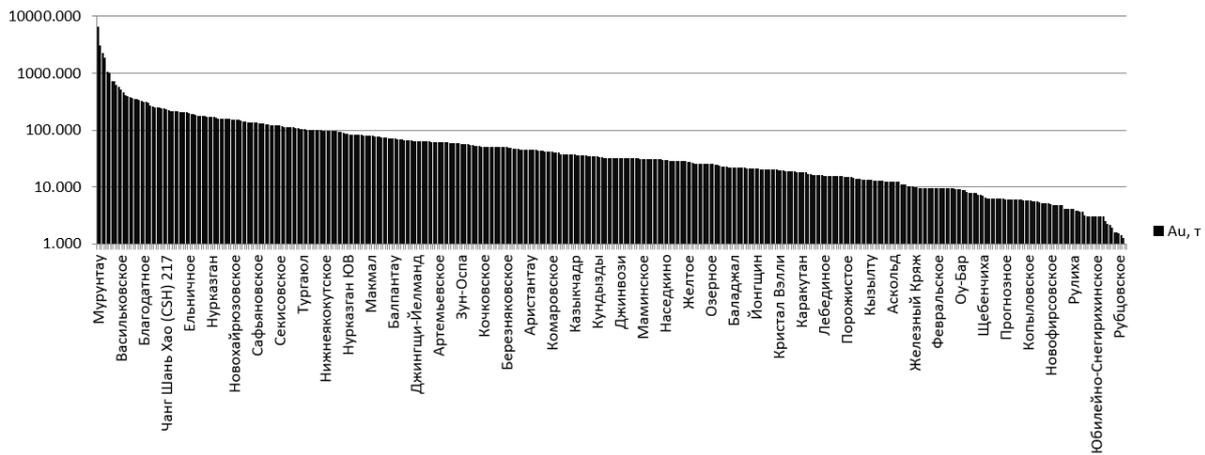


Рис. 4.1. Общие ресурсы золоторудных месторождений Центральной Азии.

Наибольшее количество золота сосредоточено в орогенных месторождениях (Рис. 4.2). За ними следуют месторождения в связи с гранитоидами и практически с равными показателями порфиоровые. Эпитермальные месторождения образуют четвертую популяцию. Колчеданные месторождения им практически не уступают. Примерно одинаковое количество золота оценено в скарнах и месторождениях карлинского(?) типа.

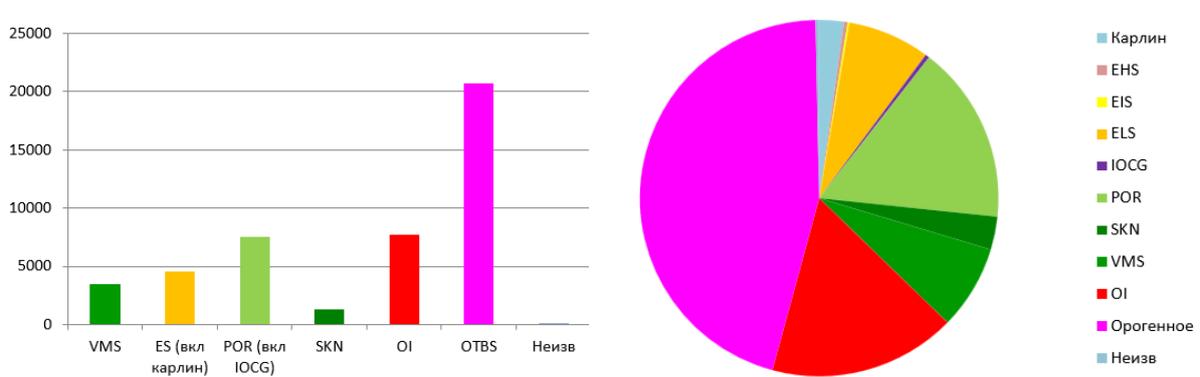


Рис. 4.2. Типы месторождений Центральной Азии: ES (EHS, EIS, ELS) – эпитермальные, IOCG – железо-оксидные медно-золотые, POR – порфиоровые, SKN – скарновые, OI – гранитоидные интрузии, OTBS – орогенные в осадочных толщах, VMS – колчеданные

Количество золота в орогенных системах (63%) превышает его количество в островодужных (37%). Попутное золото составляет около 27% от общего количества (Рис. 4.3).

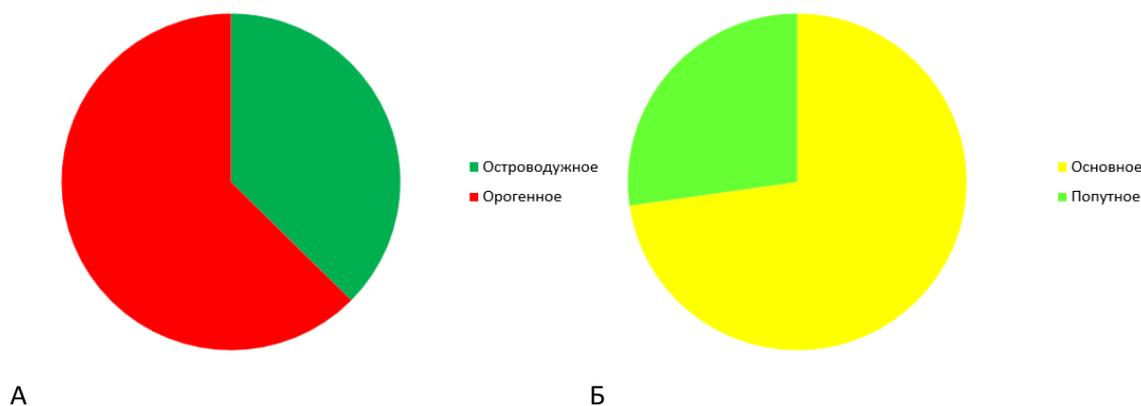


Рис. 4.3. Общие ресурсы островодужного и орогенного золота Центральной Азии (А) и соотношение попутного и основного золота (Б) без учета россыпей.

Провинции были ранжированы по разным параметрам (Рис. 4.4). По общему количеству золота безусловным лидером является Тянь-Шаньская провинция, в которой доминирует орогенное золото, но его количество в некоторых порфировых системах сопоставимо с орогенным (Таблица 1). Вторыми по значимости являются Бодайбинская, Казахстано-Джунгарская и Монголо-Маньчжурская провинции, за которыми следуют Алдано-Становая, Уральская и Ангарская. Третью группу составляют Восточно-Казахстанская, Южно-Гобийская и Сихотэ-Алиньская, а наименее значимые – Алтае-Саянская и Северо-Китайская.

Провинции были дополнительно отранжированы по размеру самых крупных для них месторождений на три ранга (Рис. 4.5А; Таблица 1). К первому отнесены провинции хотя бы с одним месторождением >1000 т золота. Ко второму рангу – хотя бы с одним месторождением 250-1000 т золота. К третьему рангу – с месторождениями <250 т золота. В итоге Тянь-Шаньская провинция осталась самой значимой, но ее качественное отличие от Ангарской, Бодайбинской и Южно-Гобийской становится менее контрастным. Уральская, Казахстано-Джунгарская, Восточно-Казахстанская, Монголо-Маньчжурская, Алдано-Становая и Сихотэ-Алиньская провинции становятся одноранговыми. Алтае-Саянская и Северо-Китайская провинции опять оказались в низшей категории.

Для этих рангов обнаруживается и региональный тектонический контроль. Все три провинции Сибирского кратона и его неопротерозойских орогенов (Ангарская, Бодайбинская и Алдано-Становая) относятся к первому рангу с наибольшими общими ресурсами коренного золота. Две провинции ЦАСП у южного обрамления Сибирского кратона и Сихотэ-Алинь содержат множество средних (~50 т) и крупных (до 250 т) месторождений золота. Тектонически они находятся в неопротерозойско-раннепалеозойских ювенильных магматических дугах Алтае-Саяна и в палеозойско-мезозойских магматических дугах Центральной Монголии и Маньчжурии, а мезозойско-кайнозойская Сихотэ-Алиньская провинция уже тектонически большей частью относится к Западно-Тихоокеанскому поясу.

Таблица 1. Количественные характеристики золоторудных провинций Центральной Азии (площадь провинций рассчитана в ArcGIS)

Провинция и ее площадь	Общее количество золота, т	Удельная золотоносность, кг Au/км ²	Крупнейшие месторождения	Тип крупнейшего месторождения	Количество золота по главным типам месторождений, т	Ранг по крупнейшему месторождению
Тянь-Шаньская 475 385 км ²	17 875	30.3	Алмалыкская группа (~2500 т Au+Cu)	Порфиновый-эпитермальный	5933	1
			Мурунтау (6500 т Au)	Орогенный	9760	
			Зармитан (1000 т Au)	Гранитоидные интрузии	1131	
Бодайбинская 123 398 км ²	4488	36.3	Сухой Лог (3016 т Au)	Орогенный	4066	1
Казахстано-Джунгарская 1 686 562 км ²	4089	2.4	Васильковское (>500 т) Бестюбе (400 т)	Гранитоидные интрузии	1880	2
Монголо-Маньчжурская 2 773 022 км ²	4089	1.5	Тасеевское (360 т Au)	Эпитермальное	1056	3
Алдано-Становая 1 042 820 км ²	3304	3.1	Куранахская группа (715 т Au) Элькон (>170 т Au)	Эпитермальный / карлинский (?) ЮСГ	1445/170	1
Уральская 485 570 км ²	3413	7	Гайское (>560 т Au +CuZnAg)	Колчеданный	1664	2
			Березовское (>450 т Au)	Гранитоидные интрузии	582	
Ангарская 68 057 км ²	3345	49.1	Олимпиада (1866 т Au)	Орогенный	3345	1
Восточно-Казахстанская 518 820 км ²	2466	4.7	Риддер (>700 т Au +CuPbZnAg)	Колчеданный	1386	2
			Бакырчик (>300 т Au)	Орогенный	688	
Южно-Гобийская 432 973 км ²	1687	2.2	Ою Толгой (1400 т Au + CuAg)	Порфиновый	1536	1
Сихотэ-Алиньская 762 843 км ²	1801	2.4	Малмыж (347 т Au +Cu)	Порфиновый	608	3
			Албазино (150 т Au)	Гранитоидные интрузии	492	
			Многовершинное (100 т Au)	Эпитермальное	254	
Алтае-Саянская 823 269 км ²	1078	1.3	Федотовское (200 т Au)	Гранитоидные интрузии	423	3
Северо-Китайская 477 356 км ²	849	1.7	Chang Shan Hao (220 т Au)	Орогенное	437	3

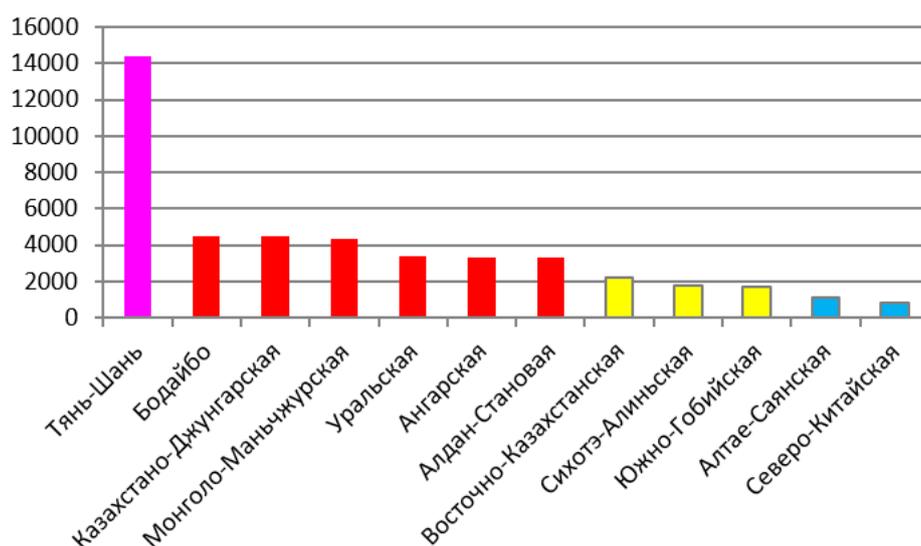
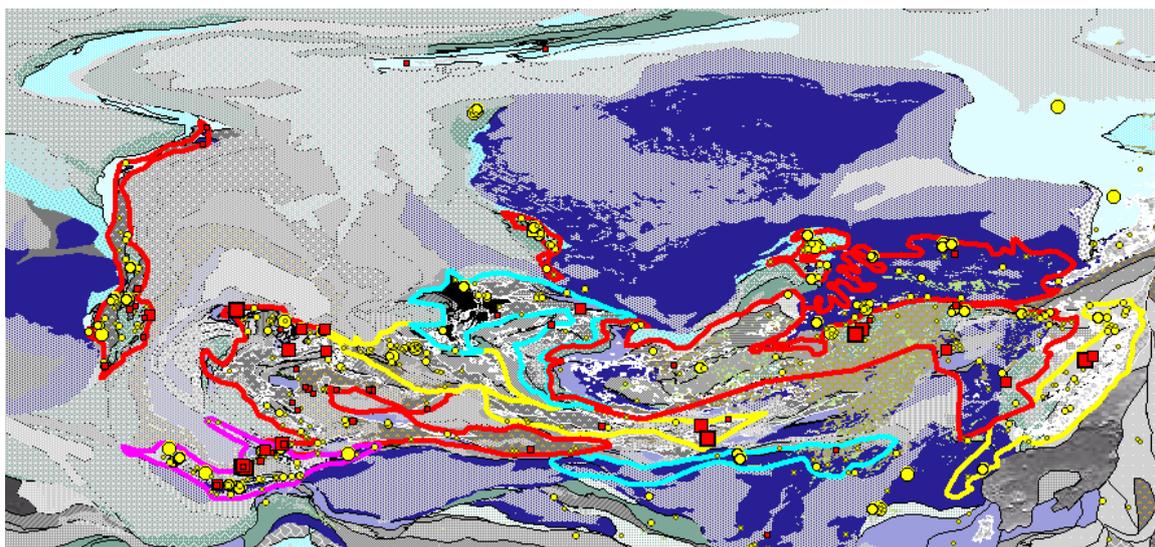


Рис. 4.4. Ранжирование металлогенических провинций ЦАСП по общему количеству коренного золота (t).

В юго-западном домене ЦАСП (Рис. 4.5А) располагаются провинции первого (Тянь-Шаньская и Южно-Гобийская) и второго (Уральская, Казахстано-Джунгарская, Восточно-Казахстанская) ранга. Все они превосходят провинции северо-восточного домена, а Тянь-Шаньская является крупнейшей в ЦАСП и одной из крупнейших в мире.

Пересчет на единицу площади (кг Au/кв км) дает наилучшую характеристику минерализованности. По этому параметру удельная золотоносность Тянь-Шаньской, Бодайбинской и Ангарской провинций (Рис. 4.5Б) оказывается сопоставимой, при доминировании Ангарской (Таблица 1). С большим отставанием среднюю степень удельной золотоносности имеют Уральская и Восточно-Казахстанская провинции. Для четырех из этих наиболее минерализованных провинций характерно положение в краевых частях ЦАСП, а для Восточно-Казахстанской – на границе двух ороклинов внутри ЦАСП.

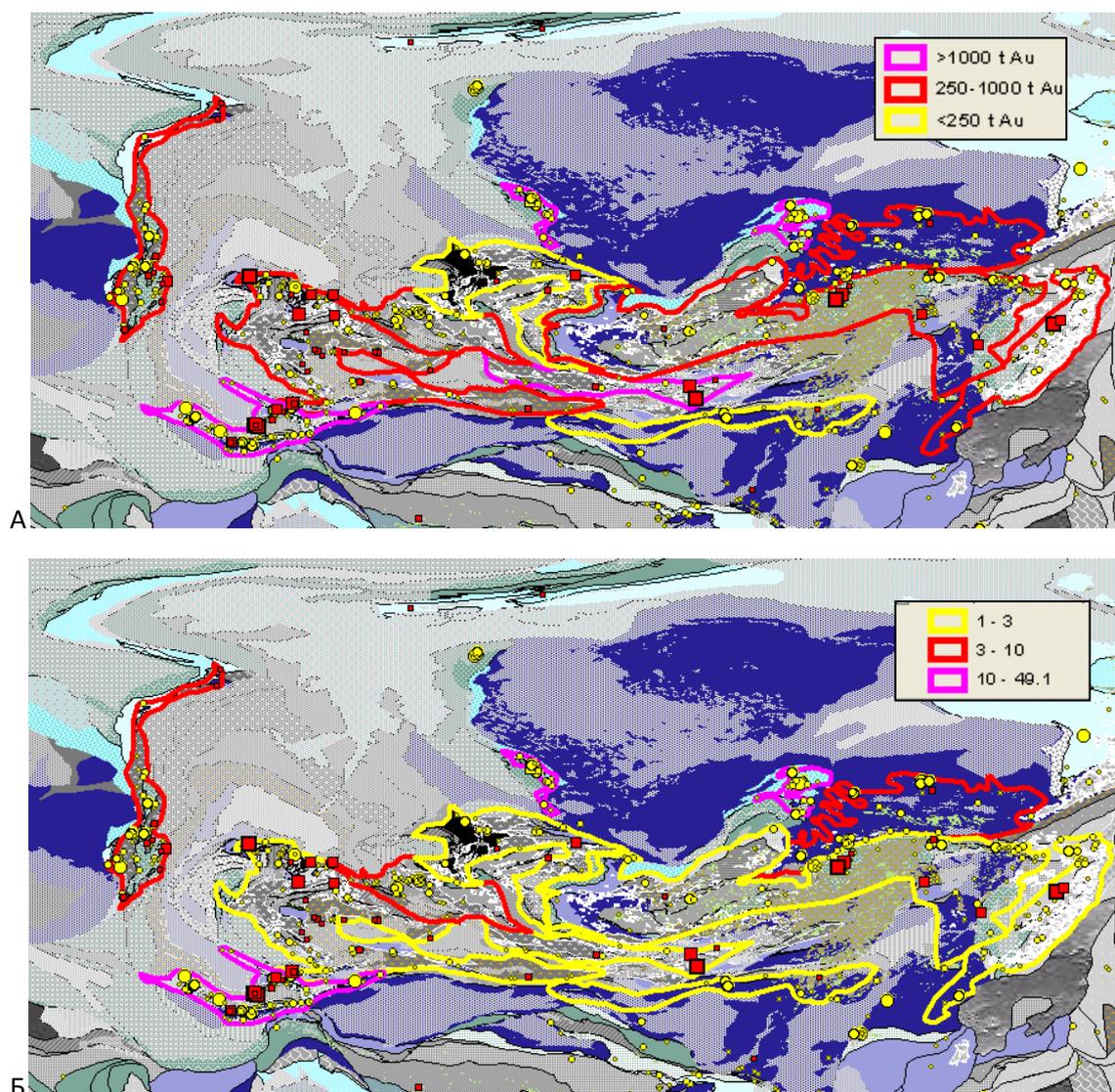


Рис. 4.5. Ранжирование металлогенических провинций по крупности месторождений золота (А) и по удельной золотоносности, кг/кв км (Б).

Таким образом, можно сформулировать третье и четвертое защищаемые положения:

3. Двенадцать золоторудных провинций Центральной Азии характеризуются резко различной удельной золотоносностью, которая колеблется от 1-3 до 50 кг/км² и определяется особенностями их тектонического развития и набором месторождений всех типов.

4. От общего количества золота (без учета россыпей) с островодужными обстановками связано 37% металла, а 63% – с орогенными (коллизийными) событиями. При этом 73% металла содержится в собственно золоторудных месторождениях, а количество попутного золота оценивается в 27%.

ГЛАВА 5. ЗОЛОТОРУДНЫЕ ПРОВИНЦИИ И ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

5.1. Возрастные характеристики золоторудных месторождений

Формирование месторождений во времени происходило непрерывно-пульсационно (Рис. 5.1). Для орогенных и «гранитоидных» месторождений регистрируется синхронность с тектоническими перестройками, включая ороклинные

изгибания, которые при региональном картировании регистрируются угловыми несогласиями как доказательства тектонических фаз. В соответствии с общим омоложением возраста субдукционного магматизма в восточном направлении в Казахстано-Джунгарской и Монголо-Маньчжурской провинциях происходит и омоложение возраста месторождений.

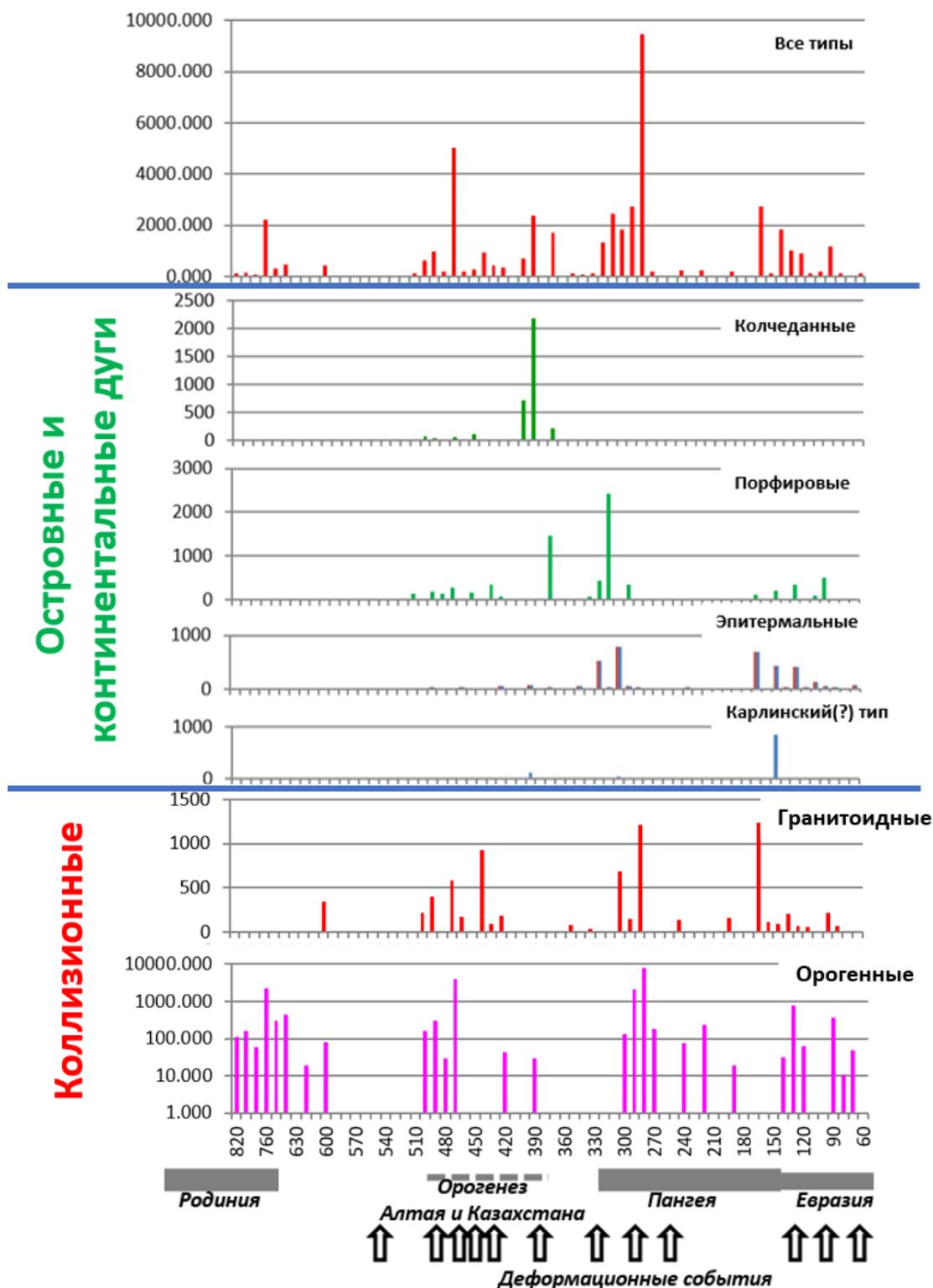


Рис. 5.1. Распределение общих ресурсов золоторудных месторождений (Au, т) во времени.

Особняком стоят раннедокембрийское золото юга Сибирского кратона, неопротерозойские орогенные месторождения Ангарской провинции и Au-колчеданные месторождения на западе Монголо-Маньчжурской провинции, сформировавшиеся до распада суперконтинента Родиния 720 млн лет назад.

Около 600 млн лет назад образовались первые месторождения в связи с гранитоидными интрузиями Бодайбинской провинции, а первое золото Алтае-Саянской появилось ~530 млн лет назад в колчеданных месторождениях и 511-500 млн лет – в порфировых. Затем в Монголо-Маньчжурской провинции формировались месторождения в связи с гранитоидными интрузиями 500-490 млн лет. Тогда же начали формироваться первые золотоносные порфировые месторождения Казахстано-Джунгарской провинции в практически аналогичной последовательности. Однако ее месторождения в связи с гранитоидными интрузиями 470-445 млн лет имеют гораздо большие ресурсы. В Среднепалеозойской вулканической дуге Казахстана новые крупные порфировые месторождения сформировались 438-437 млн лет назад, а орогенные месторождения в ее тылу.

370 млн лет назад начали формироваться богатые золотом порфировые месторождения Южно-Гобийской провинции, колчеданные месторождения Восточного Казахстана, а также колчеданные и порфировые месторождения Уральской провинции. Среднепалеозойский пульс оказался более продуктивным, чем оба раннепалеозойских.

Еще больший пик в формировании золоторудных месторождений всех типов отмечается для позднепалеозойских рудных систем, особенно порфировых и орогенных при снижении роли колчеданных. По времени они совпадают с тектонической консолидацией западной части ЦАСП и формированием суперконтинента Пангея.

После этого новый пик приходится на 160 млн лет назад в восточной части ЦАСП в связи с процессами в Западно-Тихоокеанском поясе на фоне окончания сбора Пангеи. Количество золота во всех типах мезозойских месторождений оказалась существенно меньшим, чем в конце палеозоя, но компенсируется большим количеством объектов.

Формирование «островодужных» и «орогенных» месторождений происходило несинхронно и в палеозое, и в раннем мезозое. Геодинамическая позиция орогенных месторождений в рассмотренных провинциях систематически не совпадает с моделью Groves et al. (1998). В частности, модель предполагает наличие ювенильной островной дуги во фронте континентальной. Такие обстановки наблюдаются только в районе Филиппинского моря, но там присутствуют две островные дуги, а не континентальная окраина. Поэтому обстановки в модели Groves et al. (1998) являются, скорее, исключением, чем правилом. Скорее следует противопоставлять геодинамические модели для месторождений по аналогии с разными окраинами современного Тихого океана (Западно-Тихоокеанской и Андийской), т.е. ювенильной островной дуги-задугового бассейна и континентальной магматической дуги, соответственно.

5.2. Предлагаемая геодинамическая модель

Рисунок 5.2 предлагает пересмотренную модель. В пределах океанического спредингового центра и задуговых бассейнах с корой океанического типа происходит формирование колчеданных месторождений Кипрского типа и типа Бесси. Для развитых ювенильных магматических дуг характерно наличие колчеданных месторождений типа Куроко, отсутствующих в континентальных дугах. Однако оба типа дуг содержат порфирово-эпитермальными системы со скарнами. При детальном рассмотрении выясняется, что и они имеют отличия. Так, для порфировых месторождений в островных

дугах характерна повышенная роль золота, тогда как в континентальных дугах доминирует медь, а золото имеет подчиненную роль.

Орогенные месторождения золота в предлагаемой модели располагаются в тылу обоих типов магматических дуг с формированием при коллизии дуги с континентом (для ювенильных дуг) или надвигании на континент (для континентальных). В первом случае на пассивной окраине задугового бассейна формируются и затем деформируются более мощные осадочные толщи (с углеродистыми сланцами), в которых на стадии синколлизии деформаций формируются более крупные орогенные месторождения, чем в тылу континентальных островных дуг.

Золоторудные месторождения в связи с гранитоидами также характерны для Западно-Тихоокеанского типа. Их формирование тоже является синдеформационным. При этом такие месторождения имеют некоторые общие характеристики с порфировыми и в прошлом иногда выделялись как золото-порфировый тип.

Для континентальных дуг характерны обстановки задугового растяжения с полиметаллической минерализацией в осадочных породах. В этой же обстановке формируются некоторые эпитермальные Au-Ag месторождения и золоторудные месторождения карлинского типа. Последние пока неуверенно выделяются для задуговых обстановок в тылу островных магматических дуг ЦАСП.

ЗАПАДНО-ТИХООКЕАНСКИЙ ТИП

АНДИЙСКИЙ ТИП

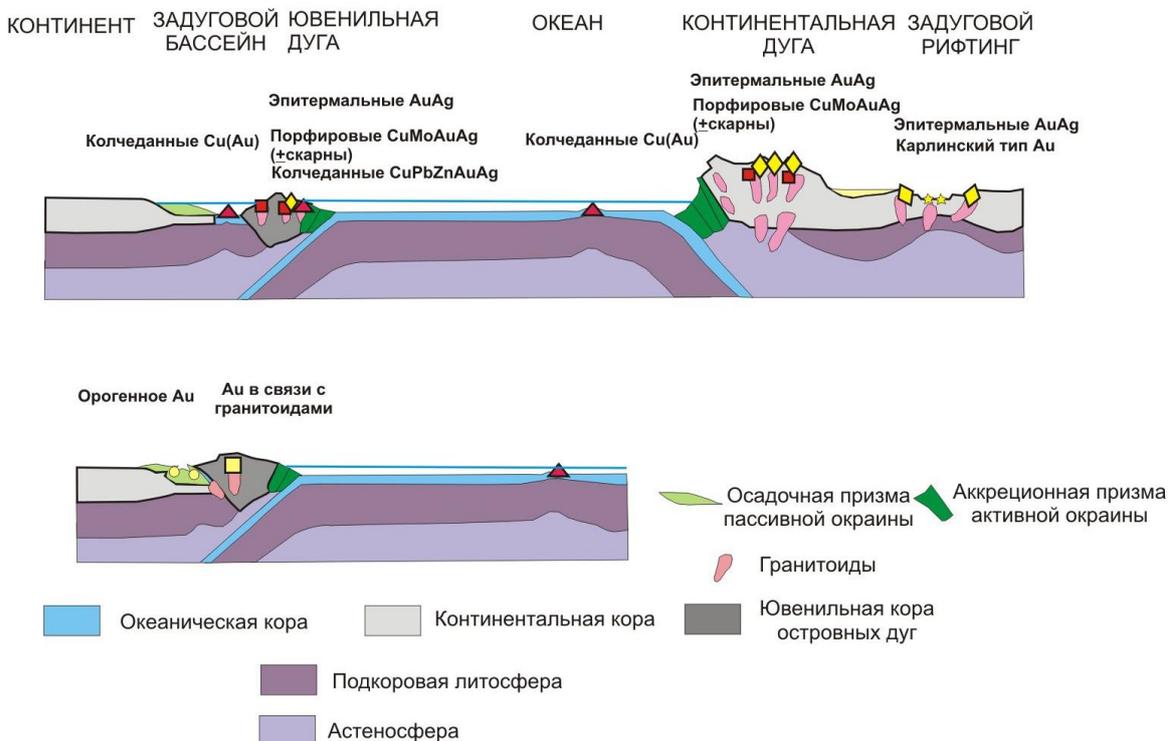


Рис. 5.2. Геодинамическая модель формирования «островодужных» и «коллизионных» месторождений Западно-Тихоокеанского и Андийского типов.

5.3. Геодинамическая эволюция и металлогения Центральной Азии

В разных регионах мира отмечена взаимосвязь интенсивности формирования золоторудных месторождений как с локальными тектоническими, так и с глобальными геодинамическими процессами сбора и распада суперконтинентов (Groves et al., 1998; Kerrich et al., 2005). В связи с этим представляется важным провести анализ геодинамической и металлогенической эволюции ЦАСП в возрастных рамках

формирования рассмотренных золоторудных месторождений от 817 до 100 млн лет, что целиком перекрывает геотектонический цикл от распада суперконтинента Родиния до сбора суперконтинента Пангея и преобразования части последней в Евразию.

Ключевым моментом для понимания эволюции ЦАСП является расшифровка того, как кратоны Сино-Турана и кратонные террейны оказались внутри ЦАСП. По современным представлениям их положение до распада Родинии (Рис. 5.3А) может быть реконструировано либо полностью между Австралией и Лаврентией, либо только кратоны Северного Китая и Алая-Тарима находились там, а Янцзы и Индокитай располагались вблизи Индии (Jing et al., 2015). В последнем случае Сино-Туран мог собраться в единую континентальную массу 600-540 млн лет назад (Рис. 5.3Б) к северу от Австралии. В любом случае мезопротерозойские (>1 млрд лет) исседонские террейны ЦАСП располагались между Австралией и Лаврентией, занимая примерно такое же положение как Гренвилльский пояс Лаврентии и орогены Антарктики-Австралии.

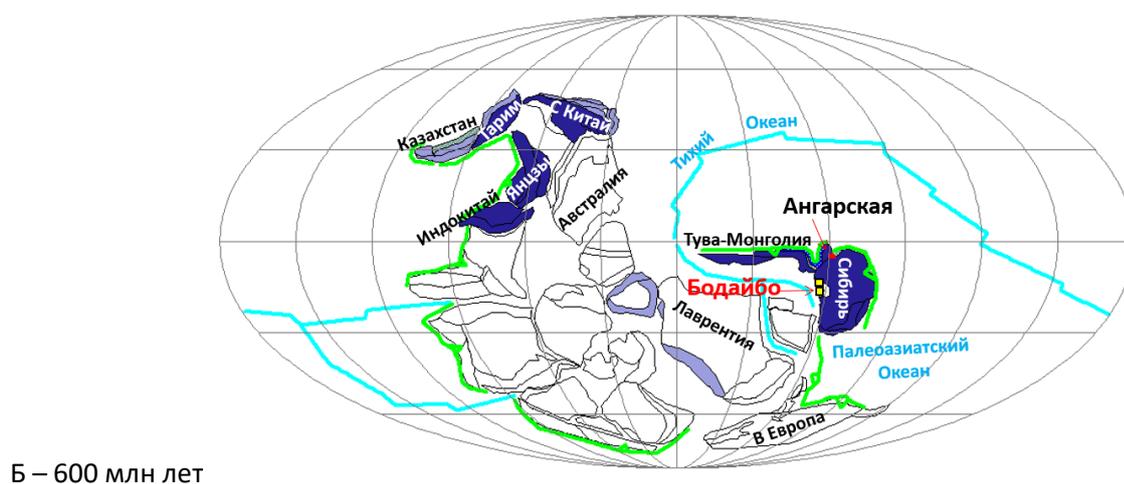
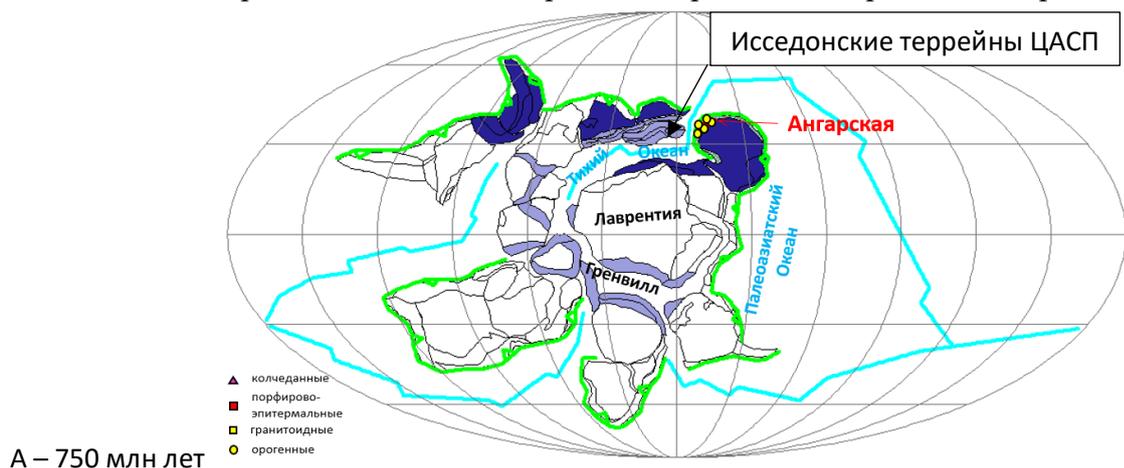
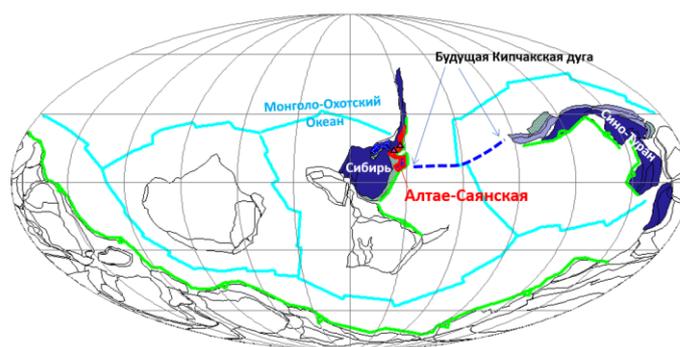


Рис. 5.3. Палеотектонические реконструкции суперконтинента Родиния (А) и его распада при раскрытии Тихого океана (Б).

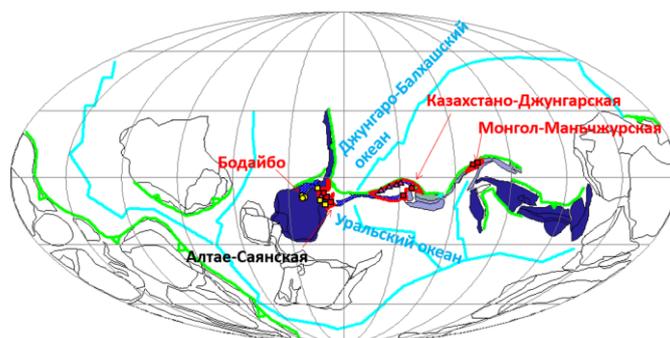
По современным представлениям (Metelkin et al., 2012) в неопротерозое Сибирь располагалась к северу от Лаврентии так, что ее северный и восточный края были обращены к океану, который, видимо, можно считать Палеоазиатским. Такая реконструкция соответствует пониманию формирования Ангарской золоторудной провинции независимо от ЦАСП.

Раскрытие Тихого океана происходило при проникновении оси спрединга между Австралией-Антарктидой и Лаврентией (Scotese, 2001; Merdith et al., 2020). Кроме Тихоокеанской и Монголо-Охотской осей спрединга в начале палеозоя также произошло раскрытие океана Япетус, разделившего Восточную Европу и Лаврентию. В отношении кратонных террейнов ЦАСП и Сино-Турана проникновение осей спрединга реконструируется таким образом, что Сибирь-Тува-Монголия и Сино-Туран с исседонскими мезопротерозойскими террейнами оказались по разные стороны от Тихоокеанской оси спрединга (Рис. 5.3Б).

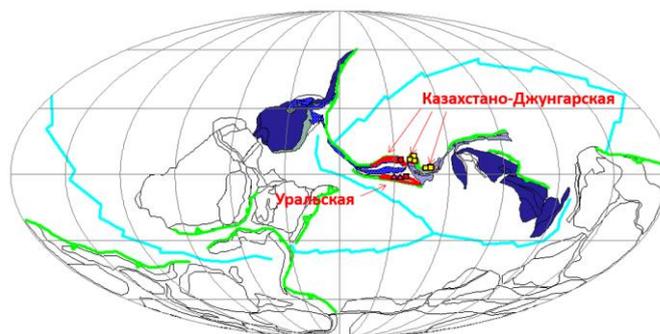
В палеозое Сибирь-Тува-Монголия в основном вращались по часовой стрелке по направлению к Восточной Европе (Рис. 5.4). При этом в начале палеозоя образовалась ювенильная Кузнецко-Хамсаринская дуга, в которой началось формирование первых колчеданных и Cu-Au-порфировых месторождений Алтае-Саянской провинции (Рис. 5.4А).



А – 540 млн лет



Б – 510-475 млн лет



В – 440 млн лет

Рис. 5.4. Палеотектонические реконструкции для стадии формирования (А) Кипчакско-Сарыаркинской дуги, ее раскола (Б) и внутридуговых столкновений и инициации Уральской дуги (В) с последовательным формированием порфировых, колчеданных и гранитоидных золоторудных месторождений Казахстано-Джунгарской провинции. Составлено с использованием многочисленных источников.

На этом фоне Сино-Туран перемещался в сторону Восточной Европы вместе с мезопротерозойскими (исседонскими) террейнами (Рис. 5.4А). На их краю формировались неопротерозойские магматические дуги Казахстана (Дегтярев и др., 2017). К рубежу неопротерозоя и палеозоя между Сибирью и Сино-Тураном, возможно, при реорганизации трансформного разлома сформировалась Кипчакская ювенильная дуга, соединившая их, с одной стороны, и разделившая Палеоазиатский океан на Уральский и Джунгаро-Балхашский, с другой (Рис. 5.4А,Б).

В Кипчакской дуге, большей частью расположенной в современной Казахстано-Джунгарской металлогенической провинции, тоже стали формироваться порфировые месторождения (490 млн лет), а при ее расколе и образовании Сарыаркинской дуги – колчеданные (~475 млн лет). В Алтае-Саянской провинции практически одновременно (~490 млн лет назад) происходили тектонические реорганизации с формированием орогенных и «гранитоидных» месторождений золота. Почти в это же время формировались и орогенные месторождения Бодайбо, накладываясь на деформированную неопротерозойскую пассивную окраину Сибири далеко в тылу (700 км) раннепалеозойской зоны субдукции Забайкалья.

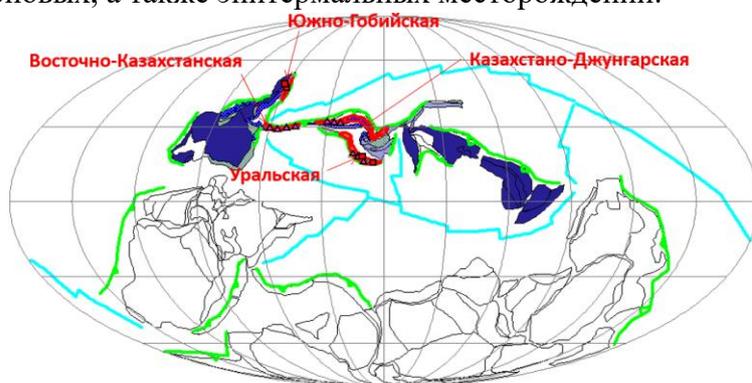
К концу ордовика (Рис. 5.4В) новая тектоническая реорганизация вызвала столкновение разнородных террейнов уже в Кипчакской дуге. В Северном Казахстане и несколько ранее в Северном Тянь-Шане они оказались «сшиты» гранитоидами с золотым оруденением (445 млн лет). Эти раннепалеозойские тектонические реорганизации маркируют начало формирования новой континентальной коры ЦАСП и ее ороклинное изгибание между двумя океанами.

В среднем и позднем палеозое (Рис. 5.5) сшивающие дуги образовывались на обеих окраинах раннепалеозойского корового домена. Си-Ау-порфировые и колчеданные месторождения формировались и на внешней (уральской и рудно-алтайской), и на внутренней, обращенной к Джунгаро-Балхашскому океану, сторонах Казахского ороклина.

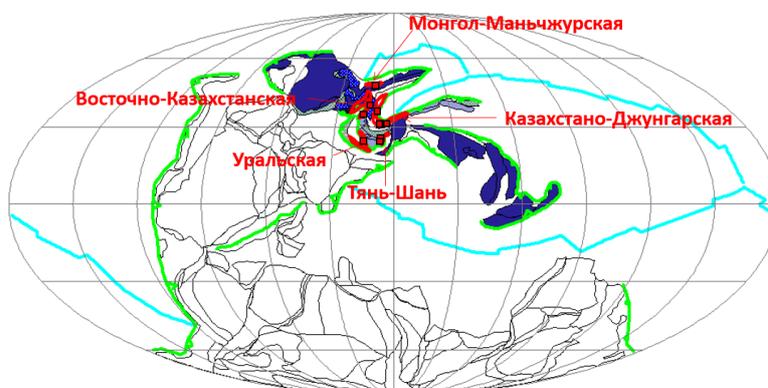
В позднем палеозое сближение Сибири с Восточной Европой продолжалось с вращением первой по часовой стрелке. Как следствие, все магматические дуги, оказавшиеся между ними, испытали новое ороклинное изгибание. В Казахском нагорье на этом фоне происходила миграция фронтов островодужного магматизма к юго-востоку. На Урале еще в раннем палеозое произошло раскрытие задугового бассейна Зауральской зоны, а в начале карбона его литосфера субдуцировала под казахстанские палеозоиды с формированием Курама-Валерьяновско-Саурской дуги с ее последующей коллизией с Уральскими дугами, а затем и всех вместе с Восточной Европой. В ее разных частях формировались порфировые и эпитеpmальные месторождения.

Закрытие Джунгаро-Балхашского океана произошло в конце палеозоя (Рис. 5.5В) одновременно с началом коллизии между Восточно-Европейским кратоном и Уральской дугой, уже вместе с Казахстаном. Коллизия уральских дуг с Восточной Европой продвигалась диахронно в северном направлении вплоть до начала мезозоя, что консолидировало всю западную часть ЦАСП, в том числе за счет коллизии Алай-Тарима с Казахстаном и орогенезом на Тянь-Шане. Эти события маркируют начало объединения Пангеи. Субдукция продолжала работать только со стороны Палеотетиса и, вероятно, в зоне его влияния обильно минерализованная Тянь-Шаньская золоторудная провинция наложилась на ЦАСП.

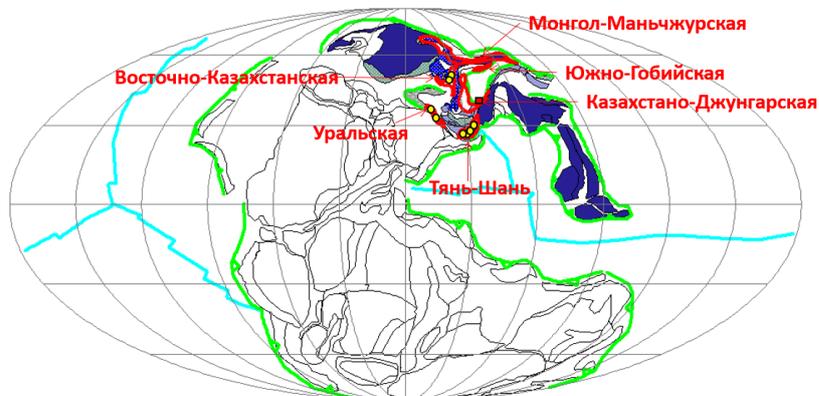
К 240 млн лет назад центр Лавразийской части Пангеи уже подвергся воздействию Сибирского суперплюма, породившего Норильский рудный район (около 250 млн лет назад). При этом Монголо-Охотский океан оставался широко открытым (Рис. 5.6А). После формирования порфировых месторождений в континентальных дугах Монголии (Эрденет – 240 млн лет) более молодые порфировые, скарновые и эпитермальные месторождения регистрируются к востоку в связи тектоно-металлогеническими событиями в Большехинганской дуге и в Алдано-Становой области, т.е. при субдукции литосферы Монголо-Охотского океана вдоль еще неизогнутой зоны субдукции, над которой происходило образование золото-медно-порфировых, скарновых, а также эпитермальных месторождений.



А – 390 млн лет



Б – 320 млн лет



В – 280 млн лет

Рис. 5.5. Палеотектонические реконструкции для стадии формирования сшивающих дуг Казахстано-Джунгарской провинции и развития Уральской дуги и их золоторудных провинций (А, Б), а также коллизии всех дуг с Восточной Европой с синхронным образованием орогенных месторождений в разных частях запада ЦАСП. Составлено с использованием многочисленных источников.

Закрытие Монголо-Охотского океана происходило ножницеобразно в результате движения Сино-Турана в сторону Сибири (Рис. 5.6Б). При этом формировались новые порфирово-эпитептермальные и «гранитоидные» системы, а после закрытия вдоль Монголо-Охотской сутуры – орогенные месторождения Монголо-Маньчжурской провинции и все месторождения карлинского(?) типа Алдано-Становой провинции.

К 95 млн лет назад вся надсубдукционная тектоно-магматическая активность и рудогенерация сместились в Сихотэ-Алиньскую провинцию Западно-Тихоокеанского пояса (Рис. 5.6В). По существу, строение, состав террейнов и их металлогения в Западно-Тихоокеанском поясе мало отличается от ЦАСП, в значительной степени унаследовав его тектонический и металлогенический стиль.

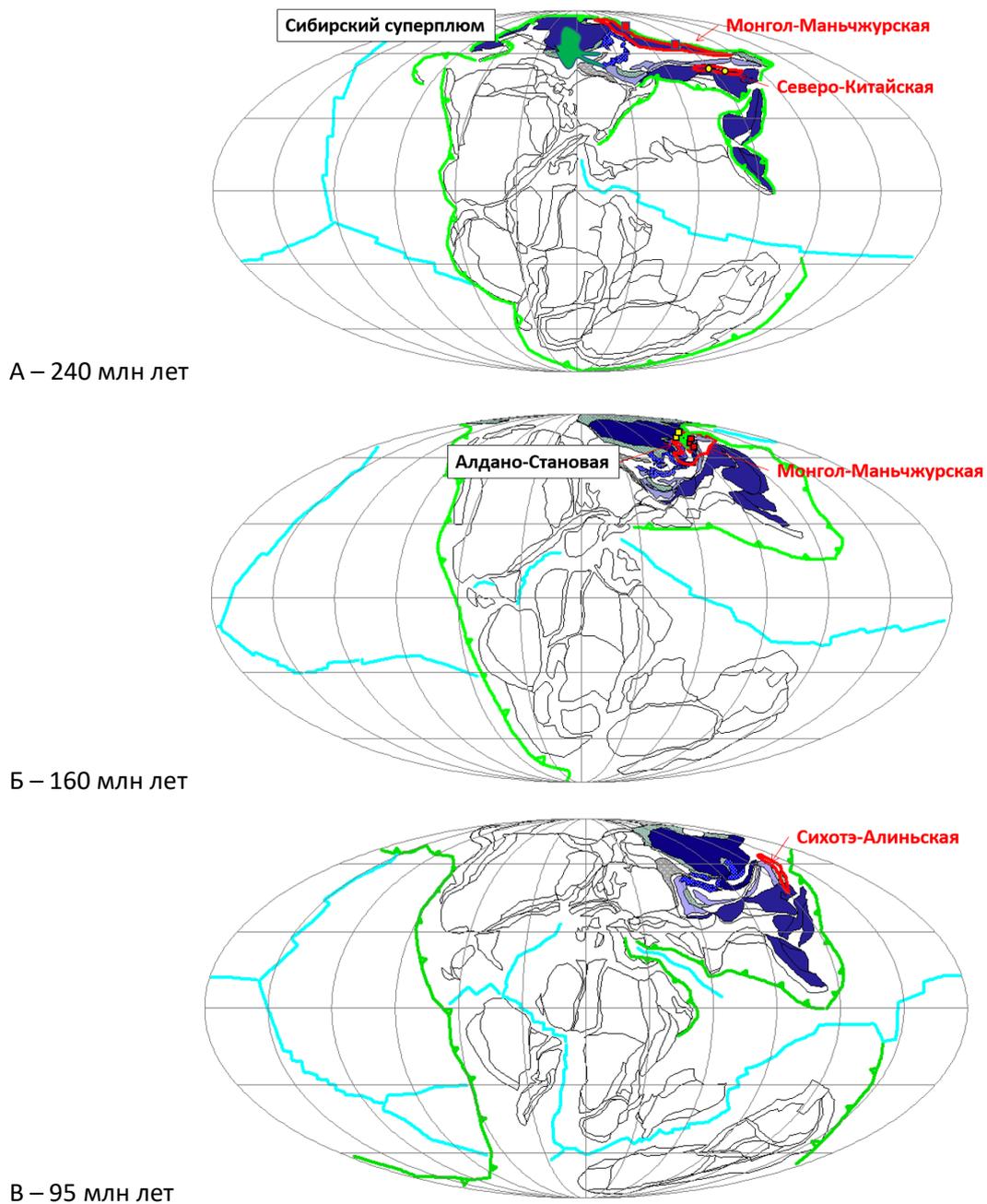


Рис. 5.6. Палеотектонические реконструкции для стадии формирования сшивающих дуг Монголо-Маньчжурской и Сихотэ-Алиньской золоторудных провинций (А, Б) и закрытия Монголо-Охотского океана (В) в восточной части ЦАСП. Составлено с использованием многочисленных источников.

Таким образом, можно сформулировать пятое защищаемое положение:

Концентрация золота в месторождениях благородных и цветных металлов любого размера происходила в ЦАСП и его обрамления пульсационно с неопротерозоя до конца мезозоя на фоне распада суперконтинента Родиния, сбоя суперконтинента Пангея и последующего отчленения от него Евразии, в целом совпадая с крупными тектоническими событиями.

ГЛАВА 6. ФАНЕРОЗОЙСКИЕ ЗОЛОТОРУДНЫЕ ПРОВИНЦИИ МИРА И ЦЕНТРАЛЬНАЯ АЗИЯ

Как показано в предыдущих главах, ЦАСП сформирован в результате длительных направленных геодинамических процессов, среди которых для золотоносности наиболее важными являются островодужные и коллизионные. В меньшей степени развиты континентальные магматические дуги. Они присутствуют в пределах Сибирского кратона и на поздних стадиях развития на востоке ЦАСП. Именно в последних и выдерживается металлогеническая зональность модели Groves et al. (1998).

Наибольшее сходство ЦАСП имеет с современными геодинамическими обстановками Западно-Тихоокеанской активной окраины, особенно в области сочленения Юго-Восточной Азии и Австралии, включая присутствие ороклинов. Для порфировых и эпитеpmальных месторождений региона тоже установлено прерывисто-пульсационное формирование, увязанное с геодинамической эволюцией (Barley et al., 2004; Macpherson, Hall, 2002). По содержаниям металлов порфирово-эпитеpmальные месторождения региона сопоставимы с Центрально-Азиатскими. Общие ресурсы золота в порфирово-эпитеpmальных золоторудных системах Юго-Восточной Азии оцениваются в 25 750 т, а во всех Циркум-Тихоокеанских складчатых поясах – в 138300т (Schodde, 2019).

В Северо-Тихоокеанском сегменте развит полный спектр золоторудных месторождений при незначительном количестве колчеданных. Для всего сегмента характерно присутствие золота в порфировых, эпитеpmальных и карлинских месторождениях, а также в гранитоидных интрузиях Аляски-Канады и в орогенных месторождениях Северо-Востока России. Совокупные ресурсы оцениваются в 50 900 т золота, что сопоставимо с оценкой для ЦАСП.

В Андах находятся самые крупные Cu-порфировые системы планеты, но бедное золото в них распределено в большом объеме. Совокупные ресурсы золота от Карибского региона до юга Чили составляют ~25 600 т.

В поясе Тетис почти все золото связано с порфировыми и эпитеpmальными системами, а орогенные месторождения практически отсутствуют. Совокупные ресурсы оцениваются в 13 175 т золота.

Орогенные месторождения Аппалач и палеозойской Европы имеют небольшие размеры, а порфировые и эпитеpmальные – немногочисленны. На Иберийском полуострове развиты колчеданные месторождения. Совокупные ресурсы всего региона оцениваются в ~1600 т золота.

Приведенная статистика ставит Центральную Азию на 2 место по общему количеству фанерозойского золота после Северной Пацифики. Безусловным мировым лидером регион является по орогенному золоту. Месторождения в связи с гранитоидами присутствуют в нескольких провинциях. Мировое значение имеют палеозойские и мезозойские порфирово-эпитеpmальные системы, которые при средних содержаниях

меди несут повышенные содержания золота, что и делает их экономически конкурентоспособными. Месторождения золота карлинского типа выделяются с оговорками. Колчеданные месторождения – одни из крупнейших в мире, а по количеству золота объективно превосходят все остальные провинции такого типа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ресурсы золота Центральной Азии сопоставимы с Северо-Тихоокеанским складчатым поясом, превосходя все остальные фанерозойские орогенные пояса мира.

Около 27% от общего количества золота содержится как попутный продукт в колчеданных и порфириновых системах, а также в скарнах. Как основной металл (73% от общего количества) золото присутствует в эпитермальных, орогенных и гранитоидных месторождениях. Орогенные системы преобладают по общему количеству золота, за ними следуют порфириновые, гранитоидные, колчеданные и эпитермальные, а также месторождения возможного карлинского типа.

Оценка количества золота в месторождениях, образовавшихся за счет островодужных (37%) и коллизионных (63%) процессов, показывает преимущество последних.

В Центральной Азии выделяются двенадцать провинций, разделенных по удельной золотоносности на первый, второй и третий ранги. В каждой провинции выявляется широкий спектр типов и возрастов месторождений, которые могут быть как пространственно совмещены (Урал), так и зонально разобщены (Тянь-Шань, Казахстано-Джунгарская, Монголо-Маньчжурская провинции), отражая устойчивые или меняющиеся палеозойские, мезозойские и даже кайнозойские геодинамические обстановки. Наибольшие концентрации золота по многим параметрам регистрируются в Тянь-Шаньской провинции.

Орогенное золото некоторых провинций наложилось на более древние тектонические единицы в начале палеозоя (Бодайбо), конце палеозоя (Тянь-Шань, Урал, Восточный Казахстан), а также в конце мезозоя (Монголо-Маньчжурская и Алдано-Становая). Такие провинции оказываются наиболее крупными по количеству золота. Формирование орогенных и «гранитоидных» месторождений, содержащих золото как основной продукт, происходило преимущественно при коллизионных деформациях осадочных толщ в задуговых обстановках, а не в аккреционных комплексах во фронтальных частях островных дуг.

Концентрация золота в месторождениях благородных и цветных металлов ЦАСП и его обрамления происходила пульсационно. Древнейший золоторудный эпизод Центральной Азии относится к пока плохо изученным зеленокаменным поясам раннего докембрия юга Сибирского кратона, а самый молодой – к островодужным и коллизионным процессам конца мезозоя на востоке Евразии. Большинство экономически важных золоторудных месторождений сформировалось в несколько пульсов в течение 600 млн лет на фоне распада суперконтинента Родиния и сбора Пангеи. Однако неопротерозойское (830-682 млн лет) золото Ангарской провинции сформировалось большей частью еще до распада Родинии на западном краю Сибирского кратона, а золото Сихотэ-Алиньской провинции - после окончания орогенных событий в ЦАСП на активной восточной окраине Евразии уже после распада Пангеи.

Выводы, изложенные в данной работе, было бы невозможно сделать без развития современных прецизионных методов датирования и их массового применения при

изучении и месторождений, и вмещающих их породных комплексов. Однако далеко не все приведенные в этой работе месторождения имеют точно установленные возраста, а для многих датированных, в том числе для гигантских, остается нерешенным вопрос точного возраста. Эта ситуация остается динамичной и одной из будущих задач является датирование месторождений.

Также было бы невозможно получить приведенные результаты без массовой открытой отчетности по ресурсам золоторудных месторождений в научных публикациях, докладах на конференциях и корпоративных отчетах. Новые геологоразведочные открытия и доразведка, особенно крупных месторождений и рудных узлов, не только увеличат общие ресурсы золота Центральной Азии, но и повлияют на оценку вклада разных типов месторождений в общий баланс ресурсов золота. При этом даже для некоторых уже открытых месторождений не всегда ясен их тип, а, следовательно, и генезис. Проявления и небольшие месторождения золота в раннедокембрийских зеленокаменных поясах Сибирского кратона (Пинигинское) являются относительно новым типом для России, тогда как он является доминирующим для Австралии и Канады, производящих сопоставимое с Россией количество металла ежегодно (Yakubchuk, 2023). Их разведка может привести как изменениям в понимании геологии, так и ресурсного потенциала страны.

Учет вклада россыпного золота также изменит пропорции в общих ресурсах золота. Решение этой задачи представляется необходимым, но трудновыполнимым из-за большого количества россыпей, доступ к данным по которым ограничен и требует отдельного кропотливого исследования. Приведенная выше грубая оценка в 7000 т золота для россыпей Центральной Азии сопоставима с общими ресурсами золота в порфировых и «гранитоидных» месторождениях региона или около 14% от общих ресурсов золота Центральной Азии, если их принимать во внимание. Общие начальные ресурсы россыпного золота оцениваются в чуть <50% от золота в островодужных и около 25% от золота в орогенных системах.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Научные статьи, опубликованные в журналах Scopus, WoS, RSCI, а также в изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности:

1. *Дегтярев К.Е., Ступак А.Ф., Якубчук А.С.* Девонские офиолиты Джунгарского Алатау (Южный Казахстан) // Доклады Академии наук. 1993. Т. 333, № 1. С. 63–65. RSCI (0,16 авторского листа, 0,005 п.л., вклад автора 10%, импакт-фактор РИНЦ – 0,905)
2. *Соборнов К.О., Якубчук А.С.* Плитотектоническое развитие и формирование нефтегазоносных бассейнов Северной Евразии // Геология нефти и газа. 2006. №2. С. 7-14. RSCI (0,44 авторского листа, 0,33 п.л., вклад автора 49%, импакт-фактор РИНЦ – 0,691)
3. *Старостин В.И., Борисенко В.И., Соколов Б.А., Якубчук А.С.* Горно-геологический комплекс России в условиях глобализации мировой экономики // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2002. № 2. С. 3-10. RSCI (0,44 авторского листа, 0,33 п.л., вклад автора 60%, импакт-фактор РИНЦ – 0,38)
4. *Якубчук А.С.* Тектоническая позиция офиолитов в структуре палеозойд Центрального Казахстана // Геотектоника. 1990. № 5. С. 55–68. RSCI (0,77 авторского листа, 0,58 п.л., импакт-фактор РИНЦ – 0,966)

5. **Якубчук А.С.** От Кенорлэнда до современных континентов: тектоника и металлогения // Геотектоника. 2019. № 2. С. 3–32. RSCI (1,66 авторского листа, 1,25 п.л., импакт-фактор РИНЦ – 0,966)
6. **Якубчук А.С., Дегтярев К.Е.** О характере сочленения Чингизского и Бошекульского направлений в каледонидах северо-востока Центрального Казахстана // Доклады академии наук СССР. 1991. Т. 317, № 4. С. 957–962. RSCI (0,33 авторского листа, 0,25 п.л., вклад автора 55%, импакт-фактор РИНЦ – 0,905)
7. **Degtyarev K.E., Luchitskaya M.V., Tretyakov A.A., Pilitsyna A.V., and Yakubchuk A.S.** Early Paleozoic suprasubduction complexes of the North Balkhash ophiolite zone (central Kazakhstan): Geochronology, geochemistry and implications for tectonic evolution of the Junggar-Balkhash Ocean // Lithos. 2021. Vol. 380-381, P. 105818. Scopus (1,16 авторского листа, 0,88 п.л., вклад автора 20%, импакт-фактор SJR – 1,653)
8. **Degtyarev K.E., Ryazantsev A.V., Tretyakov A.A., Tolmacheva T.Yu., Yakubchuk A.S., Kotov A.V., Salnikova E.B., Kovach V.P.** Neoproterozoic-early Paleozoic tectonic evolution of the western part of the Kyrgyz ridge (northern Tien Shan) Caledonides // Geotectonics, 2013. Vol. 47, no. 6. P. 377–417. Scopus (2,22 авторского листа, 1,66 п.л., вклад автора 15%, импакт-фактор SJR – 1,653)
9. **Degtyarev K.E., Tolmacheva T.Y., Tretyakov A.A., Kotov A.B., Yakubchuk A.S., Salnikova E.B., Wang Kuo-Lun.** Polychronous formation of the ophiolite association in the Tekturmas zone of Central Kazakhstan inferred from geochronological and biostratigraphic data // Doklady Earth Sciences. 2017. Vol. 472, no. 1. P. 26–30. Scopus (0,27 авторского листа, 0,21 п.л., вклад автора 10%, импакт-фактор SJR – 0,361)
10. **Degtyarev K.E., Tolmacheva T.Yu., Ryazantsev A.V., Tretyakov A.A., Yakubchuk A.S., Kotov A.B., Salnikova E.B., Yakovleva S.Z., Gorokhovskii B.M.** Structure, age substantiation and tectonic setting of the Lower-Middle Ordovician volcanic-sedimentary and plutonic complexes of the western part of the Kyrgyz Range (Northern Tien Shan) // Stratigraphy and Geological Correlation. 2012. Vol. 20, no. 4. P. 317-345. Scopus (1,55 авторского листа, 1,16 п.л., вклад автора 10%, импакт-фактор SJR – 0,464)
11. **Degtyarev K., Yakubchuk A., Tretyakov A., Kotov A., Kovach V.** Precambrian geology of the Kazakh Uplands and Tien Shan: An overview // Gondwana Research. 2017. Vol. 47. P. 44–75. Scopus (1,83 авторского листа, 1,375 п.л., вклад автора 30%, импакт-фактор SJR – 2,283)
12. **Degtyarev K.E., Yakubchuk A.S., Luchitskaya M.V., Tretyakov A.A.** Age and structure of a fragment of the Early Cambrian ophiolite sequence (North Balkhash zone, central Kazakhstan) // Doklady Earth Sciences. 2020. Vol. 491, no. 1. P. 111–116. Scopus (0,33 авторского листа, 0,25 п.л., вклад автора 30%, импакт-фактор SJR – 0,361)
13. **Lobanov K., Yakubchuk A., Creaser R.A.** Besshi-type VMS deposits of the Rudny Altai (Central Asia) // Economic Geology. 2014. Vol. 109. no. 5. P. 1403–1430. Scopus (1,55 авторского листа, 1,16 п.л., вклад автора 40%, импакт-фактор SJR – 2,146)
14. **Rodionov S.M., Fredericksen R.S., Berdnikov N.V., Yakubchuk A.S.** The Kuranakh epithermal gold deposit (Aldan shield, east Russia) // Ore Geology Reviews. 2014. Vol. 59. P. 55–65. Scopus (0,61 авторского листа, 0,46 п.л., вклад автора 10%, импакт-фактор SJR – 1,172)
15. **Yakubchuk A.** Re-deciphering the tectonic jigsaw puzzle of northern Eurasia // Journal of Asian Earth Sciences. 2008. Vol. 32, no. 2-4. P. 82–101. Scopus (1,11 авторского листа, 0,83 п.л., импакт-фактор SJR – 1,034)
16. **Yakubchuk A.** The gyroscopic Earth and its role in supercontinent and metallogenic cycles // Ore Geology Reviews. 2008. Vol. 34, no. 3. P. 387–398. Scopus (0,66 авторского листа, 0,5 п.л., импакт-фактор SJR – 1,172)

17. *Yakubchuk A.* Diamond deposits of the Siberian craton: Products of post-1200 Ma plume events affecting the lithospheric keel // *Ore Geology Reviews*. 2009. Vol. 35, no. 2. P. 155–163. Scopus **(0,66 авторского листа, 0,5 п.л., импакт-фактор SJR – 1,172)**
18. *Yakubchuk A.S.* Revised Mesozoic–Cenozoic orogenic architecture and gold metallogeny in the northern Circum-Pacific // *Ore Geology Reviews*. 2009. Vol. 35, no. 3-4. P. 447–454. Scopus **(0,44 авторского листа, 0,33 п.л., импакт-фактор SJR – 1,172)**
19. *Yakubchuk A.* Architecture and mineral deposit settings of the Altaid orogenic collage: a revised model // *Journal of Asian Earth Sciences*. 2004. Vol. 23, no. 5. P. 761–779. Scopus **(1 авторский лист, 0,66 п.л., импакт-фактор SJR – 1,034)**
20. *Yakubchuk A.* Restoring the supercontinent Columbia and tracing its fragments after its breakup: A new configuration and a super-horde hypothesis // *Journal of Geodynamics*. 2010. Vol. 50, no. 3-4. P. 166–175. Scopus **(0,55 авторского листа, 0,42 п.л., импакт-фактор SJR – 0,914)**
21. *Yakubchuk A.* Evolution of the Central Asian orogenic supercollage since late Neoproterozoic revised again // *Gondwana Research*. 2017. Vol. 47. P. 372–398. Scopus **(1,44 авторского листа, 1,08 п.л., импакт-фактор SJR – 2,283)**
22. *Yakubchuk A.* Russian gold mining: 1991 to 2021 and beyond // *Ore Geology Reviews*. 2023. Vol. 153. P. 105287 <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2023.105287>. Scopus **(0,55 авторского листа, 0,42 п.л., импакт-фактор SJR – 1,172)**
23. *Yakubchuk A., Stein H., Wilde A.* Results of pilot Re–Os dating of sulfides from the Sukhoi Log and Olympiada orogenic gold deposits, Russia // *Ore Geology Reviews*. 2014. Vol. 59. P. 21–28. Scopus **(0,44 авторского листа, 0,33 п.л., вклад автора 55%, импакт-фактор SJR – 1,172)**

Иные публикации

24. *Борисенко В.И., Рязанцев А.В., Дегтярев К.Е., Якубчук А.С.* Палеозойская геодинамика Центрального Казахстана // *Тектонические исследования в связи со средне- и крупномасштабным геокартированием*. Москва. 1989. С. 81–95. **(0,83 авторского листа, 0,63 п.л., вклад автора 20%, импакт-фактор РИНЦ – 0)**
25. *Герасимова Н.А., Новикова М.З., Курковская Л.А., Якубчук А.С.* Новые данные по стратиграфии нижнего палеозоя Тектурмасского офиолитового пояса (Центральный Казахстан) // *Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический*. 1992. Т. 67, № 3. С. 60–76. **(0,88 авторского листа, 0,75 п.л., вклад автора 25%, импакт-фактор РИНЦ – 0)**
26. *Новикова М.З., Герасимова Н.А., Курковская Л.А., Якубчук А.С.* Стратиграфия нижнепалеозойских вулканогенно-кремнистых толщ Майкаин-Кызылтасского офиолитового пояса (Центральный Казахстан) // *Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический*. 1993. Т. 68, № 6. С. 47–63. **(0,9 авторского листа, 0,8 п.л., вклад автора 15%, импакт-фактор РИНЦ – 0)**
27. *Новикова М.З., Якубчук А.С., Кузнецов И.Е., Рязанцев А.В.* Тектоническая позиция и типы офиолитовых ассоциаций Центрального Казахстана // *Проблемы геологии и металлогении Центрального Казахстана*. 1993. Наука Москва. С. 48–57. **(0,44 авторского листа, 0,33 п.л., вклад автора 50%)**
28. *Якубчук А.С., Лобанов К.В., Шматов С.А.* Новое рудное золото Сергеевской площади (Забайкальский край) // *Рациональное освоение недр*, 2018. № 5, С. 34–39. **(0,33 авторского листа, 0,25 п.л., вклад автора 50%, импакт-фактор РИНЦ – 0)**
29. *Yakubchuk A.S.* Polychronous ophiolite belts of central Kazakhstan and their evolution // *Circum-Pacific ophiolites. Proceedings of the 29th International Geological Congress, Part D*.

Utrecht, Netherlands: VSP Publishing. 1994. P. 235–254. **(0,55 авторского листа, 0,44 п.л., импакт-фактор РИНЦ – 0)**

30. *Yakubchuk A.S., Degtyarev K.E.* The remnants of the Paleo-Asian Ocean within central Kazakhstan // Reconstruction of the Paleo-Asian Ocean. Proceedings of the 29th International Geological Congress, Part B. Utrecht, Netherlands: VSP Publishing. 1994. P. 7–24. **(1 авторский лист, 0,75 п.л., вклад автора 55%, импакт-фактор РИНЦ – 0)**

31. *Yakubchuk A.S., Edwards A.C.* Auriferous Paleozoic accretionary terranes within the Mongol-Okhotsk suture zone, Russian Far East. International Congress on Earth Science, Exploration and Mining around the Pacific Rim Weber, Graeme, PACRIM '99 Congress proceedings, 1999. Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Publication Series, Australia. 1999. P. 347–358. **(0,66 авторского листа, 0,5 п.л., вклад автора 50%, импакт-фактор РИНЦ – 0)**

Монографии

32. *Herrington R.J., Puchkov V.N., Yakubchuk A.S.* A reassessment of the tectonic zonation of the Uralides: implications for metallogeny. Mineral deposits and Earth evolution. Geological Society London (London, England). 2005. Vol. 248. 280 p. **(0,77 авторского листа, 0,58 п.л., вклад автора 50%)**

33. *Sazonov A.M., Lobanov K.V., Zvyagina E.A., Leontiev S.I., Silyanov S.A., Nekrasova N.A., Nekrasov A.Y., Borodushkin A.B., Poperekov V.A., Zhuravlev V.V., Ilyin S.S., Kalinin Yu A., Savichev A.A., Yakubchuk A.S.* Chapter 10: Olympiada gold deposit, Yenisei Ridge, Russia. Geology of the World's Major Gold Deposits and Provinces. Society of Economic Geologists, USA. 2020. Special Publication 23. 845 p. **(1,33 авторского листа, 1 п.л., вклад автора 15%)**

34. *Vursiy G.L., Zibrov I.A., Lobov S.G., Yakubchuk A.S.* Chapter 25: The Sukhoi Log gold deposit, Russia. Geology of the World's Major Gold Deposits and Provinces. Society of Economic Geologists, USA. 2020. Special Publication 23. 845 p. **(1,1 авторского листа, 0,83 п.л., вклад автора 20%)**

35. *Yakubchuk A.* Kazakhstan. Encyclopaedia of European and Asian regional geology. Springer Dordrecht. 1997. 804 p. **(0,88 авторского листа, 0,66 п.л., вклад автора 100%)**

36. *Yakubchuk A.* The Baikalide-Altai, Transbaikal-Mongolian and North Pacific orogenic collages: similarity and diversity of structural patterns and metallogenic zoning. The Timing and Location of Major Ore Deposits in an Evolving Orogen. Geological Society of London. 2002. Vol. 204. 368 p. **(1,33 авторского листа, 1,05 п.л.)**

37. *Yakubchuk A.* Russia: East of the Urals. Encyclopedia of Geology. United Kingdom: Academic Press. 2021. 5622 p. **(0,66 авторского листа, 0,5 п.л.)**

38. *Yakubchuk A., Cole A., Selmann R., Shatov V.* Tectonic setting, characteristics, and regional exploration criteria for gold mineralization in the Altai orogenic collage: the Tien Shan province as a key example. Integrated Methods for Discovery: Global Exploration in the Twenty-First Century. Society of Economic Geologists, USA. 2002. Special Publication 9. 382 p. **(1,33 авторского листа, 1 п.л., вклад автора 50%)**

39. *Yakubchuk A.S., Nikishin A.M.* Russia. Encyclopedia of Geology. Elsevier. 2005. 594 p. **(1 авторский лист, 0,75 п.л., вклад автора 60%)**

40. *Yakubchuk A.S., Shatov V.V., Kirwin D. et al.* Gold and base metal metallogeny of the Central Asian orogenic supercollage. Economic Geology 100th Anniversary Volume. 2005. 1133 p. **(1,88 авторского листа, 1,41 п.л., вклад автора 50%)**

41. *Yakubchuk A., Degtyarev K., Maslennikov V. et al.* Tectonomagmatic settings, architecture, and metallogeny of the Central Asian copper province. Geology and Genesis of Major Copper Deposits and Districts of the World: A Tribute to Richard H. Sillitoe. Society of

Economic Geologists, Inc. 2012. Special Publication 16. 618 p. **(1,66 авторского листа, 1,25 п.л., вклад автора 50%)**