

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

имени М.В. ЛОМОНОСОВА

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

На правах рукописи

ЯКУБЧУК Александр Сергеевич

МЕТАЛЛОГЕНИЯ ЗОЛОТА В ГЕОДИНАМИКЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

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

Диссертация на соискание ученой степени

доктора геолого-минералогических наук

Москва – 2023 г

СОДЕРЖАНИЕ

Содержание	1
ВВЕДЕНИЕ	5
Актуальность работы.....	5
Состояние проблемы	6
Цель исследования.....	6
Основные задачи исследования.....	6
Фактический материал и методы исследований.....	6
Личный вклад автора.....	8
Защищаемые положения.....	9
Научная новизна.....	9
Практическая значимость	10
Апробация результатов и степень достоверности.....	11
Публикации	12
Благодарности	12
ГЛАВА 1. ТЕКТОНИКА ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ	14
1.1. Общие положения и границы.....	14
1.2. Террейны, сшивающие комплексы и их домены	17
1.3. Выводы.....	24
ГЛАВА 2. ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА, ПРИНЦИПЫ ВЫДЕЛЕНИЯ И СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ЗОЛОТОРУДНЫХ ПРОВИНЦИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ	26
2.1. Геодинамическая позиция золоторудных месторождений.....	26
2.2. Классификация золоторудных месторождений.....	27
2.2.1. <i>Орогенные месторождения</i>	28
2.2.2. <i>Золото-порфировые и медно-золото-порфировые месторождения</i>	29
2.2.3. <i>Эпитермальное золото-серебряные месторождения</i>	31
2.2.4. <i>Месторождения карлинского типа</i>	32
2.2.5. <i>Месторождения в гранитоидных интрузиях</i>	33

2.2.6. Золото-колчеданные месторождения.....	34
2.2.7. Золото-скарновые месторождения.....	35
2.2.8. Золоторудные месторождения замещения карбонатов.....	35
2.2.9. Железо-окисдно-медно-золотые месторождения (IOCG).....	36
2.2.10. Другие типы месторождений.....	37
2.3. Металлогенические провинции Центральной Азии.....	38
2.4. Рудный потенциал металлогенических провинций.....	41
ГЛАВА 3. ЗОЛОТОРУДНЫЕ ПРОВИНЦИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ.....	44
3.1. Ангарская провинция	44
3.1.1. Общие положения.....	44
3.1.2. Тектоническая позиция золоторудных месторождений.....	45
3.2. Алтае-Саянская провинция.....	49
3.2.1. Общие положения.....	49
3.2.2. Тектоническая позиция золоторудных месторождений.....	50
3.3. Казахстано-Джунгарская провинция.....	52
3.3.1. Общие положения.....	52
3.3.2. Тектоническая позиция золоторудных месторождений.....	53
3.4. Восточно-Казахстанская провинция	57
3.4.1. Общие положения.....	57
3.4.2. Тектоническая позиция золоторудных месторождений.....	58
3.5. Южно-Гобийская провинция	60
3.5.1. Общие положения.....	60
3.5.2. Тектоническая позиция золоторудных месторождений.....	61
3.6. Тянь-Шаньская провинция	62
3.6.1. Общие положения.....	62
3.6.2. Тектоническая позиция золоторудных месторождений.....	63
3.7. Уральская провинция	66
3.7.1. Общие положения.....	66
3.7.2. Тектоническая позиция золоторудных месторождений.....	67
3.8. Бодайбинская провинция.....	71
3.8.1. Общие положения.....	71
3.8.2. Тектоническая позиция золоторудных месторождений.....	72

3.9. Монголо-Маньчжурская провинция.....	75
3.9.1. Общие положения.....	75
3.9.2. Тектоническая позиция золоторудных месторождений.....	76
3.10. Северо-Китайская провинция.....	80
3.10.1. Общие положения.....	80
3.10.2. Тектоническая позиция золоторудных месторождений.....	81
3.11. Алдано-Становая провинция.....	81
3.11.1. Общие положения.....	81
3.11.2. Тектоническая позиция золоторудных месторождений.....	83
3.12. Сихотэ-Алиньская провинция.....	86
3.12.1. Общие положения.....	86
3.12.2. Тектоническая позиция золоторудных месторождений.....	86
ГЛАВА 4. АНАЛИЗ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ И ПРОДУКТИВНОСТИ ЗОЛОТОРУДНЫХ ПРОВИНЦИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ.....	89
ГЛАВА 5. ЗОЛОТОРУДНЫЕ ПРОВИНЦИИ И ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ.....	98
5.1. Возрастные характеристики золоторудных месторождений.....	98
5.2. Предлагаемая геодинамическая модель.....	101
5.3. Геодинамическая эволюция и металлогения Центральной Азии.....	103
ГЛАВА 6. ФАНЕРОЗОЙСКИЕ ЗОЛОТОРУДНЫЕ ПРОВИНЦИИ И ЦЕНТРАЛЬНАЯ АЗИЯ.....	112
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	115
Список литературы.....	117
Приложения	
Приложение 1 Таблица общих ресурсов золотосодержащих месторождений Центральной Азии.....	150

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Золото присутствует во всех типах рудных месторождений на активных окраинах плит 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 порфирировых или колчеданных системах, то в более зрелых запечатывающих и континентальных дугах его роль становится более значимой (в том числе экономически) и часто определяющей как для порфирировых систем, так и для связанных с ними эпитеpmальных месторождений. Формирование преимущественно золоторудных месторождений в связи с гранитоидными интрузиями или в деформированных мощных осадочных толщах происходит близко-синхронно с крупными тектоническими (орогенными) событиями при перестройке внутри островных дуг или в их тыловых частях при их причленении к кратонам. Таким образом, ввиду присутствия в месторождениях различного типа золото проявляется в различных геодинамических обстановках.

Центральная Азия содержит одни из самых крупных золоторудных месторождений на планете как в виде основного, так и в виде попутного металла, наличие которого может сильно влиять на рентабельность отработки месторождений цветных металлов. В Центральной Азии находятся, пожалуй, одни из самых сложноустроенных орогенов на Земле, сформировавшиеся в результате многочисленных спрединговых, субдукционных и коллизионных событий. Расшифровка тектоники орогенов осложняется наличием ороклинов, из-за чего некоторые прошлые исследователи классифицировали их как мозаичные (Моссаковский и др., 1993). Около 50% площади орогенов Центральной Азии перекрыто мезо-кайнозойскими осадочными бассейнами, что осложняет расшифровку структуры, но эти бассейны, безусловно, имеют высокую экономическую значимость из-за наличия нефтегазовых месторождений, особенно в Западно-Сибирской провинции мирового значения. Поэтому для них имеется большое количество геофизических и прямых данных о строении фундамента, в пределы которого тектонические элементы могут быть прослежены из выходящих на поверхность орогенов.

Для региона за последние 30 лет были получены многочисленные новые геологические и особенно геохронологические данные, а также открыт ряд новых месторождений. Геохронологические датировки в фанерозойских и прилегающих неопротерозойских орогенах и кратонах охватывают временной диапазон от позднего докембрия до мезозоя, характеризуя как особенности металлогенического, так и геодинамического развития региона.

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 (Старостин и др., 2002; Yakubchuk, 2023) и менять представления о металлогении.

Состояние проблемы. Развитие прецизионных геохронологических методов сделало возможным датирование не только вмещающих пород, но и рудных компонентов, к возрасту которых всегда было повышенное внимание. В результате, например, было установлено, что некоторые рудные системы, которые, как считалось, формировались в течение десятков миллионов лет, были активными в течение очень коротких промежутков геологического времени порядка 1-5 млн лет как в молодых (мезозойско-кайнозойских), так и в древних архейско-протерозойских орогенах (Stein et al., 2001).

Не остались в стороне и неопротерозойско-палеозойские рудные системы, которые широко представлены в ЦАСП и датированы усилиями многих геологов и геологических организаций в разных странах (Россия, Казахстан, Кыргызстан, Узбекистан, Таджикистан, Монголия, Китай). 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, а также выявление пространственно-временных закономерностей их формирования с целью прогнозирования.

Основные задачи исследования

1. Выявить временные рамки золоторудных металлогенических событий в Центральной Азии и провести корреляцию разных золоторудных систем между собой.
2. Установить связь с тектономагматическими 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 и методы исследований. В основу работы положены фактические материалы, полученные автором в процессе многолетних (1984-2023 гг) исследований в различных регионах 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 (в Корнуолле (Sn), Парис Маунтин (Cu-колчеданный)); 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 (Au)); Китае (Золотой Треугольник 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), Унгличкан (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)).

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 геолого-разведочными 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-порфирово-скарновое Варваринское в Казахстане, Au-колчеданное Баян-Айраг в Монголии, 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, и Ниманском районах, а также на эпитермальное и порфировое оруденение в Нижнетумнинском районе 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; Аамуруско-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, но основаны в том числе и на многочисленных опубликованных данных.

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 порфировых 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 (коллизионными) 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. Тектоническое строение этого региона является сложным и его понимание постоянно развивается на основе новых данных, включая составление региональных тектонических карт, а также при получении новых геохронологических датировок как породных комплексов, так и руд. Автором в процессе геолого-разведочных работ было комплексно изучено нескольких рудных систем разного возраста, типа и местоположения (от Урала до Дальнего Востока, включая Среднюю Азию, Китай и Монголию).

Автор принимал участие в нескольких международных проектах (IGCP 283, проект Алтаиды (TUBITAK, Турция), опробование региональных траверсов (CERCAMS-NHM, Лондон, Великобритания), World Bank study (Оттава, Канада), рабочие семинары в горнодобывающих компаниях (Би-Эйч-Пи, Голд Филдс, Рио Тинто). Во многом впервые для этого региона была показана связь месторождений с геодинамическими обстановками, включая синхронизм с ороклинными деформациями, что отражено в нескольких статьях автора по региональной металлогении Центральной Азии. В работе отмечается, что гигантские месторождения Центральной Азии 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 общее тектоническое строение и геодинамическая эволюция Центральной Азии. Предложено отличающееся от общепринятого понимание позиции орогенных месторождений золота в геодинамической модели активных палео-окраин Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП). Так, показано, что наиболее крупные месторождения золота такого типа формируются не в аккреционных комплексах во фронте островных дуг, а в деформированных задуговых бассейнах в их тылу.

Сравнительный анализ общей золотоносности в фанерозойских поясах показывает, что неопротрозойско-мезозойские орогены Центральной Азии уступают только Северо-Тихоокеанским складчатым поясам.

Практическая значимость. За время своей карьеры в разных регионах мира автору довелось изучать и проводить разведку медно-золото-молибден-порфириновых, медно-колчеданных, золото-орогенных, эпитеpmальных, сульфидных медно-никелевых, золоторудных в связи с гранитоидными интрузиями, медистых песчаников, латеритно-никелевых и прочих типов месторождений. На ряде из них были получены первые промышленные пересечения, на других – проведена разведка с оценкой ресурсов и подсчетом запасов вплоть до стадии банковского ТЭО, а также построены и запущены рудники (Карчига и Варваринское в Казахстане, ряд объектов группы рудников Сент-Айвс в Австралии, опытно-промышленные работы на месторождении Сергеевское в Забайкальском крае, месторождение Баян-Айраг в Монголии).

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

Автор лично или в соавторстве участвовал в моделировании следующих месторождений различных типов, ресурсы и запасы которых объявлялись фондовых биржах Канады (TSX и TSX-V), Лондона (AIM), Йоханнесбурга (JSE), в ГКЗ Казахстана и России или для внутреннего пользования компаний, в которых автор работал:

- 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 свыше 700 т Au;
- Павлик (орогенное Au), Россия – на тот момент 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 гранитоидной интрузии), Россия – 45 т Au;
- Амуруско-Ристи (орогенное Au), Финляндия – 11 т Au;
- Ункурское (медистые песчаники с серебром), Россия – 500 тыс т Cu экв;
- Берегово, Украина (эпитермальное) - >50 т Au и полиметаллы;
- Cukaru Peği (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;
- имени Пинигина, Якутия, Россия – >3 т Au.

Практические навыки, полученные при работе с вышеупомянутыми разнообразными золоторудными объектами, позволили автору занять третье место и дойти до финала двух открытых публичных конкурсов в Канаде (Goldcorp Challenge в 2000-2001 гг и Integra Challenge в 2015-2016 гг), нацеленных на выявление новых ресурсов в давно разрабатываемых рудных узлах. Основу расшифровки геологического строения этих золоторудных месторождений в архейских зеленокаменных поясах и прогнозирования прироста ресурсов составляли разнообразные цифровые материалы без возможности посещения участков. В 2023 г автор отвечал за геологическую часть аудита крупнейшего в России медно-золото-молибден-порфирового месторождения Песчанка (проект Баимка) на Чукотке с целью бридж-финансирования проекта освоения российскими банками.

Апробация результатов и степень достоверности. Результаты докладывались на многочисленных международных и российских научных и практических конференциях и

совещаниях (Международные геологические конгрессы в Киото и Осло; PDAC в Торонто, Канада; PACRIM, Индонезия; Cordilleran Roundup в Ванкувере, Канада; конгрессы Европейского геологического союза в Страсбурге; конференции Общества Экономических Геологов в США, Канаде и Турции; Всесоюзные и Всероссийские тектонические совещания в Москве; Семинары SERCAMS, Музей Естественной Истории, Лондон, Великобритания; Ломоносовские и Смирновские чтения в МГУ им Ломоносова и др).

Понимание региональной металлогенической зональности и знание геологии рудных систем как в мире, так и в конкретном рассматриваемом регионе 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 монографий.

Автор является членом редколлегии профильных журналов Ore Geology Reviews (Elsevier), Геология Рудных Месторождений (Россия), Вестник СВНЦ (Магадан, Россия). Автор неоднократно участвовал в редактировании и рецензировании научных статей и книг по теме диссертации в ведущих международных профильных журналах мира. Автор был членом оргкомитета по выпуску юбилейного 100-летнего тома Общества Экономических Геологов (Денвер, США), изданного в 2005 году. Задачей монографии являлось отражение последних достижений в геологии рудных месторождений ведущих промышленных типов и провинций мира.

Благодарности. Результаты работ разной стадии, практические результаты и региональные вопросы 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. Пираино, 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, Н. Уайт, Б. Уиндли, Б.С. Ужкенов, В. Уолл, В.Е. Хаин, А.И. Ханчук, Хе Гоци, Дж. Хеденквист, Н.Н.

Хераскова, Р. Херрингтон, К. Холлс, 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 непростых задач в сложных ситуациях.

Автор хотел бы поблагодарить российских и иностранных геологов, с которыми ему довелось совместно работать на разных стадиях своей карьеры как во время региональных геолого-съёмочных, так и геологоразведочных работ, а также при анализе месторождений. В далеко неполный список входят: В.В. Адырхаев, Л.И. Бачуля, О.Е. Беляев, М. Бойз, В.И. Борисенок, М. Бота, В.П. Валяев, А.Б. Веймарн, Т. Гараган, Н.А. Герасимова, А.Б. Гидаспов, К.Е. Дегтярев, А.Н. Демин, П. Донован, В.М. Запорожцев, Б.А. Зарубин, Е.К. Игнатъев, 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, 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 провести полноценную разведку и сделать открытия некоторых медных и золотых объектов в Казахстане, Кыргызстане, России и на Украине несмотря на геополитические сложности работы в этих регионах, которые периодически давали и дают себя знать.

ГЛАВА 1. ТЕКТОНИКА ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ¹

1.1. Общие положения и границы

Понимание металлогении золота Центральной Азии невозможно без полноценного понимания ее тектоники и геодинамики. Этим вопросам автор посвятил около 40 лет своей карьеры, что отражено в списке публикаций за этот период. В данной главе приводятся представления автора, основанные как на собственных данных, так и на данных других исследователей, с некоторыми из которых продолжается многолетнее сотрудничество.

На протяжении карьеры мне довелось работать в рамках разных геологических школ, начиная с конца советского периода, когда система геологических, в первую очередь тектонических, но также и металлогенических, знаний стала перестраиваться на основе методов актуализма и, в частности, плейт-тектоники. В рамках последней существует несколько систем взглядов, отличающихся друг от друга по степени нейтральности и радикальности терминологии, рассмотрение которых заслуживает отдельного исследования и не будет приводиться в данной работе. В основу тектонического районирования Центральной Азии, приведенному в этой диссертации, положены принципы террейнового анализа, разработанного в работах Coney et al. (1980) и Howell (1989), которым автор следует на протяжении многих лет, что отражено в соответствующих публикациях (Yakubchuk, 2004, 2008a; Yakubchuk et al., 2005, 2012).

Традиционно считается (Зайцев, 1984; Моссаковский и др., 1993; Милановский, 1996; Şengör, Natal'in, 1996; Yakubchuk, 1997, 2002, 2004, 2008a, 2017, 2021; Yakubchuk, Nikishin, 2005; Yakubchuk et al., 2005; Wilhem et al., 2012), что неопротерозойско-раннемезозойский (<0.6 млрд лет) ЦАСП расположен между кратонами с континентальной корой возрастом >1 млрд лет (Восточно-Европейским, Сибирским, Алай-Таримским и Северо-Китайским (Рисунок 1.1)).

¹ При подготовке данного раздела диссертации использованы следующие публикации, выполненные автором лично или в соавторстве, в которых, согласно Положению о присуждении ученых степеней в МГУ, отражены основные результаты, положения и выводы исследования:

1. **Yakubchuk A.** The Baikalide-Altai, Transbaikalian-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. P. 273-297. **(1,33 авторского листа, 1,05 п.л.)**

2. **Yakubchuk A.** Architecture and mineral deposit settings of the Altai 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)**

3. **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)**

4. **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)**

5. **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)**

Между ЦАСП и Восточно-Европейским и Сибирским кратонами присутствуют неопротерозойские орогены или их сохранившиеся фрагменты с возрастом консолидации <1.0 - ~0.6 млрд лет. Они частично обнажены в Енисейском Кряже на западном краю Сибирского кратона, а также на северо-востоке Восточно-Европейского кратона в Тимане и его продолжении в Арктике (Nikishin et al., 2021). Большинство авторов (Милановский, 1996; Şengör, Natal'in, 1996; Yakubchuk et al., 2005, 2012; Yakubchuk, 2009) неопротерозойские орогены в ЦАСП не включают и выделяют как Доуралиды/Тиманиды (Пучков, 2010) и Байкалиды (Милановский, 1996). При этом Байкалиды в их классическом тектонотипе в Байкальской горной стране, включающей, в том числе, металлогенически важное Патомское нагорье, в настоящее время считаются раннепалеозойским орогеном (Донская и др., 2000; Palenova et al., 2017).

Около 50% площади ЦАСП перекрыто мезозойско-кайнозойскими осадочными бассейнами. В результате некоторые его части, например, обнажаются в виде кажущегося изолированным Уральского орогена, что дает повод некоторым авторам (Şengör, Natal'in, 1996) исключать его из ЦАСП. Я придерживаюсь традиционной точки зрения и считаю все палеозойско-раннемезозойские горные сооружения между кратонами частями единого и сложноустроенного ЦАСП, даже если они включают фрагменты более древней коры.

На юге ЦАСП ограничен несколькими небольшими кратонами (Алай-Тарим, Северный Китай), протягивающимися на 5700 км и отделяющими ЦАСП от пояса Тетис. Эти кратоны ранее выделялись, например, как промежуточные тектонические единицы между Алтаидами и Тетисидами (Şengör, Natal'in, 1996). Таким образом, кратоны, пусть и с зияниями, но со всех сторон ограничивают ЦАСП. На Дальнем Востоке ЦАСП соединяется с Западно-Тихоокеанским поясом, протягивающимся из Сихотэ-Алиня в Юго-Восточную Азию и Австралазию.

В Евразии к западу от последнего располагаются кратоны Янцзы-Катазии и Индокитая, которые разделяют складчатые пояса западной части Тихого океана и Тетиса, по существу, занимая аналогичное положение Алай-Тариму и Северному Китаю между ЦАСП и Тетисидами. Несмотря на наличие существенных смещений между четырьмя главными кратонами, а также небольших палеозойско-мезозойских складчатых поясов между ними, все они обнаруживают, в целом, сходное строение фундамента.

Палеомагнитные данные хорошо проработаны для Восточно-Европейского и Сибирского кратонов (Torsvik et al., 1992; Диденко и др., 1994; Метелкин и др., 2007; Metelkin et al., 2012; Ernst et al., 2016; Torsvik, Cocks, 2017). Для южных кратонов палеомагнитные данные все еще являются фрагментарными, но имеющиеся данные не противоречат их близкому положению относительно друг друга в течение палеозоя, что нашло отражение на ряде опубликованных реконструкций, помещающих их в качестве своеобразного континентального моста между

Восточной Европой и Австралией (Stampfli, Borel, 2002; Wilhem et al., 2012; Stampfli et al., 2013; Merdith et al., 2020), в чем-то перекликающиеся с реконструкциями Моссаковского и др. (1993) и Диденко и др. (1994), отражающими их позицию в современной структуре между ЦАСП и поясом Тетис. По совокупности данных мною предлагается выделять все южные кратоны сходного размера и состава от Алая до Индокитая (Рисунок 1.1, 1.2) в качестве Сино-Туранской группы кратонов или просто Сино-Турана.

Граница ЦАСП наиболее четко проявлена и изучена на Урале (Рисунок 1.1) вдоль Главного Уральского разлома (Berzin et al., 1996; Herrington et al., 2005; Пучков, 2010). На север она может быть протрассирована по магнитным данным в Карском море до меридиана Енисея.

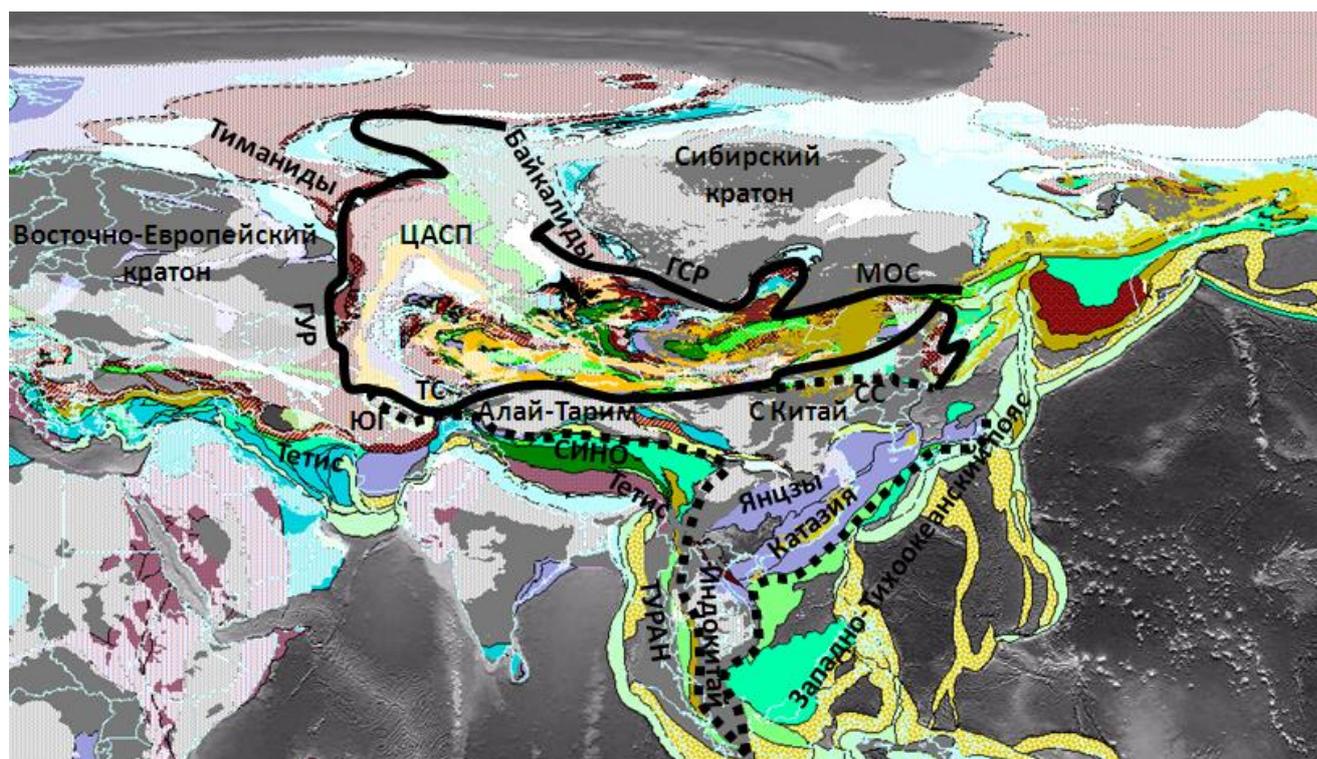


Рисунок 1.1. Тектоническая позиция Центрально-Азиатского складчатого пояса и прилегающих кратонов.
Сутуры: ГСР – Главный Саянский разлом, ГУР – Главный Уральский разлом, МОС – Монголо-Охотская, СС – Солонкерская, ТС – Туркестанская, ЮГ – Гиссар

Южное продолжение Главного Уральского разлома скрыто под мезозойско-кайнозойскими отложениями Туранского осадочного бассейна. На Тянь-Шане эквивалентом Главного Уральского разлома 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 северной границы Алая и Тарима (Самыгин, Буртман, 2009), а затем ее продолжение, если учесть смещения по системе мезо-кайнозойских левосторонних сдвигов, может быть прослежено в северо-восточном направлении в сторону Монголо-Охотской сутуры

внутри ЦАСП (Рисунок 1.1), а не в традиционно с ней коррелируемую Солонкерскую сутуру (Sengor, Natal'in, 1996) вдоль северного края Северо-Китайского кратона. При детальном рассмотрении оказывается, что Туркестанская и Солонкерская сутуры могут не являться продолжением друг друга так, как учет смещений по упомянутым мезозойско-кайнозойским левосторонним сдвигам позволяет считать некоторые плохо обнаженные сутуры Бейшаня продолжением Солонкера, а аналоги Туркестанской сутуры могут находиться внутри восточной части ЦАСП.

Северная граница на востоке ЦАСП четко маркируется Монголо-Охотской сутурой вдоль южной границы Алдано-Станового щита Сибирского кратона (Зоненшайн и др., 1990; Зорин и др., 1998; Xiao et al., 2015). Эта же сутура разделяет кратон и неопротерозойско-палеозойские террейны ЦАСП (Зорин и др., 1998). И она же является соединяющим сегментом между аккумуляционными террейнами ЦАСП в Центральной Монголии и Западно-Тихоокеанского пояса (Yakubchuk, Edwards, 1999; Парфенов и др., 2003).

В Забайкалье, учитывая раннепалеозойский возраст Байкальского орогена (Донская и др., 2017), граница должна проводиться по южному краю Патомского нагорья. Далее она может быть проведена вдоль озера Байкал и от его юго-западной оконечности вдоль Главного Саянского разлома (Yakubchuk, 2017) до границы с Западно-Сибирским осадочным бассейном. Еще севернее она может быть прослежена на 1000 км по магнитным данным и данным бурения, но к северо-западу от Сибирского кратона прямое определение границы затруднено даже по геофизическим данным из-за широкого развития триассовых рифтов в фундаменте Западно-Сибирского бассейна. По косвенным данным граница может быть протрассирована в меридиональном направлении до восточной оконечности Новой Земли, так как на Таймыре развиты неопротерозойские орогены (Nikishin et al., 2021), хотя деформированы и породы палеозойского чехла Сибирского кратона и даже триассовые траппы (Yakubchuk, Nikishin, 2004).

1.2. Террейны, сшивающие комплексы и их домены

Уже упомянутые фрагменты донеопротерозойской коры (например, области исседонской складчатости возрастом около 1 млрд лет в Казахстане (Зайцев, 1984)), здесь интерпретируемые как кратонные террейны, а также недавно выявленные в Казахстане террейны с континентальной неопротерозойской (0.6-1.0 млрд лет) корой (Degtyarev et al., 2017), террейны с возрастом формирования коры 1 млрд лет, недавно подтвержденным и существенно пересмотренным в сторону сокращения площади террейнов с раннепротерозойской корой (Degtyarev et al., 2017), присутствуют внутри ЦАСП в виде протяженных (до 7000 км) цепочек метаморфических

террейнов. Все террейны возрастом >0.6 млрд лет, а особенно >1 млрд лет внутри ЦАСП и кратоны к югу от него имеют вещественное сродство друг с другом несмотря на разобщенность палеозойскими аккреционными комплексами (Degtyarev et al., 2017). С другой стороны, в пределах Сибирского кратона отмечается отсутствие коры возрастом 1 млрд лет (Gladkochub et al., 2006).

Метаморфические террейны внутри ЦАСП перекрыты раннепалеозойскими магматическими дугами или обрамлены неопротерозойско-раннепалеозойскими островодужными террейнами длиной до 4000 км и несколькими поясами аккреционных террейнов с фрагментами палеозойских офиолитов. Совместно они изогнуты в течение палеозоя и мезозоя в серию полихронных ороклинов (Рисунок 1.2).

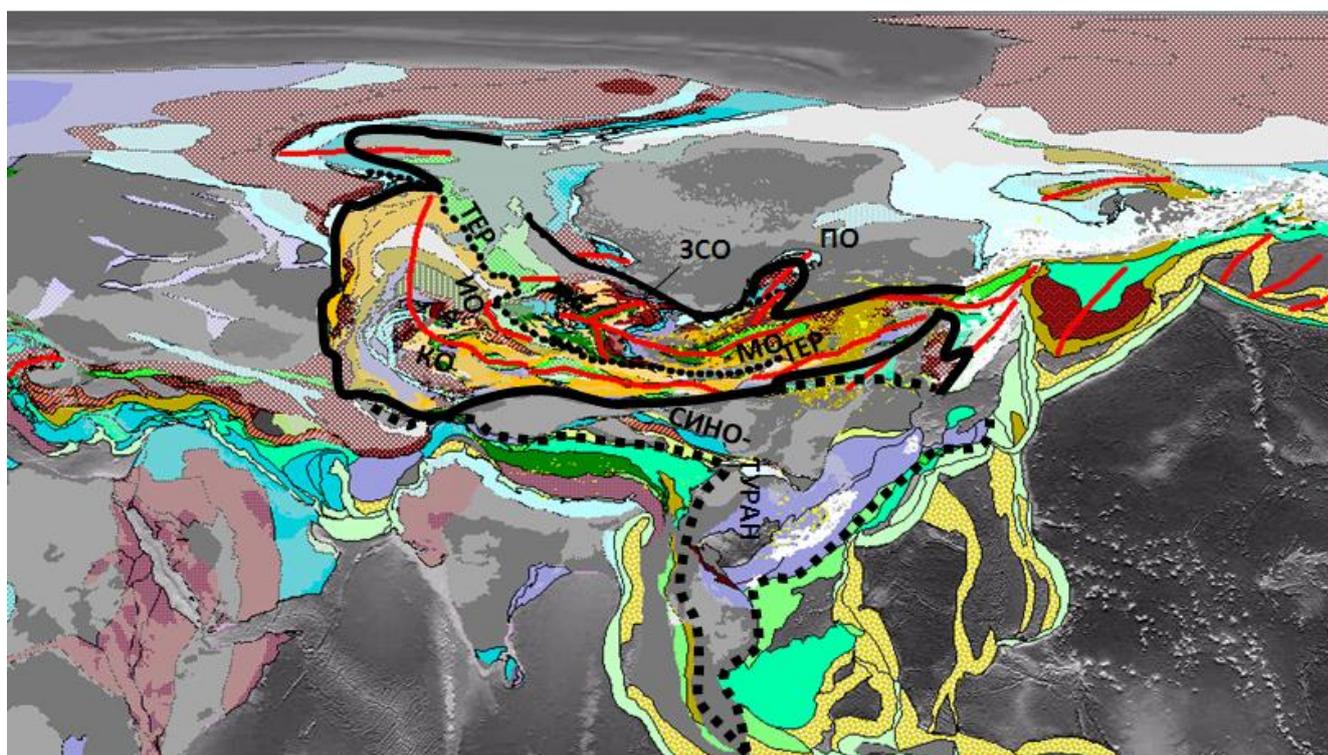


Рисунок 1.2. Положение осей ороклинов и Транс-Евразийского разлома (ТЕР) внутри ЦАСП. Ороклины: ЗСО – Западно-Саянский, ИО – Иртышский, КО – Казахский, МО – Монгольский, ПО – Патомский.

По структурному рисунку ороклинов ЦАСП можно разделить на юго-западный и северо-восточный домены по Транс-Евразийскому разлому (Yakubchuk, 2008a). Его фрагменты в обнаженной части известны как Центрально-Монгольский линеамент (Badarch et al., 2002) и Иртышский разлом (Yakubchuk, 2008a). Под Западно-Сибирским бассейном он трассируется по магнитным данным от Пай-Хоя до Рудного Алтая.

Вдоль границы доменов в полосе шириной примерно 700 км между Северным Казахстаном и Кузнецким Алатау террейны с континентальной корой древнее 0.6 млрд лет отсутствуют. Главными структурообразующими элементами здесь являются сложно

деформированные в плане неопротерозойско-раннепалеозойские островодужные террейны (Рисунок 1.3). Эта широкая «бездокембрийская» полоса является принципиальным разделом внутри ЦАСП и протягивается в юго-восточном, а затем восточном и северо-восточном направлении на 4700 км, сужаясь до сuture между Аргунским и Буреинским террейнами на юге Дальнего Востока России.

Самыми древними породами в «бездокембрийской» части ЦАСП являются венд(?)–раннепалеозойские магматические комплексы, относимые к Кузнецко-Хамсаринскому островодужному террейну Алтае-Саяна и Кипчакскому и Сарыаркинскому островодужным террейнам Центрального Казахстана (Yakubchuk, 2017). Последние два разделены сложно-сегментированной междуговой Чистопольско-Ирадыр-Акдым-Майкаин-Балкыбекской сutureй длиной около 2000 км с раннепалеозойскими надсубдукционными офиолитами (Рисунок 1.3; Якубчук, 1990; Якубчук, Дегтярев, 1991; Новикова и др., 1993; Yakubchuk, 1994; Yakubchuk, Degtyarev, 1994; Yakubchuk et al., 2012; Yakubchuk, 2017). На западе эта сutura также разделяет и докембрийские метаморфические террейны.

К югу от сuture располагается Сарыаркинский террейн, состоящий из раннепалеозойских островодужных комплексов. Он реконструируется из трех фрагментов общей длиной около 2300 км (Рисунок 1.3).

К северу от сuture находится Кипчакский террейн, состоящий из раннекембрийско-среднеордовикских островодужных вулканитов. В современной структуре он разделен на несколько сложно изогнутых и смещенных фрагментов (Рисунок 1.3), из которых наибольшее смещение регистрируется между двумя большими группами террейнов севера Центрального Казахстана и Салаира, что предусматривает в современной структуре левостороннее смещение между ними по Иртышскому разлому на 1000 км. Совокупная длина восстановленного Кипчакского террейна составляет около 3500 км.

Восточным продолжением Кипчакских террейнов можно считать ороклинно-изогнутый Кузнецко-Хамсаринский террейн, протягивающийся на 2300 км из Кузнецкого Алатау через восточную часть Западного Саяна до Озерного края западной Монголии. Он состоит из венд-кембрийских ювенильных островодужных комплексов (Берзин, Кунгурцев, 1996; Добрецов, 2003; Буслов и др., 2013). На востоке между ним и донеопротерозойскими островодужными и метаморфическими террейнами западной Монголии прослеживается Адагдарская сutura с раннекембрийскими офиолитами. При объединении с Кипчакским террейном совокупная длина магматической дуги составит около 5800 км, что сопоставимо с современными системами дуг,

тянущимися от моря Бисмарка через Вануату и Фиджи в Тонга-Кермадек и Новую Зеландию (Macpherson, Hall, 2002).

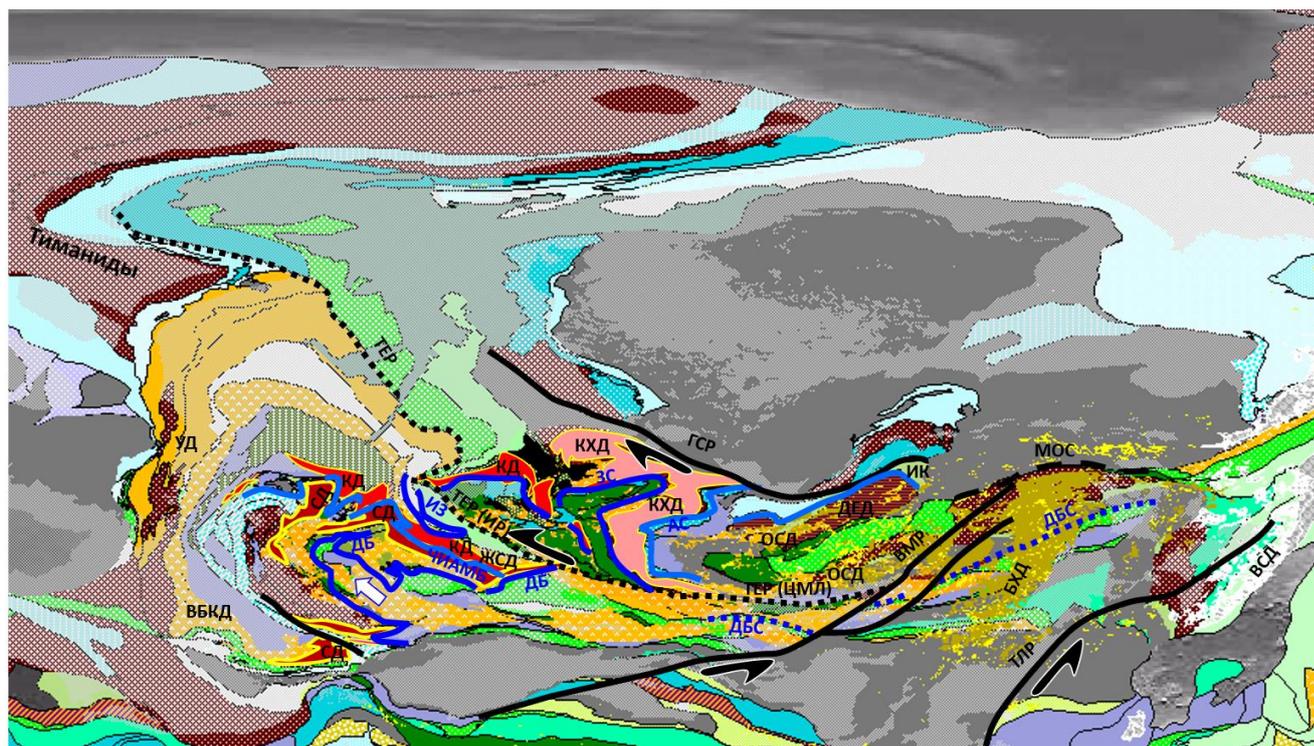


Рисунок 1.3. Положение Кипчакского и Сарыаркинского террейнов в «бездокембрийской» части ЦАСП. Магматические дуги: БХД – Большехинганская, ВБКД – Валериановско-Бельтау-Кураминская, ВСД – Восточно-Сихотэ-Алиньская, ДЕД – Джидино-Еравнинская, ЖСД – Жарма-Саурская, КХД – Кузнецко-Хамсаринская, КД – Кипчакская, 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 (ИР) и Центрально-Монгольский линеамент (ЦМЛ), ТЛР – Тан Лу

Кипчакский и Сарыаркинский островодужные террейны объединяет тектонические области Казахского нагорья и Алтае-Саяна, с одной стороны. С другой стороны, они разделяют Иртыш-Зайсанские и Джунгаро-Балхашские ранне-среднепалеозойские аккреционные комплексы, что указывает на их принадлежность к разным океаническим бассейнам с момента заложения разделяющих их ювенильных дуг.

Внутри Джунгаро-Балхашских террейнов закартированы фрагменты офиолитов. Прорисовка их раннепалеозойских выходов дает очень сложную плановую конфигурацию реконструируемой раннепалеозойской зоны субдукции (Рисунок 1.3.), отражающую сложную кинематику перемещения отдельных террейнов. Доказанный возрастной интервал офиолитов охватывает диапазон от позднего неопротерозоя до позднего девона и, возможно, раннего карбона (Борисенок и др., 1989; Герасимова и др., 1992; Новикова и др., 1993; Дегтярев и др., 1993; Degtyarev et al., 2021), т.е. существование коры океанического типа на протяжении 240 млн лет. Это заставляет интерпретировать ее как фрагменты длительно формировавшейся

океанической литосферы, а не короткоживущих задуговых бассейнов с корой океанического типа.

Джунгаро-Балхашские террейны, состоящие из ранне- и среднепалеозойских аккреционных комплексов, прослеживаются в восточном направлении на 5000 км из Центрального Казахстана через Джунгарию и далее вдоль южной границы Монголии и Китая до юга Дальнего Востока России несмотря на наличие более молодых сшивающих островных дуг и осадочных бассейнов. Ранне- и среднепалеозойские островодужные магматические породы лишь фрагментарно обнажаются из-под этих молодых образований. Большой частью они приурочены к террейнам, состоящим из докембрийских метаморфических пород.

На востоке ЦАСП простираение террейнов резко меняется с восток-северо-восточного на субмеридиональное (Буряя и Ханка). При этом многочисленные гранитоиды раннепалеозойского и раннемезозойского возраста сшивают их между собой (Yakubchuk, 2017). Однако формального ороклинного изгиба здесь не сформировалось и скорее приходится констатировать наличие «ломаных» сочленений кратонных террейнов друг с другом. Но их вещественное сходство не позволяет говорить о случайном сонахождении, а вещественное сходство и возраст аккреционных террейнов к северу и востоку от кратонных только подчеркивает эту неслучайность. Вся структура сшита позднедевонско-триасовой Орхон-Селенгинской и позднеюрско-раннемеловой Больше-Хинганской магматическими дугами.

Кроме раннепалеозойских магматических дуг в виде террейнов в Центральном Казахстане выделены Среднепалеозойская (обычно называемая Девонской) и Балхаш-Илийская вулканические дуги, являющиеся сшивающими по отношению к террейнами маркирующие крупные тектонические перестройки. В замковой части Казахского ороклина каждая из магматических дуг смещена по отношению к раннепалеозойским островодужным террейнам в юго-восточном направлении к ядру Казахского ороклина, что интерпретируется как откат (миграция) зоны субдукции в восточном направлении примерно на 600 км за 100 млн лет одновременно с ороклинным изгибанием (Bazhenov et al., 2012; Yakubchuk, 2017). Однако на крыльях ороклина разновозрастные вулканические дуги наложены друг на друга без смещения магматических фронтов во времени.

Сходная миграция островодужного магматизма наблюдается и в Алтае-Саянской области (в юго-западном направлении в современных координатах) примерно вдоль оси Западно-Саянского ороклина. Последний сам изогнут за счет наложенного на него Монгольского ороклина (Рисунок 1.2), что усложняет и без того непростой тектонический рисунок.

В ядре этой сложной области и располагаются Западно-Саянские и Джунгаро-Балхашские аккреционные комплексы. Напротив, на западном замыкании Казахского ороклина присутствует наибольшее количество разновозрастных докембрийских метаморфических террейнов шириной около 400 км (Degtyarev et al., 2017). Вдоль их южного, западного и северо-восточного краев развита серия палеозойских вулканических дуг, в том числе включаемых в восточную часть Уральского орогена. Все они наложены друг на друга без существенной миграции, но с небольшими временными перерывами в формировании. Хотя большая их часть скрыта под мезозойско-кайнозойскими осадочными бассейнами, по совокупности геологических и геофизических данных такая дуга может быть непрерывно прослежена на каменноугольном стратиграфическом уровне на 4500 км из Чаткало-Курамы в Узбекистане через Валерьяновскую зону Тургая в Жарма-Саурскую зону Восточного Казахстана, где она срезается Иртышским разломом (Lobanov et al., 2014).

В обнаженных фрагментах ЦАСП (Иртыш-Зайсанские турбидитовые (с офиолитами) террейны и Денисовские офиолиты Тургая) можно говорить о наличии аккреционных комплексов во внешней части этой дуги.

В еще более внешней позиции к западу и северу по отношению к Казахскому нагорью располагаются ранне- и среднепалеозойские островодужные террейны Урала (Рисунок 1.3). Собственно Урал, традиционно воспринимаемый как линейный меридиональный ороген длиной 2000 км, согласно магнитным и гравитационным данным, на севере резко поворачивает на юго-восток под чехлом Западно-Сибирского осадочного бассейна в сторону Алтая (Yakubchuk, 2007, 2017), по сути, повторяя конфигурацию Казахского ороклина. Таким образом, Урал является лишь западным крылом гигантского Казахского ороклина.

Хорошо доказано, что Уральские островодужные террейны надвинуты на западный край Восточно-Европейского кратона по Главному Уральскому разлому (Пучков, 2010). Аллохтонная природа океанических террейнов Урала наилучшим образом продемонстрирована многими исследователями в Сакмарской зоне (Пучков, 2010), где палеозойские офиолиты надвинуты на палеозойскую пассивную окраину Восточно-Европейского кратона.

Еще в 1970-е гг было высказано предположение, что и весь Магнитогорский синклинорий может быть аллохтоном, переброшенным через Восточно-Уральское поднятие (и Мугоджары) (Пейве и др., 1977). Для Мугоджар недавно установлен неопротерозойский возраст протолита и сделан вывод о возможной аналогии с Тиманидами (Рязанцев и др., 2023). Данные по сейсмическому профилю URSEIS'95 (Echtler et al., 1996) показывают дивергентное строение Урала. Однако они не противоречат аллохтонному положению Магнитогорского синклинория, а

также среднепалеозойских вулканитов и ультрамафитов, закартированных в поле распространения метаморфических пород Мугоджар. Какой бы ни была степень «аллохтонности» Урала, его положение относительно террейнов Казахского нагорья и «ороклинность» остаются неизменными. По существу, при любой степени «аллохтонности» Урала его тектонические элементы занимают положение к западу от казахстанских палеозоид, а его магматизм и рудные месторождения можно коррелировать с казахстанскими. Это открывает возможность «зарождения» уральских островодужных террейнов вблизи современного западного края казахстанских метаморфических террейнов, а не у Восточно-Европейского кратона, как традиционно считается (Самыгин, Буртман, 2009; Пучков, 2010).

Последним крупным тектоническим элементом в северо-восточном домене ЦАСП является Забайкало-Монгольская складчатая область (Рисунок 1.3). Выше уже отмечалась сложная форма Кузнецко-Хамсаринского островодужного террейна. Его конфигурацию частично повторяют и Тувино-Монгольские кратонные террейны (Kuzmichev, 2015), отделенные от Кузнецко-Хамсаринской дуги Адагдарской сутурой с раннекембрийскими офиолитами. Эта сутура принята в данной работе как граница между Алтае-Саянскими и Забайкало-Монгольскими складчатыми системами.

Тувино-Монгольские кратонные террейны протягиваются С-образно на 3500 км от южного выступа Сибирского кратона через Северную Гоби до восточной части Монголо-Охотской сутуры, через которую они вновь соприкасаются с Сибирским кратоном, но уже с его Алданским щитом. Западное Т-образное сочленение Тувино-Монгольских террейнов с Сибирским кратоном интерпретируется как результат правостороннего смещения в конце неопротерозоя, когда Тувино-Монгольские кратонные и неопротерозойские островодужные террейны были отделены от западной части Алдано-Станового щита и смещены примерно на 1000 км по правостороннему сдвигу (Berzin, 2004).

В составе Тувино-Монгольских террейнов выделяются архейские, палео- и мезопротерозойские (Demoux, 2009), а также и неопротерозойские (Козаков и др., 2021; Wilde et al., 2015) комплексы. На некоторых из них сохранились фрагменты неопротерозойско-палеозойского терригенно-карбонатного чехла (Моссаковский и др., 1993), а некоторые террейны разделены сутурами с раннепалеозойскими офиолитами, а затем спаяны раннепалеозойскими гранитоидами (Kroner et al., 2007).

К востоку от Т-образного сочленения Тувино-Монгольских террейнов и Сибири и к западу от Алдан-Станового щита Сибирского кратона в Южном Забайкалье присутствует Джидинско-Еравнинский островодужный террейн с магматическими комплексами венда-

раннего палеозоя (Руженцев и др., 2012), а в его тыловой части и к югу от Патомского нагорья – Икатский террейн, который можно интерпретировать как сутурированный задуговой бассейн с океанической корой.

Центральная часть Монголии сложена неопротерозойско-позднепалеозойскими турбидитовыми террейнами на площади 1300x200 км (Xiao et al., 2015). На западе не существует никакой возможности их соединения с Алтае-Саянскими, а на востоке они сочленяются через Монголо-Охотскую сутуру с Сихотэ-Алиньскими турбидитовыми террейнами Западно-Тихоокеанского пояса (Yakubchuk, Edwards, 1999).

В этой части ЦАСП регистрируется омоложение сшивающих островных дуг в восточном направлении. На западе это – С-образная позднедевонско-триасовая Орхон-Селенгинская дуга. Восточнее располагается Z-образная позднеюрско-раннемеловая Большехинганская дуга, а еще восточнее находятся позднемеловые-палеогеновые островные дуги Сихотэ-Алиня, относящиеся уже к Западно-Тихоокеанскому складчатому поясу.

1.3. Выводы

Таким образом, для понимания главных аспектов тектоники Центральной Азии можно сделать следующие главные выводы:

- ороклины являются наиболее характерными тектоническими элементами внутреннего строения ЦАСП;
- наименее тектонически связанным с ЦАСП является Восточно-Европейский кратон и неопротерозойские орогены Тиманид на его окраине;
- внутри ЦАСП выделяется Транс-Евразийский разлом, разделяющий пояс на юго-западный и северо-восточный домены;
- все метаморфические террейны северо-восточного домена формационно однозначно увязываются с Сибирским кратоном;
- кратонные террейны юго-западного домена формационно однозначно увязываются с Таримским и Северо-Китайским кратонами Сино-Турана;
- однако террейны с континентальной корой возрастом 1.0 млрд лет присутствуют в обоих доменах ЦАСП (исключая собственно Сибирский кратон), что интерпретирует их как фрагменты некогда единой мезопротерозойской коры, разделенной на несколько метаморфических террейнов при распаде Родинии;

- с границей доменов совпадает «бездокембрийская» область, в пределах которой отсутствуют кратонные террейны древнее 0.6 млрд лет, а основным элементом являются Кипчакский и Сарыаркинский ювенильные островодужные террейны, которые разделили Джунгаро-Балхашские и Уральско-Иртыш-Зайсанские аккреционные комплексы с офиолитами широкого временного диапазона;
- начиная с 0.54 млрд лет в обоих доменах появляются островодужные террейны формационно объединяющие домены ЦАСП;
- и в юго-западном, и в северо-восточном доменах ЦАСП регистрируется двустороннее обрамление докембрийских кратонных террейнов островодужными, при этом в Казахстане и Алтае-Саянской области, а также независимо от этого в Монголии проявлено омоложение островодужных и аккреционных террейнов с миграцией сшивающих магматических дуг в восточном направлении в сторону Западно-Тихоокеанского орогенного пояса. В узком смысле, современными аналогами являются тектонические обстановки архипелага Филиппин, а в широком – Зондского архипелага.

ГЛАВА 2. ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, ПРИНЦИПЫ ВЫДЕЛЕНИЯ И СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ЗОЛОТОРУДНЫХ ПРОВИНЦИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

2.1. Геодинамическая позиция золоторудных месторождений

Центральная Азия богата месторождениями и золота, и цветных металлов. Особенностью последних является частое наличие попутных благородных металлов, что объединяет разные типы месторождений между собой. Это обстоятельство не является уникальным. Так, в модели Groves et al. (1998) золото присутствует во всех типах месторождений, формировавшихся на конвергентных окраинах (Рисунок 2.1). Все эти типы месторождений распознаются в Центральной Азии в составе как отдельных террейнов, так и перекрывающих комплексов, распространение которых приведено в Главе 1. Особо следует отметить позицию орогенных месторождений золота, помещенных в модели в аккреционные комплексы со стороны субдуцирующей плиты океанического задугового бассейна. Как будет показано ниже, для Центральной Азии их положение не соответствует модели, а сама модель должна быть пересмотрена.

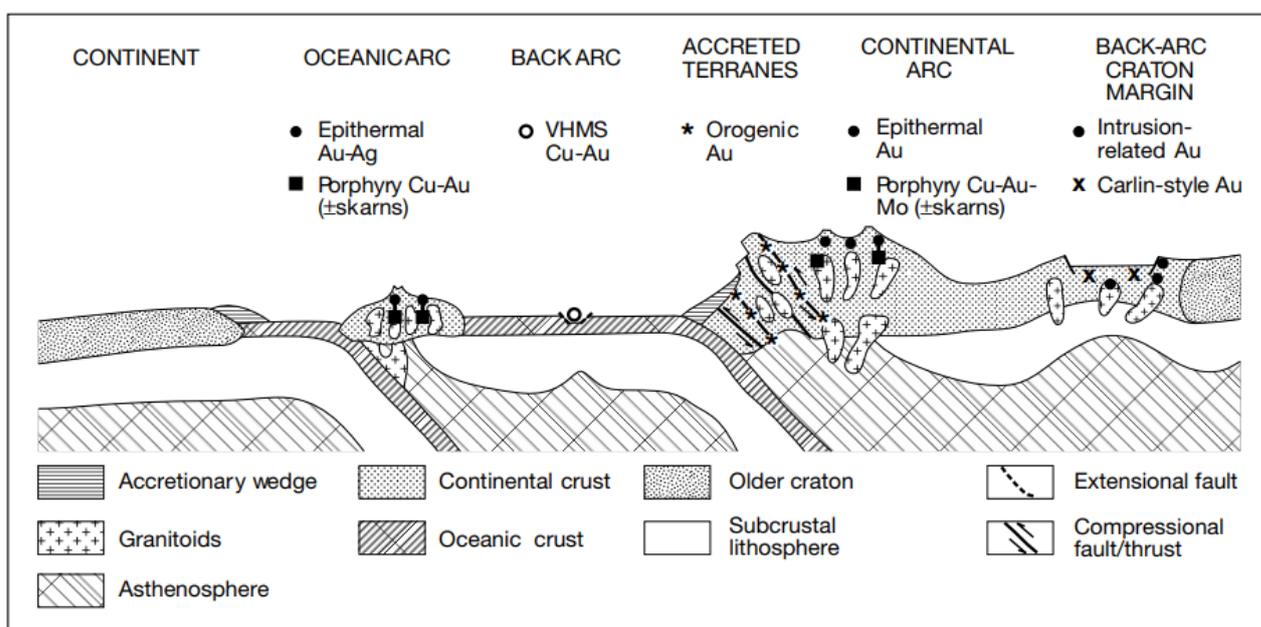


Рисунок 2.1. Тектоническая позиция золоторудных эпигенетических месторождений (Groves et al., 1998).

Наиболее металлогенически продуктивными в Центральной Азии являются островодужные комплексы как террейнов, так и сшивающих дуг и могут иметь любой возраст. Они содержат колчеданные, порфириновые и скарновые месторождения цветных металлов, в которых золото играет подчиненную роль. Как основной металл золото присутствует в сохранившихся эпитермальных месторождениях, а также в орогенных и в связи с гранитоидными

интрузиями. Золото также присутствует в связи с медно-никелевыми интрузиями пермско-триассовых траппов Норильского рудного района, а также в связи с позднепермскими сульфидно-никелевыми месторождениями и проявлениями в центре ЦАСП и зеленокаменных поясах юга Сибирского кратона, которые в рамках этой работы не рассматриваются.

2.2. Классификация золоторудных месторождений

С момента публикации одной из первых международно признанных генетических классификаций рудных месторождений (Lindgren, 1933) модели для золоторудных месторождений разных типов постоянно развиваются. В итоге к началу XXI века от первоначальной классификации Линдгрена сохранилось только понятие «эпитермальные» месторождения (Рисунок 2.2; Groves et al., 1998; Robert et al., 2007; Sillitoe, 2020; Hedenquist, Arribas, 2022).

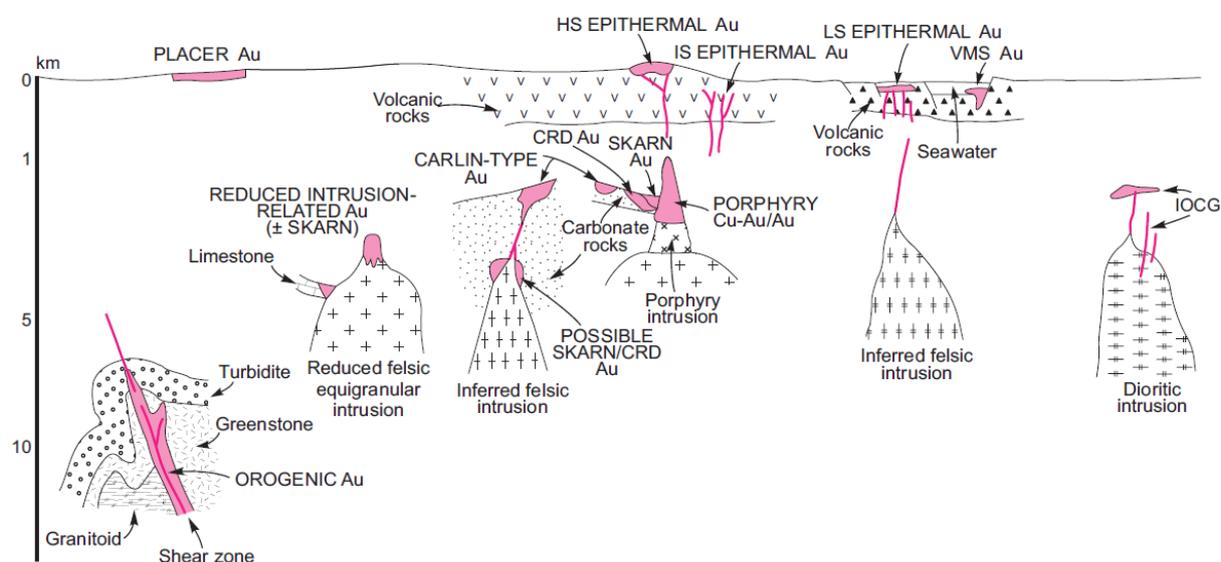


Рисунок 2.2. Схематическая геологическая позиция и взаимоотношения между главными типами золоторудных месторождений (исключая палеороссыти). Большинство россытей происходит за счет эрозии орогенных месторождений. CRD = месторождения замещения карбонатов, HS = высоко-сульфидизированные, IS = промежуточно-сульфидизированные, IOCG = железо-окисно медно-золотые, LS = низко-сульфидизированные, VMS = вулканогенно-колчеданные (по Robert et al., 2007; Sillitoe, 2020).

Рассмотрим теперь подробнее главные типы золоторудных месторождений, как они понимаются в международном сообществе в настоящее время. За основу будут взяты классификации Франсуа Робера (Robert et al., 2007), Ричарда Силлитое (Sillitoe, 2020) и Джеффри Хеденквиста-Антонио Аррибаса (Hedenquist, Arribas, 2022).

2.2.1. Орогенные месторождения

Формирование месторождений золота в метаморфических террейнах, которые сейчас обычно называются орогенными месторождениями из-за формирования на поздних стадиях регионального орогенеза (Groves et al., 1998), впервые достигло пика на многих кратонах в неогарее (2,75-2,55 млрд лет; Goldfarb et al., 2001, 2005; Groves et al., 2005). Крупные орогенные месторождения золота образовывались в палеопротерозое (2,1-1,75 Ga) и в несколько этапов в неопротерозое-фанерозое (Goldfarb et al., 2001, 2005).

Для докембрийских орогенных месторождений золота характерными вмещающими породами являются вулканогенно-осадочные зеленокаменные толщи, включая железорудные формации. Для неопротерозойско-фанерозойских месторождений в качестве вмещающих пород преобладают метаморфизованные турбидиты, включая углеродистые сланцы. Только последний тип актуален для Центральной Азии сразу в нескольких золоторудных провинциях. Кроме Центральной Азии этот тип встречается в палеозое Восточной Австралии, Восточной Канады и США и в мезозое Северо-Востока России.

В зеленокаменных поясах месторождения состоят преимущественно из относительно бедных сульфидами кварцевых \pm карбонатных жил, обычно в ассоциации с серицитовыми и биотит-карбонат-пиритовыми гидротермальными изменениями и геохимической специализацией на As-Sb-W \pm Te. Жилы содержат богатые (5–12 г/т Au) рудные столбы большой протяженности по падению, пригодные для селективной подземной добычи, местами до глубин >2-3 км.

Для месторождений в неопротерозойско-фанерозойских сланцевых поясах характерна бедная кварцем вкрапленная золото-сульфидная минерализация (~1-5 г/т Au), которая может быть металлургически упорной из-за положения золота в сульфидах и органическом углеродистом веществе. Но такие месторождения часто содержат большие объемы руды и могут добываться и перерабатываться в больших объемах, компенсирующих металлургические проблемы.

Широко распространено мнение, что орогенные месторождения золота образовались в аккреционных или коллизионных орогенах на палеоглубинах ~5-15 км (Рисунок 2.2) из слабосоленых, золото- и мышьяк-содержащих углекислых водных флюидов, сформировавшихся в результате реакций деволатилизации в зоне перехода от зеленосланцевой к амфиболитовой фации регионального метаморфизма (Буряк, 1982; Goldfarb et al., 2005). Считается, что золотоносные флюиды мигрировали вверх по системам коровых разломов, формируя месторождения в благоприятных структурных ловушках типа антиклиналей (Goldfarb et al.,

2005). Смены режима сжатия на транспрессию на позднеорогенной стадии могли играть важную роль в формировании некоторых месторождений, в том числе очень крупных (Goryachev et al., 2020). Часть месторождений в метаосадочных породах формировалась в начале орогенного цикла или даже могла иметь доорогенных предшественников, как это, в частности, предлагается для Сухого Лога и Олимпиады (Буряк, 1982; Large et al., 2007; Sazonov et al., 2020; Vursiy et al., 2020).

2.2.2. Золото-порфиновые и медно-золото-порфиновые месторождения

Несмотря на низкие (<0,4-1,5 г/т) содержания золота даже в самых богатых порфириновых месторождениях, они становятся все более важными источниками золота из-за больших ресурсов руды и золота (100-1 000 тонн) и небольшой вскрыши. В русскоязычной литературе характеристики порфириновых месторождений приведены в работе (Кривцов и др., 1986).

Наиболее распространенными и важными являются медно-золото-порфириновые месторождения, поскольку оба металла хорошо коррелируют и совместно извлекаются обычной флотацией.

Золото-порфириновые месторождения, впервые выявленные в поясе Марикунга на севере Чили (Vila, Sillitoe, 1991), гораздо менее распространены. Они обычно хуже поддаются переработке и, как правило, невелики. В целом, золото-порфириновые месторождения имеют те же общие геологические характеристики, что и большинство порфириновых месторождений. Они сосредоточены в континентальных и островных дугах. Большинство из них образовалось во время активной субдукции (Sillitoe, 1972), меньшинство возникло после окончания субдукции на син- или пост-коллизионных этапах (Richards, 2009).

Месторождения обычно сосредоточены в многофазных известково-щелочных порфириновых штоках или дайках (Рисунок 2.2) от диорит/монцодиоритовых до кварц-диоритовых по составу. Однако они могут быть и более кислыми по составу. По химизму состав магм меняется от известково-щелочных до субщелочных, причем повышенные содержания золота характерны для порфириновых интрузий повышенной щелочности (Cooke et al., 2005).

На ранних стадиях формирования этих интрузий и в их непосредственных вмещающих породах большая часть меди и золота содержится в сульфидных ассоциациях среднего и низкого уровня сульфидизации в калиевых, натровых и/или наложенных на них хлорит-серицитовых зонах изменений и содержащихся в них кварцевых прожилках. Часть минерализации может находиться в магмато-гидротермальных брекчиях.

Если порфировые системы полностью развиты с телескопированием гидротермальных изменений, то в верхних частях могут развиваться аргиллизиты, содержащие медно-золотые руды высокой степени сульфидизации (Sillitoe, 2010). Выше они могут переходить в еще более высокосульфидную эпитермальную среду (Hedenquist et al., 1998), образуя сложные порфирово-эпитермальные рудные системы (ПЭРС), которые в домезозойских орогенах могут быть сильно эродированы.

В карбонатных вмещающих породах порфировые месторождения могут сопровождаться медно-золотыми скарнами, которые обычно содержат более богатую золотом руду (Meinert et al., 1997).

Золото-порфировые месторождения являются продуктами сфокусированного подъема магматических флюидов, контролируемых вмещающими штоками или дайками. Обогащению золотом, по-видимому, способствует относительно неглубокое (<2 км палеоглубины) залегание штоков, причем конечные члены, содержащие только золото, являются самыми неглубокими (<1 км палеоглубины). Потеря серы в паровые выделения на этих небольших глубинах может объяснить не только усиленное осаждение золота, но и повышенное содержание гидротермального магнетита, характерное для калиевых изменений в золото-порфировых месторождениях. Однако большинство золото-порфировых месторождений, как и их молибден-порфировые аналоги, является продуктом окисленных магм магнетитовой серии. Порфировые системы ильменитовой серии, залегающие в углеродистых (мета)осадочных толщах, могут содержать только золоторудные месторождения независимо от глубины залегания из-за способности восстановленных флюидов переносить золото, но при низких содержаниях меди на уровне 0,1%.

Золото-медно-порфировые месторождения являются приоритетными для разведки как для золотодобывающих, так и для меднодобывающих компаний, поскольку экономическая выгода от тесной связи этих двух металлов очень велика. Современные тенденции в области геологоразведки предполагают бурение вслепую под литошляпы вторичных кварцитов на глубину 1 000 м и более. Вследствие больших размеров и низкого содержания золота многие порфировые месторождения отрабатываются открытым способом, хотя некоторые из них отрабатываются подземным способом (Кадия Ист (Cadia East)), перешли на поземку (Грасберг) или в итоге перейдут (Фар Саусист (Far Southeast), Голпу). В отличие от многих порфировых месторождений меди, наличие зоны окисления и гипергенного сульфидного обогащения в большинстве золотосодержащих порфиров не имеет большого значения для экономики.

2.2.3. Эпитермальные золото-серебряные месторождения

Как указывалось выше, эпитермальные месторождения являются составными частями ПЭРС. В настоящее время выделяется три основных минералогических подтипа эпитермальных золото-серебряных месторождений (Sillitoe, 1993): низко-, умеренно- и высокосульфидизированные в соответствии с количеством серы и другими характеристиками (Hedenquist et al., 2000; Einaudi et al., 2003). Эти подтипы сильно зависят от тектонических и магматических условий. Так, умеренно- и высокосульфидизированные подтипы характерны для магматических дуг, а низко-сульфидизированные – для обстановок растяжения, которые не всегда приурочены к магматическим дугам (Sillitoe, Hedenquist, 2003). В Центральной Азии к этому типу месторождений относят, например, руды Новоширокинского месторождения (Доломанова-Тополь, 2017).

Большинство низко- и умеренно-сульфидизированных эпитермальных месторождений приурочено к нескольким жилам, контролируемым разломами, включая их бананцевые содержания (>30 г/т Au). Рудные столбы обычно вертикально вытянуты на 100-200 м, очень редко 300 м. Некоторые богатые жилы в связи с щелочными породами известны на 1000 м. Известны и бедные золотом месторождения. Так, большинство отрабатываемых высоко-сульфидизированных месторождений являются крупными, но бедными. В Андах они становятся экономически значимыми (Янакоча) при развитии крупных зон окисления.

Большинство эпитермальных месторождений, сформировавшихся на глубинах от <1 км до ~ 1.5 км, находятся в вулканических породах с обычным развитием гидротермалитов, называемых «вторичными кварцитами» в бывшем СССР, и гидротермальных брекчий (e.g., Sillitoe, 1993, 2015; Hedenquist et al., 2000; Sillitoe, Hedenquist, 2003). Большинство высоко-сульфидизированных месторождений находится в сильно пиритизированных литошляхах, особенно в ноздреватом (пористом) кварце и кварц-алунитовых ореолах. Некоторые ассоциируют с фреатомагматическими и фреатическими брекчиями в диатремах.

Хорошо развитая колломорфная полосчатость характерна для обоих подтипов.

Серебро практически всегда присутствует как попутный продукт, а до 1% меди может присутствовать в высоко-сульфидизированных месторождениях. Низко-сульфидизированные месторождения в связи со щелочным магматизмом могут быть бедны кварцем и богаты роскоэлитом и теллуридами.

Относительно низкотемпературные (до 200–300°C) магматические флюиды являются обязательным компонентом эпитермальных систем.

Эпитермальные месторождения являются главным объектом поисковых работ в мезозойских и кайнозойских вулканических регионах из-за лучшей сохранности при эрозии. Хотя в Центральной Азии, например, присутствуют палеозойские эпитермальные месторождения, их роль как важных источников золота постоянно недооценивается в других поясах из-за постулируемой сильной эродированности (Groves et al., 2005). Именно в Центральной Азии палеозойские эпитермальные месторождения сохранились лучше всего в мире (Seltmann et al., 2014), часто из-за захоронения под более молодыми образованиями и отсутствия крупного воздымания орогенов после окончания их формирования. Самым древним отработываемым месторождением Центральной Азии является Березняковское высоко-сульфидизированное месторождение силурийского возраста (Грабежев и др., 2000).

2.2.4. Месторождения карлинского типа

Месторождения карлинского типа выделены в Неваде. Их совокупные ресурсы составляют около 8000 т Au (Muntean, 2020). Месторождения этого типа также выделяются в так называемом Золотом Треугольнике юго-восточного Китая (Hu et al., 2002; Su et al., 2018). В Центральной Азии было предложено выделять такой тип месторождений на Урале (Воронцовское; Викентьев и др., 2016), в хребте Каратау, в Южном Тянь-Шане (Yakubchuk et al., 2002; Nevolko et al., 2019) и на Алдане (Rodionov et al., 2014).

Месторождения карлинского типа Невады в основном содержатся в тонких алевро-карбонатных породах, карбонатных осадочных брекчиях, в провалах как тектонического, так и гидротермального происхождения в связи с растворением карбонатного вещества. Месторождения контролируются дорудными разломами и складками сжатия, хотя считается, что сама минерализация была привнесена вдоль крутых сбросов при умеренном растяжении (Cline et al., 2005; Muntean et al., 2007). Большинство месторождений при этом стратиформны и приурочены к литологически благоприятным пачкам, хотя на глубине они четко приурочены к крутопадающим разломам. Золото было привнесено при декарбонатизации, окварцевании и глинистых (иллит, каолинит, диккит) гидротермальных изменениях, а также при сульфидизации вмещающих пород, включая формирование так называемых джаспероидов вдоль главных структурных и стратиграфических путей миграции флюидов (Cline et al., 2005). Для золота характерна ассоциация с As-Sb-Hg-Tl-Ba при низком серебре ($Ag/Au < 1$) и положение в обогащенных мышьяком каймах диагенетического пирита, что определяет технологическую упорность руд и, соответственно, достижение рентабельности при содержаниях 5 г/т Au или выше. При развитии зон окисления рентабельными становятся месторождения с ~ 0.4 г/т Au.

Месторождения карлинского типа Невады образовались одновременно с известково-щелочным магматизмом. Геофизические данные указывают на наличие интрузий на глубине 5-10 км (Рисунок 2.2; Ressel, Henry, 2006). Считается, что месторождения карлинского типа формировались в тылу континентальных магматических дуг (Groves et al., 1998).

2.2.5. Месторождения в гранитоидных интрузиях

Эти месторождения генетически связаны с умеренно гранитоидами преимущественно ильменитовой серии (Ishihara, 1977). Месторождения этого типа были выделены как самостоятельный тип в поздне меловом поясе Тинтина на Аляске и в Юконе (Thompson et al., 1999; Lang, Baker, 2001), где некоторые из них считались ранее золото-порфировыми. Однако в бывшем СССР примеры таких месторождений известны с XIX века и считались одними из важнейших источников золота, начиная с Березовского месторождения на Урале, с начала XX века в Забайкалье (Прокофьев и др., 2006) и со времен Ю.А. Билибина в Северном Казахстане (Spiridonov, 2014). Позднее такие месторождения были выявлены и на Северо-Востоке России (Goryachev, Pirajno, 2014).

Тектонические обстановки меняются от пост-коллизии задугового растяжения в месторождениях пояса Тинтина до внутриплитных в случае месторождения Телфер (Telfer).

Некоторые месторождения (Fort Knox, Dublin Gulch, Васильковское) содержат серии параллельных кварцевых жил и штокверки, делающих их визуально похожими на порфировые системы, тогда как другие содержат кварцевые жилы в термальных ореолах в кремнеобломочных метаосадочных вмещающих породах, что роднит их с орогенными месторождениями. На австралийском месторождении Телфер материнский гранитный плутон предполагается на глубине несколько километров, а в случае Мурунтау, относящегося к орогенному типу, такой гранит доказан бурением на глубине 4 км. Присутствие аплитов и пегматитов также типично, но порфировые штоки и их характерные кварц ± магнетитовые прожилковые штокверки богатых золотом порфировых систем отсутствуют. Гранитоидные месторождения ассоциируют с калий-натровыми и серицит-карбонатными гидротермальными изменениями, обычно с малым количеством сульфидов и цветных металлов, но с характерными W-Bi-Te-As ± Mo ± Sb в соответствии с низким окислительно-восстановительным состоянием интрузивов. В противоположность гиперсоленым рассолам в близповерхностных порфировых месторождениях большинство гранитоидных месторождений образовалось из слабосоленых водно-углеродистых флюидов на глубинах \geq ~5 км.

Тенор золота в месторождениях в связи с гранитоидными интрузиями зависит от плотности жил и обычно низок, что определяет их отработку открытым способом и применение кучного выщелачивания.

2.2.6. Золото-колчеданные месторождения

В международной литературе золото-колчеданные месторождения определяются как содержащие $>3,5$ г/т Au (Mercier-Langevin et al., 2011), хотя золото часто присутствует и при меньших содержаниях. Считается, что такие месторождения в основном приурочены к рифтам магматических дуг и незрелым задуговым бассейнам, характеризующимся подводным бимодальным вулканизмом толеитового и известково-щелочного происхождения. Купола кислых пород и сопутствующие автокластические и вулканокластические продукты, обычно занимающие кальдеры, содержат множество месторождений (Рисунок 2.2), которые обычно контролируются сменой литофаций вулканических и осадочных пород или стратиграфическими перерывами. Хотя крупнейшие золото-колчеданные месторождения имеют докембрийский возраст, Центральная Азия содержит многочисленные палеозойские месторождения на Урале (Прокин и др., 1985), Рудном Алтае (Lobanov et al., 2014) и, в меньшей степени, на востоке Центрального Казахстана (Мазуров и др., 2020).

Золото-колчеданные месторождения имеют в целом те же геологические характеристики, что и их бедные золотом собратья, и состоят из сингенетичных, массивных или полумассивных сульфидных линз или пластов, подстилаемых крупными, субконкордантными или дискордантными штокверковыми зонами питания, сопровождаемыми гидротермальными изменениями. Массивные сульфидные тела, обычно демонстрирующие слоистую конфигурацию, могут формироваться либо путем замещения непосредственно под ними, либо путем осаждения непосредственно на морском дне.

Золото колчеданных месторождений может входить в состав двух металлических ассоциаций: Au-Cu и Au-Zn, которые обычно обогащены в эпитермальном наборе (As, Sb, Hg) и характерны для типа Куроко. Повышенный золотой тенор обычно приписывают поступлению магматических флюидов и/или кипению, вызванному образованием в относительно мелководных условиях (<1000 м; Mercier-Langevin et al., 2011), но, как показало рассмотрение месторождений на современном морском дне, на тенор также могут влиять буферизация пород, зональность и другие физико-химические процессы.

Золото-колчеданные месторождения, как правило, являются объектами подземной добычи с выработками, достигающими глубин ~ 3 км. В бывшем СССР некоторые месторождения отрабатывались комбинированным способом.

2.2.7. Золото-скарновые месторождения

Уже упоминавшиеся золото-скарновые месторождения в основном встречаются над и/или рядом с материнскими интрузиями в виде экзоскарнов в породах, богатых карбонатами (Рисунок 2.2), преимущественно известковых, но местами магнезиальных по составу, и, в меньшей степени, в виде эндоскарнов во внешних частях сопряженных интрузий. Они могут быть разделены на окисленные и восстановленные подтипы, отражающие окислительно-восстановительное состояние интрузий, модулированное состоянием вмещающих пород (Meinert, 2000). Таким образом, наиболее восстановленные примеры, как правило, связаны с интрузиями ильменитовой серии (Ishihara, 1977), залегающими в богатых органическим углеродом толщах.

Восстановительные золотые скарны содержат обильный богатый железом (геденбергитовый) пироксен, с заметным количеством пирротина и арсенопирита и характерной ассоциацией Au-Bi-Te-As (Meinert, 2000). Напротив, более окисленные золотые скарны содержат гранат в избытке по сравнению с диопсидом, пирит - в качестве основного вида железа, немного магнетита и, местами, гематита, а также попутные цветные металлы с переходом к медно-золотым скарнам. Золотоносные скарны обоих типов демонстрируют различную степень наложенных ретроградных изменений, обычно характеризующихся одним или несколькими видами хлорита, биотита, серицита, эпидота, актинолита, кварца и сульфидов железа.

Золотоносные скарны, как и скарновые месторождения в целом, обычно контролируются различными комбинациями контактов штоков, даек и силлов, благоприятных стратиграфических единиц и подводящих разломов. Крупные месторождения обычно располагаются выше, а более мелкие - рядом с их коренными интрузиями. Более мелкие месторождения, обычно содержащие в среднем от 5 до 10 г/т Au, разрабатываются либо в открытых карьерах, либо подземным способом в зависимости от глубины залегания. В Центральной Азии ряд скарновых месторождений отработывался и отработывается на золото, что требует их учета в балансе с другими месторождениями.

2.2.8. Золоторудные месторождения замещения карбонатов

Золоторудные месторождения замещения карбонатов мало распространены и содержат меньше золота, чем крупнейшие месторождения золотых скарнов, но, как и последние, могут быть связаны либо с окисленными, либо с восстановленными интрузиями. Такие месторождения, переходные и удаленные по отношению к скарновой среде (Рисунок 2.2), формируются в условиях более низких температур, при которых кальций-силикатные агрегаты становятся

неустойчивыми. Более низкие температуры объясняют ассоциацию золота с цинком, свинцом и серебром, что приводит к образованию полиметаллических руд, перерабатываемых флотацией.

Золоторудные месторождения замещения карбонатов представляют собой массивные (50-90%) сульфидные тела, обычно богатые пиритом и/или пирротином, и характеризуются резкими контактами с мраморизованными вмещающими породами. Месторождения обычно образуют литологически контролируемые манто, хотя в местах крутых разломов или трещин могут образовываться трубы, по которым поднимается рудный флюид. Такие конфигурации рудных тел обычно отрабатываются подземным способом.

2.2.9. Железо-окисдно-медно-золотые месторождения (IOCG)

Категория *железо-окисдных медно-золотых месторождений* (IOCG) включает в себя несколько разнородную группу, которая определяется по содержаниям оксидов железа (>20 об. %). Они в основном имеют неоархейский или протерозойский возраста, но также включают важные мезозойские примеры в Прибрежной Кордильере Чили и Перу (Williams et al., 2005; Groves et al., 2010). Многие из них не содержат крупных запасов золота либо из-за относительно небольших размеров (<100 Мт), либо из-за низкого содержания золота (<0,3 г/т), но несколько месторождений в провинции Караджас в Бразилии, крупные месторождения в Южной Австралии и Канделария в прибрежной части Чили содержат значительное золото. Главным месторождением, несомненно, является Олимпик Дам, возможно, третья по величине концентрация золота в мире (около 3000 т металла при 0,31 г/т; Ehrig et al., 2012), также содержащая уран и редкоземельные металлы.

В Центральной Азии ни одно месторождение уверенно не относится к этому типу. Возможным примером может являться месторождение Элькон на Алдане (Лоскутов, Жижин, 2014).

Месторождения обычно локализованы в зонах крупных хрупко-пластичных или хрупких разломов, залегают в различных типах пород и охватывают различные стили минерализации, среди которых выделяются гидротермальные брекчии, штокверки, тела замещения и жилы, как по отдельности, так и в комбинации. Месторождения можно разделить на более глубокие, с преобладанием магнетита, и более мелкие, с преобладанием гематита, хотя эти два типа являются явно переходными (Hitzman et al., 1992; Sillitoe, 2003). Первый связан с натриево-кальциевыми и/или калиевыми коллекторами, тогда как второй обычно сопровождается серицит ± хлоритовыми изменениями (Sillitoe, 2003; Williams et al., 2005). Кварцевые прожилки,

окварцевание и пирит являются относительно незначительными компонентами (Sillitoe, 2003; Williams et al., 2005; Groves et al., 2010).

Месторождения связаны с окисленной магнетитовой серией интрузий, но уверенное отнесение к конкретной интрузии обычно невозможно. Тем не менее, существует недостаточно освещенная тесная связь с мелкими мафическими интрузиями, частично синрудными по времени (Sillitoe, 2003; Ehrig et al., 2012), которые, вероятно, являются ответвлениями соседних плутонов. Примесь магмато-гидротермальных рассолов и неглубоко залегающих немагматических флюидов может быть необходимым условием для эффективного образования месторождений этого типа (Williams et al., 2005).

Тектоническую обстановку месторождений обычно трудно расшифровать, но утонение коры в условиях растяжения, по-видимому, либо сопровождало (Groves et al., 2010; Sillitoe et al., 2020), либо непосредственно предшествовало рудообразованию. Существует и точка зрения, что эти месторождения являются родственными щелочным порфировым месторождениям (Richards, Mumin, 2013; Richards et al., 2017).

2.2.10. Другие типы месторождений

Существуют и другие относительно небольшие месторождения золота, которые не вписываются в вышеприведенные категории. Несколько месторождений, характеризующихся палладистым золотом, в частности, месторождение Серра-Пелада (100 т) в Бразилии (Cabral, 2006) и обширный горизонт Au-PGE под осадочной стратиформной медно-серебряной рудой Купфершифер в районе Любин-Серошовице в Польше (Piestrzyński, Wodzicki, 2000), являются особенно хорошими примерами.

Норильские магматические месторождения PGE-Cu-Ni содержат значительные количества золота (Yakubchuk, Nikishin, 2004; Barnes et al., 2020), которые попутно извлекаются. Месторождения этого или близкого типа встречаются в Центральной Азии (например, Калатонка в СЗ Китае (Mao et al., 2022), Волковское на Урале (Коротеев и др., 2001). В рамках данной работы они не рассматриваются и в балансовые оценки по типам месторождений включаться не будут.

Для России исторически большое значение имели аллювиальные россыпи золота (в том числе крупные и гигантские), многие из которых попадают в рассматриваемый регион. В 1991 году россыпи давали около 70% производства золота Российской Федерации (Yakubchuk, 2023). К 2022 году их доля составила чуть более 20%, также снизившись и в абсолютном выражении.

Из дальнейшего рассмотрения этот тип месторождений также будет исключен также, как и палеороссыпи.

2.3. Металлогенические провинции Центральной Азии²

Для построений в рамках данной диссертации принята база данных по Центральной Азии, составляемая автором на протяжении многих лет из открытых источников. В нее включены 445 месторождений и проявлений разных типов как с попутным, так и с основным золотом. Эти месторождения и проявления имеют запасы, геологические ресурсы и данные по добыче (Приложение 1). В международной литературе используется термин “endowment”, объединяющий извлеченное золото, запасы (reserves) и ресурсы (resources), а также иногда и геологический потенциал. Наиболее близким аналогом можно считать общие ресурсы каждого объекта, которые и принимаются для статистического учета в данной работе.

В настоящее время наиболее распространена трактовка геодинамической позиции золоторудных месторождений, оформленная в ряде публикаций Дэвида Гровса с соавторами (Groves et al., 1998). В первом приближении месторождения и вмещающие их тектонические единицы Центральной Азии содержат все элементы этой в общем-то металлогенической модели и в целом соответствуют описанным выше типам месторождений.

Автором последовательно проанализированы как типы месторождений ЦАСП, так и их тектоническая позиция, что позволило провести металлогеническое районирование Центральной Азии с разделением на металлогенические провинции. Провинции могут включать разновозрастные золоторудные месторождения всех типов, если они формировались без больших временных разрывов и могут быть увязаны с вмещающими их тектоническими элементами складчатой области. Провинции могут разделяться крупными разломами, прерывающими или смещающими такую непрерывность.

² При подготовке данного раздела диссертации использованы следующие публикации, выполненные автором лично или в соавторстве, в которых, согласно Положению о присуждении ученых степеней в МГУ, отражены основные результаты, положения и выводы исследования:

1. **Yakubchuk A., Degtyarev K., Maslennikov V. et al. Tectonomagmatic settings, architecture, and metallogeny of the Central Asian copper province // Special Publication 16. Geology and Genesis of Major Copper Deposits and Districts of the World: A Tribute to Richard H. Sillitoe. Society of Economic Geologists, Inc. 2012. 618 p. (1,66 авторского листа, 1,25 п.л., вклад автора 50%)**
2. **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%)**

На рисунке 2.3А показано распределение золотосодержащих месторождений разных типов, их объединение в рудные пояса (Рисунок 2.3Б) и, наконец, золотоносные провинции (Рисунок 2.3В), внутри которых металлогеническая эволюция увязана с геодинамической. Всего выделяется 12 металлогенических провинций (Таблица 2.1).

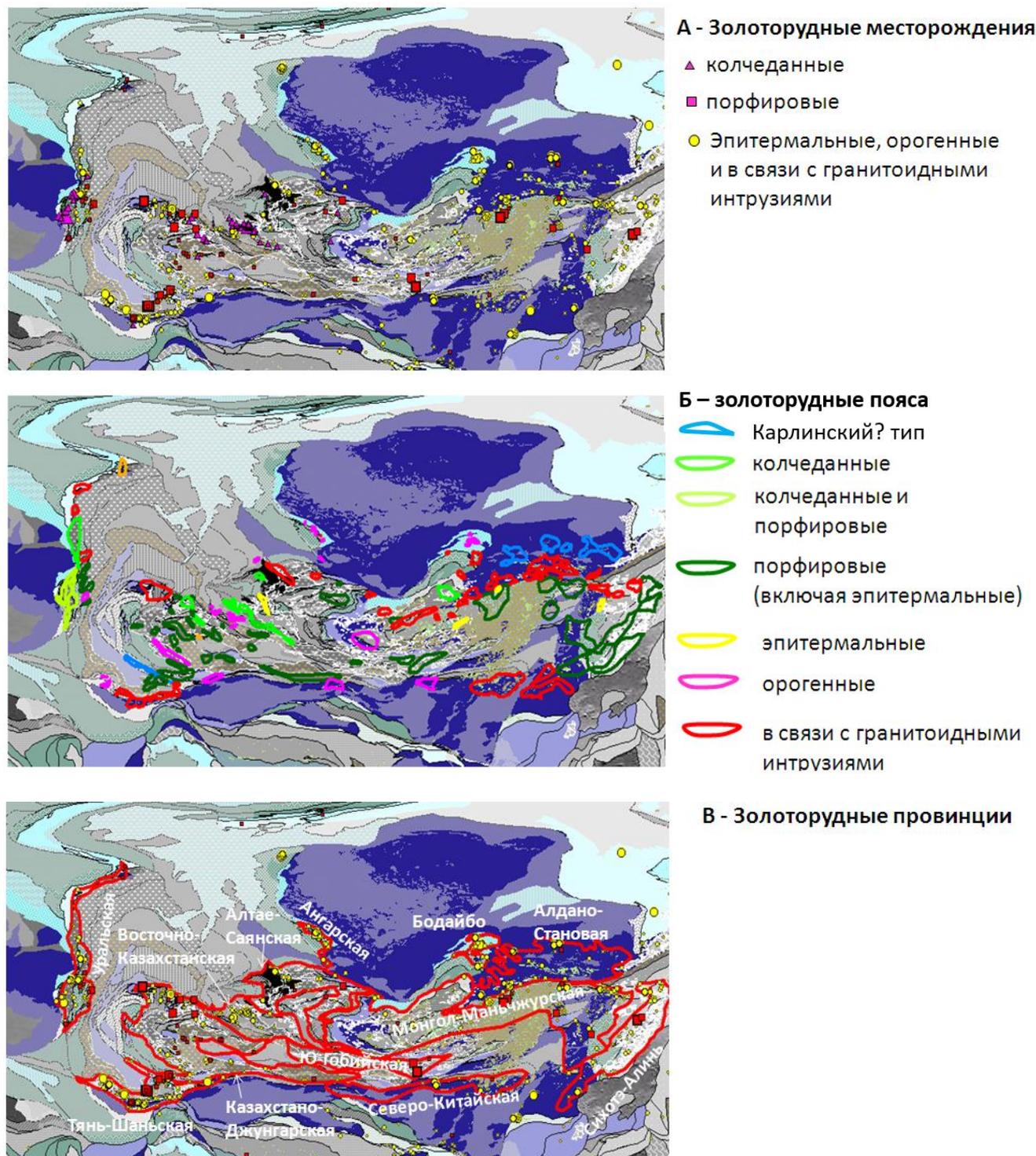


Рисунок 2.3. Золоторудные месторождения (А), металлогенические пояса (Б) и провинции (В) Центральной Азии.

Большинство выделенных металлогенических провинций располагается в ЦАСП. Их эволюция может быть расшифрована исходя из внутренней последовательности событий в нем.

Однако некоторые провинции приурочены к неопротерозойским орогенам и кратонам и их формирование увязывается или не увязывается с геодинамическими событиями в ЦАСП. В итоге металлогенические провинции Центральной Азии распространены шире, чем тектонические элементы ЦАСП.

Таблица 2.1. Золоторудные провинции Центральной Азии

Провинция	Крупнейшие месторождения	Тип крупнейшего месторождения	Вмещающая тектоническая единица	Возрастной спектр месторождений
Ангарская	Олимпиада (1866 т Au)	Орогенный	Ц.Ангарский и Панимба-Рыбинский турбидитовые террейны	PR3
Бодайбинская	Сухой Лог (3016 т Au)	Орогенный	Бодайбинский задуговой прогиб	PR3-PZ1
Южно-Гобийская	Ою Толгой (1400 т Au + CuAg)	Порфиновый	Гурван-Сайханский островодужный террейн	PZ2-3
Тянь-Шаньская	Алмалыкская группа (>2500т Au+Cu)	Порфиновый-эпитермальный	Бельтау-Кураминская дуга	PZ3
	Мурунтау (6600 т Au), Зармитан (1000 т Au)	Орогенный	Мурунский и Туркестанский турбидитовые террейны	PZ3
Алдано-Становая	Куранахская группа (715 т Au) Элькон (>170 т Au +U)	Эпитермальный / карлинский (?), IOCG(?)	Алданский щит Сибирского кратона	MZ
Алтае-Саянская	Федотовское (200 т Au)	Орогенный	Кузнецко-Хамсаринский островодужный террейн	PZ1-2
Казахстано-Джунгарская	Васильковское (513 т) Бестюбе (400 т)	Гранитоидные интрузии	Террейны и сшивающие комплексы	PZ
Восточно-Казахстанская	Риддер (>700 т Au +CuPbZnAg)	Колчеданный	Рудно-Алтайская дуга, Калбинский турбидитовый террейн	PZ2-3
	Бакырчик (>300 т Au)	Орогенный		
Уральская	Гайское (>560 т Au +CuZn)	Колчеданный	Уральские островодужные террейны	PZ2-3
	Березовское (>450 т Au)	Гранитоидные интрузии		
Монголо-Маньчжурская	Тасеевское (360 т Au)	Эпитермальное	Больше-Хинганская дуга	PZ-MZ
Северо-Китайская	Chang Shan Hao (220 т Au)	Орогенное Порфиновый	Северный край Северо-Китайского кратона	MZ1
Сихотэ-Алиньская	Малмыж (347 т Au +Cu)	Порфиновый	Сихотэ-Алиньская дуга	MZ-CZ1
	Албазино (150 т Au)	Гранитоидные интрузии		
	Многовершинное (>100 т Au)	Эпитермальное		

2.4. Рудный потенциал металлогенических провинций

Попытки оценивать рудный потенциал металлогенических провинций, включая учет неоткрытых месторождений, делались с 1950-х гг (Allais, 1957) и позднее (Griffiths, 1978; Harris, 1984; Lisitsin et al., 2010; Lisitsin et al., 2014). Начиная с 2000-х гг, Геологическая Служба США начала осуществлять программу оценки неоткрытых месторождений по отдельным видам полезных ископаемых по всему миру (Hammarstrom et al., 2015). Подобные оценки также производятся в университетах Австралии (Davies et al., 2018; Davies, 2020). Все они направлены на раскрытие дальнейшего потенциала рудных провинций на фоне снижающейся открываемости месторождений в мире (Schodde, 2019).

Одним из применяемых методов оценки нераскрытого потенциала является так называемый эмпирический закон Зипфа (Zipf's Law), первоначально разработанный американским филологом Джорджем Зипфом для статистического учета частоты повторяемости слов в текстах (Zipf, 1949). Закон Зипфа полагает, что при сортировке измеренных значений в убывающем порядке величина каждого последующего значения n (или $n+1$) обратно пропорциональна предыдущему n (или просто n).

В последние 20 лет такой подход стал применяться и для оценки потенциального размера неоткрытых месторождений полезных ископаемых. На рисунке 2.4 приведен пример такой оценки для нераскрытого золоторудного потенциала архейских зеленокаменных поясов Западной Австралии (Davies, 2020).

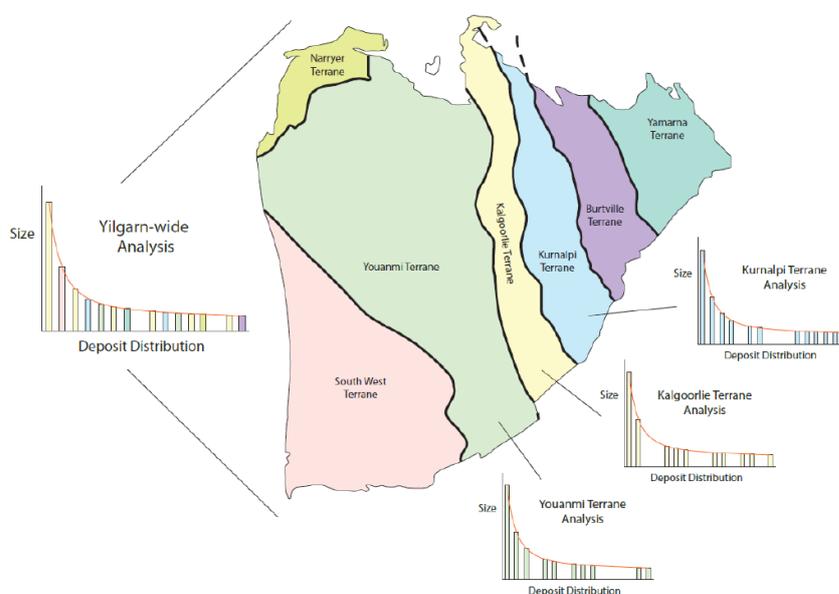


Рисунок 2.4. Концептуальная диаграмма применения закона Зипфа для кратона Йилгарн и его террейнов (Davies, 2020). Статистическая оценка была использована для оценки ресурсов в разных масштабах от всего кратона до конкретных аллювиальных узлов.

Такие оценки производятся, отталкиваясь от уровня геологических знаний по какой-либо провинции. Понятно, что такие знания в силу разных причин неравномерны от провинции к провинции. На уровень оценки провинции сильно влияет наличие или отсутствие рудников с ресурсами известных размеров. В международной практике они получили название «гринфилдс» (в переводе с английского буквально «зеленые поля») для проектов ранней стадии в новых районах и «браунфилдс» (в переводе с английского буквально «коричневые поля») вблизи известных рудников. Иногда используется понятие «йеллоуфилдс» (в переводе с английского буквально «желтые поля») для новых территорий в известных рудных районах.

Одним из постулатов является основанное преимущественно на австралийской статистике положение, что крупные месторождения в какой-либо провинции открываются в первую очередь из-за их больших размеров, из-за чего их трудно пропустить даже при малом количестве информации (Hronsky, Groves, 2008). Это положение, по-видимому, верно для выходящих на поверхность месторождений, но мало применимо для районов со слепыми рудными объектами. Так, гигантские Талнахское и Октябрьское Ni-Cu-PGE-Au-Ag месторождения в Норильском рудном районе были открыты примерно через 45-50 лет после открытия Норильска-1 и группы прилегающих объектов (Varnes et al., 2020). В Бодайбинской провинции супергигантское золоторудное месторождение Сухой Лог было открыто после разведки крупного, но гораздо более скромного месторождения Высочайшее, и ряда небольших кварцевых месторождений (Кавказ и др), а сам Сухой Лог был открыт минимум с третьего захода примерно через 60 лет после обнаружения тонких золотоносных жил, выходящих на поверхность (Буряк, Хмелевская, 1997; Vursiy et al., 2020). Можно привести множество подобных примеров, включая истории открытия колчеданно-полиметаллического месторождения Гайское на Урале (Викентьев, 2004), золоторудного месторождения Олимпиада (Sazonov et al., 2020) и недавно открытого гигантского золото-медно-порфирирового месторождения Ою-Толгой в Монголии (Crane, Cavalieris, 2012). Все эти открытия были реализованы на «полуслепых» или «слепых» объектах и привели к кардинальной переоценке рудного потенциала соответствующих провинций.

Все эти примеры относятся к территории бывшего СССР и сопредельных стран, который, как известно, обладал самой большой площадью суши в мире и в силу этого фактора шанс пропуска месторождения может считаться более высоким. Однако такие примеры можно привести и для других континентов. В итоге в данной работе сделана попытка применения Закон Зипфа для ЦАСП и, как будет показано ниже, ряд новых открытий, сделанных за последние 20 лет, существенно изменил статистику не путем заполнения «вакансий» неоткрытых месторождений, а за счет открытия в ряде случаев самых крупных месторождений в провинциях.

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 ПРОВИНЦИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ³

3.1. Ангарская провинция

3.1.1. Общие положения

Ангарская золоторудная провинция выделяется в пределах Енисейского Кряжа и его южного продолжения на протяжении 700 км при ширине всего 80 км. В Ангарской провинции (без учета россыпей) к настоящему времени выявлено более 3300 т золота, из которых примерно половина приходится на месторождение Олимпиада (Приложение 1). До открытия Олимпиадинского месторождения в 1970-е гг самым крупным считалось месторождение Советское (чуть более 100 т золота, Рисунок 3.1), которое отрабатывалось с начала 20 века подземным способом при относительно невысоких содержаниях золота (>5 г/т). Олимпиада стала крупнейшим объектом провинции, высокие содержания (около 11 г/т Au) в зоне окисления которой позволили запустить небольшую добычу (0.5-1 т золота в год) еще в позднесоветское время (Беневольский, 2002; Yakubchuk, 2023). Несмотря на большие выявленные ресурсы препятствием для расширения добычи служили как принятая в то время горнорудная практика, так и повышенные концентрации сульфидов мышьяка и сурьмы в первичных упорных рудах, которые требовали применения новых технологий извлечения.

³ При подготовке данного раздела диссертации использованы следующие публикации, выполненные автором лично или в соавторстве, в которых, согласно Положению о присуждении ученых степеней в МГУ, отражены основные результаты, положения и выводы исследования:

1. **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**)
2. **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**)
3. **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**)
4. **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%**)
5. **Yakubchuk A.,** Degtyarev K., Maslennikov V. et al. Tectonomagmatic settings, architecture, and metallogeny of the Central Asian copper province // Special Publication 16. Geology and Genesis of Major Copper Deposits and Districts of the World: A Tribute to Richard H. Sillitoe. Society of Economic Geologists, Inc. 2012. 618 p. (**1,66 авторского листа, 1,25 п.л., вклад автора 50%**)

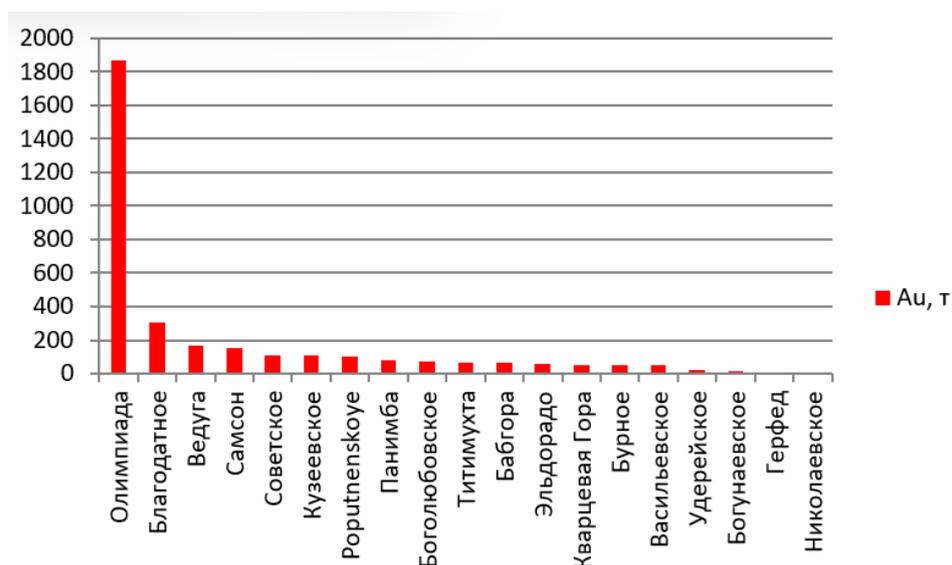


Рисунок 3.1. Золото в месторождениях всех типов Ангарской провинции.

За Олимпиадой с большим отрывом следуют позднее открытые и разведанные Благодатное и Ведугинское месторождения (Рисунок 3.1), также превышающие по запасам Советское месторождение. До выявления больших ресурсов золота на них (а также до кратного прироста ресурсов на Олимпиаде) разрыв по количеству золота между Олимпиадой и Советским месторождениями был очень контрастным. Это позволяет надеяться, что геологоразведочные работы в будущем позволят обнаружить и другие крупные месторождения как за счет новых открытий, так и за счет прироста на существующих, как это случилось на Олимпиаде.

3.1.2. Тектоническая позиция золоторудных месторождений⁴

Золоторудные месторождения Ангарской провинции сформировались при геодинамических событиях на западной окраине Сибирского кратона (Sazonov et al., 2020). Близкие по типу месторождения находятся в разных структурных элементах Енисейского Кряжа на протяжении около 600 км (Рисунок 3.2А), что говорит об их формировании одновременно с тектонической консолидацией или после нее.

⁴ При подготовке данного раздела диссертации использованы следующие публикации, выполненные автором лично или в соавторстве, в которых, согласно Положению о присуждении ученых степеней в МГУ, отражены основные результаты, положения и выводы исследования:

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. 845 p. (1,33 авторского листа, 1 п.л., вклад автора 15%)

На востоке Енисейского Кряжа выделяется Восточно-Ангарский террейн, интерпретируемый как неопротерозойская пассивная окраина Сибири. Считается, что он ограничен на западе Рыбинско-Панимбинской сутурой с фрагментами офиолитов, метаморфизованных около 1050-900 млн лет (Верниковский, Верниковская, 2006). С ней же совпадает Татарско-Ишимбинская зона разломов.

Западнее располагается Центрально-Ангарский террейн, состоящий из неопротерозойских метаморфических сланцев, карбонатных пород и даже молассовидных образований, прорванных несколькими генерациями гранитов возрастом 760-720, 710-690 и 625-620 млн лет (Верниковская и др., 2009). Граниты хорошо выражены в гравитационном поле (Рисунок 3.2Б), что облегчает их картирование в условиях таежной местности. Граниты аяхтинского комплекса S-I-типов возрастом 760-750 млн лет считаются синколлизионными, а граниты глушихинского комплекса возрастом 750-720 млн лет А-типа - постколлизийными (Верниковский и др., 2002; Верниковская и др., 2009). Кроме того, присутствуют щелочные мафит-ультрамафитовые интрузии возрастом 680-640 млн лет (Верниковский и др., 2008).

Только на самом западе Кряжа в небольших выходах присутствуют островодужные вулканические породы и фрагменты офиолитов, объединяемые в Исаковский террейн (Верниковский, Верниковская, 2006). Его породы имеют возраст 700-630 млн лет, частично перекрывающийся с гранитами Центрально-Ангарского террейна. В южной части Кряжа аналоги Исаковского террейна закартированы как Предивинский террейн (Рисунок 3.2В). На востоке он контактирует с метаморфическим Ангара-Канским террейном, представляющим собой палеопротерозойское метаморфическое основание Сибирского кратона.

Западные террейны Енисейского Кряжа считаются надвинутыми на Восточно-Ангарский террейн (пассивную окраину Сибирского кратона) по Татарско-Ишимбинской системе разломов (Рисунок 3.3; Верниковская и др., 2009), в которую в основном внедрены граниты аяхтинского комплекса. При этом Центрально-Ангарский террейн интерпретируется как неопротерозойский аккреционный комплекс, прорванный коллизийными гранитами (Верниковская и др., 2009). Альтернативная точка зрения (Козлов и др., 2020) рассматривает граниты Енисейский Кряжа как внедрившиеся в тыловодужной обстановке.

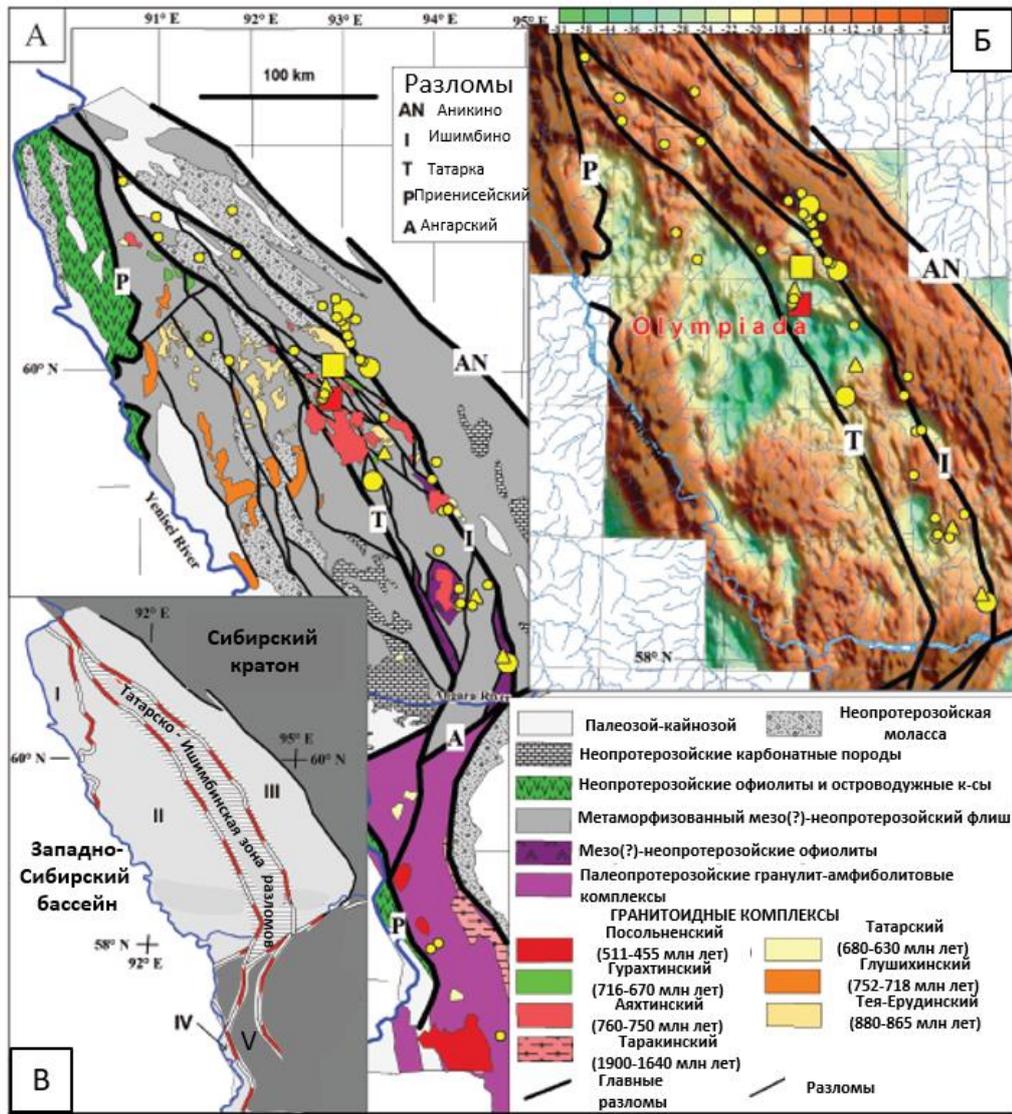


Рисунок 3.2. Схематическая геологическая (А) и гравитационная (Б) карты Ангарского сегмента Енисейского Кряжа и его террейны (В) (Sazonov et al., 2020 с изменениями). Террейны: I – Исаковский, II – Центрально-Ангарский, III – Восточно-Ангарский, IV – Предивинский, V – Ангара-Канский.

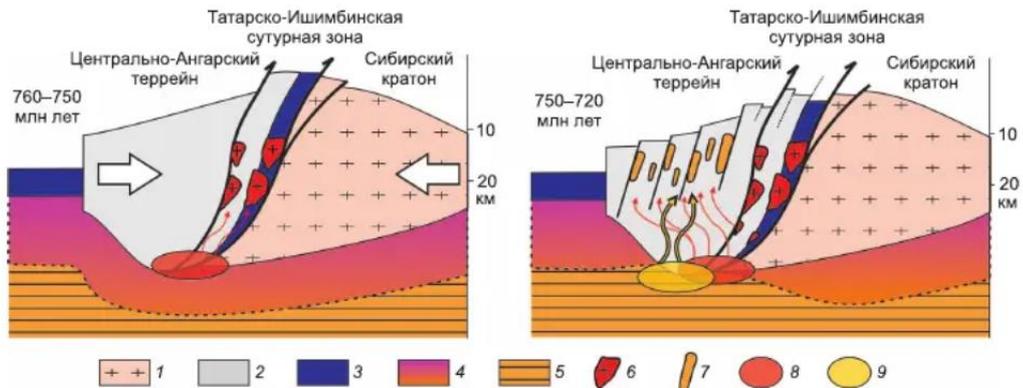


Рисунок 3.3. Геодинамическая модель формирования коллизионных гранитоидных комплексов (760-720 млн лет) Енисейского Кряжа (Верниковская и др., 2009). 1 – гранитно-метаморфические комплексы; 2 – метаморфические комплексы Центрально-Ангарского террейна, граниты тейского комплекса (880-864 млн лет); 3 – океанская кора; 4 – литосферная мантия; 5 – астеносфера; 6 – синколлизийные граниты аятинского комплекса; 7 – постколлизийные лейкограниты глушихинского комплекса (750-720 млн лет); 8, 9 – магматические источники: 8 – континентальный коровый, 9 – мантийный.

Вдоль Татарско-Ишимбинской системы разломов расположены все золоторудные месторождения Кряжа. При общей вытянутости провинции в ССЗ направлении месторождения образуют кластеры с шагом около 50 км, внутри которых группы месторождений ориентированы в ССВ и СВ, не распространяясь в северной части Кряжа восточнее Ишимбинского разлома. Кулисный структурный рисунок указывает на возможную правосдвиговую компоненту смещения по системе разломов, вдоль которых и происходило основное проникновение рудоносных флюидов, разгрузавшихся в антиклинальных ловушках и вблизи уже упомянутых ареалов гранитоидов, которые тоже не распространяются к востоку от Ишимбинского разлома.

Большинство золоторудных месторождений может быть отнесено к орогенным, хотя для Олимпиады указываются некоторые черты месторождений карлинского типа (Sazonov et al., 2020). Некоторые проявления Партизанского узла (к югу от Олимпиады) находятся целиком в гранитоидах, а Кузеевское и Богунаевское месторождения на юге Кряжа залегают среди палеопротерозойских метаморфических пород Сибирского кратона. Для многих месторождений характерно присутствие повышенных содержаний мышьяка и сурьмы, вплоть до экономических концентраций последней.

По данным Сазонова и др. (2010), собственно рудные образования, несущие арсенопиритовую с золотом минерализацию, имеют следующие возраста с постепенным омоложением в южном направлении: 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. Таким образом, геохронологические датировки не дают узкого интервала формирования золоторудных месторождений.

Имеющиеся изотопные датировки для месторождения Олимпиада (817-758 млн лет) также не дают узкого интервала формирования (Sazonov et al., 2020). Но эти данные не исключают, что рудные тела Олимпиады могли сформироваться синхронно с синколлизонными гранитоидными комплексами Центрально-Ангарского террейна и вписаны в его складчатую структуру, что позволяет считать наиболее вероятным возрастом месторождения интервал 760-750 млн лет.

Вместе с тем во многих месторождениях регистрируются омолаживающие события возрастом 689-615 млн лет (Sazonov et al., 2020), что также синхронно времени формирования некоторых гранитоидных комплексов Енисейского Кряжа. Имеются и более молодые датировки 513-511 млн лет (Yakubchuk et al., 2014), синхронные формированию порфириновых месторождений соседней Алтае-Саянской провинции (см. ниже).

В любом случае большинство имеющихся датировок являются более древними, чем месторождения любой другой провинции Центральной Азии и указывают на формирование золоторудных месторождений Кряжа до распада суперконтинента Родиния 720 млн лет назад (Scotese, 2001), очевидно, без прямой связи с развитием ЦАСП. Однако вышеуказанные омолаживающие события могут отражать процессы в ЦАСП после распада Родинии. Началу такого омоложения соответствуют островодужные и офиолитовые комплексы Исаковского и Предивинского террейнов, имеющие возрастной диапазон 700-640 млн лет (Метелкин и др., 2007). А интервалу 640-620 млн лет соответствует глаукофановый метаморфизм и динамометаморфизм (608-595 млн лет) в условиях сдвига (Метелкин и др., 2007).

Золоторудные месторождения Ангарской провинции не имеют синхронных месторождений других типов в связи с островодужным или иным магматизмом в Енисейском Кряже, но их позиция относительно островодужных месторождений в геодинамической модели (Groves et al., 1998) не соответствует положению в аккреционном комплексе в надсубдукционной части погружающейся океанической плиты. Это определяет тектоническую позицию орогенных месторождений Кряжа как тыловодужную по отношению к закартированным островодужным террейнам.

3.2. Алтае-Саянская провинция

3.2.1. Общие положения

Алтае-Саянская провинция (Григоров, 2003) содержит раннепалеозойские колчеданные, порфировые, орогенные(?) или в связи с гранитоидными интрузиями золоторудные месторождения преимущественно среднего размера с общими ресурсами чуть более 1000 т (Приложение 1). Самым крупным месторождением является Федотовское (200 т Au; Ненашева и др., 2001). Распределение месторождений по количеству золота показывает некоторые разрывы в статистике для месторождений среднего размера (Рисунок 3.4), что предполагает возможность выявления новых объектов среднего размера или прироста на имеющихся.

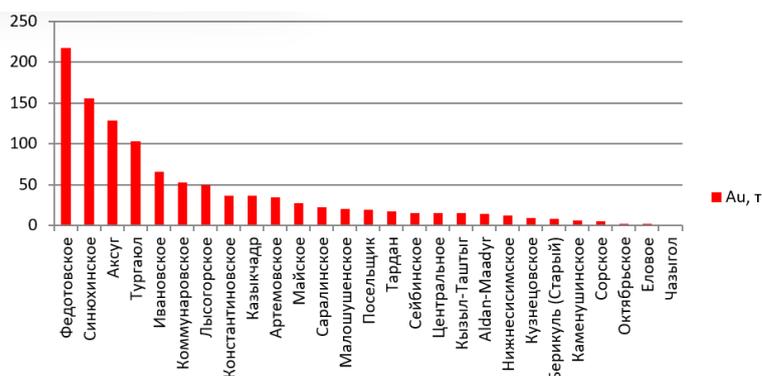


Рисунок 3.4. Золото в месторождениях всех типов Алтае-Саянской провинции.

3.2.2. Тектоническая позиция золоторудных месторождений

Провинция в целом имеет Z-образную форму, сужаясь к югу и повторяя сложную ороклинную конфигурацию (Рисунок 3.5А). На северо-востоке границей провинции является Главный Саянский разлом, отделяющий ее от Сибирского кратона. На севере провинция уходит под Западно-Сибирский осадочный бассейн, но на северо-западе ограничением являются надвинутые на нее позднепалеозойские терригенные террейны Томь-Колыванской складчатой системы. На юго-востоке ее границей с Монголо-Маньчжурской провинцией является уже упоминавшаяся Адагдарская сутура (Рисунок 1.3). На юго-западе провинция граничит с Восточно-Казахстанской провинцией по Чарышко-Теректинскому разлому.

Золоторудные месторождения разных типов группируются в металлогенические пояса (Рисунок 3.5Б). В Салаирской части присутствуют небольшие колчеданные полиметаллические месторождения ранне-среднекембрийского возраста около 500(?) млн лет (Салаир, Урское, Каменушинское; Инякин, 2018). Некоторые из них содержат попутное золото (0.1-0.4 г/т и >0.5 г/т) и дают его россыпи. В данной работе островодужные комплексы Салаира интерпретируются как часть Кипчакской дуги (Yakubchuk, 2017).

Большую часть провинции составляет Кузнецко-Хамсаринский островодужный террейн (Берзин, Кунгурцев, 1996) с кластерами раннепалеозойских порфировых месторождений (Yakubchuk et al., 2012), протягиваясь на 1600 км из Кузнецкого Алатау через Туву в Озерный округ Монголии (Рисунок 3.5Б). При этом в турбидитах аккреционных комплексов во фронте дуги (в ядре Западно-Саянского ороклина) нет никаких золоторудных месторождений. Колчеданные месторождения дуги имеют как несколько более древний, так и почти синхронный возраст с порфировыми. Их возраст в целом определяется по стратиграфическому положению.

Наиболее изученное и наиболее крупное медно-золото-порфировое месторождение Аксуг (~5 млн т Cu, 93 т Au; Yakubchuk et al., 2012) имеет возраст 511 млн лет по Re-Os и U-Pb

датировкам и ранее считалось девонским по возрасту (Berzina et al., 2003). Однако другие порфировые месторождения провинции, например, молибден-порфировое Сорское - 506 млн лет (Берзина и др., 2011) и медно-порфировое проявление Кызык-Чадр – 507 млн лет (Гусев и др., 2014) также оказались раннепалеозойскими.

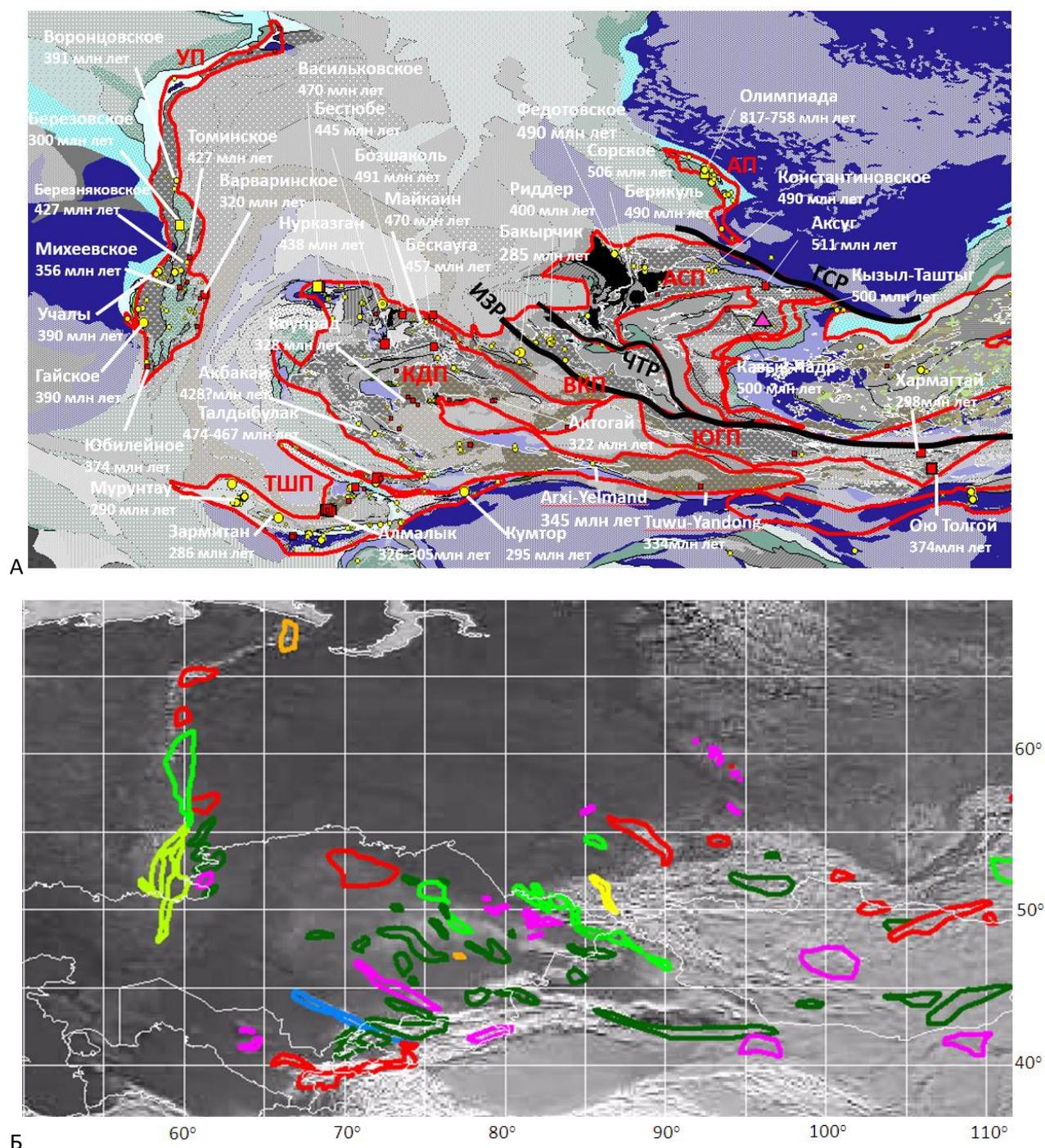


Рисунок 3.5. Месторождения (А) и рудные пояса (Б) Ангарской (АП), Алтае-Саянской (АСП), Казахстано-Джунгарской (КДП), Южно-Гобийской (ЮГП), Восточно-Казахстанской (ВКП), Тянь-Шаньской (ТШП) и Уральской (УП) золоторудных провинций. Разломы: ИЗР – Иртыш-Зайсанский, ЧТР – Чарышко-Теректинский. Условные обозначения для рудных поясов см на Рисунке 2.3Б.

Породы рудоносных малых интрузий Аксуга относятся к известково-щелочной серии пониженной щелочности с доминированием натрия над калием. Поздняя магматическая

ассоциация представлена лейкогранитами и аплитами высококальциевой известково-щелочной серии с некоторыми адакитовыми характеристиками (Берзина и др., 2017) также, как и для Кызык-Чадрского месторождения (Гусев и др., 2014). Известково-щелочной химизм магматизма соответствует относительно низким содержаниям золота при высокой меди в этих порфириновых месторождениях.

Колчеданное месторождение Посельщик по геологическим данным имеет возраст около 530 млн лет, а колчеданно-полиметаллическое месторождение Кызыл-Таштыг, проявления Дальнее и Кызыл-Таш – 500 млн лет (Lobanov et al., 2014).

Среднего размера золоторудные месторождения (Берикуль, Саралы, Константиновское) в тылу Кузнецко-Хамсаринской дуги давно отрабатываются (в небольших объемах) или на них в прошлом велась добыча золота. В литературе (Григоров, 2003) отмечается, что Саралинское и Константиновское месторождения приурочены к метаморфизованным осадочным толщам, но также отмечается присутствие золоторудных месторождений в связи с позднекембрийскими гранитоидными интрузиями (Ненашева и др., 2004). В последнее время современными методами эти месторождения не изучались, но гранитоиды и были продатированы современными методами (495-487 млн лет; Владимиров и др., 2013). Считается, что они сформировались синхронно с салаирской складчатостью, то есть после колчеданных и порфириновых месторождений.

Таким образом, на современном уровне знаний, несмотря на неопределенность с возрастом некоторых месторождений, можно считать, что в Алтае-Саянской провинции не соблюдается пространственная зональность, предусматриваемая металлогенической моделью (Groves et al., 1998; Рисунок 2.1) для золота орогенных и сингранитоидных месторождений, формирование которых происходит не в пределах аккреционного комплекса во фронте магматической дуги, а в ее тылу и при последующей коллизии дуги с кратонными террейнами или Сибирским кратоном.

3.3. Казахстано-Джунгарская провинция

3.3.1. Общие положения

Казахстано-Джунгарская провинция содержит типы месторождений золота, похожие на Алтае-Саянские, но они имеют более крупный размер (Рисунок 3.6), больший возрастной диапазон и большие общие ресурсы (всего >4000 т; Приложение 1). Самым крупным месторождением провинции является Васильковское (>500 т). В почти статистически правильном распределении месторождений по размеру имеются лишь небольшие разрывы на уровне средне-крупного размера, где и возможно выявление новых объектов или прирост на

имеющихся. Так, прирост почти в 6 раз до 186 т золота был реализован с 2014 года при геологоразведочных работах на месторождении Райгородок (бывшее Новоднепровское) в Северном Казахстане (Ковалев и др., 2018).

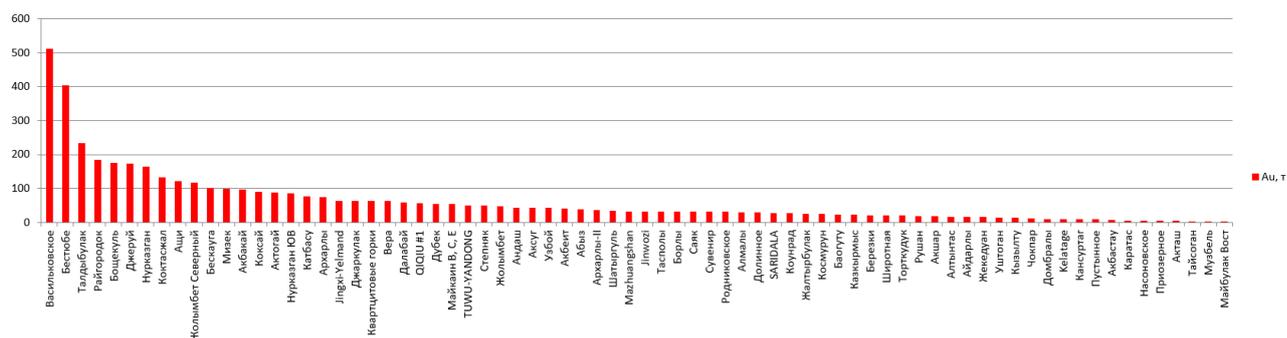


Рисунок 3.6. Золото в месторождениях всех типов Казахстано-Джунгарской провинции.

3.3.2. Тектоническая позиция золоторудных месторождений⁵

Казахстано-Джунгарская провинция имеет подковообразную форму (Рисунок 3.5). Повторяя конфигурацию Казахского орогена, она протягивается на 1200 км из северной Джунгарии в северный Казахстан, а затем еще на 2500 км своим южным флангом в китайский Тянь-Шань. Так же как в Алтае-Саянской провинции, палеозойские турбидитовые аккреционные комплексы в ядре Казахского орогена (Джунгаро-Балхашская складчатая область) не имеют орогенных золоторудных месторождений, что следовало бы ожидать согласно применяемой геодинамической модели (Рисунок 2.1; Groves et al., 1998).

Как показано в Главе 1, в северном Казахстане присутствуют два раннепалеозойских островодужных террейна (Кипчакский и Сарыаркинский), разделенные междуговой Майкаин-Балкыбекской сутурой с позднекембрийско-раннеордовикскими офиолитами (Рисунок 1.3). С этими террейнами связаны золото-медно-порфиновые и золото-колчеданные месторождения (Yakubchuk et al., 2012).

⁵ При подготовке данного раздела диссертации использованы следующие публикации, выполненные автором лично или в соавторстве, в которых, согласно Положению о присуждении ученых степеней в МГУ, отражены основные результаты, положения и выводы исследования:

1. **Yakubchuk A.** Architecture and mineral deposit settings of the Altai 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**)
2. **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%**)
3. **Yakubchuk A., Degtyarev K., Maslennikov V. et al.** Tectonomagmatic settings, architecture, and metallogeny of the Central Asian copper province // Special Publication 16. Geology and Genesis of Major Copper Deposits and Districts of the World: A Tribute to Richard H. Sillitoe. Society of Economic Geologists, Inc. 2012. 618 p. (**1,66 авторского листа, 1,25 п.л., вклад автора 50%**)

Наиболее древними являются хорошо изученные золото-медно-порфировые месторождения в Бошекульском сегменте Кипчакского террейна, такие как собственно Бозшаколь (+4 млн т Cu, 100 т Au) - 491 млн лет (Рисунок 3.5А; Shen et al., 2018). Его рудоносные интрузии обнаруживают переходные геохимические характеристики между адакитами и нормальными островодужными породами, что сходно с несколько более древними порфировыми месторождениями Алтае-Саянской провинции (см выше).

На основании стратиграфических данных во времени порфировые месторождения сменяются золото-полиметаллическими колчеданными (Майкаин (~0.4 млн т Cu, 100 т Au +Zn-Pb-Ag) - ~470 млн лет; Lobanov et al., 2014), что отражает раскрытие междугового бассейна между двумя дугами. При этом считается, что Сарыаркинская дуга находится во фронтальной части по отношению к океану, реконструируемому в Джунгаро-Балхашской области (Degtyarev et al., 2021). Также в Сарыаркинской дуге присутствуют другие золото-полиметаллические колчеданные месторождения со стратиграфическим возрастом около 475 млн лет (Акбастау, Космурун, Сувенир, Торткудук) и позднеордовикский Мизек (Lobanov et al., 2014).

Сутурирование Майкаин-Балкыбекского междугового бассейна произошло в конце ордовика-начале силура (Якубчук, 1990; Якубчук, Дегтярев, 1991), видимо, синхронно с ороклинным изгибом и левосторонним смещением Алтае-Саянских островодужных террейнов относительно террейнов Казахского нагорья. С субдукцией под Кипчакскую дугу, вероятно, связано формирование недавно открытого медно-золото-порфирового месторождения Бескауга возрастом 457 млн лет, в котором золото играет существенную роль при пониженной меди относительно золота (0.696 млн т Cu, 121 т Au; Underwood, Dumala, 2022). При этом химизм порфировых магм указывается как известково-щелочной, что, очевидно, требует заверки.

На севере и западе нагорья в это время тоже проявились коллизионные деформации, сформировавшие сложную конфигурацию разнородных террейнов. В конце ордовика террейны Северного Казахстана были спаяны большим (400x300 км) ареалом гранитоидов крыккудукского комплекса, с ранними фазами которого связаны крупные золоторудные месторождения возрастом ~445 млн лет (Аксу (45 т Au), Бестюбе (>400 т Au, Spiridonov, 2014) и несколько более раннее Васильковское (>500 т Au) возрастом 470-465 млн лет (Мирошникова, 2018). Именно месторождения этого типа являются самыми крупными в Казахстано-Джунгарской провинции.

На Северном Тянь-Шане (вдоль границы Казахстана и Кыргызстана) также присутствует фрагмент раннепалеозойской магматической дуги (Degtyarev et al., 2013) с золото-медно-молибден-порфировыми (Талдыбулак – 0.5 млн т Cu, 233 т Au; Андаш – 0.07 млн т Cu, 19 т Au) и небольшими скарновыми (Акташ) месторождениями Таласского пояса возрастом 474-467 млн

лет (Yakubchuk et al., 2012), практически синхронные Васильковскому месторождению в Северном Казахстане. Рядом с ними в 30 км к югу располагается Джеруйское месторождение (90 т Au) в связи со средне-позднеордовикскими гранитоидными интрузиями. Пояс сформировался синхронно с коллизией метаморфических террейнов Срединного и Северного Тянь-Шаня.

Поверх сблизившихся террейнов Казахского нагорья и Северного Тянь-Шаня сразу же начала формироваться сшивающая Среднепалеозойская дуга, с которой в Центральном Казахстане тоже связаны медно-золото-порфировые месторождения возрастом около 438 млн лет (Нурказган – 4.5 млн т Cu, 250 т Au; Yakubchuk et al., 2012; Shen et al., 2018) и 437 млн лет (Коксай – 3 млн т Cu, 90 т Au; Yakubchuk et al., 2012), лишь несколько более молодые, чем северо-казахстанские золоторудные месторождения в связи с гранитоидными интрузиями. Порфировые рудоносные интрузии соответствуют нормальными островодужным породам (Shen et al., 2015).

В тыловой части дуги в Южном Казахстане располагается группа средне-крупных золото-жильных (орогенных) месторождений Акбакайской группы (Канаева и др., 2012), сформировавшихся, по-видимому, в начале силура.

Несколько позже в Предчингизье в тылу Среднепалеозойской дуги сформировались девонские золото-полиметаллические колчеданные месторождения (Абыз – 40 т Au; Мазуров и др., 2020).

С конца девона островодужный магматизм сместился и стала функционировать Балхаш-Илийская магматическая дуга, фронт которой располагается ближе к ядру Казахского ороклина с максимальным смещением на 400 км к юго-востоку относительно фронта Среднепалеозойского пояса. Однако на крыльях ороклина позднепалеозойская дуга наложена на среднепалеозойскую без смещения. Из этого следует, что в середине девона ороклин испытал дополнительное сжатие на фоне продолжающейся субдукции со стороны Джунгаро-Балхашского океана (Vazhenov et al., 2012).

В Балхаш-Илийской дуге формировались медно-порфировые (Коунрад, Актогай) с очень низким золотом (0.02-0.03 г/т) и медно-скарновые (Саяк) месторождения возрастом 322-328 млн лет. Они располагаются во фронтальной части дуги, но каждое из них находится в начале рудных поясов, ориентированных косо по отношению к дуге и уходящих далеко в ее тыл. Наиболее ярко это проявлено для рудного пояса северо-западного простирания длиной 260 км (Yakubchuk et al., 2012), в котором рудная специализация порфиров меняется от медной вблизи фронта дуги (Коунрад, Борлы) до W-Mo в тылу (Верхнее Кайракты), что типично для зональности в Андах. Еще один пояс медно-молибден-порфировых месторождений (Сарышаган, Восток-1 и др.) располагается в 100 км к западу. Он состоит из двух изометричных кластеров, разделенных

озером Балхаш (Рисунок 3.5Б), исключая влияние которого можно оконтурить еще один пояс северо-западного простирания. В итоге каждый из этих поясов контролируется, соответственно, северо-восточной и юго-западной границами Актау-Моинтинского кратонного террейна (Рисунок 1.3). На востоке казахстанской части Балхаш-Илийской дуги порфиновые пояса (включая группу месторождений Актогай) менее выражены и требуют дальнейшего изучения. По химизму рудоносные порфиры Актогая и Коунрада соответствуют переходу от адакитов к нормальным островодужным породам (Shen et al., 2015).

В целом для замковой части Казахского ороклина задокументировано омоложение к юго-юго-востоку от ордовика до карбона крупных медно-(золото)-порфиновых месторождений в соответствии с миграцией островодужного магматического фронта. В тектоническом плане западнее этой области преобладают докембрийские метаморфические террейны, а к востоку они отсутствуют. Представляется, что эта долгоживущая и тектонически контрастная зона была благоприятна для формирования крупных месторождений разных типов, особенно в среднем и позднем палеозое.

В Южном Казахстане и в северо-западном Китае сохранились позднепалеозойские эпитепральные месторождения (Arxi – 120 т Au, Yelmand – 60 т Au; Long et al., 2005), являющиеся частью широтного тренда длиной 450 км, включая группу порфиновых месторождений Tuwu-Yandong (3 млн т Cu, 50 т Au; Xiao et al., 2017), также геохимически отвечающими переходным породам между адакитами и нормальными островодужными породами (Shen et al., 2015). Восточное продолжение остается плохо понятным в виду того, что позднепалеозойские вулканы здесь находятся прямо на границе Монголии и Китая, а далее к востоку от позднемезозойского Восточно-Монгольского сдвига с левосторонним смещением около 400 км продолжение этой магматической дуги обнажается лишь фрагментарно из-под мезозойских образований Большехинганской магматической дуги и мезозойско-кайнозойского осадочного бассейна Сунляо. Здесь известно небольшое молибден-порфировое месторождение Уландлер (Nie and Jiang, 2011), но оно имеет мезозойский (134 млн лет) возраст и скорее относится к другой металлогенической провинции.

В тылу Балхаш-Илийской дуги (в 100-200 км по отношению к ее фронту) находятся фаменские рифты, в целом повторяющие изгиб замковой части ороклина. Они не несут золоторудных месторождений, но в них обнаружены экономически значимые месторождения Fe-Mn и Pb-Zn-Ag практически без золота (Веймарн, Милановский, 1993).

Таким образом, металлогеническая зональность в замковой части Казахского ороклина повторяется трижды со смещением в пространстве. При этом геохимические характеристики

порфировых интрузий независимо от их тектонической позиции в террейнах фундамента или сшивающих магматических дугах остаются в целом переходными между адакитами и нормальными островодужными породами (Shen et al., 2015). Только для Актогая указывается преобладание адакитов, что отражает более мощную кору в районе этого месторождения и коррелирует с его гигантскими запасами меди (свыше 10 млн т), хотя и при слабой золотоносности (Yakubchuk et al., 2012).

Для дуговой и задуговой части 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 отмечаются в тылу магматических дуг, формируясь после порфировых и колчеданных, одновременно с позднеордовикскими и раннесилурийскими деформациями Центрального Казахстана.

3.4. Восточно-Казахстанская провинция

3.4.1. Общие положения

Восточно-Казахстанская провинция площадью 1400x450 км содержит крупные месторождения золота (всего около 2500 т; Приложение 1) разных типов (Рисунок 3.7). Самыми крупными по количеству золота являются колчеданное Риддер-Сокольное (Ганженко и др., 2018) и орогенный Бакырчик (Канаева и др., 2014). Для провинции характерно присутствие большого количества малых месторождений, в том числе колчеданных, в которых золото является попутным продуктом. Возможно, часть месторождений содержит большие ресурсы, чем сейчас известно. В целом статистика распределения месторождений по размеру указывает на высокую опоскованность провинции.

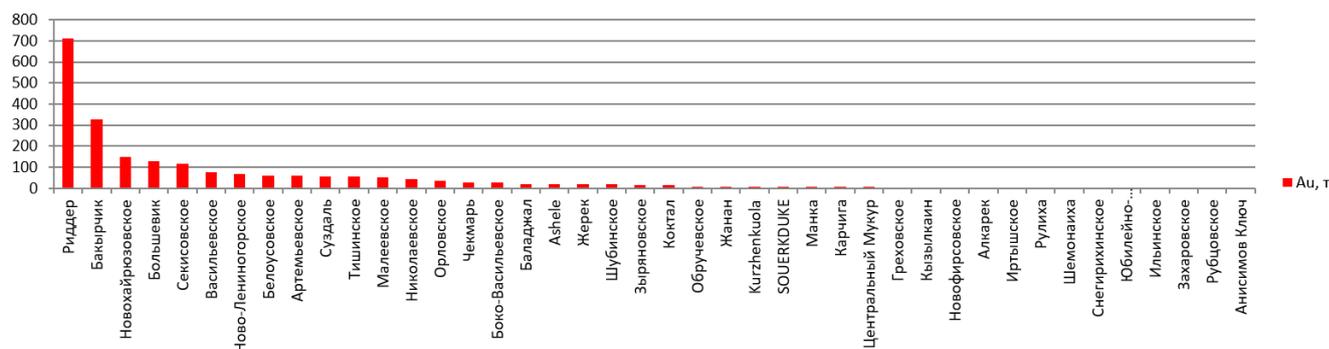


Рисунок 3.7. Золото в месторождениях всех типов Восточно-Казахстанской провинции.

3.4.2. Тектоническая позиция золоторудных месторождений⁶

Восточно-Казахстанская провинция на северо-западе скрывается под Западно-Сибирским бассейном, а на юго-востоке выклинивается между Казахстано-Джунгарской и Алтае-Саянской провинциями несколько юго-восточнее озера Зайсан (Рисунок 3.5, 3.8), не проходя в отличие от многих представлений в Южную Гоби. На северо-востоке Восточно-Казахстанская провинция отделена крупными разломами от Алтае-Саянской, с которой не может быть объединена металлогенически из-за большого временного разрыва (около 100 млн лет), связанного с крупной тектонической перестройкой в Алтае-Саянской складчатой области.

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 порфировые месторождения, соответственно.

Наиболее древними на Рудном Алтае являются небольшие медно-(золото)-колчеданные месторождения типа Бесси (Карчига 200 тыс т Cu, 5 т Au; Lobanov et al., 2014) в Курчум-Кальжирском метаморфическом террейне. Датирование руд и вмещающих пород показало, что руды были метаморфизованы 370 млн лет назад, а возраст их формирования может быть раннепалеозойским или даже неопротерозойским.

Метаморфизм руд типа Бесси частично перекрывается по возрасту формирования со знаменитыми золото-полиметаллическими колчеданными месторождениями Рудного Алтая (тип Куроко), сформировавшимися между 395 и 372 млн лет. Золото в них является важным компонентом. Только из месторождения Риддер добыто свыше 500 т золота (Lobanov et al., 2014), и оно превышает по запасам Бакырчикское месторождение орогенного золота. Для девонских колчеданных месторождений установлена рудная зональность с преобладанием свинца вдоль северо-восточной границы Рудного Алтая и меди-цинка с золотом вдоль юго-западной (фронтальной) границы дуги (Lobanov et al., 2014).

⁶ При подготовке данного раздела диссертации использованы следующие публикации, выполненные автором лично или в соавторстве, в которых, согласно Положению о присуждении ученых степеней в МГУ, отражены основные результаты, положения и выводы исследования:

1. *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)
2. *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%)

Жарма-Саурская магматическая дуга с медно-золото-порфировыми месторождениями возрастом 320(?) млн лет, из которых Кызылкаин (1.6 млн т Cu; Singer et al., 2008) является наиболее значимым, наложена на Кипчакский террейн Казахстано-Джунгарской провинции. Химизм порфировых интрузий современными методами не изучался, что обозначает необходимость таких исследований.

Между двумя дугами, сходящимися на юго-востоке, располагается Чарский аккреционный террейн Иртыш-Зайсанской складчатой области, в которой известны ордовикско-девонские офиолиты и девонско-каменноугольные турбидиты (Safonova et al., 2018). Во многих работах считается (Моссаковский и др., 1993; Буслов и др., 2013), что Иртыш-Зайсанская складчатая область соединяется с Джунгаро-Балхашской под кайнозойской впадиной озера Зайсан. Однако магнитные данные (Рисунок 3.8) указывают, что такого соединения нет, так как Жарма-Саурская дуга прослеживается в юго-восточном направлении под Зайсанской впадиной до сочленения с Рудно-Алтайской, а турбидитовые террейны Иртыш-Зайсанской складчатой области на поверку оказываются смятыми в изоклиналиный Иртышский ороклин (Рисунок 3.8).

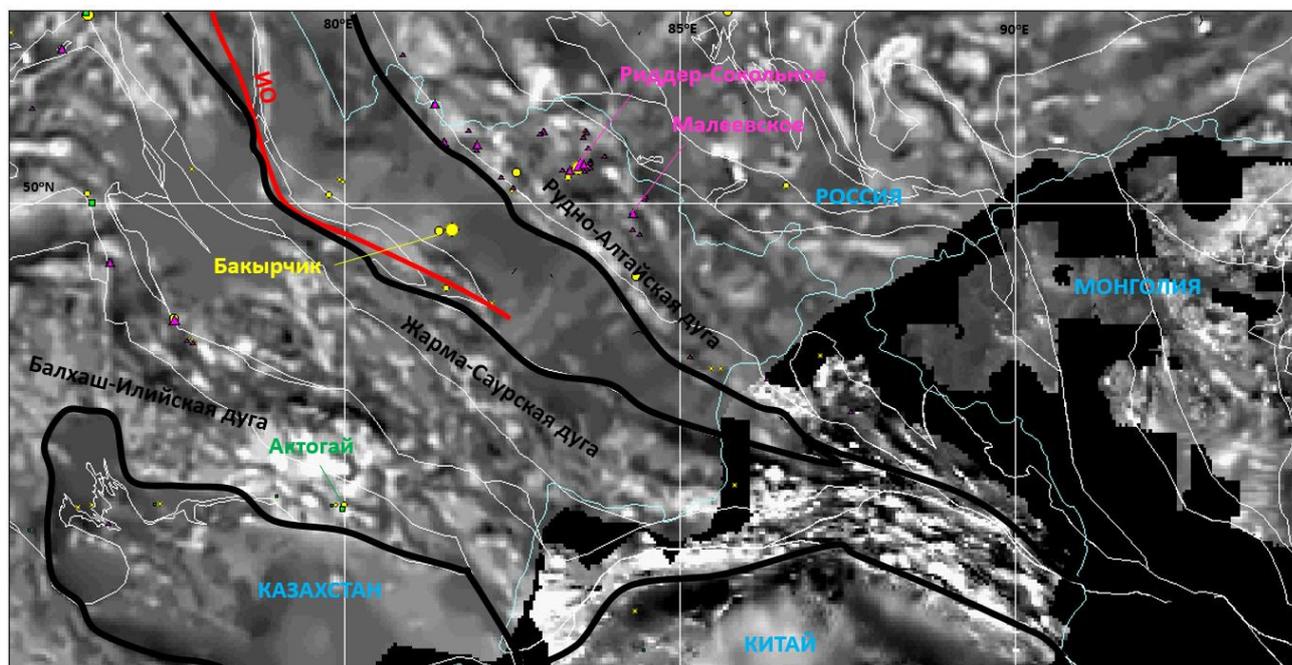


Рисунок 3.8. Магнитная карта показывает окончание Иртыш-Зайсанских турбидитовых и офиолитовых террейнов на территории Китая между Рудно-Алтайской и Жарма-Саурской дугами. ИО – ось Иртышского ороклина

Среди турбидитов присутствуют углеродистые сланцы (Зимановская, 2012). С ними связаны значимые орогенные месторождения, образующие несколько рудных кластеров с шагом около 100 км. Самое крупное Бақырчикское месторождение содержит более 300 т золота. Его возраст (участок Большевик) составляет 285 млн лет (Антонов, 2012). По этому параметру

рудоносное событие синхронно с Тянь-Шаньским орогенным золотом (см ниже), но на месторождении Суздаль (58 т Au) возраст минерализации оценен в 248 млн лет (Ковалев и др., 2012).

При формальном сопоставлении с металлогенической моделью (Groves et al., 1998) зональность Восточно-Казахстанской провинции соответствует модельной с орогенными месторождениями во фронтальном аккреционном комплексе по отношению к магматическим дугам. Однако явно более молодой изотопный возраст орогенных месторождений увязывает их с коллизионным закрытием Иртыш-Зайсанского океанического бассейна при деформации Рудно-Алтайской и Жарма-Саурской дуг, а не с субдукционными процессами в них.

3.5. Южно-Гобийская провинция

3.5.1. Общие положения

Южно-Гобийская провинция по существу является восточным продолжением северного крыла Казахстано-Джунгарской провинции, но отделена от последней мезозойско-кайнозойскими осадочными бассейнами Джунгарской впадины. Ою-Толгой и Херуга (вместе >1400 т Au +36 млн т Cu; Приложение 1) являются крупнейшими золоторудными объектами (Рисунок 3.9), открытыми и разведанными после 2000 года.

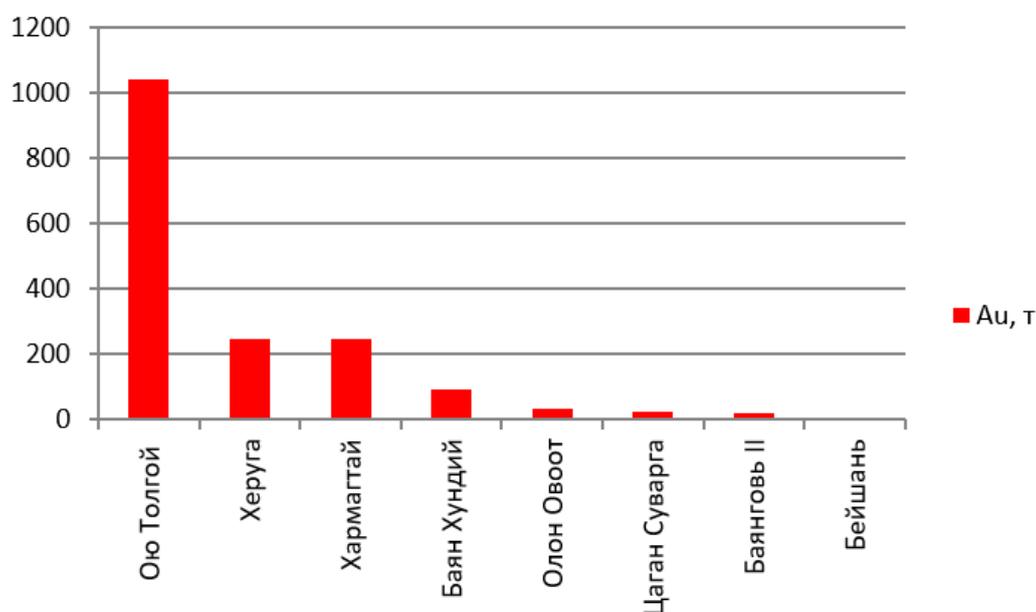


Рисунок 3.9. Золото в месторождениях всех типов Южно-Гобийской провинции.

Хармагтай был известен с 1970-х гг, но как объект гораздо меньшего размера. Его переоценка произошла после дополнительных геолого-разведочных работ за последние 20 лет (Xanadu Mines, 2022) и повышения цен на золото и медь. Баян Хундий был открыт после 2010 года. Без этих открытий Южно-Гобийская провинция считалась бы очень бедной. Очевидно, что в статистическом распределении и количестве ее объектов (всего около 1700 т золота) имеется очевидный перекося, что позволяет прогнозировать выявление новых месторождений в этой провинции.

3.5.2. Тектоническая позиция золоторудных месторождений⁷

Южно-Гобийская провинция площадью 1500x250 км располагается на восточном продолжении северного крыла Казахского орогена почти целиком на территории Монголии. Ее западное окончание выходит в китайскую Джунгарию (Рисунок 3.5). На востоке ее ограничивает Восточно-Монгольский разлом, а на севере – Центрально-Монгольский линеамент. Провинция включает только медно-золото-порфировые и эпитермальные месторождения средне- и позднепалеозойского возраста, образовавшиеся в островодужных террейнах, а также в сшивающих магматических дугах.

Группа медно-золото-порфировых месторождений (Рисунок 3.10) располагается в пределах среднепалеозойского островодужного террейна Гурван-Сайхан (Badarch et al., 2002). Самое крупное месторождение Ою-Толгой представляет собой серию линейных порфиров, простирающихся на >20 км в северо-восточном направлении. Оно имеет возраст 374 млн лет (Crane, Kavalieris, 2012). Этот пояс хорошо прослеживается в пониженном магнитном поле на 250 км в северо-восточном направлении, где на его окончании известно другое медно-золото-порфировое месторождение возрастом 370 млн лет (Цаган-Суварга - 1.27 млн т Cu, 24 т Au; Crane, Kavalieris, 2012).

⁷ При подготовке данного раздела диссертации использованы следующие публикации, выполненные автором лично или в соавторстве, в которых, согласно Положению о присуждении ученых степеней в МГУ, отражены основные результаты, положения и выводы исследования:

1. **Yakubchuk A., Degtyarev K., Maslennikov V. et al.** Tectonomagmatic settings, architecture, and metallogeny of the Central Asian copper province // Special Publication 16. Geology and Genesis of Major Copper Deposits and Districts of the World: A Tribute to Richard H. Sillitoe. Society of Economic Geologists, Inc. 2012. 618 p. **(1,66 авторского листа, 1,25 п.л., вклад автора 50%)**
2. **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%)**

Геохимически порфиновые интрузии Ою-Толгоя отвечают нормальным островодужным породам, хотя для них и отмечается повышенная щелочность (Wainwright et al., 2011).

Кроме среднепалеозойских в этой провинции также известно крупное порфировое месторождение Хармагтай (223 т Au и 4.19 млн т Cu; Xanadu Mines, 2022) возрастом 298 млн лет (Seltmann et al., 2014). Оно близкосинхронно группе молибден-порфирового Зун Мод (0.25 млн т Mo +0.22 млн т Cu; 295 млн лет) и недавно открытому эпитермальному Баян-Хундуй (90 т Au) месторождениям в западной части провинции (Roma, 2020).

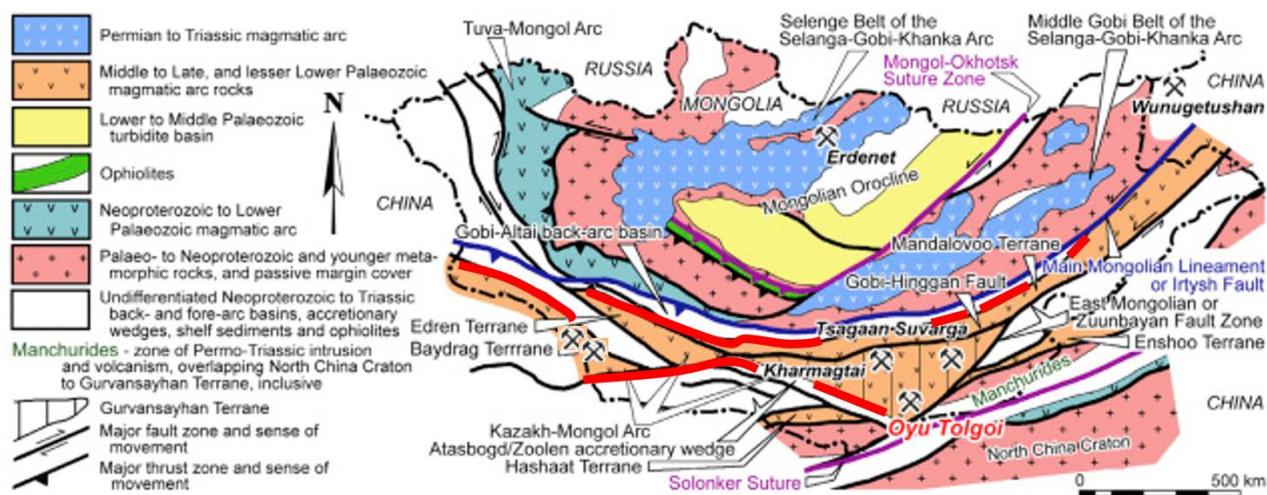


Рисунок 3.10. Региональная тектоническая позиция Южно-Гобийской металлогенической провинции (красные контуры) в Монголии и ее медно-золото-молибденовые месторождения (с изменениями по Badarch, 2005; Yakubchuk, 2005; Yakubchuk et al., 2012; Porter, 2016).

В итоге в Южно-Гобийской провинции телескопированы однотипные месторождения разного возраста, типичные для субдукционного магматизма, при полном отсутствии значимых месторождений орогенного золота, что не противоречит применяемой модели (Groves et al., 1998).

3.6. Тянь-Шаньская провинция⁸

3.6.1. Общие положения

Тянь-Шаньская провинция площадью 1600x200-400 км содержит крупнейшие месторождения Центральной Азии (совокупно почти 14 500 т золота; Приложение 1), включая супергиганты орогенного Мурунтау и медно-золото-порфировую Алмалыкскую группу (Рисунок 3.11). Статистически правильное распределение месторождений по размеру отражает высокую поисковую изученность провинции. Однако 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, Талдыбулак, Пакрут и др).

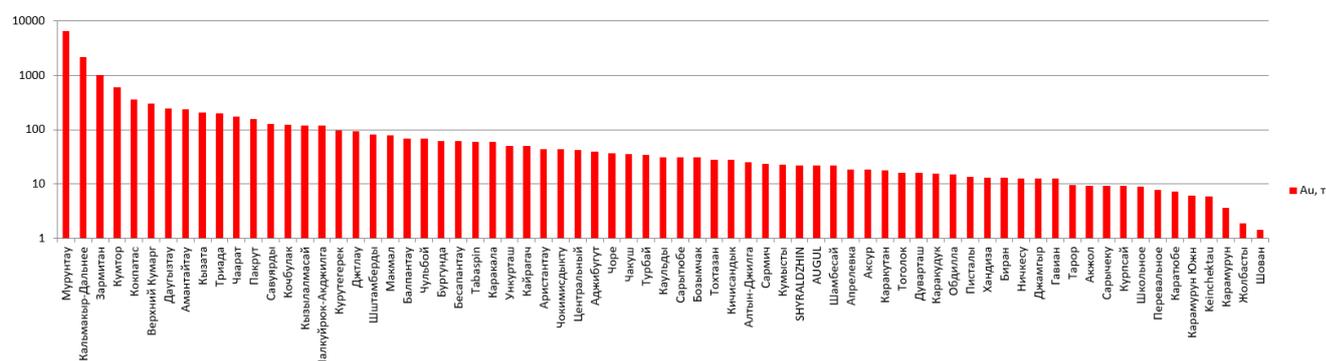


Рисунок 3.11. Золото в месторождениях всех типов Тянь-Шаньской провинции.

3.6.2. Тектоническая позиция золоторудных месторождений

Тянь-Шаньская провинция вытянута широтно (Рисунок 3.12) у юго-западного угла ЦАСП. На севере она охватывает Северный Тянь-Шань и граничит с Казахстано-Джунгарской провинцией. На востоке она заканчивается вблизи границы Кыргызстана и Китая, где происходит переход к китайскому Тянь-Шаню, тектонически являющемуся частью Казахского нагорья. Южная граница провинции включает северный край Алай-Таримского кратона, протягиваясь до меридиана Аральского моря. Северо-западное ограничение провинции скрыто под Туранским мезо-кайнозойским осадочным бассейном.

⁸ При подготовке данного раздела диссертации использованы следующие публикации, выполненные автором лично или в соавторстве, в которых, согласно Положению о присуждении ученых степеней в МГУ, отражены основные результаты, положения и выводы исследования:

1. **Yakubchuk A., Cole A., Seltmann 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 Special Publication 9, USA. 2002. 382 p. **(1,33 авторского листа, 1 п.л., вклад автора 50%)**
2. **Yakubchuk A.** Architecture and mineral deposit settings of the Altai 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)**
3. **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%)**
4. **Yakubchuk A., Degtyarev K., Maslennikov V. et al.** Tectonomagmatic settings, architecture, and metallogeny of the Central Asian copper province // *Special Publication 16. Geology and Genesis of Major Copper Deposits and Districts of the World: A Tribute to Richard H. Sillitoe*. Society of Economic Geologists, Inc. 2012. 618 p. **(1,66 авторского листа, 1,25 п.л., вклад автора 50%)**

Провинция включает несколько типов золоторудных месторождений позднепалеозойского возраста. Гигантские золото-медно-порфировые и крупные эпитермальные 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 разновозрастность этих двух групп месторождений и смена геодинамических обстановок, которые заставляют предложить иную модель.

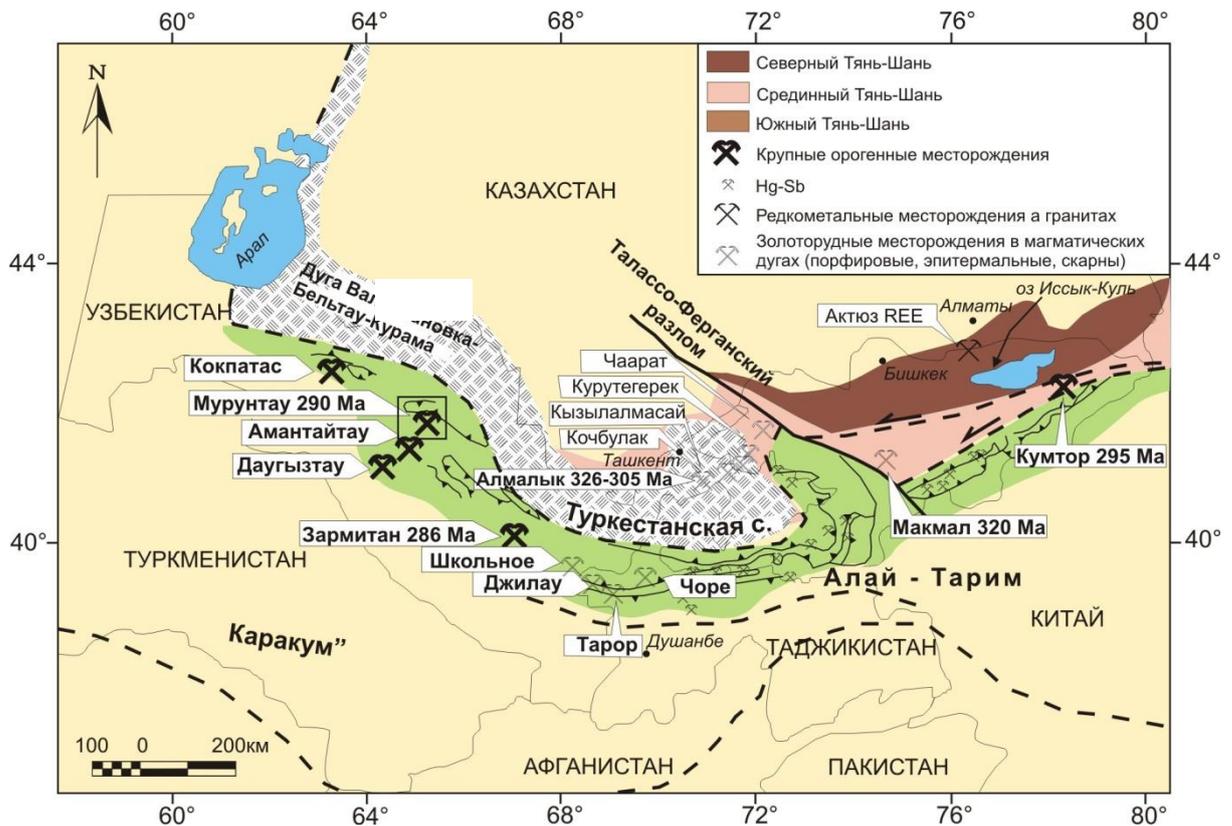


Рисунок 3.12. Тектоническая зональность Тянь-Шаньской провинции и ее золоторудные месторождения.

Коллизия вдоль Туркестанской сутуры здесь произошла в середине каменноугольного периода (около 312 млн лет назад), после чего континентальная кора Алай-Тарима субдуцировала под континентальную кору Срединного Тянь-Шаня вплоть до середины перми (Самыгин, Буртман, 2009). Это заставляет считать гигантскую (>23 млн т Cu, >2200 т Au, Звездов и др., 2018) порфирово-эпитермальную систему Алмалыка (Кальмакыр, Дальнее, Саукбулак, Сарычеку, Кочбулак, Кызылалма, Кызата, а также крупнейшее в Средней Азии эпитермальное серебро-полиметаллическое месторождение Большой Канимансур) возрастом 326-305 млн лет

(Golovanov et al., 2005; Seltmann et al., 2014) син-/пост-коллизионными и увязывать их со скрытой субдукцией или отрывом слэба. Обстановка в целом похожа на современные обстановки на севере острова Новая Гвинея, где присутствуют гигантские золото-медно-порфиновые месторождения Грасберг и Эрцберг (Leys et al., 2020).

На основании геохимических данных показано, что порфиры монцитового и гранодиоритового составов Алмалыка образовались за счет частичного плавления утолщенной нижней коры с привнесом мантийного компонента, что также поддерживается повышенными содержаниями рения (Zhao et al., 2017). Магма, геохимически соответствующая области перекрытия адакитовых и нормальных островодужных пород (Shen et al., 2015), образовывалась в связи с поздней субдукцией под магматическую дугу.

Тектонически необычное положение в провинции занимает цепочка редких и небольших золоторудных месторождений (Карамурун, Кокбулак) среди позднепалеозойских карбонатных пород вдоль Каратауских хребтов (Ваулин, 2016). Располагаются они более, чем в 350 км в тылу Чаткало-Кураминской магматической дуги. По совокупности факторов они иногда классифицируются как месторождения карлинского типа, но этот вопрос требует дальнейшей проработки.

Гигантские орогенные месторождения Южного Тянь-Шаня (Мурунтау >6000 т Au, Зармитанская группа ~1000 т Au, Кумтор >500 т Au; Yakubchuk et al., 2002; Seltmann et al., 2020) располагаются в разновозрастных метаморфизованных и слабометаморфизованных черных сланцах и интрузиях в разных террейнах во фронте Чаткало-Кураминской дуги, преимущественно к югу от Туркестанской сутуры на западе провинции, но на востоке они известны и к северу от сутуры (Кумтор), будучи наложены и на докембрийские террейны Среднего Тянь-Шаня (Yakubchuk et al., 2002). Несмотря на разновозрастность и разнотипность вмещающих пород и очень разный размер месторождений, геохронологическое датирование последних 20 лет показало их формирование в узком интервале 295-285 млн лет назад. Месторождения образуют кулисные пояса северо-восточного и субширотного простирания с шагом 100-150 км. Такое их косое положение указывает на обстановки левостороннего сдвига. Тектонически это увязывается с трансляцией к западу Казахстанских орогенов относительно Алай-Тарима.

Очевидно, что более молодые Южно-Тянь-Шаньские орогенные месторождения являются пост-коллизионными 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 (Самыгин, Буртман, 2009), после чего все последующие конвергентные процессы происходили уже в поясе Тетис.

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

3.7. Уральская провинция

3.7.1. Общие положения

Самыми крупными по количеству золота являются колчеданно-полиметаллическое Гайское (Викентьев, 2004) и «гранитоидное» Березовское месторождения (Vikent'eva et al., 2017). Последнее - старейший золотой рудник России. Уральская провинция (около 3100 т золота; Приложение 1) известна с 18 века и считается хорошо изученной, что не отражается статистически из-за явной неравномерности в распределении месторождений по размеру (Рисунок 3.13).

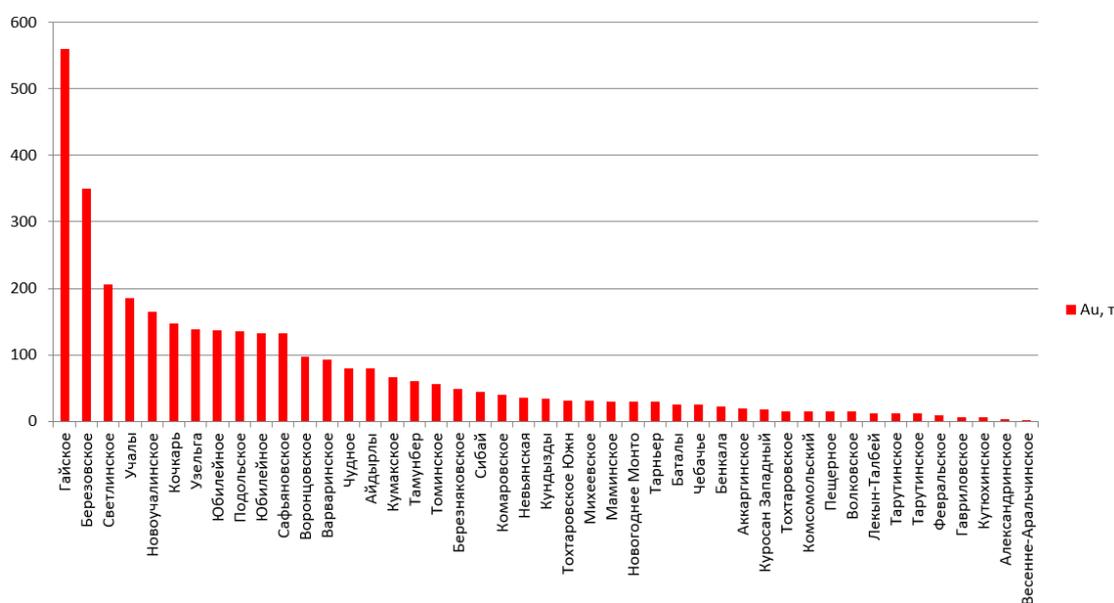


Рисунок 3.13. Золото в месторождениях всех типов Уральской провинции.

Доразведка и запуск добычи на давно известных медно-золото-порфировых месторождениях (Томинское и Михеевское) за последние 20 лет лишь подтверждает этот вывод. Данные факты предполагают возможность открытия новых месторождений на Урале, особенно в его восточной части, перекрытой Западно-Сибирским осадочным бассейном мезозойско-кайнозойского возраста, или прирост за счет доразведки существующих.

3.7.2. Тектоническая позиция золоторудных месторождений⁹

Уральская провинция протягивается в меридиональном направлении на 2200 км (Рисунок 3.14). С запада ее границей почти везде является Главный Уральский разлом. На востоке она везде скрывается под мезо-кайнозойскими отложениями Западно-Сибирского осадочного бассейна и неглубокого Тургайского прогиба. Именно на юге провинция имеет максимальную ширину в 300 км и, как считается, тектонически сочленяется с Казахстанскими палеозоидами (Пучков, 2010).

Для Уральской провинции характерны субмеридианально-вытянутые рудные пояса преимущественно золото-полиметаллических колчеданных и медно-золото-порфировых месторождений в ее западной части (Серавкин, Знаменский, 2007; Грабежев, 2012). Но в восточной части медно-золото-порфировые и эпитепральные месторождения, а также месторождения в связи с гранитоидами формируют кулисные пояса СВ простирания. Провинция сужается до 50 км на Полярном Урале, где известно небольшое золото-скарновое месторождение (Новогоднее Манто) и порфировые проявления (Плотинская, 2017).

Больше всего порфировых месторождений обнаружено на Южном Урале. Они имеют широкий возрастной диапазон формирования от 427 до 300 млн лет (Грабежев, 2012), то есть они частично синхронны Тянь-Шаньским, Казахстанским и Южно-Гобийским.

⁹ При подготовке данного раздела диссертации использованы следующие публикации, выполненные автором лично или в соавторстве, в которых, согласно Положению о присуждении ученых степеней в МГУ, отражены основные результаты, положения и выводы исследования:

1. **Yakubchuk A., Degtyarev K., Maslennikov V. et al.** Tectonomagmatic settings, architecture, and metallogeny of the Central Asian copper province // Special Publication 16. Geology and Genesis of Major Copper Deposits and Districts of the World: A Tribute to Richard H. Sillitoe. Society of Economic Geologists, Inc. 2012. 618 p. **(1,66 авторского листа, 1,25 п.л., вклад автора 50%)**
2. **Yakubchuk A.** The Baikaliide-Altaid, 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. P. 273-297. **(1,33 авторского листа, 1,05 п.л.)**

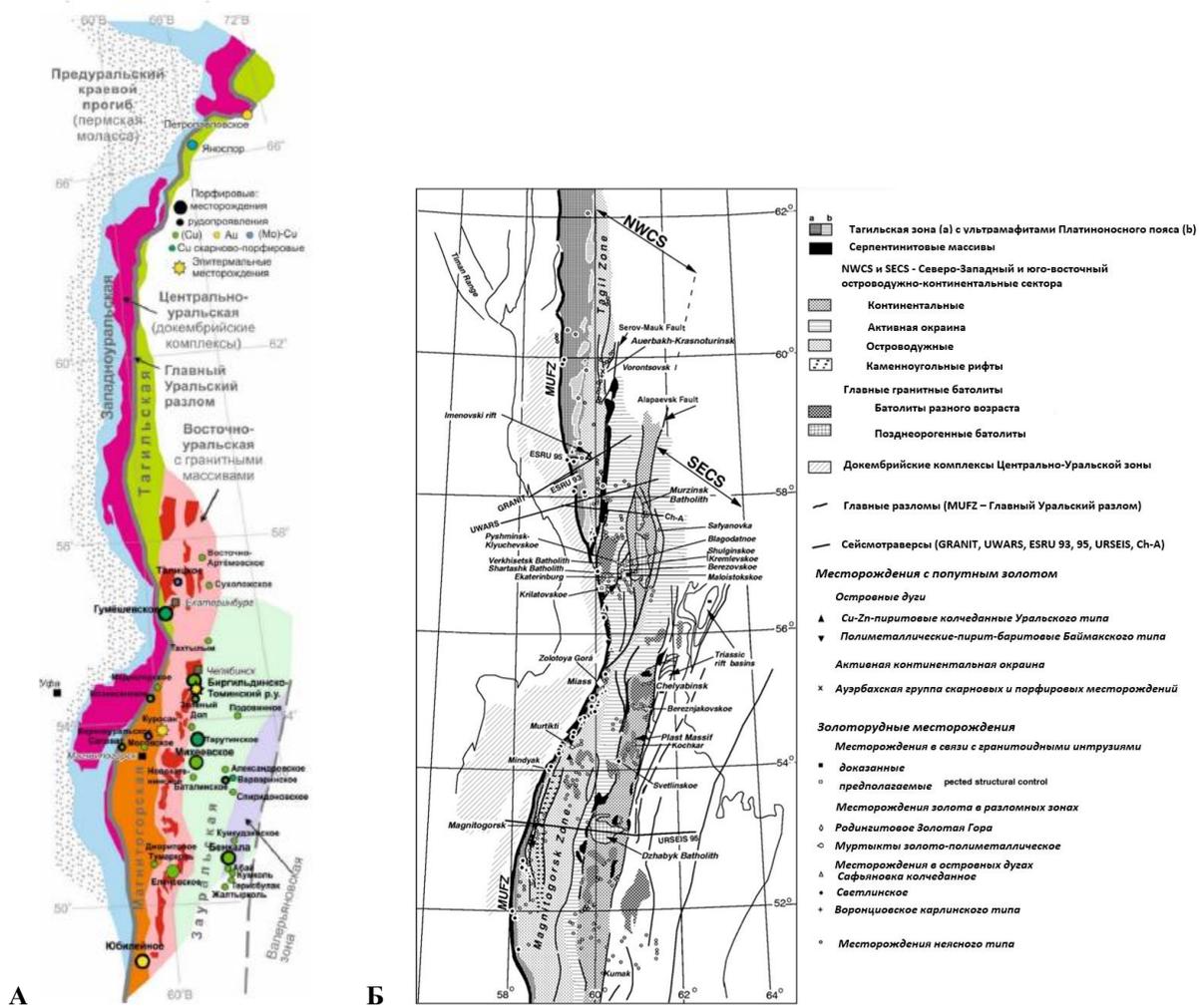


Рисунок 3.14. А - Тектоническая схема Урала и положение месторождений и рудопроявлений порфирового, эпitherмального и Си-скарнового типов по (Puchkov, 2017 с дополнениями Плотинской, 2023). Б – Месторождения золота и их связь с тектоно-магматическими зонами Урала по (Sazonov et al., 2002).

На Южном Урале порфировые месторождения приурочены к трем рудным поясам в трех разных террейнах Восточной Мегазоны (Плотинская, 2017). В Восточно-Уральском террейне порфиры имеют разный возраст (427, 350 и 300 млн лет; Грабежев, 2012; Плотинская, 2017). Именно здесь находятся недавно запущенные рудники на Томинском и Михеевском месторождениях (1.5-2.5 млн т Си 30-72 т Ау). Самый западный пояс с месторождениями возрастом ~370-390 млн лет протягивается вдоль Главного Уральского разлома в Магнитогорском и Тагильском террейнах (Прокин и др., 1985). Эти порфировые месторождения не содержат золота.

Третий пояс приурочен к Валерьяновской зоне на востоке Южного Урала, интерпретируемой как продолжение Чаткало-Кураминской дуги (Зоненшайн и др., 1990; Yakubchuk et al., 2002; Самыгин и Буртман, 2009). Ее порфировые месторождения имеют возраст 334-315 млн лет и являются самыми большими по количеству золота на Урале. Так, скарново-

порфировое Варваринское месторождение имеет объявленные ресурсы в 90 т Au (Антоненко и др., 2020).

Приведенные данные свидетельствуют, что уральские порфировые месторождения формировались пульсационно в течение нескольких эпизодов с 427 до 300 млн лет назад. В интервале 370-300 млн лет намечается омоложение порфировых поясов с запада на восток, что может указывать на формирование месторождений в разных террейнах или выполаживание зоны субдукции во времени, если они уже амальгамировали.

Согласно О.Ю. Плотинской (2023) ПЭРС Урала сформировались в сложных меняющихся во времени и пространстве геодинамических обстановках (Рисунок 3.15): 1) субдукции в Восточной (Березняковское и Зелёный Дол – ~430 млн. лет), Магнитогорской (Вознесенское ~395 млн. лет), Зауральской (Михеевское, Тарутинское ~ 360 млн. лет) островных дугах и на Валерьяновской континентальной окраине (Бенкалинское ~335 млн. лет), 2) аккреции дуга-континент (Юбилейное, ~375 млн. лет), 3) коллизии дуга-континент (Верхнеуральское, ~365 млн. лет), и коллизии континент-континент (Талицкое ~300 млн. лет). Эволюция рудоносных интрузий в каждом из островодужных террейнов заключается в увеличении содержаний SiO_2 , $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$, K_2O , LILE, P3Э и отношений La/Yb и Sm/Yb в породах, а эволюция порфировых руд – в снижении отношения Cu/Mo. Геохимически порфировые интрузии попадают на границу полей островодужных пород и адацитов, т.е. как и в Казахстано-Джунгарской провинции.

Практически все знаменитые колчеданные месторождения Урала являются золотоносными (Зайков и др., 2002). По факту, самым крупным скоплением золота является Гайское месторождение (в Магнитогорском террейне; Зайков и др., 2002; Викентьев, 2004; Vikentiev et al., 2016), количество золота в котором превышает 560 т. Располагающиеся в том же поясе другие колчеданные месторождения имеют ресурсы до 200 т золота. Возраст колчеданных месторождений в Магнитогорском террейне – 400-387 млн лет, а в более северном Тагильском – 440-430 млн лет (Herrington et al., 2005). Таким образом, колчеданные месторождения Уральской провинции тоже формировались пульсационно, практически синхронно с порфировыми при положении в одних и тех же островодужных террейнах, но в связи рифтовыми событиями в них (Зайков и др., 2002).

Пожалуй, наиболее известным чисто золоторудным месторождением Урала является Березовское (Сазонов и др., 1999; Поленов и др., 2015). По разным данным месторождение содержало не менее 350 т золота (включая добытое). Некоторые опубликованные оценки достигают 700 т золота (Herrington et al., 2005). Месторождение связано с дайковым комплексом, возможно, связанным с Шарташским гранитным массивом площадью около 30 кв км (Поленов и др., 2015). Формирование месторождения считается полихронным. Его возраст оценивается в

314-285 млн лет или 305-285 млн лет, то есть оно моложе всех колчеданных и большинства порфировых месторождений Урала.

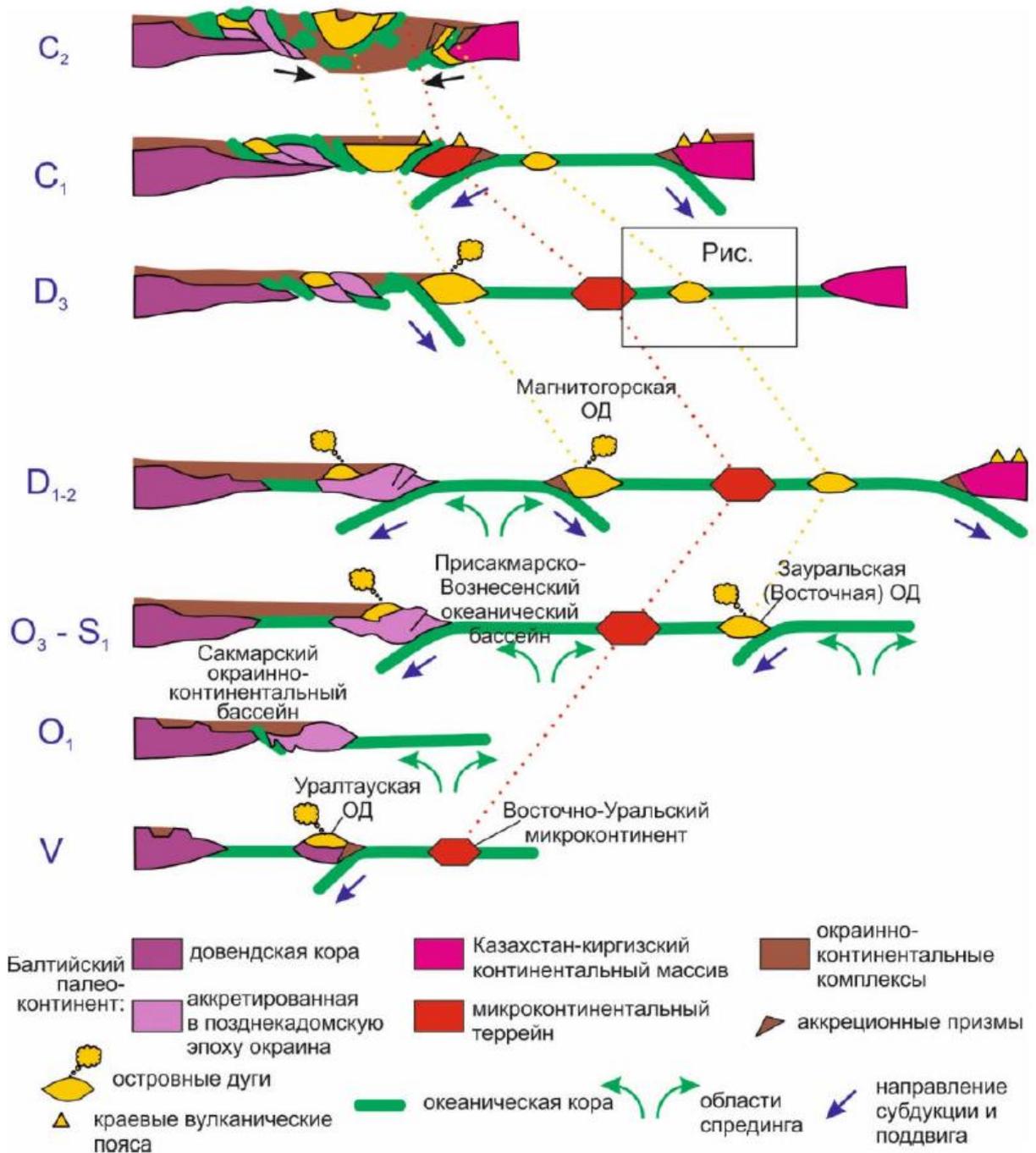


Рисунок 3.15. Тектоническое развитие Южного сегмента Урала по (Самыгин, Буртман, 2009) с упрощениями по (Плотинская, 2023).

Другим известным золоторудным месторождением Урала в связи с гранитоидным интрузивом является Кочкарское (>150 т Au; Сазонов и др., 1999; Sazonov et al., 2001; Herrington et al., 2005). Общим для этого типа месторождений является положение в пределах так называемой Гранитной оси Урала, которая сшивает его различные террейны между собой.

К орогенным можно отнести небольшие кварцево-жильные месторождения (Комаровское, Тохтаровское) Зауралья (Костеров, Черемисин, 1984; Ким, Мезенов, 2005). Они сформировались после коллизии Уральских дуг и палеозоид Казахстана. Их возраст, вероятно, является каменноугольным.

В отношении рассматриваемой геодинамической модели (Groves et al., 1998) колчеданные, порфировые и золото-гранитоидные месторождения Урала располагаются в пределах развивающейся магматической дуги, как того и требует модель. Однако вновь не выявляется орогенных месторождений золота в пределах аккреционного комплекса вдоль западного фронта Уральских магматических дуг, а небольшие золото-кварцевые месторождения Тургая, которые можно относить к орогенным, занимают тыловое положение по отношению к фронту Уральских магматических дуг.

3.8. Бодайбинская провинция¹⁰

3.8.1. Общие положения

Бодайбинская провинция имеет относительно небольшие размеры (420x420 км) в форме песочных часов, но также, как и Ангарская, она чрезвычайно богата месторождениями золота (около 4500 т, не считая россыпей; Приложение 1), являясь одним из мировых лидеров по орогенным месторождениям. В виду того, что Бодайбинская провинция имела очень богатые россыпи, обрабатываемые с конца 19 века (Буряк, Хмелевская, 1997), пристальное внимание ее коренным объектам стало уделяться лишь последние 60-70 лет, а после открытия Сухого Лога основное внимание уделялось именно ему.

По общему количеству золота доминирует супергигант Сухой Лог (Рисунок 3.16), вслед за которым с большим отрывом следует ряд крупных месторождений (Вернинское, Высочайшее, Невское). Одним из осложняющих факторов можно считать относительно низкие средние содержания золота (около 2.5 г/т) в большинстве крупных объектов.

¹⁰ При подготовке данного раздела диссертации использованы следующие публикации, выполненные автором лично или в соавторстве, в которых, согласно Положению о присуждении ученых степеней в МГУ, отражены основные результаты, положения и выводы исследования:

1. **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)**
2. **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. 845 p. **(1,1 авторского листа, 0,83 п.л., вклад автора 20%)**

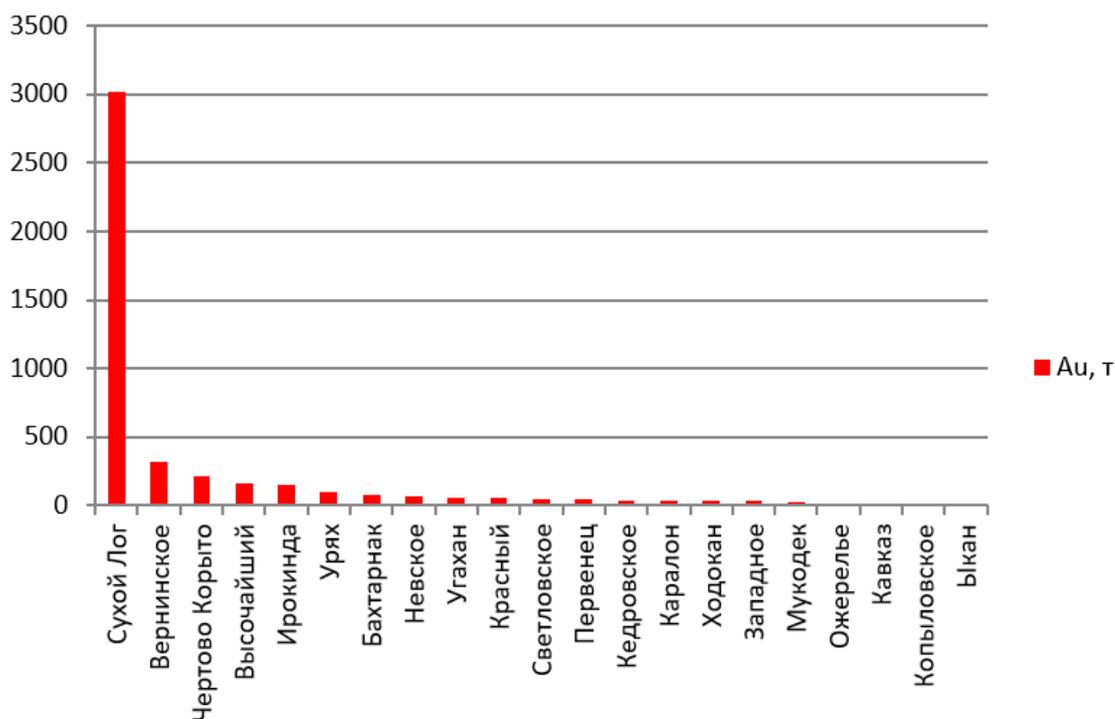


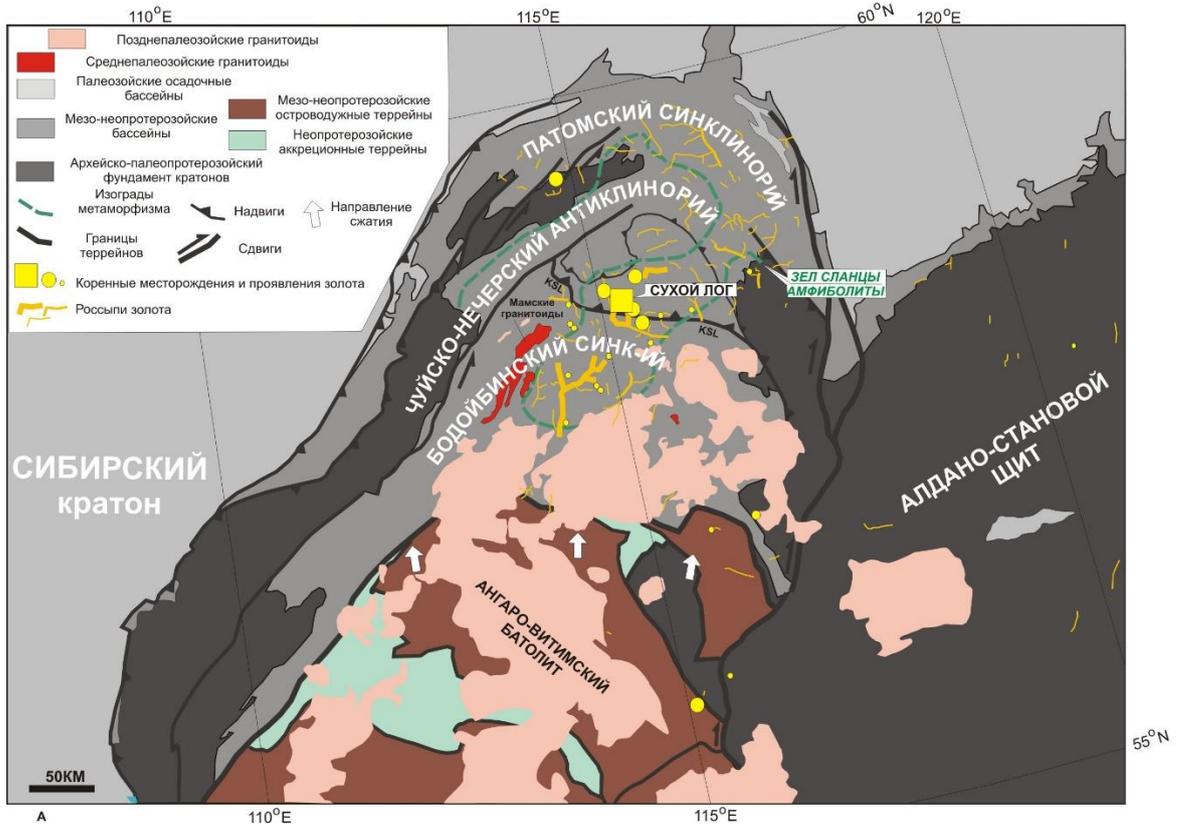
Рисунок 3.16. Золото в месторождениях всех типов Бодайбинской провинции.

Полноценная добыча золота из коренных месторождений была начата на месторождении Высочайшее в конце 1990-х гг, за которым последовала доразведка, кратное увеличение запасов и начало добычи на месторождениях Вернинское и Невское. Ситуация остается очень динамичной. Например, ресурсы Высочайшего месторождения в процессе отработки неоднократно пересчитывались и в итоге были увеличены в три раза по сравнению с начальными.

За последние 20 лет был также раскрыт потенциал месторождений и среднего (Светловское), и малого (Ыкан, Ожерелье) размера (Иванов, 2014; Иванов, Сидорова, 2021). Такая динамика и текущие статистические характеристики выявленных месторождений указывают на возможность открытия новых объектов или раскрытия большего потенциала в известных.

3.8.2. Тектоническая позиция золоторудных месторождений

На юге в провинции присутствуют среднего размера неопротерозойские (600 млн лет; Саватенков и др., в печати) месторождения (Урях – 102 т, Каралонское – 34 т; Рисунок 3.17). Они приурочены к гранитоидам в пределах Парам-Килянской 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 (Саватенков и др., в печати).



Эра	Период	Серия	Свита	Породы	Мощность (м)	Месторождения и проявления		
	Кембрий		Iligir		600-1000	Ровнинское, Атыркан		
Неопротерозой	Венд	Bodaibo	Dogaldyn		400-800	Ожерелье, Копыловское, Кавказ, Догадлын		
			Anangr		300-900			
			Vacha		50-500			
			Aunakit		400-1000	Вернинское, Невское, Ыкан, Красное, Светловское		
		Nygeri (Dai'nyaya Taiga)	Imnyakh (Nikolsk)		400-1000	Сухой Лог, Светловское		
			Khomolkho (Valyukhta)		400-1100	Сухой Лог, Высочайшее, Светловское		
			Ugakhan (Barakun)		300-800			
			Bujuikhta (Dzhemkukan)		300-800	Угаханское		
		<i>Marinoan Snowball event</i>						
		Средний-верхний рифей	640 Ma	Ballaganakh	Bodaibokan		250	
Bugarikhta					500-2500			
Khaiverga					900			
Kharlukhtakh					600	Героиевское		
Мезо-протерозой	Нижний рифей	Tertorgo	Medvezhevsk		500			
			Purpol		500	Ходокан		
Палео-протерозой	hiatus 2000 Ma	Kevakta	Mikhailovsk		1500	Чертovo Кoryто		
			Albazinsk		1600			

	конгломерат		углеродистые сланцы		базальты
	песчаник		кремни		известняки, доломиты
	алевропесчаник		джеспилиты		

Б

Рисунок 3.17. Тектоническая схема (А; Vursiy et al., 2020) и стратиграфическая позиция месторождений (Б; Palenova et al., 2019) Бодайбинской золоторудной провинции.

Наибольшие скопления золота обнаружены в пределах сложно деформированного Патомско-Бодайбинского бассейна, являющегося пассивной окраиной Сибирского кратона в тылу по отношению к Парам-Килянской островной дуге (Vursiy et al., 2020). Он заполнен мощными (14 000 м) сериями сложнодеформированных и метаморфизованных обломочных и карбонатных осадочных пород неопротерозойского возраста, но самые молодые обломочные цирконы имеют возраст 520 млн лет (Palenova et al., 2019). В них закартировано несколько уровней черных сланцев, с каждым из которых связаны орогенные золоторудные месторождения разного размера. Наиболее крупным является Сухой Лог (~3000 т Au; Vursiy et al., 2020), приуроченный к опрокинутой к югу антиклинальной складке, сопряженной с Кадали-Сухоложской надвиговой зоной. Кроме того, по соседству в той же региональной антиклинальной складке, но на этом же и других стратиграфических уровнях присутствует целый ряд золоторудных месторождений (Высочайшее, Вернинское, Невское, Угахан, Чертово Корыто, Красный, Светловское, Ыкан, Ожерелье и др.; Иванов, 2014; Palenova et al., 2019).

Островодужный террейн надвинут в сторону задугового бассейна и оба они надвинуты на Сибирский кратон в середине палеозоя (de Boisgrollier et al., 2009). Они изогнуты в Патомский ороклин. Большинство крупных месторождений располагается вблизи оси ороклина. Однако месторождения образуют несколько трендов запад-северо-западного простирания (Буряк, Хмелевская, 1997). Деформации и метаморфизм происходили неоднократно в палеозое, сопровождаясь несколькими генерациями гранитоидных интрузий.

Мнения о возрасте и генезисе продуктивной минерализации Патомско-Бодайбинского задугового бассейна разнятся, но всеми исследователями признается синметаморфическое формирование месторождений (Иванов, 2017) с большим временным отрывом от осадконакопления, закончившегося в начале кембрия, при определяющей роли метаморфизма. Возраст метаморфизма оценивается в 516 млн лет, а возраст минералов (монацит, пирит), определенный разными методами, имеет разброс от 508 до 447 млн лет, с омолаживающими событиями – 354-320 млн лет в связи с Ангаро-Витимским батолитом (Vursiy et al., 2020).

Таким образом, золоторудные месторождения Бодайбинской провинции были сформированы в результате нескольких событий, но металлогенически наиболее ранними следует считать гранитоидные месторождения в островодужной обстановке, а гигантские и крупные орогенные месторождения формировались позже при деформации задугового бассейна между магматической дугой и Сибирским кратоном, а не в ее фронтальном аккреционном комплексе, как предлагается моделью (Groves et al., 1998).

3.9. Монголо-Маньчжурская провинция¹¹

3.9.1. Общие положения

Самая крупная по площади (2600x700-1800 км) металлогеническая провинция Центральной Азии – Монголо-Маньчжурская – содержит ~4000 т золота (также без учета россыпей; Приложение 1), как и Казахстано-Джунгарская. Крупнейшим является эпитермальное Тасеевское месторождение (390 т Au) в Забайкальском крае (Рисунок 3.18). Вторым и третьим являются давно открытые как проявления и небольшие месторождения, но переразведанные в течение последних 10-15 лет Быстринское и Маломырское месторождения. Причем при включении прогнозных ресурсов мелких периферийных объектов общие ресурсы Быстринского кластера превысят Тасеевское. Рост ресурсов также недавно зарегистрирован для других порфировых и скарновых медно-золотых объектов российского Забайкалья (Култуминское и Лугоканское), в которых золото является попутным. Статистические различия по общему количеству золота с остальными месторождениями не являются контрастными, но некоторая «ступенчатость» позволяет прогнозировать прирост на уже имеющихся объектах или открытие новых в этой давно обрабатываемой провинции.

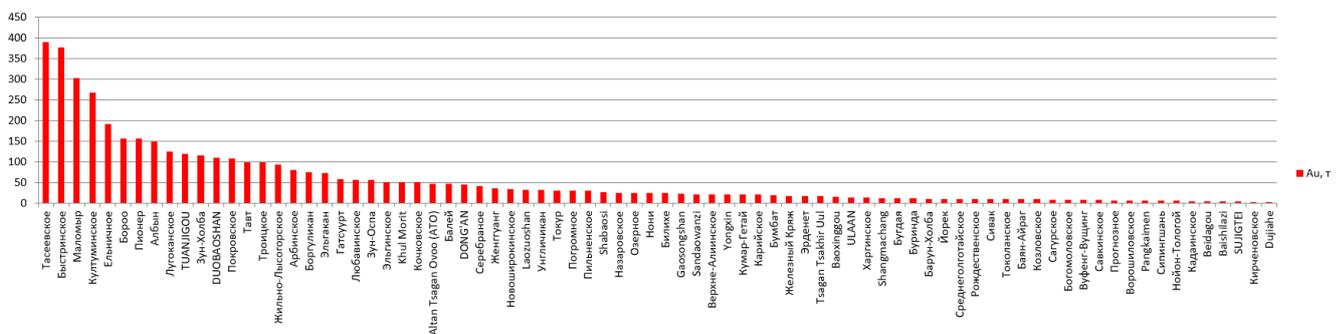


Рисунок 3.18. Золото в месторождениях всех типов Монголо-Маньчжурской провинции.

¹¹ При подготовке данного раздела диссертации использованы следующие публикации, выполненные автором лично или в соавторстве, в которых, согласно Положению о присуждении ученых степеней в МГУ, отражены основные результаты, положения и выводы исследования:

1. **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. 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)
2. **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%)

3.9.2. Тектоническая позиция золоторудных месторождений

Провинция имеет гигантскую приплюснутую S-образную форму (Рисунок 3.19). На первый взгляд, ее металлогеническая зональность имеет незакономерный характер, но с учетом ороклинов (Монгольского и Маньчжурского) в ней можно выявить упорядоченность. В провинции фиксируется полный набор террейнов и сшивающих комплексов так же, как и почти полный набор всех типов золоторудных месторождений, которые присутствуют и в других частях ЦАСП. К провинции также отнесены проявления на восточном окончании Северо-Китайского кратона. Именно корреляция металлогении и пространственно-временная эволюция тектонических элементов с учетом ороклинов позволяют проинтерпретировать эту провинцию по-новому.

Лучше всего минерализованные рудные пояса располагаются преимущественно вдоль Монголо-Охотской сутуры (Спиридонов и др., 2006) и ее восточного сочленения с Западно-Тихоокеанским складчатым поясом (Yakubchuk, Edwards, 1993). Наиболее древними рудными проявлениями являются небольшие слабозолотоносные колчеданные месторождения в Тувино-Монгольском метаморфическом террейне, сформировавшиеся до посткинematических гранитов возрастом 860-720 млн лет (Козаков и др., 2021), то есть до распада суперконтинента Родиния. Считается, что при тектоническом преобразовании колчеданной минерализации сформировались и золото-сульфидные руды такого орогенного месторождения на севере провинции, как Зун-Холба (537 \pm 11 до 467 \pm 9 млн лет; Миронов, Жмодик, 1999; Москвитина и др., 2020). Последние, как легко можно заметить, частично перекрываются по возрасту с золоторудными событиями в Бодайбинской провинции, находящейся более, чем в 800 км по простиранию от них.

Внутри или на границе с Тувино-Монгольским террейном встречаются плохо сохранившиеся разрозненные медно-золото-молибден-порфиновые месторождения раннепалеозойского возраста северо-восточного Китая (Дубаошань – 121 т Au + Cu (484 млн лет); Zhao et al., 2018) и позднепалеозойские проявления в Центральной Монголии (Саран-Уул – 0.35 млн т Cu (327 млн лет); Singer et al., 2008).

Наибольшее значение имеют порфиновые месторождения в связи с каменноугольно-триасовым Орхон-Селенгинской магматической дугой. Наиболее известным месторождением в ней является крупное медно-порфировое месторождение Эрденет, в котором содержания золота очень низки (всего 17.8 т на 11 млн т Cu; Gerel, Munkhtsengel, 2005). Минерализованные порфиры Эрденета сформировались 240 млн лет назад после того, как содержащая их Орхон-Селенгинская магматическая дуга уже функционировала более 50 млн лет. К этой же провинции можно отнести

бедные порфировые проявления Баян-уул (220-230 млн лет) в Монголии и Бадагуан (225 млн лет) в северо-восточном Китае (Singer et al., 2008). В целом Орхон-Селенгинская магматическая дуга довольно сильно эродирована в своей западной части из-за относительно высокой (>1000 м) приподнятости Центральной Монголии над уровнем моря в зоне удаленного коллизийного воздействия Индостана.

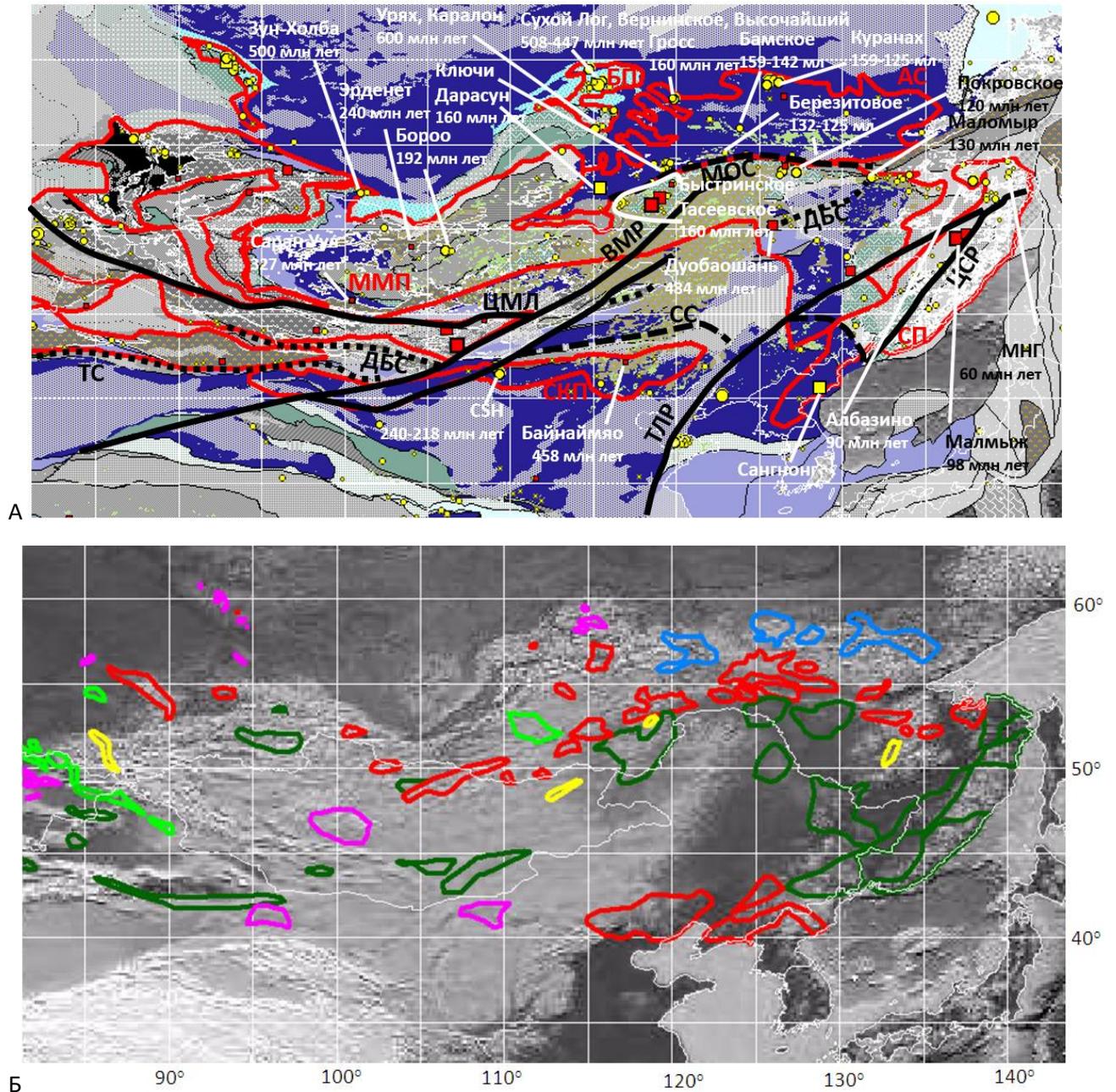


Рисунок 3.19. Месторождения (А) и золоторудные пояса (Б) Ангарской, Алтае-Саянской, Южно-Гобийской, Бодайбинской, Северо-Китайской, Монголо-Маньчжурской, Алдано-Становой и Сихотэ-Алиньской провинций. Условные обозначения для рудных поясов см на Рисунке 2.1Б. Золоторудные провинции: АС – Алдано-Становая, 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

Геохимически, рудоносные порфировые интрузии Эрденета соответствуют адакитам, что также, как и в случае с Актогаем, отражает наличие толстой коры при наличии метаморфических террейнов в основании и при крупных запасах меди и низком золоте (Shen et al., 2015).

Монгольский ороклад испытал более быстрое изгибание, чем Казахский и уже в ранней юре магматический фронт сместился вдоль его оси на 800 км к востоку. Из-за сильного сжатия в современной структуре этот фронт можно лишь наметить по распространению магматических пород среди турбидитовых террейнов на северо-востоке Монголии. Площадь их распространения быстро сужается, и они лишь в виде узкой (1-5 км) полосы, иногда также маркируемой фрагментами офиолитов, следятся вдоль Монголо-Охотской сутуры до сочленения с Западно-Тихоокеанским орогенным поясом (Зорин и др., 1998). Считается, что сатура испытала ножницеобразное закрытие (Зоненшайн и др., 1990; Парфенов и др., 2003) в средней-поздней юре (Sun et al., 2022), после чего новый магматический фронт образовался в пределах современного Сихотэ-Алиня.

К северу от сутуры располагается Алдано-Становой щит Сибирского кратона, а к югу – коллаж террейнов и сшивающих комплексов Северо-Восточного Китая и юга Дальнего Востока России с выходом к Западно-Тихоокеанскому орогенному поясу. Северную границу вдоль сутуры можно считать фронтом субдукционного магматизма в течение всей юры вплоть до раннего мела (Sun et al., 2022), в том числе в Большехинганской магматической дуге, занимающей всю восточную часть провинции. В итоге область юрско-раннемелового магматизма (в Китае называемого яньшаньским) имеет сложную S-образную форму из-за наличия двух смежных ороклинов.

На западе этой области в тыловой части дуги в Монголии распространены кластеры небольших орогенных месторождений золота, в том числе находящихся в гранитоидных интрузиях (Бороо (50 т Au) – возраст 192 млн лет, Cluer et al., 2005; Гатсуурт – 60 т Au – 119 млн лет, Khishgee et al., 2014). Восточнее располагаются многочисленные порфировые и эпитеpmальные месторождения. В ранне- и среднеюрской части дуги выявлено много мелко-средних проявлений золота Алтан Цаган Овоо (~45 т Au) в Монголии и Любавинское (~50 т Au) на юге Забайкалья (Абрамов и др., 2018), но на северо-востоке Китая встречаются крупные медно-молибден-порфировые системы возрастом 185-183 млн лет (Вулугету - 2.2 млн т Cu, 0.45 млн т Mo; Вунугетушань - 3 млн т Cu и 0.42 млн т Mo), которые бедны золотом (Singer et al., 2008).

Наиболее золото-продуктивными в провинции оказались позднеюрско-раннемеловые металлогенические события, которые связаны с развитием Большехинганской магматической

дуги (Sun et al., 2022). Большая ее часть находится в северо-восточном Китае, но своим северным краем она заходит в Россию. На востоке она перекрыта мезо-кайнозойским осадочным бассейном Суньяо и Амуро-Зейской впадиной, но по их северному и восточным краям поверх сutureдированных докембрийских метаморфических террейнов, включая восточное окончание Северо-Китайского кратона, также развиты раннемеловые надсубдукционные магматические комплексы. Таким образом, ареал позднеюрско-раннемелового магматизма сшивает все тектонические элементы фундамента к югу от Монголо-Охотской сuture, которая интерпретируется как продукт коллизии террейнов ЦАСП с Алдано-Становым доменом Сибирского кратона (Yakubchuk, Edwards, 1999). При этом считается, что субдукция происходила под каждую из этих крупных тектонических единиц, постепенно прекращаясь и мигрируя в восточном направлении по мере продвижения коллизии на восток (Sun et al., 2022).

Вдоль северного края Большехинганской магматической дуги развиты эпиптермальные (Балей – 45 т Au и Тасеевское – 390 т Au, Юргенсон, 2011); Новоширокинское(?) – >30 т Au, Доломанова-Тополь, 2017), железо-медно-золото-скарновые (Быстринское – 376 т Au 2.6 млн т Cu + Fe, Коваленкер и др., 2019; Култуминское – 267 т Au >1 млн т Cu) и медно-золото-порфиновые (Лугоканское – 58 т Au, 0.3 млн т Cu, Редин и др., 2014) месторождения возрастом около 160 млн лет (Редин и др., 2016). Особое положение занимает золоторудное Погромное месторождение, рудные тела которого наложилось на разные породы непосредственно в зоне Монголо-Охотской сuture (Спиридонов и др., 2015).

Монцогранитные и гранодиоритовые порфиоровые интрузии юрского возраста в Большехинганской дуге на территории Китая образовались за счет частичного плавления субдуцирующей плиты с участием морских осадков. Раннемеловые адакитовые гранитные порфиры той же дуги образовались за счет частичного плавления утолщенной нижней базальтовой коры. Считается, что субдукция была пологой и после 150-145 млн лет назад произошел отрыв слэба тогда, утолщение коры 145–133 млн лет назад было за счет коллизии террейнов ЦАСП северо-восточного Китая с Сибирским кратоном (Sun et al., 2022).

В тыловой части дуги на территории Китая выявлены многочисленные молибден-порфиоровые системы, что является обычной позицией для такого рода месторождений, распространенных до границы с Северо-Китайским кратоном (Sun et al., 2022). Они имеют возраст 149-148 и 139-125 млн лет.

На северо-востоке провинции располагаются несколько более молодые эпиптермальные золото-серебряные месторождения возрастом 122-119 млн лет (Покровское – >100 т Au, Пионер

– 150 т Au) и медно-молибден-порфировые (с золотом) проявления возрастом 127-123 млн лет (Боргуликан – 74 т Au, 0.19 млн т Cu, Сотников и др., 2007, Пересторонин, 2016; Икан – 20 т Au + Cu, Пересторонин и др., 2017; и несколько более молодая Елна 123-117 млн лет, Sorokin, Ronomarchuk, 2002; Сотников и др., 2005; Бучко и др., 2017).

Во фронтальной части дуги на восточном окончании Монголо-Охотской сутуры в Селемджинском, Кербинском и Ниманском рудных районах (Yakubchuk, Edwards, 1999) развиты такие орогенные месторождения как Маломыр (300 т Au), Токур (>30 т Au) и ряд других возрастом 134-130 млн лет (Сорокин и др., 2011). Они приурочены к метаморфизованным аккреционным комплексам, которые огибают с севера и востока докембрийские метаморфические террейны. Их тектоническая позиция сходна с орогенными месторождениями Иртыш-Зайсанской складчатой области.

3.10. Северо-Китайская провинция

3.10.1. Общие положения

Северо-Китайская провинция имеет наименьшее количество выявленного золота в небольшом количестве месторождений (около 850 т; Hart et al., 2002; Приложение 1). Ее крупнейшими месторождениями являются Chag Shan Hao (230 т Au), Haoyaoerhudong и Haoya (Рисунок 3.20; Goldfarb et al., 2019), за которыми следует большой статистический разрыв, что, как и в других провинциях, указывает на нераскрытый потенциал. Кроме орогенных в провинции находится среднее медно-золото-порфировое месторождение Байнаимао (19 т Au, 0.5 млн т Cu) возрастом 458 млн лет (Li et al., 2012), которое отражает более раннюю историю провинции.

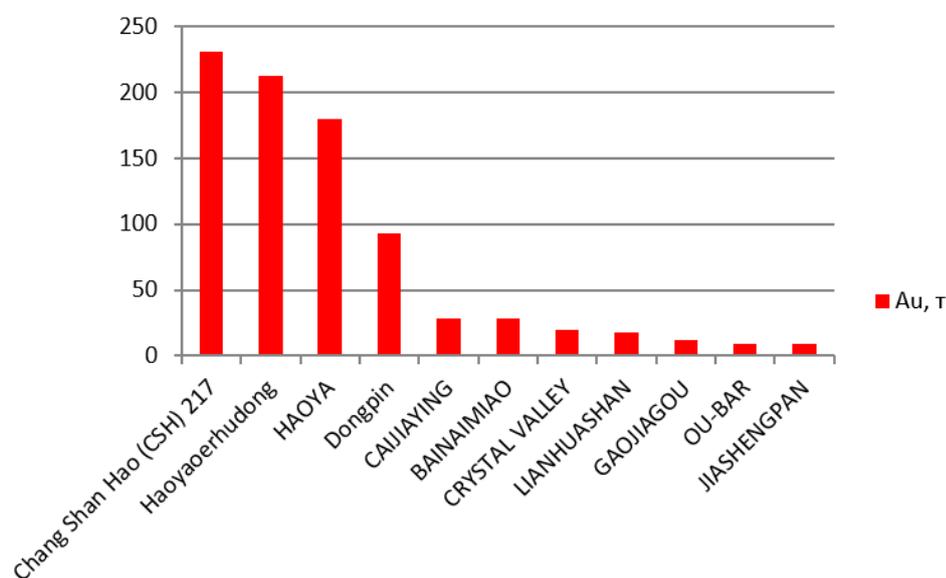


Рисунок 3.20. Золото в месторождениях всех типов Северо-Китайской провинции.

3.10.2. Тектоническая позиция золоторудных месторождений

Провинция вытянута вдоль северного края Северо-Китайского кратона на 2300 км при ширине до 150 км (Рисунок 3.21). Формирование ее месторождений увязывается с коллизионными событиями вдоль Солонкерской сутуры между кратоном и террейнами ЦАСП (Hart et al., 2002). Часть провинции оказалась в тылу Казахстано-Джунгарской, а часть – в тылу Монголо-Маньчжурской провинции с некоторым омоложением к востоку.

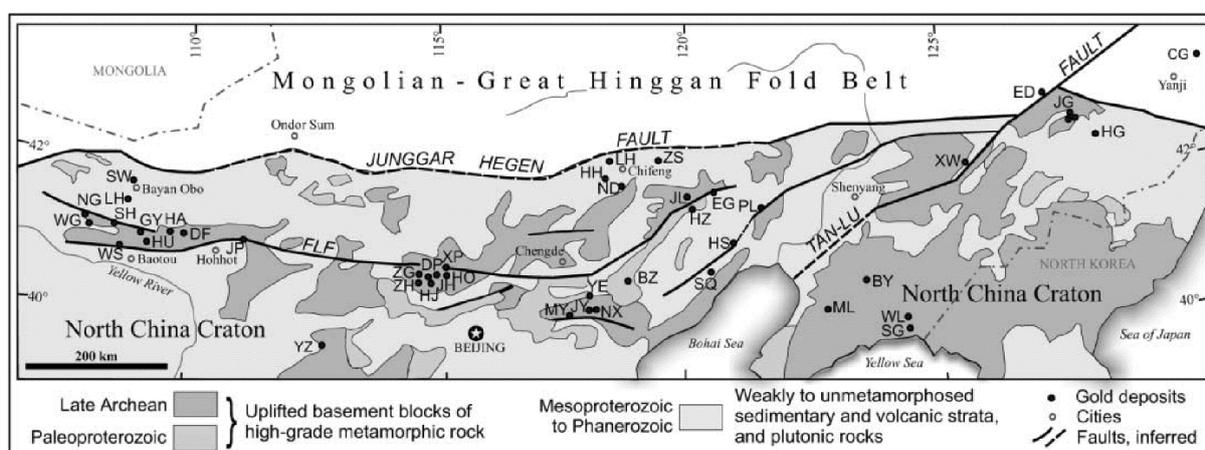


Рисунок 3.21. Положение золоторудных месторождений Северо-Китайской провинции и ее главные тектонические элементы в пределах кратона (Hart et al., 2002). Месторождения: BY – Baiyun, BZ – Baishangzi, CG – Ciweigou, DF – Donghuofang, DP – Dongping, ED – Erdaodianzi, EG – Erdaogou, GY – Gongyiming, HA – Houshuhua, HH – Hongguagou, HJ – Hanjiaigou, HO – Hougou, HU – Hujigou, HZ – Haozhangzi, JG – Jiapigou, JH – Jinjiazhuang, JL – Jinchanggouliang, JP – Jinpen, JY – Jinchangou, LH – Lianhuashan, ML – Maoling, ND – Nandawa, NG – Nalinggou, NX – Niuxinshan, PL – Paishanlou, SG – Sidaogou, SH – Shibaoqinghao, SQ – Shiquan, SW – Saiyinwusu, WG – Wachangou, WL – Wulong, WS – Wulashan, XP – Xiaoyinpan, XW – Xiangluwanzi, YE – Yuerya, YZ – Yixingzhai, ZG – Zhongshangou, ZH – Zhangquanzhang, ZS – Zhuanshanzi

По тектонической позиции в краевой части ЦАСП Северо-Китайская провинция сходна с Тянь-Шаньской, но Северо-Китайские месторождения являются более молодыми, сформировавшись в интервале 240-218 млн лет (Hart et al., 2002; Goldfarb et al., 2019), который в Китае называется индосинийским. По своей геодинамической позиции Северо-Китайская провинция оказывается далеко в тылу Орхон-Селенгинской магматической дуги. Месторождения, таким образом можно считать сформированными сразу после сутурирования Солонкерского бассейна с корой океанического типа на северо-востоке Китая.

3.11. Алдано-Становая провинция¹²

3.11.1. Общие положения

Алдано-Становая провинция (1700x550 км) активно исследуется с начала XX века. Общее количество обнаруженного в ней золота в разных типах месторождений составляет более 3300 т

(Приложение 1). Почти 20% из этого числа сосредоточено в месторождениях Куранахской группы. Статистическое распределение месторождений по размеру не имеет выраженной ступенчатости (Рисунок 3.22). Однако волнообразный характер распределения тоже указывает на возможность обнаружения новых месторождений, что было недавно осуществлено (например, месторождение Токко компании Нордголд и Сергеевское месторождение на западном фланге Ключевского, Якубчук и др., 2018).

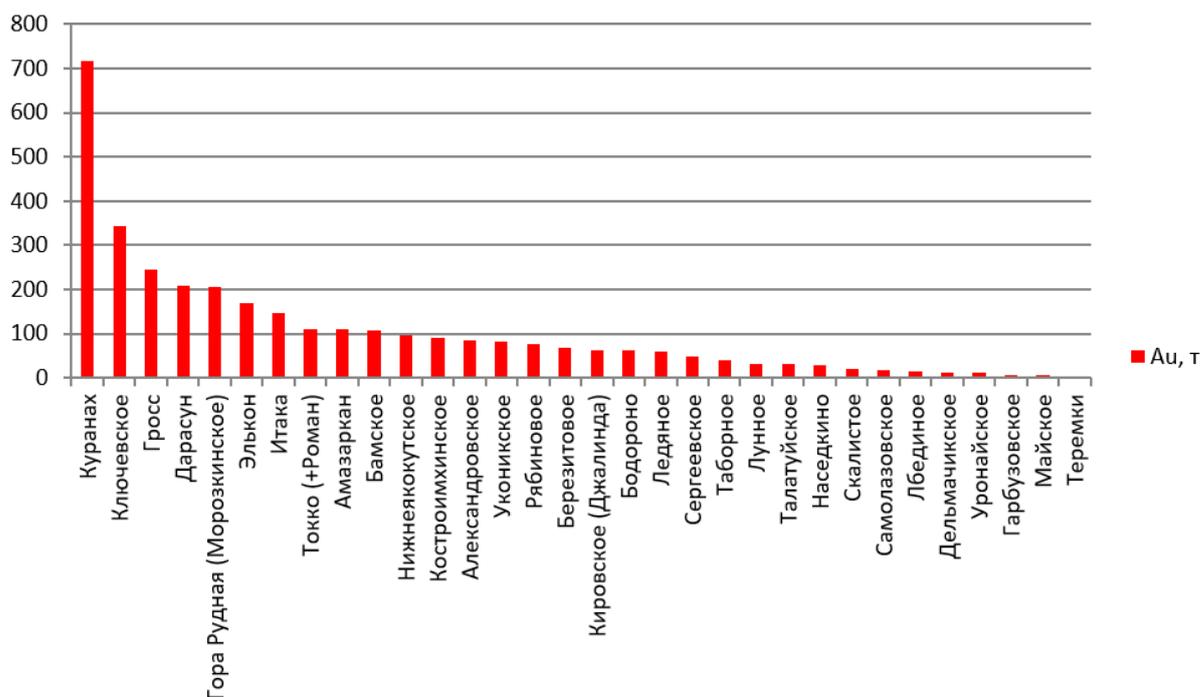


Рисунок 3.22. Золото в месторождениях всех типов Алдано-Становой провинции.

¹² При подготовке данного раздела диссертации использованы следующие публикации, выполненные автором лично или в соавторстве, в которых, согласно Положению о присуждении ученых степеней в МГУ, отражены основные результаты, положения и выводы исследования:

1. 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**)
2. **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**)

3.11.2. Тектоническая позиция золоторудных месторождений

Провинция включает практически всю территорию докембрийских выходов Алдано-Станового щита Сибирского кратона (Рисунок 3.19). Среди них находится несколько проявлений и мелких месторождений (имени Пинигина) в зеленокаменных поясах докембрия. Эти объекты требуют дальнейшего изучения и из данной работы исключены. Палеозойский гранитоидный магматизм здесь достоверно регистрируется с ордовика при спорной предыстории (Розен и др., 2006). Самые молодые сохранившиеся вулканические породы датируются юрой-ранним мелом. Золоторудная минерализация приурочена к магматическим комплексам именно этого возраста (Rodionov et al., 2014; Мельников, Степанов, 2021), хотя вмещающими для нее могут быть все более древние породы. При этом золоторудная минерализация развита на всю ширину провинции (500 км).

Фронт мезозойской субдукции реконструируется вдоль южной окраины Алдано-Станового домена Сибирского кратона, совпадающей с Монголо-Охотской сутурой (Рисунок 3.23). На западе магматический фронт переходит в Орхон-Селенгинскую дугу, а на востоке – в Удско-Мургальскую. Считается, что до этого (в пермско-триасовое время) субдукция могла быть косой, т.к. магматические комплексы этого возраста развиты только в западной части провинции. Кроме того, наличие золото-урановых месторождений в связи с меловыми щелочными магматическими комплексами (Элькон; Молчанов и др., 2012), да и самой Куранахской группы месторождений в 500 км от реконструируемого магматического фронта может интерпретироваться как результат внутриплитной активности. Разнообразие магматических пород Центрального Алдана обусловлено его срединной локализацией в латерально-зональной области мезозойского магматизма, расположенной между щелочноземельными породами на востоке и юге и щелочными на западе щита с месторождениями четырех промышленных типов (Элькон Au-U, Рябиновый Au-порфировый, Лебединый кварцево-жильный и Куранахский; Kochetkov, 2006).

Прекращение надсубдукционного магматизма здесь произошло в конце мелового периода после закрытия Монголо-Охотского океана и образования одноименной сутуры (Sun et al., 2022). Вслед за этим субдукция продолжалась под юго-восточную окраину Сибири, где формировалась Охотско-Чукотская магматическая дуга, относимая к золоторудным провинциям Северо-Востока России, которые в рамках этой работы не рассматриваются.

В пределах фронтальной части Алдано-Становой провинции, всего в 30-40 км от Монголо-Охотской сутуры, располагается несколько крупных золоторудных районов с шагом

100-150 км (Рисунок 3.23). Кроме золота в некоторых из них присутствуют Cu-Mo-Au жилы и золоторудная минерализация в связи с гранитоидными интрузиями (Якубчук и др., 2018).

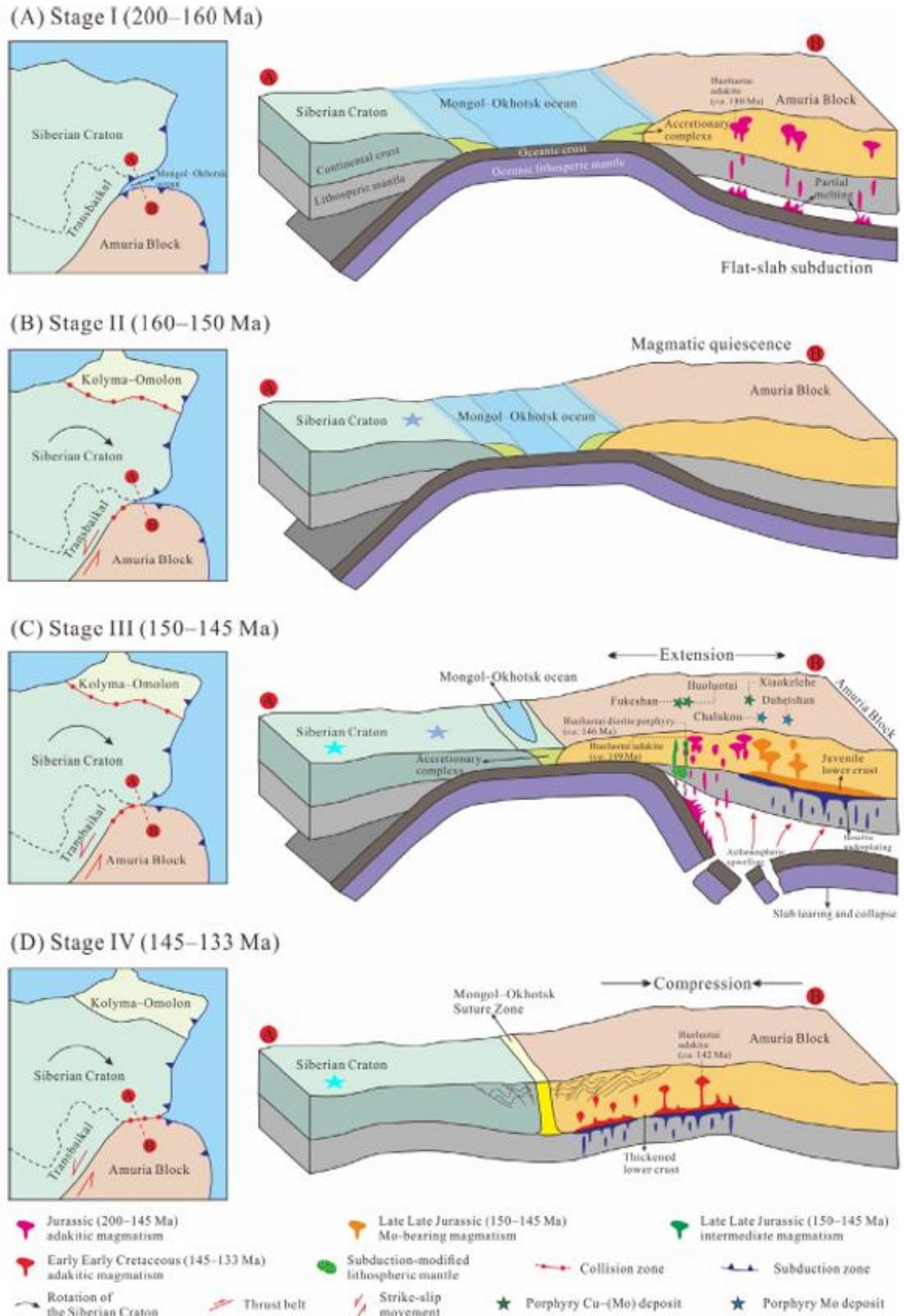


Рисунок 3.23. Реконструкция закрытия Монголо-Охотской сутуры и положение месторождений (изменено по Sun et al., 2022). Месторождения карлинского типа показаны голубыми звездочками.

На самом западе провинции находится Дарасунский рудный узел (около 250 т Au) с минерализацией возрастом 160 млн лет (Прокофьев и др., 2004; Прокофьев и др., 2006; Прокофьев и др., 2007; Прокофьев и др., 2010). Далее к востоку располагаются золото-молибденовый (Смирнов, 1936, 1961) Жирекенский (70 т Au; 160 млн лет) и Могочинский (>1000 т Au; 159 млн лет) рудные районы (Быбин, Багова, 2014). В последнем в 2 км к западу от Ключевско-Сергеевского месторождения находятся медно-золото-молибденовые проявления (участки Сюрприз и Боровое), которые стали выявляться только в недавнее время (собственные данные). Согласно Абрамову (2015) месторождения Могочинского рудного района считаются приуроченными к амуджиканскому комплексу возрастом 160-142 млн лет.

Еще восточнее располагаются кластеры золото-полиметаллических месторождений возрастом 132-125 млн лет (Березитовое – 70 т Au (Мельников и др., 2009; Сорокин и др., 2014б), слабо разведанный Кировский рудный узел (но с крупными россыпями золота ~100 т; Моисеенко, Эйриш, 1996; Сорокин и др., 2014а) и многочисленные проявления золота в преимущественно россыпном Дамбукинском узле (>300 т Au; Моисеенко, Эйриш, 1996; Мельников, Степанов, 2014).

В тыловой части провинции располагается серия золоторудных месторождений в связи с гранитоидными интрузиями, структурно приуроченными к границе между Становыми и Алданскими террейнами Сибирского кратона (Анисимова и др., 2017). Самым известным и крупным является Бамское месторождение (>100 т Au; 159-142 млн лет) в Апсаканском рудном узле (Мельников, Степанов, 2021).

Наконец, вдоль северной периферии провинции находятся один гигантский и несколько крупных рудных узлов так называемого куранахского типа (Rodionov et al., 2014) возрастом 150-135 млн лет (самые молодые значения - 125 млн лет) для первичных руд, несколько более молодые, чем во фронтальной части провинции. Для них характерно сильное окисление в приповерхностных условиях и развитие карста. Золоторудная минерализация на разных участках разными авторами относится к эпитермальному, карлинскому, порфировому, кварцево-жильному и золото-урановому типам. К ним относятся уже упомянутый Куранах-Эльконский рудный узел (совокупно >1000 т Au, +U), а также Таборный-Гросс (>300 т Au), Гонамский, Алгомский и Кеткапский (~100 т Au) узлы.

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

3.12. Сихотэ-Алиньская провинция

3.12.1. Общие положения

Сихотэ-Алиньская провинция площадью 2000x350 км разведется с конца 19 века. В провинции выявлено более 1500 т золота во всех коренных объектах, не считая крупных россыпей (Приложение 1). До открытия медно-золото-порфирового Малмыжского месторождения в начале 2000-х гг (Рисунок 3.24) самыми крупными были открытое в 1990-е гг месторождение Албазино (Трушин, Кириллов, 2018) и плохо известное Sangnong в КНДР, а до 1991 года крупнейшим коренным объектом было эпитермальное Многовершинное месторождение (Моисеенко, Эйриш, 1996). Очевидно, что ранжирование месторождений по общему количеству золота отражает динамичные изменения в этой провинции, которые в связи с недавними открытиями не могут считаться исчерпанными.

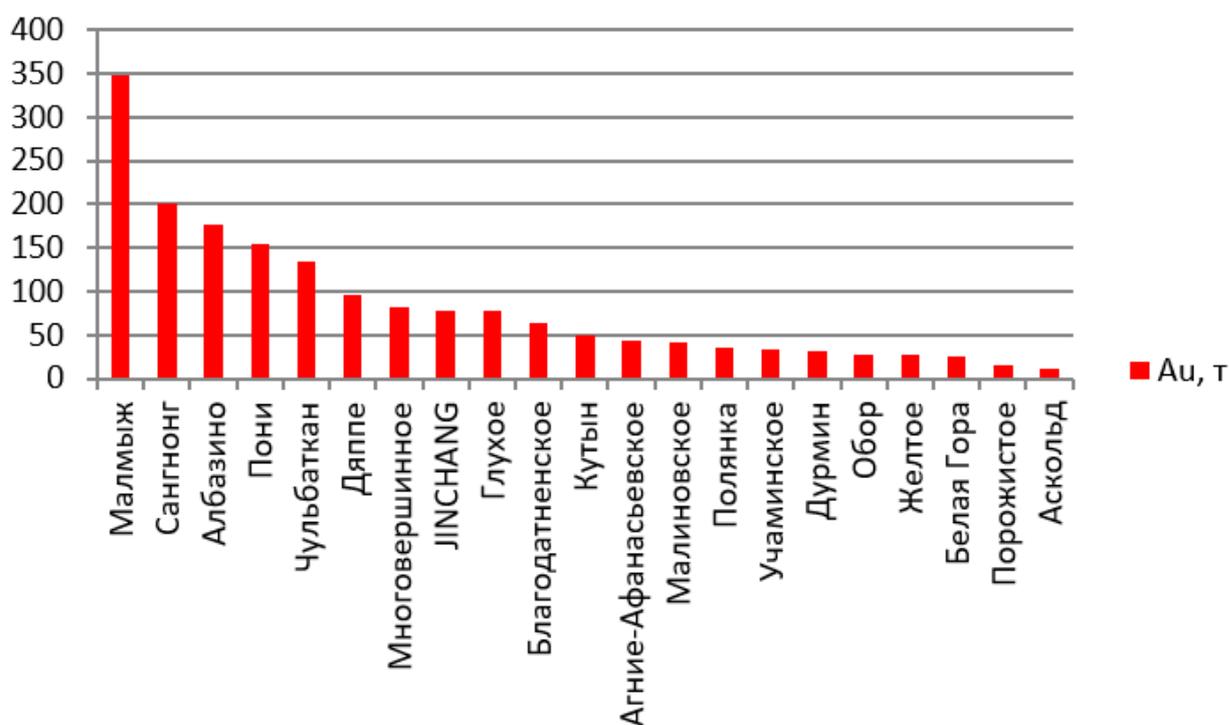


Рисунок 3.24. Золото в месторождениях всех типов Сихотэ-Алиньской провинции.

3.12.2. Тектоническая позиция золоторудных месторождений

Сихотэ-Алиньская провинция протягивается в северо-восточном направлении в пределах Западно-Тихоокеанского орогенного пояса (Nokleberg et al., 2005; Хомич, Борискина, 2011; Степанов, 2012; Khanchuk et al., 2016; Неволин и др., 2018; Soloviev et al., 2019) и, строго говоря, к ЦАСП не относится. Только в своей юго-западной части она наложена на террейны ЦАСП и восточную часть Северо-Китайского кратона, таким образом, показывая тектоническую и металлогеническую преэминентность.

Для внутреннего тектонического строения характерно сочетание сутурированных в начале мезозоя кратонных фрагментов на юго-западе и позднепалеозойско-мезозойских аккреционных террейнов на северо-востоке (Khanchuk et al., 2016). Последние испытали косую транспортировку к северу с дублированием террейнов и даже изоклиральными ороклинными изгибами (Рисунок 3.25; Самаркинский и Наданьхада-Бикинский террейны), которые запечатались поздне меловой-палеогеновой Восточно-Сихотэ-Алинской магматической дугой (Khanchuk and Ivanov, 1999; Khanchuk et al., 2016; Неволин и др., 2018). Такие структурные осложнения представляются ключевыми для контроля рудных районов провинции, в которой сочетаются месторождения, сформированные в несколько фаз.

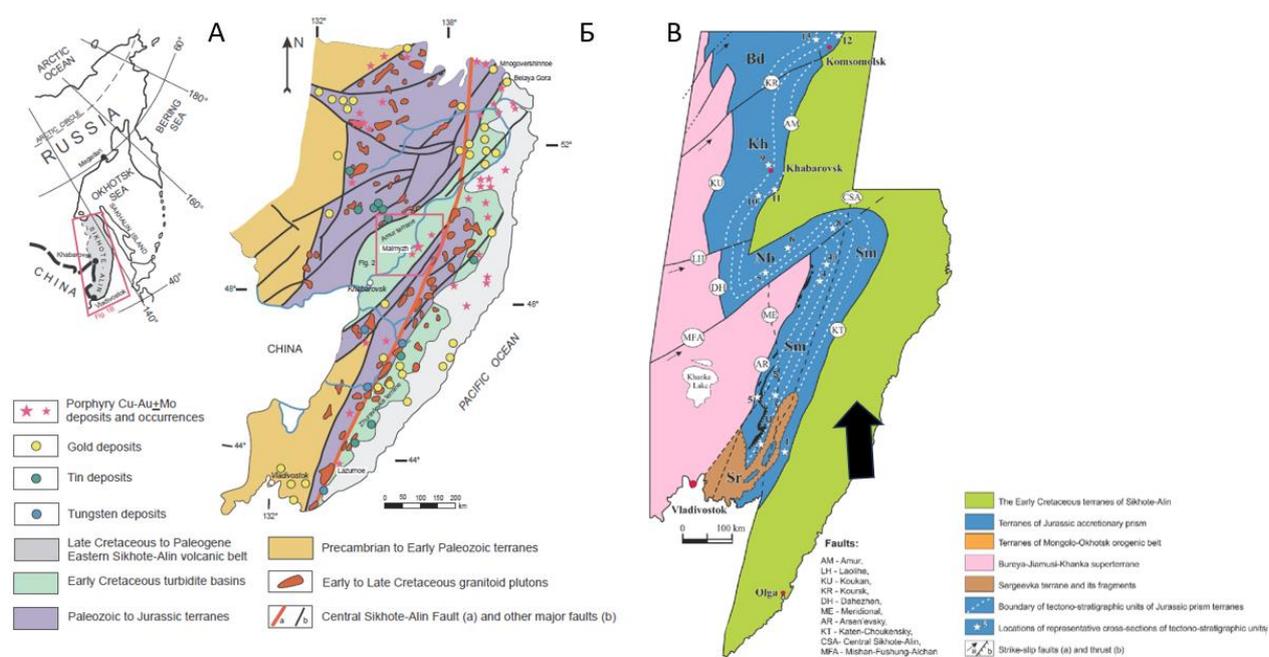


Рисунок 3.25. Положение Сихотэ-Алинской провинции (А), ее ороклинно изогнутые террейны с основными месторождениями (Б) и модель косой субдукции при их формировании (В). По Khanchuk et al., 2016; Soloviev et al., 2019.

До недавнего времени считалось, что главной металлогенической специализацией Сихотэ-Алинской провинции являются олово, вольфрам, полиметаллы, а также золото эпitherмального типа. Однако за последние 15-20 лет как на территории России, так и на территории Китая было открыто несколько медно-порфировых месторождений возрастом 120-98 млн лет (Sun et al., 2022). Более древние из них известны в КНДР (при скудной публичной информации из южнокорейских источников). Наиболее крупными являются месторождения Малмыжского медно-золото-порфирового кластера (347 т Au и 8.32 млн т Cu; Читалин и др., 2013; Soloviev et al., 2019) и соседнего с ним Понийского медно-золото-порфирового проявления (Петров и др., 2020). Их образование считается синхронным с тектонической трансляцией террейнов к северу и изгибанием аккреционных комплексов в практически изоклиальный

ороклин. Порфиновые интрузии относятся к гранитоидам I-типа и проявляют комбинированные субдукционные и пост-субдукционные геохимические характеристики (Soloviev et al., 2019).

На Северном Сихотэ-Алине располагается преимущественно золоторудный район (Моисеенко, Эйриш, 1996) с эпитермальными месторождениями (Многовершинное (>100 т Au) возрастом 60 млн лет, Белая Гора (20 т Au)) и месторождениями в связи с позднемиоценовыми (90 млн лет) интрузиями (Албазино - 170 т Au).

Тектоническое и металлогеническое развитие Сихотэ-Алиньской провинции прервалось после раскрытия задугового бассейна Японского моря, после чего эпитермальные месторождения продолжили формироваться в Японии. Геодинамическая позиция эпитермальных и порфириковых месторождений Сихотэ-Алиньской провинции соответствует модели Groves et al. (1998).

Таким образом, можно сформулировать второе защищаемое положение:

Формирование колчеданных и порфириковых систем, где золото является попутным металлом, и связанных с ними эпитермальных 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

Без Норильского рудного района и россыпей общее количество коренного золота во всех ресурсных категориях всех типов месторождений в рассмотренных металлогенических провинциях может быть оценено почти в 43 700 т в 445 месторождениях и перспективных проявлениях, учтенных в базе данных этой работы (Приложение 1), которая безусловно может иметь некоторые недостатки. Золото, добытое из россыпей этого региона, по грубой оценке, составляет еще около 7000 т (Беневольский, 2002). Это оценивает совокупную золотоносность рассматриваемого региона примерно в 50 700 т.

Ресурсы коренного золота по классам месторождений распределяются следующим образом. Максимальное количество золота в одном месторождении (Мурунтау) оценивается в 6500 т (Рисунок 4.1) или около 14% от всего коренного золота, что является и мировой аномалией. В металлогенических провинциях рассматриваемого региона в настоящее время известно семь месторождений (включая Мурунтау) с ресурсами более 1000 т золота каждое. Их совокупные ресурсы оцениваются в 15 650 т или около 34% от всего коренного золота. Совокупные ресурсы месторождений с золотом от 250 до 1000 т (19 объектов) – около 7850 т или 17%. На категорию от 50 до 250 т (153 объекта) приходится 16 678 т золота или почти 37%. Оставшиеся 5257 т золота, или 12%, рассредоточены в 279 коренных объектах всех типов, учтенных в базе данных этого исследования.

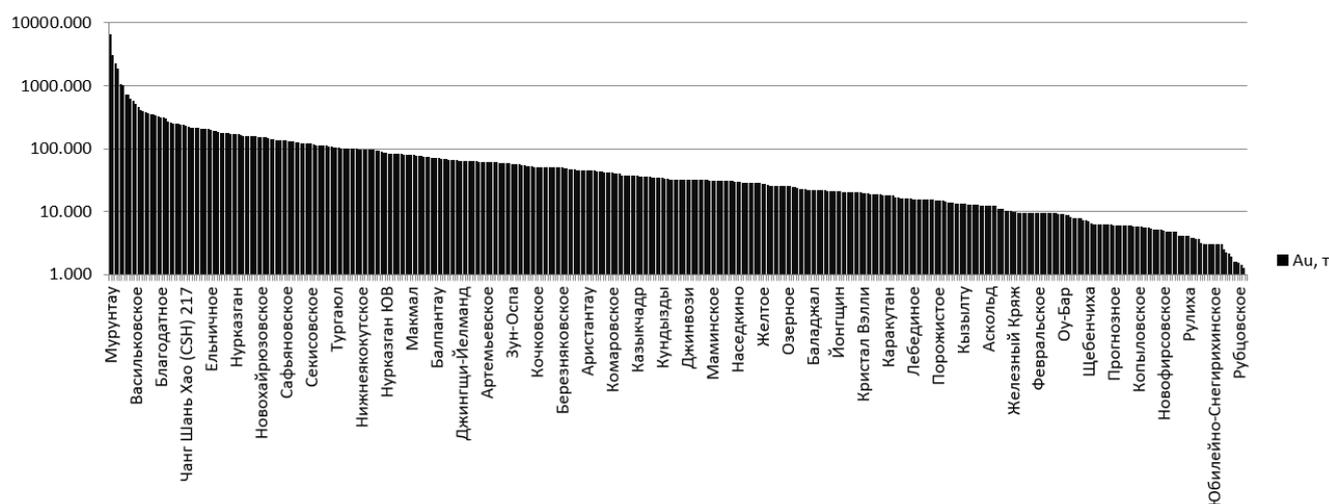


Рисунок 4.1. Распределение общих ресурсов золоторудных месторождений Центральной Азии (в логарифмическом масштабе).

Распределение месторождений по общим ресурсам в ЦАСП в целом (Рисунок 4.1) соответствует закону Зипфа, хотя и наблюдается небольшая ступенчатость в среднем классе. В то же время для многих провинций, как показано выше, наблюдается ступенчатость, которая должна отвечать потенциальным пропущенным или недоизученным месторождениям. Так, в

Южно-Гобийской и Сихотэ-Алиньской провинциях распределение по закону Зипфа коренным образом изменилось после обнаружения и успешной разведки после 2000 года больших ресурсов золота за счет золото-медно-порфировых месторождений Ою-Толгой и Малмыж. В то же время, тестирование золоторудного потенциала Боргуликанской и Иканской медно-порфировых систем на северо-востоке Монголо-Маньчжурской провинции не дало такого эффекта, а разведка в тот же период времени Быстринского Au-Cu-Fe скарнового месторождения показало наличие почти таких же ресурсов золота, что и в давно известном Тасеевском эпитеpмальном месторождении. В Северо-Китайской провинции разведка орогенных месторождений золота показало наличие значительных ресурсов. Такие радикальные изменения статистики произошли за счет работ на нетрадиционных для этих провинций золото-содержащих медно-порфировых системах, а в случае Северо-Китайской провинции – орогенных месторождений.

В Алдано-Становой провинции геологоразведочные работы 2017-2020 гг на Сергеевском месторождении всего в 300 м к западу от Ключевского месторождения, известного с 1902 года, выявили наличие среднего по ресурсам золоторудного месторождения, что вполне вписывается в закон Зипфа также, как и доразведка открытого еще в советское время месторождения Гросс и новое открытие месторождения Токко на северо-западе той же провинции. Аналогично, произошел прирост ресурсов за счет раскрытия потенциала ранее известных проявлений и месторождений от крупного до мелкого размера в Бодайбинской (Высочайшее, Вернинское, Светловское, Угахан, Ыкан, Ожерелье) и Ангарской (доразведка Олимпиады, Благодатное, Титимухта) провинциях. В Уральской провинции заполнение «вакансий» в соответствии с законом Зипфа произошло за счет относительно недавней оценки ресурсов золота в нескольких ранее известных, но недоизученных порфировых (Томинское, Михеевское) и эпитеpмальных (Березняковское, Светлинское) системах. В Тянь-Шаньской провинции также в основном происходило заполнение «вакансий» в порфировых (Талдыбулак) и карлинского типа (Кадамжай и Чаувай, Nevolko et al., 2019) объектах. В Казахстано-Джунгарской провинции учет золота в ранее известных (Бозшаколь) и вновь открытых (Нурказган, Бескауга) медно-порфировых системах также поспособствовал заполнению «вакансий» согласно закону Зипфа.

В каждой из двенадцати провинций Центральной Азии новые открытия после 2000 года либо отвечали закону Зипфа, либо в нескольких случаях меняли характер распределения и устанавливали новую шкалу. Для каждой из двенадцати металлогенических провинций Центральной Азии было подсчитано совокупное количество золота, а также его распределение по типам месторождений и другим параметрам (Таблица 2).

Таблица 2. 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	14 386	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-Алинская 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

Анализ распределения золота по типам коренных месторождений Центральной Азии показывает, что наибольшее количество золота сосредоточено в орогенных месторождениях всех

возрастов (Рисунок 4.2). При этом в дополнение к Мурунтау в Центральной Азии есть и другие крупные орогенные месторождения такого же класса (Олимпиада, Сухой Лог).

Вторыми по практически равному общему количеству золота являются золоторудные месторождения в связи с гранитоидными интрузиями и порфиоровые месторождения (Рисунок 4.2), в которых золото является попутным продуктом к меди и другим металлам. Без Мурунтау общее количество золота в порфиоровых и орогенных месторождениях будет сопоставимо. В трех порфиоровых системах Центральной Азии общее количество установленного золота превышает 1000 т также, как и в орогенных.

Третьим важнейшим типом в ЦАСП является золото в связи с гранитоидными интрузиями (Рисунок 4.2). Только в одном месторождении общее количество золота превышает 500 т (Приложение 1).



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

Эпитеpмальные месторождения (Рисунок 4.2) образуют большую популяцию (71 месторождение из 445). Их возраст меняется от 490 до 60 млн лет, что довольно необычно по возрастному разбросу по сравнению с другими провинциями мира. Совокупное количество эпитеpмального золота всех подтипов превышает 3500 т в Центральной Азии. Самое крупное месторождение со всеми возможными ресурсами – Тасеевское (390 т Au, Россия; Юргенсон, 2011) – находится в Монголо-Маньчжурской провинции. И, конечно, эпитеpмальные месторождения, несмотря на в целом негигантские размеры, имеют высокие содержания золота и, часто, попутного серебра, что делает их экономически привлекательными с точки зрения скорости отдачи инвестиций, как это было продемонстрировано иностранными горнорудными компаниями после 1991 года в период высокой инфляции в России на месторождениях Кубака, Покровское, Пионер, Джульетта и Купол (Yakubchuk, 2023). Все эти месторождения относятся к подтипу низосульфидизированных. Только небольшое количество (например, Новоширокинское) относят к промежуточно сульфидизированному, а к высоко-

сульфидизированному относят, например, месторождения Белая Гора в Сихотэ-Алиньской провинции и Березняковское на Урале (Приложение 1).

Колчеданные месторождения по общему количеству попутного золота лишь немного уступают эпитермальным (Рисунок 4.2). Однако некоторые месторождения – Риддер (>700 т Au) в Восточно-Казахстанской провинции и Гайское (>560 т Au) в Уральской – содержат больше попутного золота, чем самое крупное эпитермальное месторождение Центральной Азии.

Примерно одинаковое количество золота оценено в скарнах и месторождениях карлинского(?) типа (Рисунок 4.2). Последние выделяются не только в Алдано-Становой, но и в Тянь-Шаньской, и в Уральской провинциях. Среди них наиболее крупным примером является Куранахская группа месторождений в Южной Якутии. В каждом случае не обнаруживаются все характеристики карлинского типа (Rodionov et al., 2014).

Недалеко от Куранаха находится и единственное месторождение, условно отнесенное к типу IOCG (Элькон Au-U; Лоскутов, Жижин, 2014). Оно также не несет всех характеристик месторождений этого типа, характеристики которого и в мире все еще разрабатываются.

Два важных параметра в классификации коренных месторождений – их генетическая приуроченность к островодужным (и связанных с ними задуговым) и орогенным (коллизионным) обстановкам (Рисунок 4.4). Они формировались близко во времени, но не синхронно. Оказалось, что количество золота в орогенных системах (63% от общих ресурсов) почти в два раза превышает количество в островодужных (37% от общих ресурсов). Оценка количества попутного золота в месторождениях цветных металлов Центральной Азии составляет около 27% от общего количества. При этом порфировые месторождения могут содержать существенные ресурсы золота в небольшом количестве объектов и даже открытие одного из них может существенно поменять распределение общих ресурсов золота, как это произошло в Южно-Гобийской (Ою-Толгой) и Сихотэ-Алиньской (Малмыж) провинциях. Это не может игнорироваться при оценках золоторудного потенциала той или иной провинции.

В региональном плане провинции были ранжированы относительно друг друга по разным параметрам таким, как общее количество золота (Рисунок 4.5). По этому параметру безусловным лидером является Тянь-Шаньская провинция, в которой орогенное золото доминирует, но количество золота в некоторых ее порфировых системах сопоставимо с орогенным (Таблица 2). Вторыми по значимости являются Бодайбинская, Казахстано-Джунгарская и Монголо-Маньчжурская провинции, за которыми следуют Алдано-Становая, Уральская и Ангарская провинции. Третьи по значимости – Восточно-Казахстанская, Южно-Гобийская и Сихотэ-Алиньская провинции, а наименее значимые по общему количеству золота – Алтае-Саянская и

Северо-Китайская. Однако сопоставление по этому параметру не дает прямого представления о качестве и размере месторождений, а, следовательно, об их экономических характеристиках.

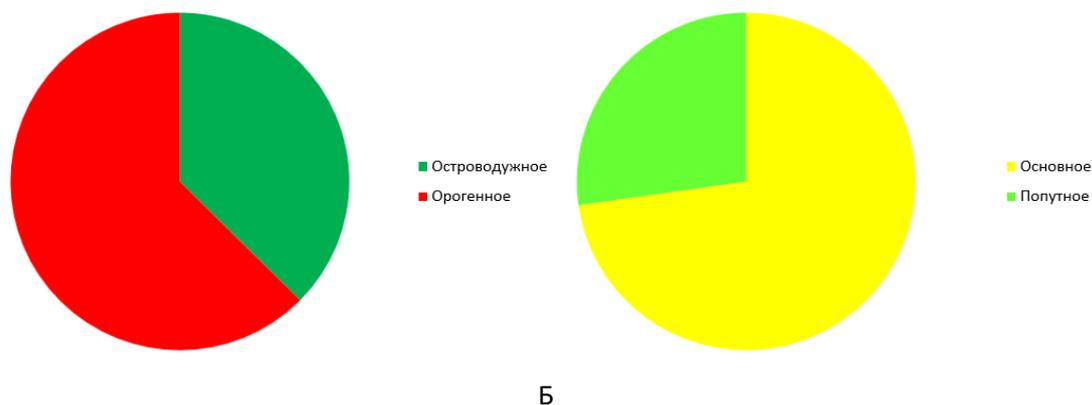


Рисунок 4.4. Общие ресурсы (без учета россыпей) островодужного (надсубдукционного) и орогенного (коллизионного) золота ЦАСП (А) и соотношение месторождений золота в качестве попутного и основного металла (Б).

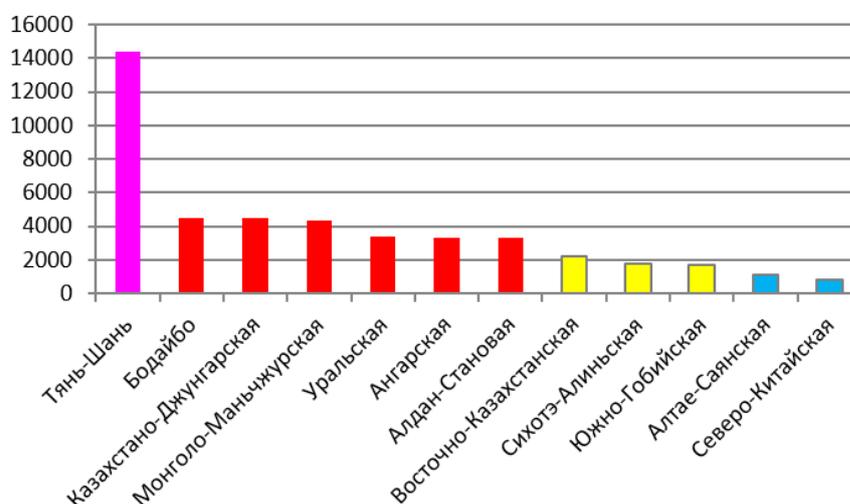
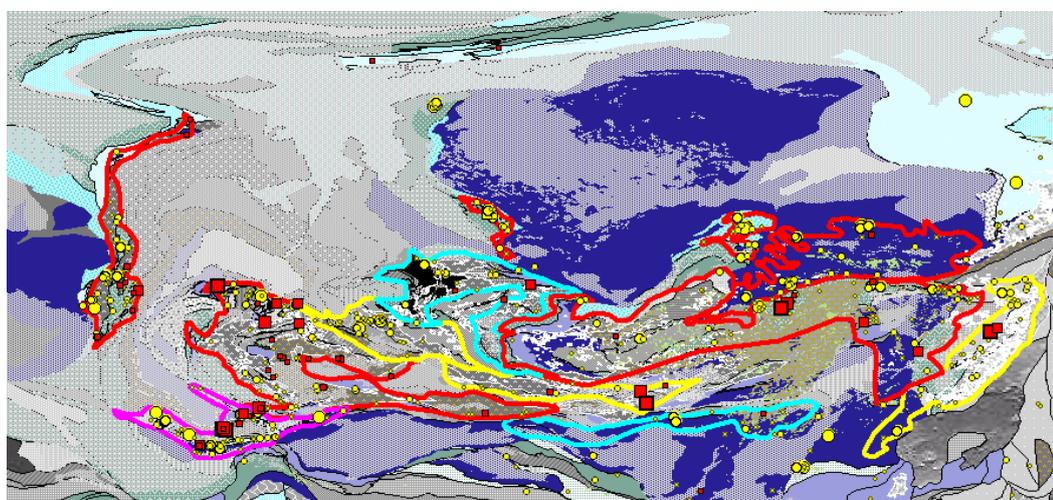


Рисунок 4.5. Ранжирование металлогенических провинций ЦАСП по общему количеству коренного золота (т).

Поэтому провинции были отдельно отранжированы по размеру самых крупных для них месторождений, что транслируется в возможность открытия новых объектов подобного размера. На этой основе все провинции были разделены по значимости на три ранга (Рисунок 4.6А; Таблица 2). К первому рангу отнесены провинции с хотя бы одним месторождением, содержащим более 1000 т золота. Ко второму рангу – провинции с хотя бы одним месторождением 250-1000 т золота. К третьему рангу – провинции с месторождениями <250 т золота.

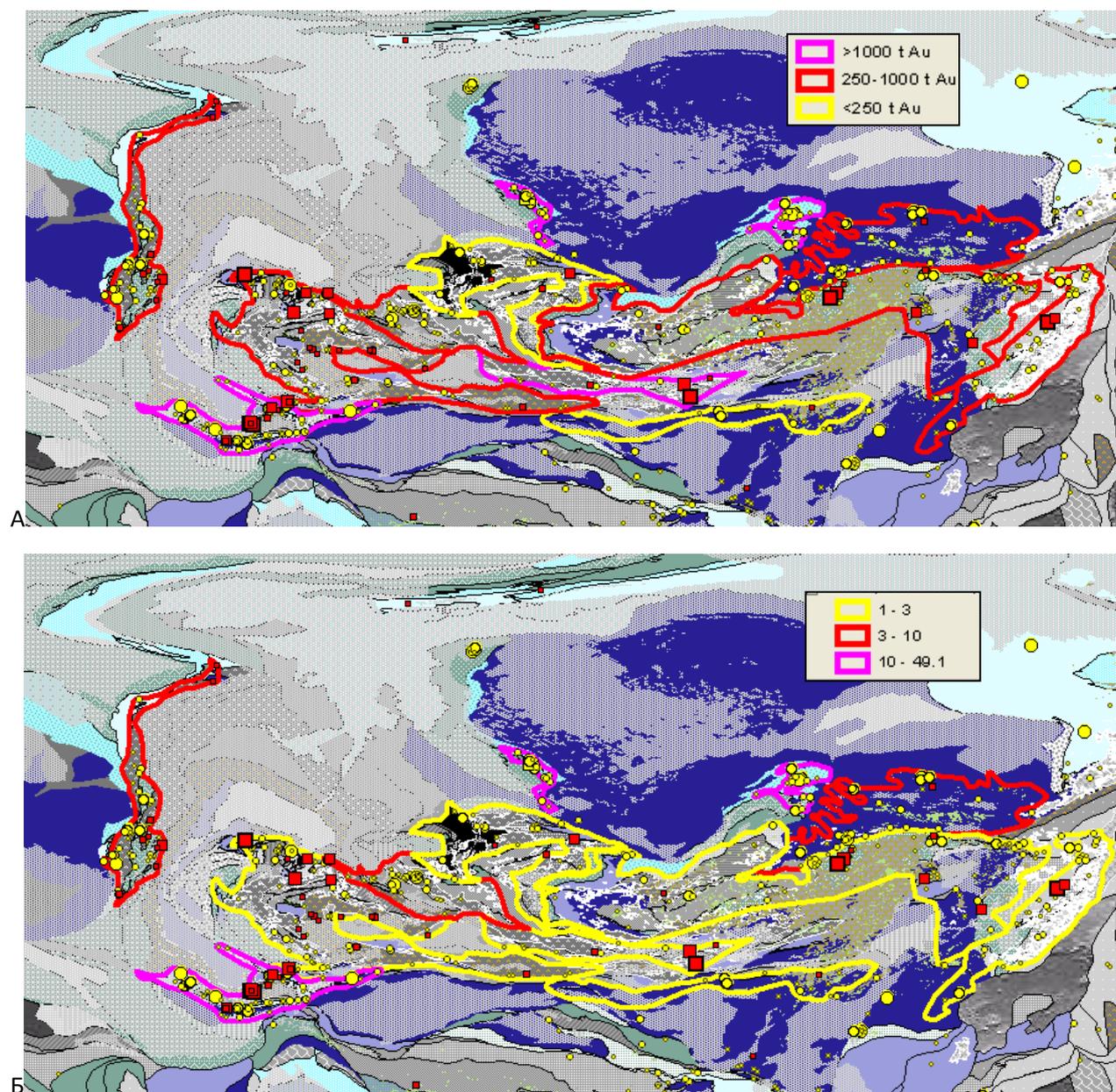


Рисунок 4.6. Ранжирование металлогенических провинций по крупности месторождений золота (А) и по удельной золотонности, кг/кв км (Б).

В итоге Тянь-Шаньская провинция снова остается 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. Для них характерно сочетание сходных месторождений и по типу, и по возрасту. Алтае-Саянская и Северо-Китайская провинции, как и по наименьшему общему количеству золота, опять оказались в низшей категории из-за относительно небольших размеров самых крупных месторождений.

Для этих рангов обнаруживается и региональный тектонический контроль. Все три провинции Сибирского кратона и его обрамления (Ангарская, Бодайбинская и Алдано-Становая) относятся к первому рангу с крупнейшими месторождениями и наибольшими общими ресурсами золота (исключая россыпи). В противоположность этому 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 мезо-кайнозойская Сихотэ-Алиньская провинция уже большей частью тектонически относится к Западно-Тихоокеанскому поясу. Сходными для всех трех провинций является наличие обширных аккреционных комплексов, которые даже в случае наложения магматических дуг на них не несут высоких содержаний золота в порфирировых системах (пожалуй, за исключением месторождения Малмыж) и, как следствие, большого общего количества золота в них.

В Юго-Западном домене ЦАСП (Рисунок 4.6А) располагается группа провинций 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. Эти провинции развивались на современной северной периферии Сино-Туранских кратонов.

Представляется, что наилучшую характеристику для сопоставления золотоносности разных провинций дает удельная золотоносность, рассчитанная на единицу площади (кг Au/кв км) с помощью программы ArcGIS (Таблица 2). По этому параметру оказывается, что Тянь-Шаньская, Бодайбинская и Ангарская провинции (Рисунок 4.6Б) сопоставимы при максимальной удельной минерализации в последней и Бодайбинской, а совсем не в Тянь-Шаньской. Среднюю степень удельной золотоносности с большим отставанием 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.

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 АЗИИ¹³

5.1. Возрастные характеристики золоторудных месторождений

Геохронологические данные (Приложение 1) свидетельствуют, что во времени формирование месторождений происходило пульсационно (Рисунок 5.1). Всего выявляется пять пульсов в неопротерозое, раннем, среднем и позднем палеозое и в мезозое. Наиболее четко пульсационность выражена для орогенных и «гранитоидных» месторождений, для которых регистрируется синхронность с тектоническими перестройками, включая ороклинные изгибания Алтай-Саяна и Казахстана и связанную с ними миграцию фронтов островодужного магматизма, маркируемые в том числе и угловыми несогласиями. На фоне многочисленных реорганизаций фиксируется общее (кроме Урала, Тянь-Шаня и Восточного Казахстана) омоложение возраста надсубдукционного магматизма ЦАСП в восточном направлении, а вместе с ним и омоложение возраста месторождений и их металлогенических провинций.

Особняком стоят небольшие неопротерозойские Au-колчеданные месторождения на западе Монголо-Маньчжурской провинции и крупные кластеры орогенных месторождений Ангарской провинции. Эти месторождения сформировались до распада Родинии и не связаны напрямую с геодинамической эволюцией ЦАСП. Более молодые неопротерозойские датировки в Ангарской провинции соответствуют омолаживающему металлогеническому событию 689-615 млн лет назад.

¹³ При подготовке данного раздела диссертации использованы следующие публикации, выполненные автором лично или в соавторстве, в которых, согласно Положению о присуждении ученых степеней в МГУ, отражены основные результаты, положения и выводы исследования:

1. **Якубчук А.С.** От Кенорлэнда до современных континетов: тектоника и металлогения // Геотектоника. 2019. № 2. С. 3–32. RSCI (1,66 авторского листа, 1,25 п.л., импакт-фактор РИНЦ – 0,966)
2. **Yakubchuk A.** The Baikaside-Altaid, 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. P. 273-297. (1,33 авторского листа, 1,05 п.л.)
3. **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)

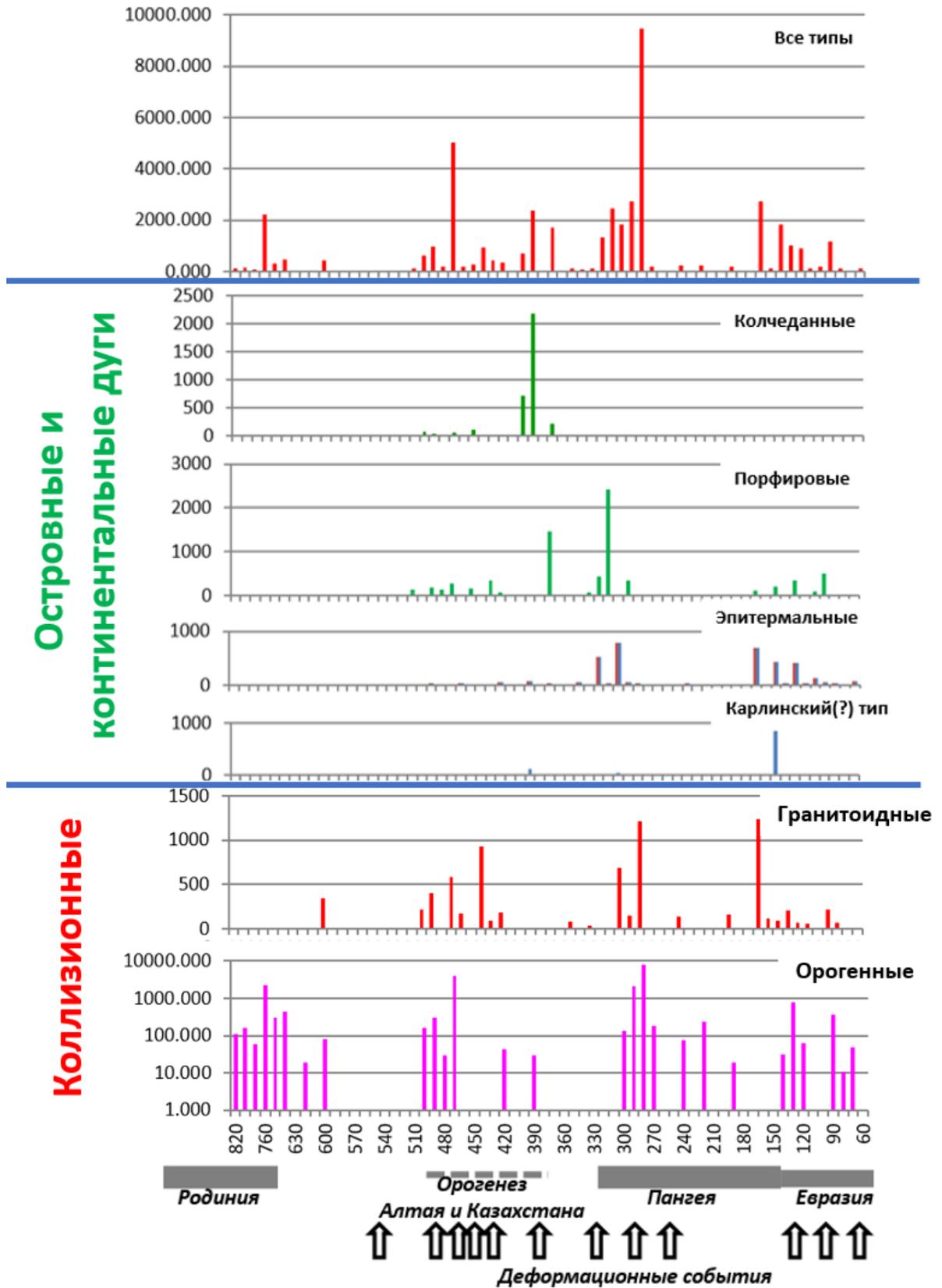


Рисунок 5.1. Распределение в геологическом времени общих ресурсов золоторудных месторождений Центральной Азии разных типов (Аи, т).

Около 600 млн лет назад сформировались первые месторождения в связи с гранитоидными интрузиями Бодайбинской провинции. Эти события уже могут геодинамически увязываться с распадом Родинии при раскрытии Тихого океана, после чего сформировалось

большинство разнообразных золоторудных месторождений ЦАСП. После перерыва длительностью около 70 млн лет первое золото появляется в фанерозойских колчеданных месторождениях Алтае-Саянской провинции, начиная с 530(?) млн лет назад (Lobanov et al., 2014), а в первых порфировых месторождениях той же провинции – в узком интервале 511-507 млн лет (Yakubchuk et al., 2012), после чего в этой провинции и в соседней с ней Монголо-Маньчжурской стали формироваться и месторождения в связи с позднекембрийскими (500-490 млн лет) гранитоидными интрузиями. На этом формирование золоторудных месторождений Алтае-Саянской провинции в основном прекратилось. Количество золота в разных типах месторождений Алтае-Саянской провинции сопоставимо. Почти синхронно с ними, видимо, образовалось и первое орогенное золото Бодайбинской провинции (Vursiy et al., 2020), и первое «порфировое» золото Казахстанских островных дуг (Shen et al., 2018).

В Казахстано-Джунгарской провинции раннепалеозойские порфировые, колчеданные и гранитоидные золоторудные месторождения формировались практически в аналогичной последовательности. Однако в отличие от Алтае-Саянской провинции, месторождения в связи с позднеордовикскими гранитоидными интрузиями здесь имеют гораздо большие размеры, превышающие 400 т золота. На фоне ороклинных изгибов и тектонических перестроек практически без перерыва здесь уже в самом начале силура в связи со Среднепалеозойской вулканической дугой начинают формироваться и новые порфировые месторождения (Нурказган - 438 млн лет, Коксай – 437 млн лет), и орогенные месторождения (Акбакайская группа) в ее тылу.

В среднем палеозое начали формироваться богатые золотом порфировые месторождения Южно-Гобийской провинции (Ою-Толгой), а также колчеданные месторождения Восточного Казахстана (Рудный Алтай) и чередующиеся во времени колчеданные и порфировые месторождения Уральской провинции. Среднепалеозойский пульс оказался более продуктивным, чем оба раннепалеозойских, хотя частично это может быть связано и с большей эродированностью раннепалеозойских месторождений.

Еще больший пик в формировании золоторудных месторождений всех типов, но после снижения интенсивности на протяжении почти 100 млн лет, отмечается для позднепалеозойских рудных систем, особенно порфировых и орогенных. По времени они совпадают с очередной, но крупной тектонической перестройкой при консолидации западной части ЦАСП на начальной стадии формирования суперконтинента Пангея.

После этого интенсивность формирования золоторудных месторождений в ЦАСП сильно сократилась, сохранившись только в восточной части (тектонически это – Северо-Восточный

домен ЦАСП) с новым временным пиком, начиная со 190 млн лет назад в связи с окончанием сбора Пангеи. Количество золота во всех типах мезозойских золоторудных месторождений оказалось существенно меньшим, чем в конце палеозоя, но компенсируется большим количеством сохранившихся (или обнаруженных) объектов.

5.2. Предлагаемая геодинамическая модель

Формирование «островодужных» месторождений, в которых золото может быть и попутным, и основным компонентом, и «орогенных» (коллизионных), в которых золото является доминирующим, происходило несинхронно и в палеозое, и в раннем мезозое (Рисунок 5.2), в целом соответствуя геодинамической модели Groves et al. (1998). Количество золота закономерно меняется во всех типах месторождений по мере возрастания зрелости дуг и формирования новой континентальной коры. В целом порфировые месторождения ювенильных дуг являются более богатыми золотом по содержаниям. Значительную роль в этом может играть и более щелочной химизм магм (Cooke et al., 2005).

Геодинамическая позиция орогенных месторождений ЦАСП и сопредельных неопротерозойских орогенов систематически не совпадает с моделью Groves et al. (1998). В частности, модель предполагает наличие ювенильной островной дуги во фронте континентальной. На современной планете такая обстановка наблюдается только в районе Филиппинского моря, где присутствует две островные дуги, а не активная континентальная окраина, что является, скорее, исключением, чем правилом. Представляется, что геодинамическая модель для месторождений по аналогии с современным Тихим океаном должна строиться для его разных окраин (Западно-Тихоокеанской и Андийской), где наблюдаются и разные геодинамические обстановки – ювенильной островной дуги-задугового бассейна и континентальной магматической дуги, соответственно.

На рисунке 5.2 предлагается геодинамическая модель с учетом тектонических обстановок, описанных в предыдущем разделе. 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 сходные порфирово-эпитермальные системы со скарнами. При детальном рассмотрении выясняется, что и они имеют отличия. Так, в островных дугах порфировые месторождения имеют повышенную роль золота, тогда как в континентальных дугах доминирует медь, а золото имеет подчиненную роль. При этом последние являются гораздо более крупными

по общему объему и тоннажу минерализованных пород, в результате чего совокупное количество золота может быть сопоставимо с менее крупными порфировыми системами островных дуг, хотя и при меньших содержаниях в руде.

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

ЗАПАДНО-ТИХООКЕАНСКИЙ ТИП

АНДИЙСКИЙ ТИП

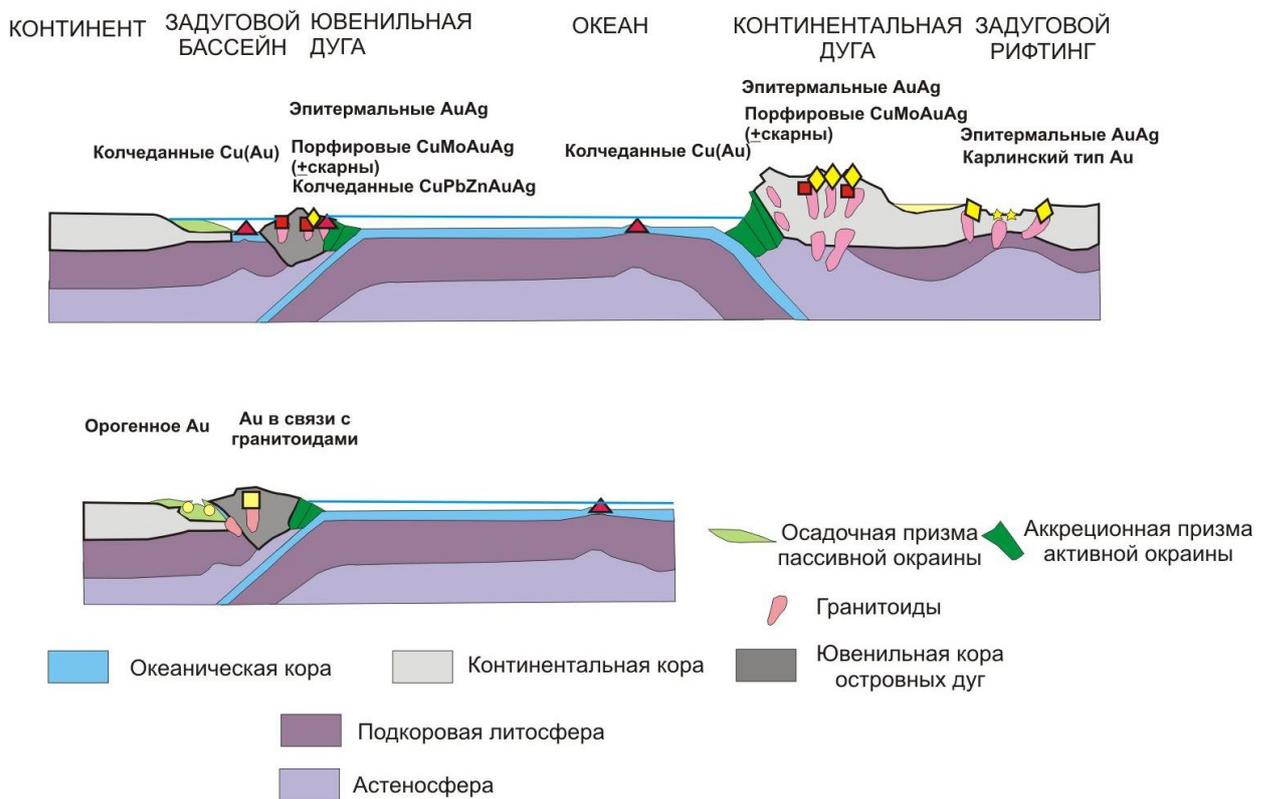


Рисунок 5.2. Геодинамическая модель формирования «островодужных» и «коллизиионных» месторождений Западно-Тихоокеанского и Андийского типов.

Также для Западно-Тихоокеанского типа геодинамических обстановок характерно наличие золоторудных месторождений в связи с гранитоидным магматизмом, которые, как и орогенные, являются синдеформационными. При этом такие месторождения имеют некоторые общие характеристики с порфировыми и часть из них в прошлом классифицировалась как золото-порфировый тип.

Для континентальных дуг характерны обстановки задугового растяжения с полиметаллической минерализацией в осадочных породах. В этой же обстановке формируются некоторые эпитермальные золото-серебряные месторождения и золоторудные месторождения карлинского типа (Groves et al., 1998; Sillitoe, 2020). Последние неуверенно выделяются для задуговых обстановок в тылу островных магматических дуг ЦАСП, сформированных на амальгамированных террейнах после деформаций внутри дуги или на краю континента, как в типовом регионе для карлинских месторождений. Однако эта неясность не отменяет отнесения ряда месторождений к карлинскому типу и не может быть проигнорирована при поисково-разведочных работах, что требует проработки в дальнейшем.

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; Yakubchuk, 2008b, 2009, 2010; Якубчук, 2019). В связи с этим представляется важным провести анализ геодинамической и металлогенической эволюции Центральной Азии в возрастных рамках рассмотренных золоторудных месторождений от 817 до 100 млн лет, что охватывает цикл от распада суперконтинента Родиния до сбора суперконтинента Пангея и последующего преобразования части последней в Евразию (Yakubchuk, 2008b; Якубчук, 2019).

Наиболее неоднозначным вопросом является положение кратонов Сино-Турана и кратонных террейнов ЦАСП до распада Родинии, т.е. до 720 млн лет назад (Рисунок 5.3А). Согласно публикациям их положение может быть реконструировано либо полностью между Австралией и Лаврентией, либо там находились только кратоны Северного Китая (Ding et al., 2021) и Алая-Тарима (Huang et al., 2005), а Янцзы и Индокитай располагались вблизи Индии (Kochhar, 2007). В последнем случае Сино-Туран мог собраться в единую континентальную массу 600-540 млн лет назад к северу от Австралии (Kochhar, 2007; Рисунок 5.3Б). В любом случае, мезопротерозойские (>1 млрд лет) террейны ЦАСП в Родинии располагались между Австралией и Лаврентией, занимая примерно такое же положение как Гренвильский пояс Лаврентии и орогены Антарктики-Австралии.

При этом Сибирь на реконструкциях во всех вариантах располагалась к северу от современной Лаврентии (Ernst et al., 2016) так, что ее современные северный, восточный и западный края были обращены к океану, который, видимо, можно считать Палеоазиатским. Окраины Сибири имели с ним активные окраины, продолжаясь в неопротерозойские Тиманиды

на окраине Восточной Европы. Такая реконструкция, в частности, удовлетворяет формированию Ангарской золоторудной провинции на активной окраине Сибири до распада Родинии и до формирования неметаморфических террейнов ЦАСП, которые стали зарождаться после раскрытия Тихого океана в неопротерозое.

Согласно общепринятым моделям (e.g., Scotese, 2001; Merdith et al., 2020) раскрытие Тихого океана происходило при проникновении оси спрединга между Австралией-Антарктидой и Лаврентией около 720 млн лет назад. Кроме Тихоокеанской и Монголо-Охотской осей спрединга также произошло раскрытие океана Япетус, разделившего Восточную Европу и Лаврентию.

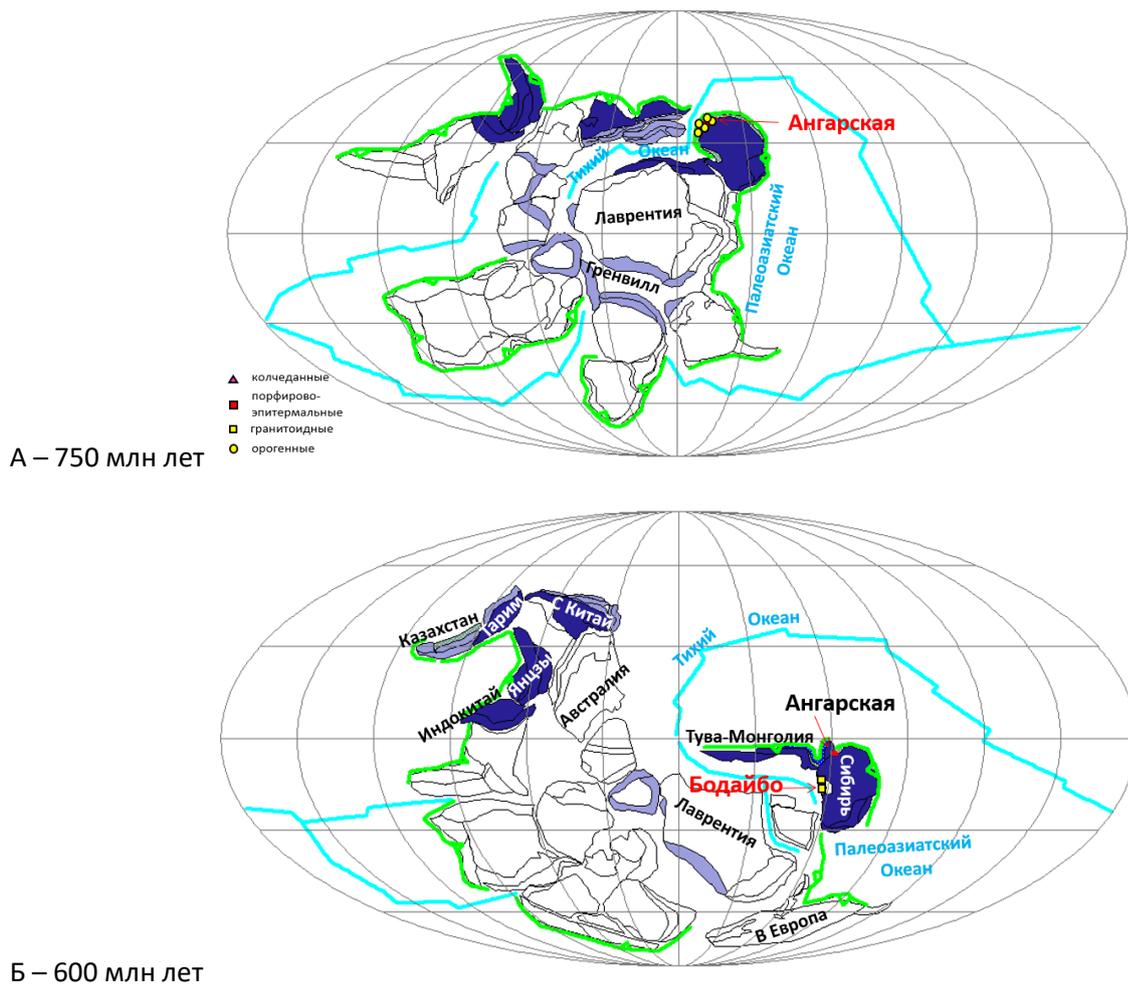
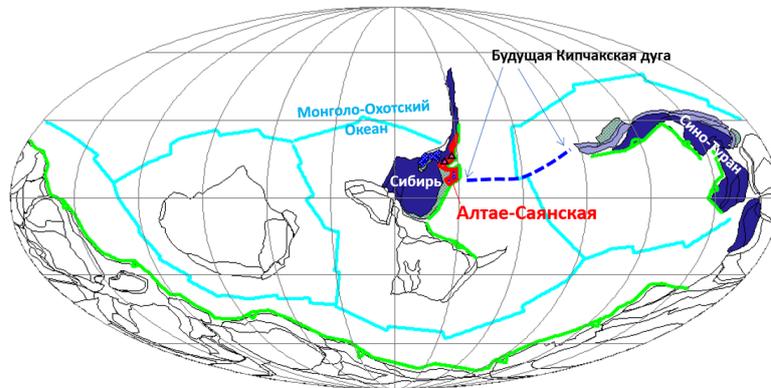
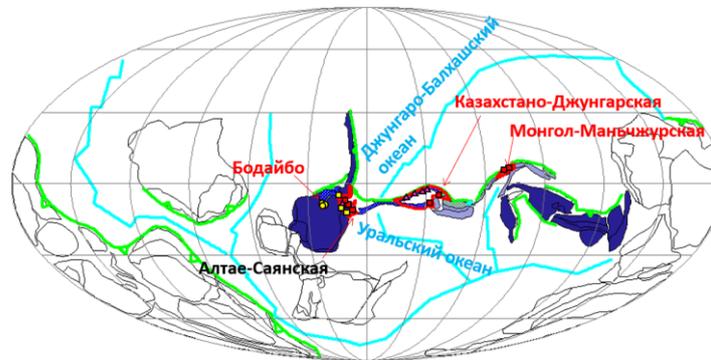


Рисунок 5.3. Палеотектонические реконструкции суперконтинента Родиния (А) и его распада при раскрытии Тихого океана (Б). Составлено с использованием Torsvik et al., 1992; Диденко и др., 1994; Smethurst et al., 1998; Ханчук, Иванов, 1999; Парфенов и др., 2003; Berzin, 2004; Gladkochub et al., 2006; Метелкин, 2007; Bazhenov et al., 2012; Metelkin et al., 2012; Wilhem et al., 2012; Stampfli et al., 2013; Kuzmichev, 2015; Ernst et al., 2016; Khanchuk et al., 2016; Torsvik, Cocks, 2017; Yakubchuk, 2017; Merdith et al., 2020.

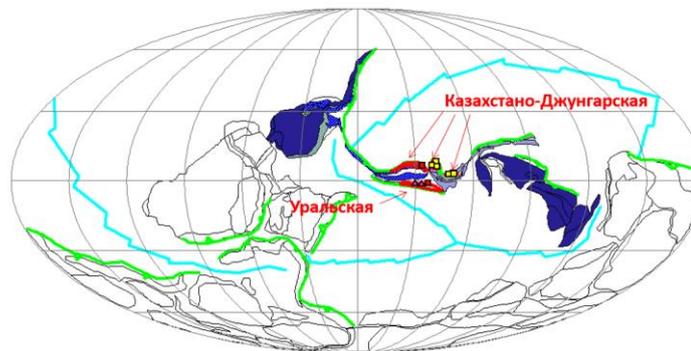
В отношении кратонных террейнов ЦАСП и Сино-Турана проникновение осей спрединга можно реконструировать таким образом, что Сибирь-Тува-Монголия и Сино-Туран с террейнами от фрагментированного мезопротерозойского (исседонского по Зайцеву (1984)) орогена оказались по разные стороны от тихоокеанской оси (или осей) спрединга (Рисунок 5.3Б). В дальнейшем обе группы кратонных террейнов испытали дрейф с вращениями в сторону Восточной Европы вдоль противоположных краев Тихого океана.



А – 540 млн лет



Б – 510-475 млн лет



В – 440 млн лет

Рисунок 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 Torsvik et al., 1992; Диденко и др., 1994; Smethurst et al., 1998; Ханчук, Иванов, 1999; Парфенов и др., 2003; Berzin, 2004; Gladkochub et al., 2006; Метелкин, 2007; Bazhenov et al., 2012; Metelkin et al., 2012; Wilhem et al., 2012; Stampfli et al., 2013; Kuzmichev, 2015; Ernst et al., 2016; Khanchuk et al., 2016; Torsvik, Cocks, 2017; Yakubchuk, 2017; Merdith et al., 2020.

После распада Родины Сибирь-Тува-Монголия не испытывали дрейфа на большое расстояние, а в основном вращались по часовой стрелке по направлению к Восточной Европе (Torsvik et al., 1992; Smethurst et al., 1998). При этом в позднем неопротерозое на современной южной окраине Сибири на фоне раскрытия Монголо-Охотского океана происходила фрагментация и реорганизация островных дуг (Verzin, 2004; Kuzmichev, 2015), которые теперь картируются внутри ЦАСП. Предполагается, что отделение Тувино-Монгольских террейнов от Алдано-Станового домена Сибирского кратона происходило на фоне раскрытия Монголо-Охотского океана. После завершения этой перестройки на границе Монголо-Маньчжурской и Алтае-Саянской провинций образовалась ювенильная Кузнецко-Хамсаринская дуга. Именно в этой дуге началось формирование первых раннепалеозойских золото-колчеданных и медно-золото-порфировых месторождений Алтае-Саянской провинции (Рисунок 5.4А). Последняя в конце неопротерозоя формировалась все еще на активной окраине Сибири.

Сино-Туран вместе с мезопротерозойскими (исседонскими) террейнами, на краях которых зародились неопротерозойские магматические дуги Казахстана (Дегтярев и др., 2017), тоже перемещался в сторону Восточной Европы и Сибири (Рисунок 5.4А-В). К рубежу неопротерозоя и палеозоя Сино-Туран настолько сблизился с современным южным обрамлением Сибири, что между ними на месте трансформного разлома сформировалась Кипчакская ювенильная дуга, теперь находящаяся в Казахстано-Джунгарской металлогенической провинции. Дуга соединила Сино-Туран и Сибирь, с одной стороны, и разделила Палеоазиатский океан на Уральский и Джунгаро-Балхашский, с другой стороны (Рисунок 5.4Б). Механизм преобразования трансформных разломов в зону субдукции с образованием ювенильной островной дуги был предложен давно на примере Марианской ювенильной дуги (Casey, Dewey, 1984) и используется в данной интерпретации для объяснения зарождения Кипчакской дуги.

В Кипчакской дуге около 490 млн лет назад, то есть примерно через 40-45 млн лет после ее инициации, тоже стали формироваться порфировые месторождения, а при ее расколе и образовании Сарыаркинской дуги – колчеданные. Причем одновременно (~490 млн лет назад) в Алтае-Саянской провинции формировались гранитоиды и связанные с ними месторождения золота, включая орогенные. Почти в это же время формировались и орогенные золоторудные месторождения Бодайбо, но они накладывались на деформированную неопротерозойскую пассивную окраину Сибири далеко в тылу (700 км) раннепалеозойской зоны субдукции Джидино-Еравнинской островной дуги современного Забайкалья.

К концу ордовика (Рисунок 5.4В) новая тектоническая реорганизация за счет сближения Сино-Турана и Сибири вызвала столкновение разнородных террейнов в Кипчакской дуге с

сутурированием междуугового бассейна между ней, Сарыаркинской дугой и кратонными террейнами, что создало сложный тектонический рисунок соотношений между раннепалеозойскими террейнами, картируемыми в пределах Казахского нагорья и Тянь-Шаня. Часть из этих террейнов была сшита ареалами гранитоидов возрастом 445 млн лет. Ранние фазы этих гранитоидных комплексов несут золотое оруденение в Северном Казахстане (Бестюбе, Васильковское) и, возможно, в Северном Тянь-Шане (Джеруй).

Эти две реорганизации положили начало ороклинному изгибанию и фрагментированию Кипчакско-Сарыаркинской дуги (включая ныне отделенный Салаир). Представляется, что ороклинные деформации могут быть увязаны с движением и Сибири-Тувы-Монголии, и Сино-Турана в сторону Восточно-Европейского кратона.

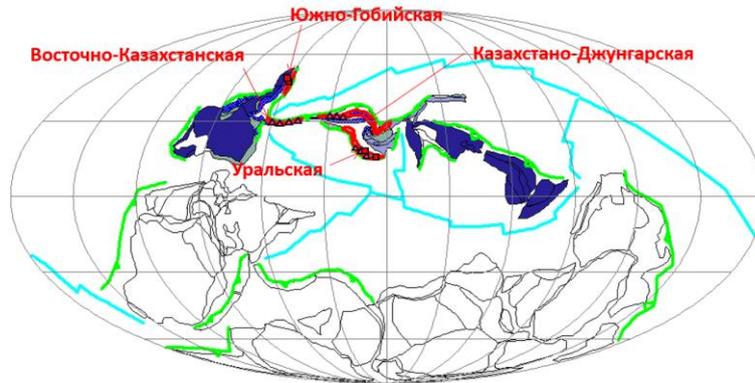
В среднем палеозое (Рисунок 5.5) поверх Салаиро-Казахстано-Тянь-Шаньских террейнов с обеих сторон образовывались сшивающие дуги. При двусторонней субдукции, как на современных Филиппинах, и на внешней (уральской) стороне, и на внутренней, обращенной к Джунгаро-Балхашскому океану так же, как и несколько ранее в Северном Казахстане формировались кластеры медно-золото-порфировых (Томинское, Березняковское, Ою-Толгой, Нурказган, Коксай) и колчеданных (Урал, Рудный Алтай, восток Центрального Казахстана) месторождений.

В течение этого времени продолжалось сближение Сибири с Восточной Европой с вращением первой по часовой стрелке. Как следствие, все магматические дуги между ними испытали новое ороклинное изгибание. В Казахстано-Джунгарской провинции на этом фоне происходило смещение фронтов островодужного магматизма к юго-востоку (от Среднепалеозойской к Балхаш-Илийской дуге) по направлению к ядру ороклина. На Урале еще в раннем палеозое произошло открытие задугового бассейна Зауральской зоны, а в начале карбона он уже субдуцировал под казахстанские палеозоиды с формированием Курама-Валерьяновка-Саурской дуги с ее последующей коллизией с Уральскими островодужными террейнами. В конце палеозоя в разных частях Курама-Валерьяновка-Саурской дуги практически синхронно формировались медно-порфировые и золото-эпитермальные месторождения. Последние в этой дуге сохранились только в Узбекистане (Golovanov et al., 2005).

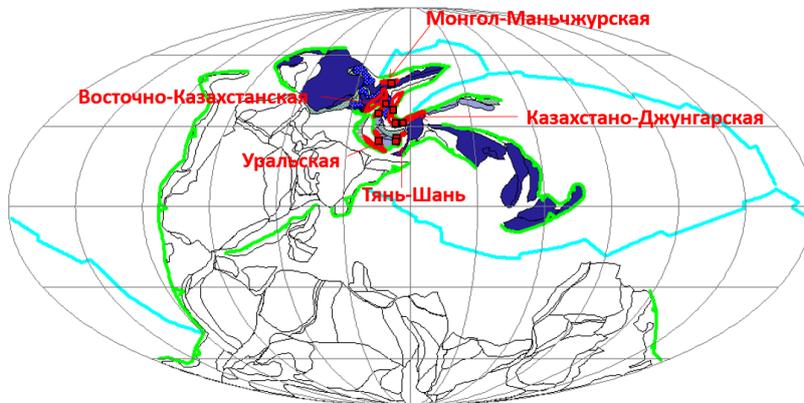
Закрытие Джунгаро-Балхашского океана произошло в конце палеозоя (Рисунок 5.5Б,В) одновременно с началом коллизии между Восточно-Европейским кратоном и уральскими островодужными террейнами уже вместе с Казахстаном. Коллизия уральских дуг с Восточной Европой продвигалась в северном направлении вплоть до начала мезозоя, что консолидировало

всю западную часть ЦАСП, в том числе за счет коллизии Алай-Тарима с Казахстаном и орогенезом на Тянь-Шане.

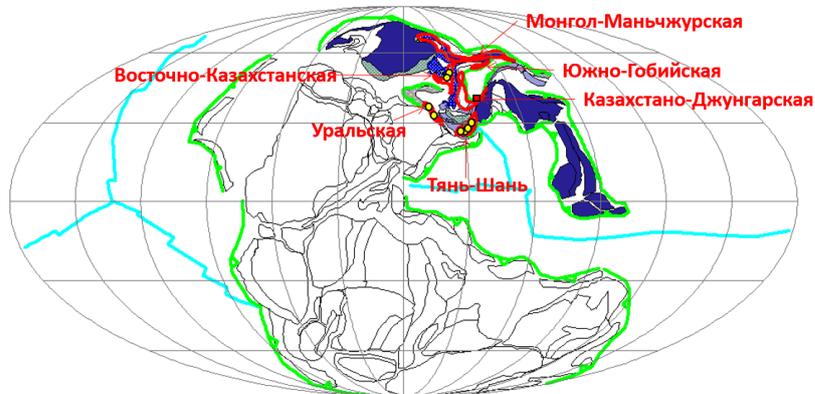
Эти события маркируют начало объединения Пангеи (Scotese, 2001; Meredith et al., 2020). После этого субдукция в юго-западном домене ЦАСП продолжала работать только со стороны Палеотетиса и, вероятно, в зоне его влияния обильно минерализованная и металлогенически разнообразная Тянь-Шаньская золоторудная провинция наложилась на ЦАСП.



А – 390 млн лет



Б – 320 млн лет



В – 280 млн лет

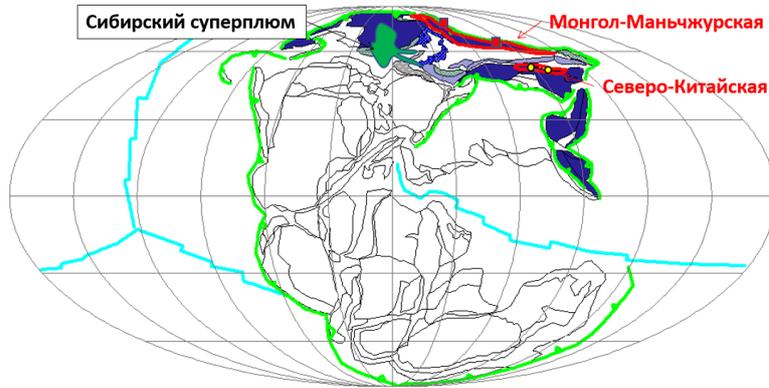
Рисунок 5.5. Палеотектонические реконструкции для стадии формирования сшивающих дуг Казахстано-Джунгарской провинции и развития Уральской дуги и их золоторудных провинций (А, Б), а также коллизии всех дуг с Восточной Европой с синхронным образованием орогенных месторождений в разных частях запада ЦАСП. Составлено с использованием Torsvik et al., 1992; Диденко и др., 1994; Smethurst et al., 1998; Ханчук, Иванов, 1999; Парфенов и др., 2003; Berzin, 2004; Gladkochub et al., 2006; Метелкин, 2007; Bazhenov et al., 2012; Metelkin et al., 2012; Wilhem et al., 2012; Stampfli et al., 2013; Kuzmichev, 2015; Ernst et al., 2016; Khanchuk et al., 2016; Torsvik, Cocks, 2017; Yakubchuk, 2017; Meredith et al., 2020.

К 240 млн лет назад центр Лавразийской части Пангеи уже подвергся воздействию Сибирского суперплюма, породившего незадолго до этого Норильский рудный район (около 250 млн лет назад; Yakubchuk, Nikishin, 2004). При этом Монголо-Охотский океан оставался широко открытым (Рисунок 5.6А). Несмотря на начало магматизма в Орхон-Селенгинской континентальной дуге еще в каменноугольное время значимые порфировые месторождения не формировались до начала триаса, когда образовался Эрденет (240 млн лет; Gerel, Munkhsengel, 2005), то есть более 60 млн лет. После этого с омоложением к востоку регистрируются порфиры в связи с индосинийскими и яньшаньскими тектоно-металлогеническими событиями, проявившимися в Монголо-Маньчжурской провинции и в Алдано-Становой области Сибири, 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.

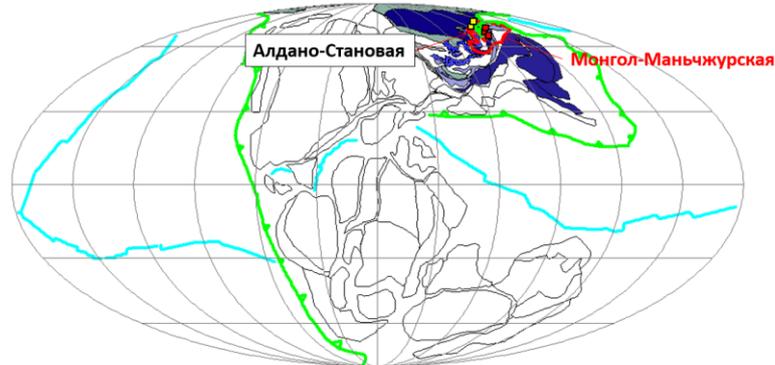
Закрытие Монголо-Охотского океана и ороклинное изгибание его зоны субдукции происходило ножницеобразно (Зоненшайн и др., 1990; Yakubchuk, Edwards, 1999) в результате дрейфа восточных частей Сино-Турана в сторону Сибири. При закрытии океана формировались порфировые месторождения, а после закрытия вдоль Монголо-Охотской сутуры формировались «гранитоидные» и орогенные (Рисунок 5.6Б).

Между 160 и 95 млн лет назад при сутурировании Монголо-Охотского океана сформировался ряд важных эпитермальных (Покровское, Пионер) и орогенных (Маломыр; Кадашникова и др., 2019) месторождений в Монголо-Маньчжурской провинции и все месторождения Алдано-Становой провинции. После коллизии вся надсубдукционная тектоно-магматическая активность и рудогенерация к середине мела сместились в Сихотэ-Алиньскую провинцию Западно-Тихоокеанского орогенного пояса (Рисунок 5.6В).

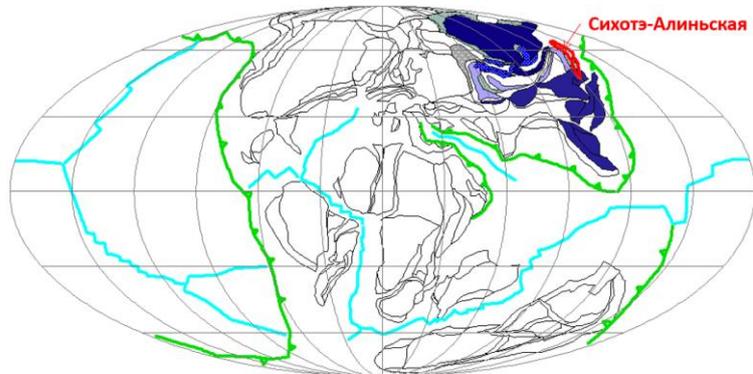
По существу, исключая более молодой возраст, строение, состав террейнов и их металлогения в Западно-Тихоокеанском орогенном поясе мало отличаются от ЦАСП. В частности, для западной и северной частей Тихоокеанской активной окраины также характерно наличие многочисленных ороклинных изгибов, как и в ЦАСП, а прямолинейные участки, которые обычно считаются линейными орогенами, по существу являются лишь крыльями ороклинов (Рисунок 5.7).



А – 240 млн лет



Б – 160 млн лет



В – 95 млн лет

Рисунок 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 Torsvik et al., 1992; Диденко и др., 1994; Smethurst et al., 1998; Ханчук, Иванов, 1999; Парфенов и др., 2003; Berzin, 2004; Gladkochub et al., 2006; Метелкин, 2007; Bazhenov et al., 2012; Metelkin et al., 2012; Wilhem et al., 2012; Stampfli et al., 2013; Kuzmichev, 2015; Ernst et al., 2016; Khanchuk et al., 2016; Torsvik, Cocks, 2017; Yakubchuk, 2017; Merdith et al., 2020.

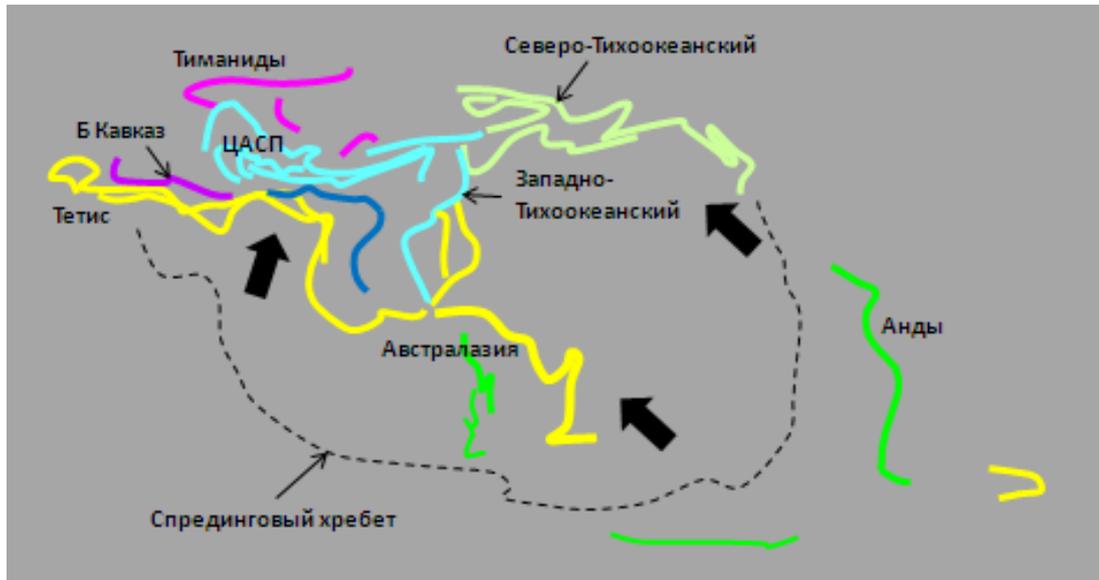


Рисунок 5.7. Принципиальная схема соотношений ороклинов ЦАСП, Тихоокеанского кольца и пояса Тетис.

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, сбора суперконтинента Пангея и последующего отчленения от него Евразии, в целом совпадая с крупными тектоническими событиями.

ГЛАВА 6. ФАНЕРОЗОЙСКИЕ ЗОЛОТОРУДНЫЕ ПРОВИНЦИИ И ЦЕНТРАЛЬНАЯ АЗИЯ

Как показано в предыдущих главах, ЦАСП сформирован в результате длительных направленных геодинамических процессов, среди которых с точки зрения золотоносности наиболее важными являются надсубдукционные островодужные и коллизионные. В меньшей степени в ЦАСП развиты континентальные магматические дуги, которые присутствуют в основном в пределах Сибирского кратона (Алданская провинция), хотя обширно распространены сшивающие дуги и поверх аккретированных террейнов. Такие дуги, как, например, Большехинганская, образовавшаяся на поздней стадии развития ЦАСП, могут иметь сходство с континентальными.

В первом приближении наибольшее сходство ЦАСП имеет с современными геодинамическими обстановками Западно-Тихоокеанской активной окраины, особенно в области сочленения Юго-Восточной Азии и Австралазии (Рисунок 6.1), где также развиты ороклины. В этой области присутствуют порфировые и эпитеpmальные месторождения, для которых в кайнозой тоже установлено прерывисто-пульсационное формирование, увязываемое с перестройками движения плит (Macpherson, Hall, 2002). Некоторые из таких рудных систем формируются и в настоящее время (Far Southeast на Филиппинах, Lihir в Папуа – Новой Гвинее).

По содержаниям металлов порфировые месторождения Западно-Тихоокеанского региона сопоставимы с Центрально-Азиатскими. Общие запасы золота в ПЭРС и других золоторудных системах Юго-Восточной Азии (Филиппины, Папуа-Новая Гвинея, Индонезия, Фиджи, Тайвань и Малайзия без учета Восточной Австралии, Восточного Китая и российской части) составляют около 25 750 т золота при общем оцененном количестве выявленного золота во всех Циркум-Тихоокеанских складчатых поясах в 138 300 т (Schodde, 2019).

В Северо-Тихоокеанском сегменте, включающем Северо-Восток России, Аляску и Кордильеры (Рисунок 6.1; Nokleberg et al., 2005), развит полный спектр золоторудных месторождений при незначительном количестве колчеданных. Было показано, что в этом все еще развивающемся подвижном поясе островодужные террейны тоже часто ороклинно изогнуты (Şengör, Natal'in, 1996; Colpron et al., 2006), а поверх них сформировались сшивающие дуги. Для всего сегмента характерно присутствие золота в порфировых, эпитеpmальных и карлинского типа месторождениях, а также в гранитоидных интрузиях Аляски-Канады и в гигантских орогенных месторождениях Северо-Востока России (Yakubchuk, 2009). Совокупные ресурсы оцениваются в

50 900 т золота (7022 т золота на северо-востоке России и 43 900 т золота в Северной Америке), что сопоставимо с оценкой 43 700 т для ЦАСП.

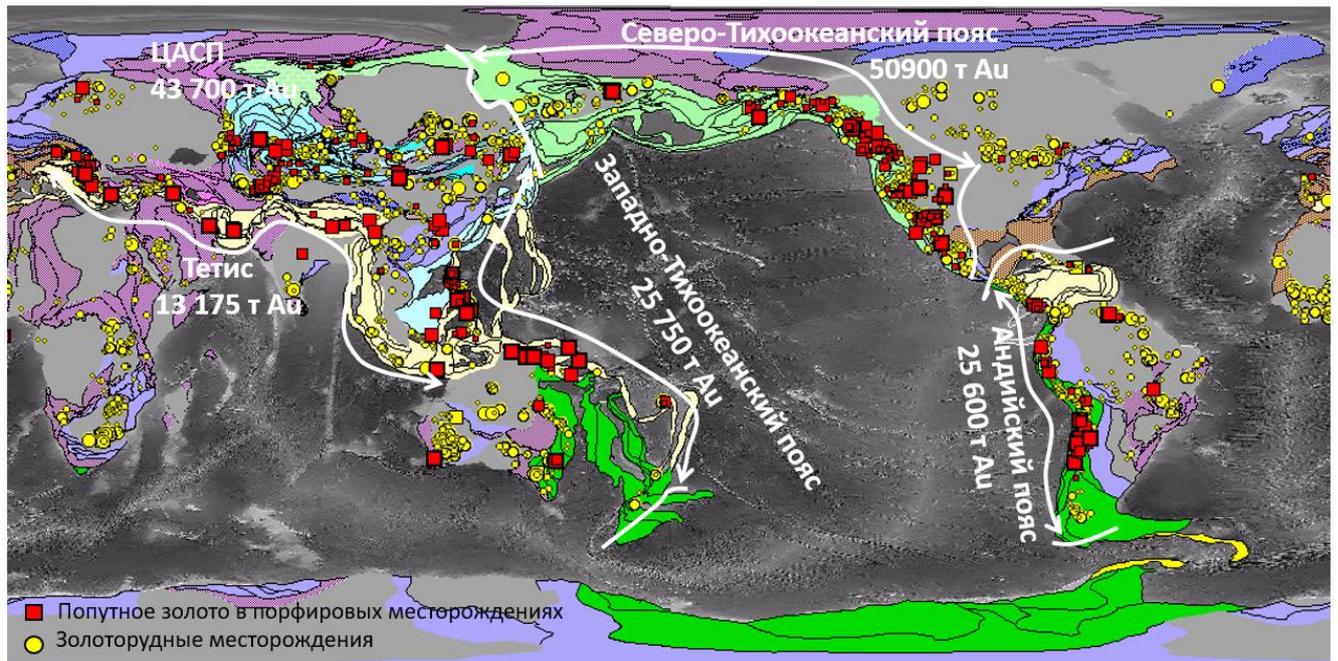


Рисунок 6.1. Распределение золоторудных месторождений мира всех типов и золотоносность фанерозойских складчатых поясов мира.

В Андах находятся самые крупные фанерозойские медно-порфировые системы планеты, но золото в них имеет низкие содержания, распределенные в большом объеме (Singer et al., 2008). Совокупные ресурсы золота от Карибского бассейна до юга Чили, включая эпитегрмальное, скарновое, IOCG и небольшое количество орогенного, составляют около 25 600 т.

В поясе Тетис почти все золото связано с порфировыми, эпитегрмальными и колчеданными системами (Richards, 2015), а орогенные месторождения отсутствуют практически совсем, возможно, будучи еще не вскрыты эрозией. Совокупные ресурсы оцениваются в 13 175 т золота.

Орогенные месторождения Аппалач и палеозойской Европы в основном имеют небольшие размеры по сравнению с остальными фанерозойскими поясами, а порфировые и плохо сохранившиеся эпитегрмальное месторождения немногочисленны. На Иберийском полуострове развиты колчеданные месторождения. Совокупные ресурсы всего региона оцениваются в ~1600 т золота, что несопоставимо мало по сравнению с другими складчатыми поясами.

Приведенная статистика ставит Центральную Азию (исключая Сихотэ-Алинь) на 2-е место по общему количеству фанерозойского золота после Северной Пацифики. Однако безусловным мировым лидером Центральная Азия является по орогенному золоту.

Месторождения в связи с гранитоидными интрузиями присутствуют в нескольких провинциях ЦАСП. По своим масштабам они сопоставимы с поясом Тинтина на Аляске и в Канаде.

Палеозойские эпиптермальные месторождения ЦАСП сохранились благодаря своему быстрому захоронению под более молодыми образованиями и отсутствию воздыманий орогенов, по масштабам сопоставимых с Андами. Однако их роль в целом менее значима, чем в других складчатых поясах, так как они сохранились в пределах ЦАСП не повсеместно.

Мировое значение имеют палеозойские и мезозойские порфириновые системы ЦАСП, которые при средних содержаниях меди несут повышенные содержания золота, что делает их экономически конкурентоспособными даже при меньших рудных объемах, чем в Андах.

Месторождения золота карлинского типа в ЦАСП выделяются с оговорками на Урале, в Тянь-Шаньской и Алдано-Становой провинциях. Их характеристики являются не вполне проработанными, что требует дальнейшего исследования.

Колчеданные месторождения ЦАСП являются одними из крупнейших в мире, а по количеству содержащегося в них золота объективно превосходят все остальные провинции такого типа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало, что Центральная Азия является одним из важнейших в мире золотоносных регионов. По плотности, площадному распространению и разнообразию типов золоторудных месторождений ЦАСП сопоставим с Северо-Тихоокеанскими складчатыми поясами, превосходя все остальные фанерозойские орогены мира.

Золото в рудных месторождениях Центральной Азии присутствует как существенный попутный продукт (27% от общего количества) в колчеданных и порфириновых системах, а также в скарнах, и как основной металл (73% от общего количества) в эпитермальных и орогенных месторождениях и в месторождениях в связи с гранитоидными интрузиями. По общему количеству золота преобладают орогенные системы, за которыми следуют порфириновые, гранитоидные, колчеданные и эпитермальные. Наименьшее количество золота фиксируется в месторождениях карлинского (?) типа и в железо-оксидных месторождениях.

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

С учетом тектонического строения и эволюции в Центральной Азии выделяются двенадцать провинций, разделенных по удельной золотоносности на первый, второй и третий ранги. Наибольшие концентрации золота по многим параметрам регистрируются в Тянь-Шаньской провинции, но по удельной золотоносности доминирует Ангарская провинция.

В каждой провинции выявляется широкий спектр типов и возрастов золоторудных месторождений, которые могут быть как пространственно телескопированы в пределах тектонических единиц (Урал), так и зонально разобщены (Тянь-Шань, Казахстано-Джунгарская, Монголо-Маньчжурская провинции), отражая устойчивые или меняющиеся геодинамические обстановки палеозойских, мезозойских и даже кайнозойских островных дуг и их задуговых областей.

Орогенное золото некоторых провинций наложилось на более древние тектонические единицы в начале палеозоя (Бодайбо), конце палеозоя (Тянь-Шань), а также в конце мезозоя (Монголо-Маньчжурская и Алдано-Становая). Но их формирование связано с геодинамическими процессами в ЦАСП. Такие провинции оказываются наиболее крупными по количеству золота.

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 Сибири, а самый

молодой – к островодужным и коллизионным процессам конца мезозоя на востоке Евразии. Большинство экономически важных золоторудных месторождений сформировалось в течение нескольких пульсов на протяжении 600 млн лет на фоне распада суперконтинента Родиния и сбора Пангеи. Однако неопротерозойское золото Ангарской провинции (830-682 млн лет) сформировалось большей частью еще до распада Родинии на западном краю Сибирского кратона, а золото Сихотэ-Алинской 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 месторождений. 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. 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 являются относительно новым типом для России, тогда как этот тип месторождений является доминирующим для Австралии и Канады, производящих сопоставимое с Россией количество металла ежегодно (Yakubchuk, 2023).

Учет вклада россыпного золота также изменит пропорции в общих ресурсах золота. Эта задача представляется трудновыполнимой 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, превышая общие ресурсы золота в колчеданных, эпитеpmальных, скарновых и карлинских месторождений. Общие ресурсы золота в россыпях составляют около 14% от общих ресурсов золота Центральной Азии, если их принимать во внимание.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**Опубликованная**

1. *Абрамов Б.Н.* Условия образования, петрохимические и геохимические особенности пород и руд Дельмачикского золоторудного месторождения (Восточное Забайкалье) // Литосфера. 2014. №3. С. 93-101.
2. *Абрамов Б.Н.* Верхне-Алиинское золоторудное месторождение: условия формирования, петрогеохимические особенности пород и руд (Мунгинский рудный узел, Восточное Забайкалье) // Литосфера. 2016. № 4. С. 92-101.
3. *Абрамов Б.Н., Калинин Ю.А., Посохов В.Ф.* Любавинское золоторудное месторождение (Восточное Забайкалье): петрогеохимия, источники пород и руд // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т. 329, № 3. С. 134-144.
4. *Алексеев А.С., Старостин В.И.* Новое месторождение золота в Нижнем Приамурье — Чульбаткан (Хабаровский край) // Вестн. Моск. Ун-Та. Сер. 4. Геология. 2017. № 1. С. 33-38.
5. *Анисимова Г.С., Соколов Е.П., Кардашевская В.Н.* Золоторедкометалльное (Au-Mo-Te-Vi) оруденение Верхнеалгоминского золотоносного района (Южная Якутия) // Отечественная геология. 2017. № 5. С. 12-22.
6. *Антоненко А.А., Жуков Н.М., Павлова З.Н., Гойколова Т.В.* Комплексное медно-золотое месторождение Варваринское в Северном Казахстане: минеральные типы и состав руд // Геология рудных месторождений. 2020. Том 62, № 4. С. 349-368.
7. *Афанасов М.Н., Павлова В.В., Терновой В.В.* Геолого-металлогеническое развитие юго-восточного Забайкалья // Вестник Санкт-Петербургского Университета. 2007. Сер. 7. Вып 3. С. 3-19.
8. *Бекбулатов В. С., Шакенова К. Т., Утегенева М. У. и другие.* Предварительная геологоэкономическая оценка меднопорфирирового месторождения Коктасжал в Карагандинской области с подсчетом запасов по состоянию на 01.01.2011 г., Караганда, 2011. – 190 с.
9. *Беневольский Б.И.* Золото России: проблемы использования и воспроизводства минерально-сырьевой базы. Издание 2. – Москва: ЗАО Геоинформарк, 2002. – 464 с.

10. Берзин Н.А., Кунгурцев Л.В. Геодинамическая интерпретация геологических комплексов Алтае-Саянской области // Геология и геофизика. 1996. Т. 37, № 1. С. 63–81.
11. Берзина А.Н., Берзина А.П., Гимон В.О. Влияние наложенных процессов на результаты датирования по данным U-Pb, Re-Os, Ar/Ar исследований магматических пород месторождения Аксуг // Материалы 18й международной конференции "Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле", Москва: ИГЕМ РАН, 2017. С. 38-41.
12. Берзина А.П., Берзина А.Н., Гимон В.О. Сорское медно-молибден-порфировое месторождение (Кузнецкий Алатау): магматизм, влияние мантийного плюма на развитие рудно-магматической системы // Геология и геофизика. 2011. Т. 52, № 12. С. 1974-1986.
13. Беспяев Х.А., Глоба В.А., Абишев В.М., Гуляева Н.Я. Месторождения золота Казахстана. Справочник под редакцией А.А. Абдуллина, Х.А. Беспяева, Э.С. Воцалевского, С.Ж. Даукеева, Л.А. Мирошниченко. Алматы: Информационно-аналитический центр геологии, экологии и природных ресурсов Республики Казахстан, 1997. – 232 с.
14. Бондарь Д.Б., Чугаев А.В., Полеховский Ю.С., Кошлякова Н.Н. Минералогия руд месторождения золота Кедровское (Муйский район, Республика Бурятия, Россия) // Вестн. Моск. Ун-Та. Сер. 4. Геология. 2018. № 3. С. 60-69.
15. Борисенок 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)**
16. Буслов М.М., Джен Х., Травин А.В., Отгонбаатар Д., Куликова А.В., Чен Минг, Глори С., Семаков Н.Н., Рубанова Е.С., Абилдаева М.А., Войтишек Е.Э., Трофимова Д.А. Тектоника и геодинамика Горного Алтая и сопредельных структур Алтае-Саянской складчатой области // Геология и геофизика. 2013. Т. 54, № 10. С. 1600-1627.
17. Буряк В.А. Метаморфизм и рудообразование. – М: Недра, 1982. – 256 с.
18. Буряк В.А., Хмелевская Н.М. Сухой Лог - одно из крупнейших золоторудных месторождений мира. – Владивосток: Дальнаука, 1997. – 156 с.
19. Бучко И.В., Сорокин А.А., Пономарчук А.В. и др. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ возраст и связь с магматизмом медно-порфирового с золотом оруденения рудопроявления Елна (северо-восточная часть Аргунского супертеррейна) // Доклады РАН. 2017. Т. 472, № 2. С. 175–179.

20. Бучко И.В., Сорокин А.А., Пономарчук В.А., Травин А.В. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -возраст связь с магматизмом золото-серебряного оруденения месторождения Буринда (северо-восточная часть Аргунского супертеррейна) // Доклады РАН. 2019. Т. 485, № 3. С. 321-325. <https://doi.org/10.31857/S0869-56524853321-325>
21. Быбин Ф.Ф., Багова В.З. Могочинско-Карийский золоторудный район (Восточное Забайкалье) // Состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы. 2014. №1 (17). С. 78-84.
22. Ванин В.А., Чугаев А.В., Демонтерова Е.И., Гладкочуб Д.П., Мазукабзов А.М. Геологическое строение золоторудного поля Мукодек, Северное Забайкалье и источники вещества (Pb-Pb и Sm-Nd данные) // Геология и геофизика. 2018. Т. 59, № 9. С. 1345-1356.
23. Ваулин О.В. Южно-Казахстанская область. Золото. Справочник. – Шымкент-Бишкек: РОКИЗОЛ, 2016. – 53 с.
24. Веймарн А.Б, Милановский Е.Е. Фаменский рифтогенез и глобальные события на рубеже франского и фаменского веков // Проблемы геологии и металлогении Центрального Казахстана. – М.: Наука, 1993. – С. 108–119.
25. Верниковская А.Е., Верниковский В.А., Матушкин Н.Ю., Полянский О.П., Травин А.В. Термохронологические модели эволюции лейкогранитов А-типа коллизионного орогена Енисейского Кряжа // Геология и геофизика. 2009. Т. 50, №5. С. 576-594.
26. Верниковский В.А., Верниковская А.Е. Тектоника и эволюция гранитоидного магматизма Енисейского кряжа // Геология и геофизика. 2006. Т. 47 (1). С. 35-52.
27. Верниковский В.А., Верниковская А.Е., Сальникова Е.Б., Котов А.Б., Ковач В.П. Постколлизионный гранитоидный магматизм Заангарья Енисейского кряжа: событие в интервале 750-720 млн лет // Доклады РАН. 2002. Т. 384, № 2. С. 221-226.
28. Верниковский В.А., Верниковская А.Е., Сальникова Е.Б., Бережная Н.Г., Ларионов А.Н., Котов А.Б., Ковач В.П., Верниковская И.В., Матушкин Н.Ю., Яснев А.М. Позднерифейский щелочной магматизм западного обрамления Сибирского кратона – результат континентального рифтогенеза или аккреционных событий? // Доклады РАН. 2008. Т. 419, № 1. С. 90-94.
29. Викентьев И.В. Условия формирования и метаморфизм колчеданных руд. – М.: Научный мир, 2004. – 344 с.
30. Викентьев И.В., Тюкова Е.Э., Мурзин В.В., Викентьева О.В., Павлов Л.Г. Воронцовское золоторудное месторождение. Геология, формы золота, генезис. – Екатеринбург: Форт Диалог-Исеть, 2016. – 204 с.

31. *Владимиров А.Г., Изох А.Э., Поляков Г.В., Бабин Г.А., Мехоношин А.С., Крук Н.Н., Хлестов В.В., Хромых С.В., Травин А.В., Юдин Д.С., Шелепаев Р.А., Кармышева И.В., Михеев Е.И.* Габбро-гранитные интрузивные серии и их индикаторное значение для геодинамических реконструкций // *Петрология*. 2013. Т. 21, № 2. С. 177-201.
32. *Ганжгенко Г.Д., Юдовская М.А., Викентьев И.В.* Золото-полиметаллическая минерализация Риддер-Сокольного месторождения на Рудном Алтае (Восточный Казахстан) // *Минералогия*. 2018. Т. 4(1). С. 8-34.
33. *Гаськов И.В., Борисенко А.С., Бабич В.В., Наумов Е.А.* Стадийность и длительность формирования золоторудной минерализации на медно-скарновых месторождениях (Алтае-Саянская складчатая область) // *Геология и геофизика*. 2010. Т. 51, № 10. С. 1399-1412.
34. *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)**
35. *Гордиенко И.В., Нефедьев М.А., Платов В.С.* Строение, минеральные типы рудных месторождений и перспективы освоения Еравнинского рудного района Западного Забайкалья // *Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН*. 2013. № 1 (42). С. 7-21.
36. *Грабежжев А.И.* Рениеносные медно-порфировые системы Урала: геологическое положение, изотопно-петрогеохимическая и возрастная латеральная зональность // *Литосфера*, 2012. № 4. С. 190–207.
37. *Грабежжев А.И., Сазонов В.Н., Мурзин В.В. и др.* Березняковское золоторудное месторождение (Южный Урал) // *Геология рудных месторождений*. 2000. Т. 42, №1. С. 38-52.
38. *Григоров В.Т.* Крупнейшие золоторудные месторождения Енисейского кряжа и Кузнецкого Алатау и их экономическая оценка с позиции стратиформного рудообразования. – М.: Научный Мир, 2003. – 168 с.
39. *Гусев А.И.* Золотое оруденение Тарданского рудного узла Восточной Тувы // *Современные наукоемкие технологии*. 2014. №3. С. 77-81

40. Гусев Н.И., Берзон Е.И., Семенов М.И. Кызыкчадрское меднопорфировое месторождение (Тува): геохимические особенности и возраст магматизма // Региональная геология и металлогения. 2014. №59. С. 70-79.
41. 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)
42. Диденко А.Н., Моссаковский А.А., Печерский Д.М., Руженцев С.Г., Самыгин С.Г., Хераскова Т.Н. Геодинамика палеозойских океанов Центральной Азии // Геология и геофизика. 1994. Т. 35 (7-8). С. 59-76.
43. Добрецов Н.Л. Эволюция структур Урала, Казахстана, Тянь-Шаня и Алтае-Саянской области в Урало-Монгольском поясе (Палеоазиатский океан) // Геология и геофизика. 2003. Т. 44 (1-2). С. 5-27.
44. Донская Т.В., Скляр Е.В., Гладкочуб Д.П., Мазукабзов А.И., Сальникова Е.Б., Яковлева С.З. Прибайкальский коллизионный метаморфический пояс // Доклады РАН. 2000. Т. 374, № 1. С. 79-83.
45. Жмодик С.М., Росляков Н.А., Спиридонов А.М., Казаченко И.В. Золотопорфировое оруденение Карийского рудного узла как новый тип оруденения в Восточном Забайкалье // ДАН. 2009. т. 425 (6). С. 791-796.
46. Зайков В.В., Масленников В.В., Зайкова Е.В., Херрингтон Р. Рудно-формационный и рудно-фациальный анализ колчеданных месторождений Уральского палеоокеана. – Миасс: ИМин УрО РАН, 2002. – 315 с.
47. Зайцев Ю.А. Эволюция геосинклиналей (овальный концентрически-зональный тип). – Москва: Недра, 1984. – 208 с.
48. Звездов В.С., Мигачёв И.Ф., Минина О.В. Морфологические типы медно-порфировых штокверков и обстановки их формирования // Руды и металлы. 2018. №4. С. 37-53.
49. Зимановская Н.А. Проблема ультрадисперсной минерализации на углеродисто-золотосульфидных месторождениях // Вестник ВКГТУ. Науки о Земле. 2012. № 1. С. 3-5.
50. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натанов Л.М. Тектоника литосферных плит территории СССР. – М.: Недра, 1990. Кн. 1–2. – 327 с., 334 с.
51. Зорин Ю.А., Беличенко В.Г., Рутштейн И.Г., Зорина Л.Д., Спиридонов А.М. Геодинамика западной части Монголо-Охотского пояса и тектоническая позиция рудных проявлений золота в Забайкалье // Геология и геофизика. 1998. Т.39, №11. С. 1578-1586.

52. *Иванов А.И.* Золото Байкало-Патома (геология, оруденение, перспективны). – М.: ФГУП ЦНИГРИ, 2014. – 215 с.
53. *Иванов А.И.* Роль метаморфических условий преобразования углеродистых карбонатно-терригенных отложений для формирования золотого оруденения на разных этапах коллизионной эпохи развития Байкало-Патомской металлогенической провинции // Отечественная геология. 2017. № 4. С. 3–23.
54. *Иванов А.И., Сидорова Е.В.* Комплексная работа ЦНИГРИ в Ленском золотоносном районе: от изучения россыпей до оценки потенциала Сухого Лога // Отечественная геология. 2021. №6. С. 112-124.
55. *Инякин А.В.* Геолого-структурная позиция и обстановки локализации колчеданно-полиметаллических руд Салаирско-Каменушинского рудного поля, Салаирский Кряж // Руды и металлы. 2018. №2. С. 66-76.
56. *Кадашников А.Ю., Сорокин А.А., Пономарчук В.А., Травин А.В., Пономарчук А.В., Эйриш Л.В.* Закономерности локализации оруденения, возраст и источники вещества золоторудного месторождения Маломыр (восточная часть Монголо-Охотского складчатого пояса) // Геология рудных месторождений. 2019. Т. 61, № 1. С. 3-17.
57. *Канаева З.К., Канаев А.Т., Нуркеев С.С.* Геохимические и минералогические особенности руды золотоносного месторождения Акбакай // Наука и новые технологии. 2012. № 4. С. 14-16.
58. *Канаева З.К., Канаев А.Т., Семенченко Г.В.* Геологическое строение золото-мышьяковистого месторождения Бакырчик Восточного Казахстана // Фундаментальные исследования. 2014. № 11. С. 2405-2410.
59. *Ким Ю.И., Мезенов И.А.* Джетыгаринский рудный район. Рудные месторождения, вопросы происхождения и эволюции. – Миасс: ИМин УрО РАН, 2005. – С. 166-170.
60. *Ковалев К.Р., Калинин Ю.А., Наумов Е.А., Мягкая М.К.* Соотношение сурьмяного и золотого оруденения в рудных районах Восточного Казахстана // Геология и геофизика. 2014. Т. 55, № 10. С. 1478-1494.
61. *Ковалев К.Р., Калинин Ю.А., Плынов В.И. и др.* Суздальское золото-сульфидное месторождение в черносланцевых толщах Восточного Казахстана // Геология рудных месторождений. 2012. № 4. С. 305–328.

62. Ковалев К.Р., Сыздыков С.О., Калинин Ю.А., Наумов Е.А., Баранов В.В., Сухоруков В.П., Гладков А.С., Жимулев Ф.И. Штокверковое золото-сульфидно-кварцевое месторождение Райгородок Северо-Казахстанской золоторудной провинции // Геология и геофизика. 2018. Т. 59, № 11. С. 1852-1869.
63. Коваленкер В. А., Плотинская О.Ю., Киселева Г.Д., Минервина Е.А., Борисовский С.Е., Жиличева О.М., Языкова Ю.И. Шеелит скарново-порфирового Cu-Au-Fe месторождения Быстринское (Восточное Забайкалье, Россия): генетические следствия // Геология рудных месторождений. 2019. Т. 61, № 6. С. 67-88.
64. Козаков И.К., Ковач В.П., Сальникова Е.Б., Крёнер А., Адамская Е.В., Азимов П.Я., Гороховский Б.М., Иванова А.А., Ойдуп Ч.К., Плоткина Ю.В. Возрастные рубежи и геодинамические обстановки формирования метаморфических комплексов юго-западной части Тувино-Монгольского террейна, Центрально-Азиатский складчатый пояс // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2021. Т. 29. № 4. С. 3-26.
65. Козлов П.С., Филиппов Ю.Ф., Лиханов И.И., Ножкин А.Д. Геодинамическая модель эволюции Приенисейской палеосубдукционной зоны в неопротерозое (западная окраина Сибирского кратона), Россия // Геотектоника. 2020. № 1. С. 62-78.
66. Костеров Е.И., Черемисин А.А. Тохтаровское золоторудное месторождение. Золоторудные месторождения (Европейская часть СССР). – М.: Недра, 1984. Т. I. – С. 111-131.
67. Коротеев В.А., Огородников В.Н., Поленов Ю.А., Сазонов В.Н. Месторождения золота Урала. Издание 2. – Екатеринбург: УГГГА, 2001. – 622 с.
68. Корчагина Д.А. Состояние и прогноз развития минерально-сырьевой базы золота Забайкальского края // Отечественная геология. 2019. № 4. С. 3-13.
69. Кривцов А.И., Мигачев И.Ф., Попов В.С. Меднопорфировые месторождения мира. – М.: Недра, 1986. – 236 с.
70. Кужугет Р.В., Монгуш А.А. Алдан-Маадырский золоторудный узел (Западная Тува): особенности геолого-структурного строения и химического состава золота // Вестник Томского государственного университета. 2013. № 369. С. 188-192.
71. Кузнецов С.К., Онищенко С.А. Золотоносность локальных участков изменения риолитов месторождения Чудное (Приполярный Урал) // Вестник ИГ Коми. 2018. №12. С. 39-45.

72. *Леонтьев В.И., Бушуев Я.Ю., Черниговцев К.А.* Самолазовское золоторудное месторождение (Центрально-Алданский рудный район): геологическое строение и особенности оруденения глубоких горизонтов // Региональная Геология и Металлогения. 2018. №75. С. 90-103.
73. *Лоскутов Е.Е., Жижин В.И.* О геологической истории и генезисе образования золото-урановых месторождений Эльконского рудного поля // Наука и образование. 2014. №4. С. 27-32.
74. *Любимцева Н.Г., Бортников Н.С., Борисовский С.Е.* Осцилляторная зональность теннантита-(Fe) золоторудного месторождения Дарасун (Восточное Забайкалье, Россия) // Геология Рудных Месторождений. 2020. Т. 62, № 3. С. 195-223.
75. *Мазуров А.К., Рудмин М.А., Байболова Ш.Ж., Кряжева Т.В.* Колчеданные месторождения энсиматических островных дуг Казахстана на примере месторождения Абыз // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331, № 4. С. 28-37.
76. *Мельников А.В., Сорокин А.А., Пономарчук В.А., Травин А.В., Сорокин А.П.* Золото-полиметаллическое месторождение Березитовое (Восточная Сибирь): основные минералогические особенности, возраст и связь с магматизмом // Геология и геофизика. 2009. Т. 50, №3. С. 258-265.
77. *Мельников А.В., Степанов В.А.* Рудно-россыпные узлы Приамурской золотоносной провинции. Часть 2. Центральная часть провинции. – Благовещенск: АмГУ, 2014. – 300 с.
78. *Мельников А.В., Степанов В.А.* Бамское золоторудное месторождение Приамурья: история открытия и изучения (Дальний Восток, Россия) // Вестник АмГУ. 2021. Выпуск 95. С. 106-115.
79. *Метелкин Д.В., Верниковский В.А., Казанский А.Ю.* Неопротерозойский этап эволюции Родинии в свете новых палеомагнитных данных по западной окраине Сибирского кратона // Геология и геофизика. 2007. Т. 48, №1. С. 42-59.
80. *Милановский Е.Е.* Геология России и ближнего зарубежья (Северной Евразии). – Изд-во МГУ, 1996. – 448 с.

81. *Минина О.Р., Бадмацзыренова Р.А., Дамдинова Л.Б.* Уникальные геологические объекты западного Забайкалья (Озёрное и Ермаковское месторождения) // Краткий обзор полевой экскурсии в рамках V Всероссийской научно-практической конференции "Геодинамика и минерагения Северной и Центральной Азии" 1-3 сентября, 2018 г. Улан-Удэ. 48 с.
82. *Минина О.В., Мигачёв И.Ф., Звездов В.С.* Прогнозно-металлогеническое районирование южной части Дальневосточного региона на медно-порфировое оруденение // Отечественная геология. 2019. № 1. С. 35-49. DOI: 10.24411/0869-7175-2019-10005
83. *Мионов А.Г., Жмодик С.М.* Золоторудные месторождения Урик-Китойской металлогенической зоны (Восточный Саян, Россия) // Геология рудных месторождений. 1999. Т. 41, № 1. С. 54–69.
84. *Моисеенко В.Г., Эйриш Л.В.* Золоторудные месторождения Востока России. – Владивосток: Дальнаука, 1986. – 352 с.
85. *Молчанов А.В., Терехов А.В., Шатов В.В., Петров О.В., Кукушкин К.А., Козлов Д.С., Шатова Н.В.* Золоторудные районы и узлы Алдано-Становой металлогенической провинции // Региональная геология и металлогения. 2017. № 71. С. 93-111.
86. *Молчанов А.В., Шатов В.В., Терехов А.В. и др.* Эльконский золото-урановорудный узел (Южная Якутия) (основные черты геологического строения, петрографо-геохимические особенности гидротермально-метасоматических образований и рудоносность) // Региональная геология и металлогения. 2012. № 50. С. 80-101.
87. *Москвитина М.Л., Дамдинов Б.Б., Дамдинова Л.Б., Извекова А.Д.* Минеральные ассоциации кварц-сульфидных руд Зун-Холбинского золоторудного месторождения, Восточный Саян // Руды и металлы. 2020. № 2. С. 33-46. DOI: 10.24411/0869-5997-2020-10012
88. *Моссаковский А.А., Руженцев С.В., Самыгин С.Г., Хераскова Т.Н.* Центрально-Азиатский складчатый пояс: геодинамическая эволюция и история формирования // Геотектоника. 1993. №6. С. 3-33.
89. *Науменко И.В.* Синюхинское скарновое золоторудное месторождение // X Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых «РОССИЯ МОЛОДАЯ» 24-27 апреля 2018 г. 8 с.

90. *Неволин П.Л., Митрохин А.Н., Уткин В.П.* Сихотэ-Алинская складчатая система: общие особенности строения и некоторые аспекты контроля золотого оруденения (на примере Центрального Сихотэ-Алиня) (часть первая) // Вестник КРАУНЦ. Науки о земле. 2018. № 2. Вып. 38. С. 84-101.
91. *Неганов В.П., Бывальцев В.Я.* О разработке месторождения Тавт в Монголии // Горный журнал. 2010. №11.
92. *Ненашева Р.И., Рогова Т.Б., Бямбаджав Э., Чебоксаров Б.Б.* Закономерности размещения золоторудных месторождений на северной и центральной частях Кузнецкого Алатау // Вестник Кузбасского государственного технического университета. Геологические науки. 2004. С. 21-27.
93. *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)**
94. *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. Москва: Наука. С. 48–57. **(0,44 авторского листа, 0,33 п.л., вклад автора 50%)**
95. *Павленко Ю.В.* Перспективы Уронайского рудного узла // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск № 3. 2009. Забайкалье. 368 с.
96. *Павленко Ю.В.* Геолого-технологический прогноз: Кочковское золото-сурьмяное месторождение // Вестник ЗабГУ. 2012. № 12 (91). С. 129-239.
97. *Парфенов Л.М., Берзин Н.А., Ханчук А.И., Бадарч Г., Беличенко В.Г., Булгатов А.Н., Дриль С.И., Кириллова Г.Л., Кузьмин М.И., Ноклеберг У., Прокопьев А.В., Тимофеев В.Ф., Томуртогоо О., Янь Х.* Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии // Тихоокеанская Геология. 2003. Т. 22, № 6. С. 7-41.
98. *Пейве А.В., Иванов С.Н., Нечеухин А.С., Перфильев А.С., Пучков В.Н.* Тектоника Урала (объяснительная записка к тектонической карте масштаба 1:1 000 000). – М.: Наука. 1977. – 126 с.
99. *Пересторонин А.Е.* Боргуликанская золото-медная рудно-магматическая система в Приамурской золотоносной провинции // Руды и металлы. 2016. №1. С. 63–77.

100. *Пересторонин А.Е., Вьюнов Д.Л., Степанов В.А.* Месторождения золото-медно-молибден-порфировой формации Приамурской золотоносной провинции // Региональная геология и металлогения. 2017. № 70. С. 78-85.
101. *Петров О.В., Киселёв Е.А., Шпикерман В.И., Змиевский Ю.П.* Прогноз размещения месторождений золото-медно-порфирового типа в вулcano-плутонических поясах восточных районов России по результатам работ составления листов госгеолкарты-1000/3 // Региональная Геология и Металлогения. 2019. № 80. С. 50-74.
102. *Петров О.В., Ханчук, А.И., Иванов В.В., Киселёв Е.А., Шатов В.В., Змиевский Ю.П., Молчанов А.В., Терехов А.В., Сергеев С.А.* U-Pb SIMS геохронология рудоносных магматических пород золото-медно-порфириковых проявлений Малмыжского и Понийского рудных полей (Нижнее Приамурье) // Региональная геология и металлогения. 2020. № 83. С. 41-56.
103. *Плотинская О.Ю.* Порфириновые месторождения Урала: закономерности размещения, возраст, геотектонические обстановки. Металлогения древних и современных океанов. 2017. С. 54-57.
104. *Плотинская О.Ю., Чугаев А.В., Бондарь Д.Б., Абрамова В.Д.* Минералогическо-геохимические особенности руд Кедровско-Ирокиндинского рудного поля (Северное Забайкалье) // Геология и геофизика. 2019. Т. 60, № 10. С. 1407-1432.
105. *Поленов Ю.А., Огородников В.Н., Бабенко В.В.* Березовское месторождение золота – уникальный объект полихронного и полигенного рудообразования. – Екатеринбург 2015. – 149 с.
106. *Поцелуев А.А.* Благороднометалльное оруденение в гидротермальных урановых и редкометалльных месторождениях Центральной Азии. – Томск: STT, 2014. 292 с.
107. *Прокин В.А., Нечеухин В.М., Сопко П.Ф. и др.* Медноколчеданные месторождения Урала: Геологические условия размещения. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1985. 288 с.
108. *Прокофьев В.Ю., Бакшеев И.А., Зорина Л.Д., Беляцкий Б.В., Бортников Н.С.* Первая оценка возраста золотых руд месторождения Дарасун (Восточное Забайкалье) Sm-Nd методом // Доклады РАН. 2006. Т. 409 (5). С. 673-676.

109. Прокофьев В.Ю., Бортников Н.С., Коваленкер В.А., Винокуров С.Ф., Зорина Л.Д., Чернова А.Д., Кряжев С.Г., Краснов А.Н., Горбачева С.А. Золоторудное месторождение Дарасун (Восточное Забайкалье, Россия): химический состав, распределение редких земель, изучение стабильных изотопов углерода и кислорода в карбонатах рудных жил // Геология рудных месторождений. 2010. Т. 52, № 2. С. 91–125.
110. Прокофьев В.Ю., Зорина Л.Д., Бакшеев И.А., Плотинская О.Ю., Кудрявцева О.Е., Ишков Ю.М. Состав минералов и условия формирования руд Теремкинского месторождения золота (Восточное Забайкалье, Россия) // Геология рудных месторождений. 2004. Т. 46 (5). С. 385-406.
111. Прокофьев В.Ю., Зорина Л.Д., Коваленкер В.А., Акинфиев Н.Н., Бакшеев И.А., Краснов А.Н., Юргенсон Г.А., Трубкин Н.В. Состав, условия формирования руд и генезис месторождения золота Талатуй (Восточное Забайкалье) // Геология рудных месторождений. 2007. Т. 49, №1. С. 37-76.
112. Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья. Актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении. – Уфа: ООО ДизайнПолиграфСервис. 2010. – 280 с.
113. Редин Ю.О., Калинин Ю.А., Неволько П.А., Кириллов М.В., Колтаков В.В. Минеральные ассоциации и зональность оруденения Лугоканского рудного узла (Восточное Забайкалье) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2014. Т.18, №2. С. 83-93.
114. Розен О.М., Манаков А.В., Зинчук Н.Н. Сибирский кратон: формирование, алмазоносность. – М.: Научный Мир, 2006. – 212 с.
115. Руженцев С.В., Минина О.Р., Некрасов Г.Е. и др. Байкало-Витимская складчатая система: строение и геодинамическая эволюция // Геотектоника. 2012. № 2. С. 3-28.
116. Рязанцев А.В., Разумовский А.А., Голионко Б.Г., Каныгина Н.А., Скобленко А.В., Георгиевский А.А., Дубенский А.С., Ерофеева К.Г., Шешуков В.С. Комплексы активной позднедокембрийской-кембрийской континентальной окраины на Южном Урале и в Мугоджарах // LIV (54) Тектоническое совещание "Тектоника и геодинамика Земной коры и мантии: фундаментальные проблемы-2023" 31 января - 4 февраля 2023 года.

117. *Саватенков В.М., Рыцк Е.Ю., Алексеев И.А., Васильева И.М., Гороховский Б.М.* О возрасте и источниках малосульфидного золото-кварцевого оруденения Каралонского золоторудного поля (Средневитимская горная страна): результаты изотопно-геохимических (Rb-Sr, Pb-Pb) исследований // Геология рудных месторождений. 2023. В печати
118. *Сазонов А.М., Ананьев А.А., Полева Т.В., Хохлов А.Н., Власов В.Г., Звягина Е.А., Федорова А.В., Тишин П.А., Леонтьев С.И.* Золоторудная металлогения Енисейского кряжа: геолого-структурная позиция, структурные типы рудных полей // Журнал Сибирского Федерального Университета. Инжиниринг и Технологии 4. 2010. №3. С. 371-395.
119. *Сазонов В.Н., Огородников В.Н., Коротеев В.А. и др.* Месторождения золота Урала. – Екатеринбург: ИГГГА, 1999. – 570 с.
120. *Самыгин С.Г., Буртман В.С.* Тектоника Урала: сравнение с Тянь-Шанем // Геотектоника. 2009. №2. С. 57-77.
121. *Серавкин И.Б., Знаменский С.Е.* Эндогенная металлогения Южного Урала и общая оценка перспектив его оренбургской части на колчеданное, медно-порфировое и золотое оруденение // Институт геологии Уфимского научного центра РАН. 2007. Геологический сборник № 6. Информационные материалы. С. 181-204.
122. *Сердюк С.С. (гл. ред).* Геология и полезные ископаемые Красноярского края. – Красноярск: КНИИГиМС, 1999. – 272 с.
123. *Сердюк С.С., Еханин А.Г. (ред.).* Геология и полезные ископаемые Красноярского края. – Красноярск: КНИИГиМС, 1998. – 336 с.
124. *Смирнов С.С.* Схема металлогении Восточного Забайкалья // Проблемы советской геологии. 1936. Т. 4, № 10. С. 846-864.
125. *Смирнов С.С.* Полиметаллические месторождения и металлогения Восточного Забайкалья. – М.: Издательство АН СССР, 1961. – 507 с.
126. *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)

127. *Сорокин А.А., Кадашников А.Ю., Пономарчук А.В., Травин А.В., Пономарчук В.А.* Возраст и генезис золото-серебряного месторождения Покровское (Дальний Восток России) // Геология и геофизика. 2021. Т. 62, № 1. С. 165-176.
128. *Сорокин А.А., Остапенко Н.С., Пономарчук В.А. и др.* Возраст адуляра из жил золоторудного месторождения Токур (Монголо-Охотский орогенный пояс, Россия): результаты датирования $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом // Геология рудных месторождений. 2011. Т. 53, № 3. С. 297-304.
129. *Сорокин А.А., Пономарчук А.В., Травин А.В. и др.* $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ возраст гранитоидов и связанного с ними золотого оруденения месторождения Кировское (юго-восточное обрамление Северо-Азиатского кратона) // Доклады РАН. 2014а. Т. 458, № 4. С. 452-458.
130. *Сорокин А.А., Пономарчук В.А., Травин А.В. и др.* Корреляция процессов рудообразования на золото-полиметаллическом месторождении Березитовое западной части Селенгино-Станового супертеррейна и региональных тектоно-магматических событий // Геология и геофизика. 2014б. Т. 55, № 3. С. 432-448.
131. *Сотников В.И., Пономарчук В.А., Сорокин А.А., Сорокин А.П., Гимон В.О.* Возрастные рубежи формирования Cu-Mo-порфировых месторождений в структурах обрамления Монголо-Охотского орогенного пояса // Доклады РАН. 2005. Т. 403, № 4. С. 522-525.
132. *Сотников В.И., Сорокин А.А., Пономарчук В.А., Гимон В.О., Сорокин А.П.* Возраст Cu-Mo-(Au)-порфирового орудения и магматических комплексов Боргуликанского рудного поля (Верхнее Приамурье) // Геология и геофизика. 2007. Т. 48, № 2. С. 229-237.
133. *Спиридонов А.М., Зорина Л.Д., Китаев Н.А.* Золотоносные рудно-магматические системы Забайкалья. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2006. – 291 с.
134. *Спиридонов А.М., Зорина Л.Д., Куликова З.И., Будяк А.Е., Паршин А.В., Гранина Е.М., Павлова Л.А.* Месторождение Погромное — нетрадиционный промышленный тип золотого оруденения Забайкалья // Геология и геофизика. 2015. Т. 56, № 10. С. 1760-1772.
135. *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)

136. *Степанов В.А.* Металлогения золота Приморья // Вестник Амурского государственного университета. Серия: Естественные и экономические науки. 2012. №59. С. 112-119.
137. *Тетерина М.В.* Природно-ресурсный потенциал муниципального образования "Шушенский район" и его роль в социально-экономическом развитии региона // Конкурентный потенциал региона: оценка и эффективность использования. Сборник статей VIII Международной научно-практической конференции. Ответственный редактор Н.Ф. Кузнецова. 2017. – Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова. – С. 80-83.
138. *Трушин С.И., Кириллов В.Е.* Месторождение Албазино – новый для Дальнего Востока промышленный тип золотого оруденения // Региональная геология и металлогения. 2018. № 73. С. 60-67.
139. *Ханчук А.И., Иванов В.В.* Мезо-кайнозойские геодинамические обстановки и золотое оруденение Дальнего Востока России // Геология и геофизика. 1999. Т. 40, № 11. С. 1635-1645.
140. *Хомич В.Г., Борискина Н.Г.* Основные геолого-генетические типы коренных месторождений золота Забайкалья и Дальнего Востока России // Тихоокеанская геология. 2011. Т. 30 (1). С. 70-96.
141. *Черных А.И., Арсентьева И.В., Брысин М.П.* Минерально-сырьевая база золота Республики Хакасия – состояние и направления ее освоения // Отечественная геология. 2018. № 2. С. 12-21.
142. *Читалин А.Ф., Ефимов А.А., Воскресенский К.И., Игнатьев Е.К., Колесников А.Г.* Малмыж - новая крупная золото-меднопорфировая система мирового класса на Сихотэ-Алине // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2013. №3. С. 65-69.
143. *Юргенсон Г.А.* Малоглубинные месторождения золота и серебра, условия образования и минералого-геохимическая технология их глубинных поисков и оценки // Ученые записки ЗабГГПУ. 2011. № 1 (36). С. 136-145.
144. *Юшманов Ю.П.* Покровско-Троицкий рудный узел: геолого-структурные особенности и перспективы золотоносности, Нижнее Приамурье // Руды и Металлы. 2016. № 1. С. 25-32.
145. *Юшманов Ю.П.* Учаминский Be-W-Au рудный узел в региональных и локальных структурах Нижнего Приамурья // Тихоокеанская Геология. 2018. Т. 37, № 2. С. 102-108.

146. **Якубчук А.С.** Тектоническая позиция офиолитов в структуре палеозоид Центрального Казахстана // Геотектоника. 1990. № 5. С. 55–68. RSCI (**0,77 авторского листа, 0,58 п.л., импакт-фактор РИНЦ – 0,966**)
147. **Якубчук А.С.** От Кенорлэнда до современных континетов: тектоника и металлогения // Геотектоника. 2019. № 2. С. 3–32. RSCI (**1,66 авторского листа, 1,25 п.л., импакт-фактор РИНЦ – 0,966**)
148. **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**)
149. **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**)
150. **Яловик Г.А., Татаринов А.В., Яловик Л.И.** Пильненское месторождение золото-редкометальной формации: новая геолого-структурная модель и оценка продуктивности // Разведка и охрана недр. 2012. No 6. С. 27-32.
151. **Allais M.** Method of apprising economic prospects of mining exploration over large territories – Algerian Sahara case study // Management Science. 1957. Vol. 3. P. 285-3437.
152. **Anonymous.** Report on the mineral exploration in the Altan-Tal area, Mongolia. Phase II. Japan International Cooperation Agency. Metal and Mining Agency of Japan. 1996. 84 p.
153. **Anonymous.** Mongolian mining projects report 2015. Australian Trade Commission. 2015. 60 p.
154. **Badarch G., Cunningham W.D., Windley B.F.** A new terrane subdivision for Mongolia: implications for the Phanerozoic crustal growth of Central Asia // J. Asian Earth Sci. 2002. Vol. 21 (1). P. 87-110.
155. **Barnes S.J., Malitch K.N., Yudovskaya M.A.** Introduction to a Special Issue on the Norilsk-Talnakh Ni-Cu-Platinum Group Element Deposits // Economic Geology. 2020. Vol. 115. P. 1157–1172. doi:10.5382/econgeo.4750
156. **Bazhenov M.L., Levashova N.M., Degtyarev K.E., Van der Voo R., Abrajevitch A., McCausland P.J.A.** Unravelling the early-middle Paleozoic paleogeography of Kazakhstan on the basis of Ordovician and Devonian paleomagnetic results // Gondwana Res. 2012. Vol. 22. P. 974–991.
157. **Berzin N.A.** Microcontinents at the Siberian convergent-transform margin of the Paleasian ocean. In: Khanchuk A.I., Gonevchuk G.A., Mitrokhin A.N., Simanenko L.F., Cook

- N.J., Seltmann R. (Eds.), *Metallogeny of the Pacific Northwest: Tectonics, Magmatism and Metallogeny of Active Continental Margins*. 2004. Vladivostok: Dalnauka. P. 80-82.
158. *Berzin R., Oncken O., Knapp J.H., Pérez-Estaún A., Hismatulin T., Yunusov N., Lipilin A.* Orogenic Evolution of the Ural Mountains: Results from an Integrated Seismic Experiment // *Science*. 1996. Vol. 274. P. 220-221. doi: 10.1126/science.274.5285.220
159. *Berzina A.N., Stein H.J., Zimmerman A., Sotnikov V.I.* Re-Os ages of molybdenite from porphyry and greisen Mo-W deposits of southern Siberia (Russia) preserve metallogenic record. Eds. D. Eliopoulos et al. *Mineral Exploration and Sustainable Development*. Rotterdam: Millpress, 2003. Vol. 1. P. 231-234.
160. *Borisenko A.S., Gas'kov I.V., Babich V.V., Borovikov A.A.* Gold and Porphyry Cu–Mo Mineralization of the Bumbat ore cluster and its relationship with the Early Paleozoic magmatism of the Lake Zone (Western Mongolia) // *Russ. Geol. Geophys.* 2021. Vol. 62 (1). P. 121–133. <https://doi.org/10.2113/RGG20194042>
161. *Cabral A.R.* Palladiferous gold mineralisation (ouro preto) in Brazil: Gongo Soco, Itabira and Serra Pelada. Stuttgart: Schweizerbart'sche, Sonderhefte Reihe D. *Geologisches Jahrbuch* 8, 2006. 115 p.
162. *Carey S.W.* The orocline concept in geotectonics. Part I. Papers and proceedings of the Royal Society of Tasmania. 1955. Vol. 89. P. 255-288.
163. *Casey J.F., Dewey J.F.* Initiation of subduction zones along transform and accreting plate boundaries, triple junction evolution, and forearc spreading centres – implications for ophiolite geology and obduction. In Gass I.G., Lippard S.J., Shelton, A.W. (eds.), *Ophiolites and Oceanic Lithosphere*, London: Geological Society Special Publication 13, 1984. P. 269-290.
164. *Chen S., Zhou J., Gu L., Cuibingfang, Xiao H.* Geology, geochemistry and genesis of the Mazhuangshan gold deposit in Hami, East Tianshan, Xinjiang, China // *Chinese Journal of Geochemistry*. 2001. Vol. 20. P.130-137.
165. *Coney P.J., Jones D.L., Monger J.W.H.* Cordilleran suspect terranes // *Nature*. 1980. Vol. 288. P. 329-333.
166. *Cline J.S., Hofstra A.H., Muntean J.L., Tosdal R.M., Hickey K.A.* Carlin-type gold deposits in Nevada, USA: Critical geologic characteristics and viable models // *Economic Geology 100th Anniversary Volume*. 2005. P. 451-484.
167. *Cluer J.K., Kotlyar B., Gantsetseg O., Togtokh D., Wood G., Ulrich T.* Geology of the Boroo Gold Deposit, Northern Mongolia. In Seltmann R., Gerel O., Kirwin D.J., (Eds.) *Geodynamics and Metallogeny of Mongolia with a Special Emphasis on Copper and Gold Deposits: SEG-IAGOD Field Trip, 14-16 August 2005, 8th Biennial SGA Meeting; CERCAMS/NHM, London. IAGOD Guidebook Series 11, 2005. P. 105-117.*

168. *Colpron M., Nelson J.L., Murphy, D.C.* A tectonostratigraphic framework for the pericratonic terranes of the northern Cordillera. In: *Paleozoic Evolution and Metallogeny of Pericratonic Terranes at the Ancient Pacific Margin of North America*, Canadian and Alaskan Cordillera, M. Colpron and J.L. Nelson (eds.), Geological Association of Canada, Special Paper 45, 2006. P. 1-23.
169. *Cooke D.R., Hollings P., Walshe J.L.* Giant porphyry copper deposits: characteristics, distribution, and tectonic controls // *Economic Geology*. 2005. Vol. 100. P. 801-818.
170. *Crane D., Kavalieris I.* Chapter 9 Geologic overview of the Oyu Tolgoi porphyry Cu-Au-Mo deposits, Mongolia. SEG Special Publication 16, 2012. P. 187-213.
171. *de Boisgrollier T., Petit C., Fournier M., Leturmy P., Ringenbach J.-C., San'kov V.A., Anisimova S.A., Kovalenko S.N.* Palaeozoic orogeneses around the Siberian craton: Structure and evolution of the Patom belt and foredeep // *Tectonics*. 2009. Vol. 28 (1), TC1005. Doi: 10.1029/2007TC00221.
172. *Davies R.S., Groves D.I., Trench A., Sykes J., Standing J.G.* Entering an immature exploration search space: Assessment of the potential orogenic gold endowment of the Sandstone Greenstone Belt, Yilgarn Craton, by application of Zipf's law and comparison with the adjacent Agnew Goldfield // *Ore Geology Reviews*. 2018. Vol. 94. P. 326-350. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.01.020>
173. *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)**
174. *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)**
175. *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)**
176. *Degtyarev K.E., Tolmacheva T.Yu., Ryazantsev A.V., Tretyakov A.A., Yakubchuk A.S., Kotov A.B., Sal'nikova 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**)
177. *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**)
178. *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**)
179. *Ding J., Zhang S., Evans D.A.D., Yang T., Li H., Wu H., Chen J.* North China craton: The conjugate margin for northwestern Laurentia in Rodinia // *Geology*. 2021. V. 49 (7). P. 773–778. <https://doi.org/10.1130/G48483.1>
180. *Echtler H., Stiller M., Steinhoff F., Krawczyk C.M., Suleimanov A., Spiridonov V., Knapp J.H., Menshikov Y., Alvarez-Marron J., Yunusov N.* Preserved collisional crustal structure of the Southern Urals revealed by vibroseis profiling // *Science*. 1996. Vol. 274 (5285). P. 224-226. DOI:10.1126/science.274.5285.224
181. *Ehrig K., McPhie J., Kamenetsky V.* Geology and mineralogical zonation of the Olympic Dam iron oxide Cu-U-Au-Ag deposit, South Australia. Society of Economic Geologists Special Publication 16, 2012. P. 237-267.
182. *Einaudi M.T., Hedenquist J.W., Inan E.E.* Sulfidation state of fluids in active and extinct hydrothermal systems: Transitions from porphyry to epithermal environments. Society of Economic Geologists Special Publication 10, 2003. P. 285-313.
183. *Ernst R.E., Hamilton M.A., Soderlund U., Hanes J.A., Gladkochub D.P., Okrugin A.V., Kolotilina T., Mekhonoshin A.S., Bleeker W., LeCheminant A.N., Buchan K.L., Chamberlain K.R., Didenko A.N.* Long-lived connection between southern Siberia and northern Laurentia in the Proterozoic // *Nature Geoscience*. 2016. Vol. 9. P. 464-469.
184. *Gao J., Klemd R., Zhu M., Wang X., Li J., Wan B., Xiao W., Zeng Q., Shen P., Sun J., Qin K., Campos E.* Large-scale porphyry-type mineralization in the Central Asian metallogenic domain: A review // *Journal of Asian Earth Sciences*. 2018. Vol.165 (Complete). P. 7-36. DOI:[10.1016/J.JSEAES.2017.10.002](https://doi.org/10.1016/J.JSEAES.2017.10.002)

185. Gerel O., Munkhtsengel B. Erdenetiin Ovoo Porphyry Copper-Molybdenum Deposit in Northern Mongolia. In Porter, T.M. (Ed) Super Porphyry Copper & Gold Deposits - A Global Perspective. Adelaide: PGC Publishing. 2005. Vol.2. P. 525-543.
186. Gerel O., Pirajno F., Batkhishig B., Dostal J. (Eds) Mineral Resources of Mongolia. Singapore: Springer. 2021. 460 p.
187. Gladkochub D., Pisarevsky S., Donskaya T., Natapov L., Mazukabzov A., Stanevich A., Sklyarov E. The Siberian Craton and its evolution in terms of Rodinia hypothesis // Episodes. 2006. Vol. 29. P. 169-174.
188. Goldfarb R.J., Groves D.I., Gardoll S. Orogenic gold and geologic time: A global synthesis // Ore Geology Reviews. 2001. Vol. 18. P. 1-75.
189. Goldfarb R.J., Baker T., Dubé B., Groves D.I., Hart C.J.R., Gosselin P. Distribution, character, and genesis of gold deposits in metamorphic terranes // Economic Geology 100th Anniversary Volume. 2005. P. 407-450.
190. Goldfarb R.J., Qiu K., Deng J., Chen Y. Orogenic gold deposits of China // SEG Special Publication, No. 22. 2019. P. 263-324.
191. Golovanov I.M., Selmann R., Kremenetsky A.A. The Porphyry Cu-Au/Mo deposits of Central Eurasia; 2. The Almalyk (Kalmakyr-Dalnee) and Saukbulak Cu-Au porphyry systems, Uzbekistan: in Porter T.M. (Ed.) Super Porphyry Copper & Gold Deposits: A Global Perspective. Adelaide: PGC Publishing. 2005. Vol.2. P. 513-523.
192. Goryachev N.A., Pirajno F. Gold deposits and gold metallogeny of Far East Russia // Ore Geology Reviews. 2014. Vol. 59. P. 123-151.
193. Griffiths J.C. Mineral resource assessment using the unit regional value concept // Mathematical Geology. 1978. Vol. 10. P. 438-447.
194. Groves D.I., Goldfarb R.J., Gebre-Mariam M., Hagemann S.G., Robert F. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of the crustal distribution and relationship to other gold deposit types // Ore Geology Reviews. 1998. Vol. 13. P. 7-27.
195. Groves D.I., Condie K.C., Goldfarb R.J., Hronsky J.M.A., Vielreicher R.M. Secular changes in global tectonic processes and their influence on the temporal distribution of gold-bearing mineral deposits // Economic Geology. 2005. Vol. 100. P. 203-224.
196. Groves D.I., Bierlein F.P., Meinert L.D., Hitzman M.W. Iron oxide copper-gold (IOCG) deposits through Earth history: Implications for origin, lithospheric setting, and distinction from other epigenetic iron oxide deposits // Economic Geology. 2010. Vol. 105. P. 641-654.
197. Hammarstrom J.M., Zientek M.L., Parks H.L., Dicken C.L., and U.S. Geological Survey Global Copper Mineral Resource Assessment Team. Assessment of Undiscovered Copper

- Resources of the World, 2015. Scientific Investigations Report 2018-5160
<https://doi.org/10.3133/sir20185160>
198. *Harris D.P.* Mineral resources appraisal - mineral endowment, resources and potential supply: concepts, methods and cases. Oxford: Oxford University Press, 1984. 464 p.
199. *Hart C.J., Goldfarb R.J., Qiu Y., Snee L., Miller L.D., Miller M.L.* Gold deposits of the northern margin of the North China Craton: multiple late Paleozoic–Mesozoic mineralizing events // *Mineralium Deposita*. 2002. Vol. 37. P. 326-351.
200. *Hedenquist J.W., Arribas A.A., Jr.* Exploration Implications of Multiple Formation Environments of Advanced Argillic Minerals // *Economic Geology*. 2022. Vol. 117 (3). P. 609–643.
201. *Hedenquist J.W., Arribas A., Jr., Reynolds T.J.* Evolution of an intrusion-centered hydrothermal system: Far Southeast-Lepanto porphyry and epithermal Cu-Au deposits, Philippines // *Economic Geology*. 1998. Vol. 93. P. 373-404.
202. *Hedenquist J.W., Arribas A., Jr., Gonzalez-Urien E.* Exploration for epithermal gold deposits. *Reviews in Economic Geology*. 2000. Vol. 13. P. 245-277.
203. *Hendry J.W., Roscoe W.E., Ross D.A.* Technical report on the Gatsuurt gold project, northern Mongolia. NI 43-101 report prepared for Centerra Gold Inc. Roscoe Postle Associates Inc. 2006. – 208 p.
204. *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 Special Publications. 2005. Vol. 248. P. 153–166. **(0,77 авторского листа, 0,58 п.л., вклад автора 50%)**
205. *Herrington R.J., Zaykov V.V., Maslennikov V.V., Brown D., Puchkov V.N.* Mineral deposits of the Urals and links to geodynamic evolution // *Economic Geology 100th Anniversary Volume*. 2005. P. 1069-1095.
206. *Howell D.G.* Tectonics of suspect terranes: mountain building and continental growth. London, New York: Chapman and Hall. 1989. – 232 p.
207. *Hronsky J.M.A., Groves D.I.* Science of targeting: definition, strategies, targeting, and performance measurement // *Aus J Earth Sci*. 2008. Vol. 55. P. 3-12.
208. *Hu R.Z., Su W.C., Bi X.W., Tu G.Z., Hofstra A.H.* Geology and geochemistry of Carlin-type gold deposits in China // *Mineralium Deposita*. 2002. Vol. 37. P. 378–392.
209. *Huang B., Xu B., Zhang C., Li Y.A., Zhu R.* Paleomagnetism of the Baiyisi volcanic rocks (ca. 740 Ma) of Tarim, Northwest China: A continental fragment of Neoproterozoic Western Australia? // *Precambrian Research*. 2005. Vol. 142. P. 83–92.
<https://doi.org/10.1016/j.precamres.2005.09.006>.

210. *Ishihara S.* The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks // *Mining Geology*. 1977. Vol. 27. P. 293-305.
211. *Jargalan S.* Gold resources in Mongolia // *資源地質*, 2016. Vol. 66(2). P. 89-94.
212. *Jargalan S., Murao S.* Preliminary study on the characteristics of Tsagaan Tsakhir Uul gold deposit, Bayankhongor, southern Mongolia // *Bull. Geol. Surv. Japan* 1998. Vol. 49. P. 291-298.
213. *Kerrich R., Goldfarb R.J., Richards J.P.R.* Metallogenic provinces in an evolving geodynamic framework // *Economic Geology One Hundredth Anniversary Volume*. 2005. P. 1097-1136.
214. *Khanchuk A.I., Kemkin I.V., Kruk N.N.* The Sikhote-Alin orogenic belt, Russian South East: Terranes and the formation of continental lithosphere based on geological and isotopic data // *Journal of Asian Earth Sciences*. 2016. Vol. 120. P. 117-138.
215. *Khishgee C., Akasaka M., Ohira H., Sereenen J.* Gold mineralization of the Gatsuurt deposit in the North Khentei gold belt, Central Northern Mongolia // *Resource Geology*. 2014. Vol. 64 (1). P. 1-16.
216. *Kochetkov A.Ya.* Mesozoic gold-bearing ore-magmatic systems of Central Aldan // *Russian Geology and Geophysics*. 2006. Vol. 47(7). P. 850-864.
217. *Kochhar N.* Was Yangtze craton, South China attached to the Trans-Aravalli block of the NW Indian shield during Late Proterozoic? // *Current science*. 2007. Vol. 92, №3. C. 295-297.
218. *Kroner A., Windley B.F., Badarch G., Tomurtogoo O., Hegner E., Jahn B.M., Gruschka S., Khain E.V., Demoux A., Wingate M.T.D.* Accretionary growth and crust formation in the Central Asian Orogenic Belt and comparison with the Arabian-Nubian shield, in Hatcher R.D., Jr., Carlson M.P., McBride J.H., Martinez Catalan J.R., eds., *4-D Framework of Continental Crust*. Geological Society of America Memoir 200, 2007. P. 181–209. doi: 10.1130/2007.1200(11).
219. *Kuzmichev A.* Neoproterozoic accretion of the Tuva-Mongolian massif, one of the Precambrian terranes in the Central Asian Orogenic Belt. In: Kröner A. (Ed.), *The Central Asian Orogenic Belt: Geology, Evolution, Tectonics, and Models*. Beiträge zur regionalen Geologie der Erde Band 32. 2015. Borntraeger Science Publisher. P. 66-92.
220. *Lang J.R., Baker T.* Intrusion-related gold systems: the present level of understanding // *Mineralium Deposita*. 2001. Vol. 36. P. 477-489.
221. *Large R.R., Maslennikov V.V., Robert F., Danyushevsky L.V., Chang Z.* Multistage sedimentary and metamorphic origin of pyrite and gold in the giant Sukhoi Log deposit, Lena gold province, Russia // *Economic Geology*. 2007. Vol. 102. P. 1233-1267.

222. *Leys C., Schwarz A., Cloos M., Widodo S., Kyle J.R., Sirait J.* Chapter 29: Grasberg Copper-Gold-(Molybdenum) Deposit: Product of Two Overlapping Porphyry Systems. SEG Special Publication. 2020. Vol. 23. P. 599-620.
223. *Li W., Zhong R., Xu C., Song B., Qu W.* U–Pb and Re–Os geochronology of the Bainaimiao Cu–Mo–Au deposit, on the northern margin of the North China Craton, Central Asia Orogenic Belt: Implications for ore genesis and geodynamic setting // *Ore Geology Reviews*. 2012. Vol. 8. P. 139-150.
224. *Lindgren W.* Mineral deposits. 4th edition. New York, London: McGraw-Hill. 1933. 930 p.
225. *Lisitsin V.A., Moore D.H., Oshina A., Willman C.E.* Undiscovered orogenic gold endowment in Northern Victoria, Australia // *Ore Geology Review*. 2010. Vol. 38. P. 251-269.
226. *Lisitsin V.A., Porwal A., McCuaig T.C.* Probabilistic fuzzy logic modelling: quantifying uncertainty of mineral prospectivity models using Monte Carlo simulations // *Mathematical Geosciences*. 2014. Vol. 46. P. 747-769.
227. *Liu J., Bai X., Zhao Shengjin, Tran M.D., Zhang Z., Zhao Z., Zhao H., Lu J.* Geology of the Sandaowanzi telluride gold deposit of the northern Great Xing'an Range, NE China: Geochronology and tectonic controls // *Journal of Asian Earth Sciences*. 2011. Vol. 41 (2). P. 107-118.
228. *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)**
229. *Long X., Hayward N., Begg G., Fu M., Wang F., Pirajno F.* The Jinxi–Yelmand high-sulfidation epithermal gold deposit, Western Tianshan, Xinjiang Province, P.R. China // *Ore Geology Reviews*. 2005. Vol. 26 (1–2). P. 17-37.
230. *Macpherson C., Hall R.* Timing and tectonic controls in the evolving orogen of SE Asia and the western Pacific and some implications for ore generation. Geological Society London Special Publications 204 (1). 2002. P. 49-67.
231. *Mao Y.-J., Barnes S.J., Godel B., Schoneveld L., Qin K.-Z., Tang D., Williams M., Kang Z.* Sulfide ore formation of the Kalatongke Ni-Cu deposit as illustrated by sulfide textures // *Economic Geology*. 2022. Vol. 117 (8). P. 1761–1778. <https://doi.org/10.5382/econgeo.4914>
232. *Meinert L.D.* Gold in skarns related to epizonal intrusions. *Reviews in Economic Geology*, Vol. 13, 2000. P. 347–375.
233. *Meinert L.D., Hefton K.K., Mayes D., Tasiran I.* Geology, zonation, and fluid evolution of the Big Gossan Cu-Au skarn deposit, Ertsberg district, Irian Jaya // *Economic Geology*. 1997. Vol. 92. P. 509–526.

234. *Mercier-Langevin P., Hannington M.D., Dubé B., Bécu V.* The gold content of volcanogenic massive sulfide deposits // *Mineralium Deposita*. 2011. Vol. 46. P. 509–539.
235. *Merdith A.S., Williams S.E., Collins A.S., Tetley M.G., Mulder J.A., Blades M.L., Young A., Armistead S.E., Cannon J., Zahirovic S., Müller R.D.* Extending full-plate tectonic models into deep time: linking the Neoproterozoic and the Phanerozoic // *Earth-Science Reviews*. 2020. P. 103477.
236. *Metelkin D.V., Vernikovskiy V.A., Kazansky A.Y.* Tectonic evolution of the Siberian paleocontinent from the Neoproterozoic to the Late Mesozoic: paleomagnetic record and reconstructions // *Russian Geology and Geophysics*. 2012. Vol. 53. P. 675–688. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2012.05.006>
237. *Muntean J.L.* Chapter 36: Carlin-type gold deposits in Nevada: geologic characteristics, critical processes, and exploration. SEG Special Publications. 2020. No. 23. P. 775-795.
238. *Muntean J.L., Coward M.P., Tarnocai C.A.* Reactivated Palaeozoic normal faults: controls on the formation of Carlin-type gold deposits in north-central Nevada. Geological Society London Special Publication 272. 2007. P. 573-589.
239. *Nevolko P.A., Hnylko O.M., Mokrushnikov V.P., Gibsher A.S., Redin Yu.O., Zhumilev F.I., Drovzhak A.E., Svetlitskaya T.V., Fominykh P.A., Karavashkin M.I.* Geology and geochemistry of the Kadamzhai and Chauvai gold-antimony-mercury deposits: implications for new province of Carlin-type gold deposits at the Southern Tien Shan (Kyrgyzstan) // *Ore Geology Reviews*. 2019. Vol. 105. P. 551-571.
240. *Nie F., Jiang S.* Geological setting and origin of Mo–W–Cu deposits in the Honggor–Shamai District, Inner Mongolia, North China // *Resource Geology*. 2011. Vol. 61 (4). P. 344-355.
241. *Nikishin A.M., Petrov E.I., Cloetingh S., Malyshev N.A., Morozov A.F., Posamentier H.W., Verzhbitsky V.E., Freiman S.I., Rodina E.A., Startseva K.F., Zhukov N.N.* Arctic Ocean mega project: Paper 2 – Arctic stratigraphy and regional tectonic structure // *Earth-Science Reviews*. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103581>
242. *Nokleberg W.J., Bundtzen T.K., Eremin R.A., Ratkin V.V., Dawson K.M., Shpikerman V.I., Goryachev N.A., Byalobzhesky S.G., Frolov Y.F., Khanchuk A.I., Koch R.D., Monger J.W.H., Pozdeev A.I., Rozenblum I.S., Rodionov S.M., Parfenov L.M., Scotese C.R., Sidorov A.A.* Metallogenesis and Tectonics of the Russian Far East, Alaska, and the Canadian Cordillera. U.S. Geological Survey, Professional Paper 1697. 429 p.
243. *Palenova E.E., Yudovskaya M.A., Frei D., Rodionov N.V.* Detrital zircon U-Pb ages of Paleo- to Neoproterozoic black shales of the Baikal-Patom Highlands in Siberia with

- implications to timing of metamorphism and gold mineralization // *Journal of Asian Earth Sciences*. 2019. Vol. 174. P. 37-58.
244. *Piestrzyński A., Wodzicki A.* Origin of the gold deposit in the Polkowice-West mine, Lubin-Sieroszowice mining district, Poland // *Mineralium Deposita*. 2000. Vol. 35. P. 37-47.
245. *Pirajno F., Qiu Y., Zhou T.* Paleozoic-early Mesozoic gold deposits of the Xinjiang Autonomous Region, northwestern China // *Mineralium Deposita*. 2002. Vol. 37. P. 393-418.
246. *Porter T.M.* The geology, structure and mineralisation of the Oyu Tolgoi porphyry copper-gold-molybdenum deposits, Mongolia: A review // *Geoscience Frontiers*. 2016. Vol. 7 (3). P. 375-407.
247. *Puchkov V.N.* General features relating to the occurrence of mineral deposits in the Urals: What, where, when and why // *Ore Geology Reviews*. 2017. Vol. 85. P. 4-29.
248. *Ressel M.W., Henry C.D.* Igneous geology of the Carlin trend, Nevada: Development of the Eocene plutonic complex and significance for Carlin-type gold deposits // *Economic Geology*. 2006. Vol. 101. P. 347–383.
249. *Richards J.P.* Postsubduction porphyry Cu-Au and epithermal Au deposits: Products of remelting of subduction-modified lithosphere // *Geology*. 2009. Vol. 37. P. 247–250.
250. *Richards J.P.* Tectonic, magmatic, and metallogenic evolution of the Tethyan orogen: from subduction to collision // *Ore Geology Reviews*. 2015. Vol. 70. P. 323-345.
251. *Richards J.P., Mumin H.* Lithospheric fertilization and mineralization by Arc Magmas: Genetic links and secular differences between porphyry copper+molybdenum+gold and magmatic-hydrothermal iron oxide copper-gold deposits // *SEG Special Publication 17*, 2013. P. 277-289.
252. *Richards J.P., López G.P., Zhu J.-J., Creaser R.A., Locock A.J., Mumin H.* Contrasting Tectonic Settings and Sulfur Contents of Magmas Associated with Cretaceous Porphyry Cu ± Mo ± Au and Intrusion-Related Iron Oxide Cu-Au Deposits in Northern Chile // *Economic Geology*. 2017. Vol. 112(2). P. 295-318.
253. *Robert F., Brommecker R., Bourne B.T., Dobak P.J., McEwan C.J., Rowe R.R., Zhou X.* Models and exploration methods for major gold deposit types. In Milkereit B. (Ed.) *Exploration 07: 5th Decennial International Conference on Mineral Exploration Proceedings*. Toronto, 2007. – P. 691-711.
254. *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)

255. *Roma Mining and Associates Limited*. Bayan Khundiy gold project feasibility study, Bayankhongor province, Mongolia // NI43-101 technical report for Erdene Resource Development Corporation. 2020. – 302 p.
256. *Safonova I., Komiya T., Romer R.L., Simonov V., Seltmann R., Rudnev S., Yamamoto S., Sun M.* Supra-subduction igneous formations of the Char ophiolite belt, East Kazakhstan // *Gondwana Research*. 2018. Vol. 59. P. 159-179.
257. *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. – P. 203-226. **(1,33 авторского листа, 1 п.л., вклад автора 15%)**
258. *Sazonov V.N., Herk A.H., Boorder H.* Spatial and temporal distribution of gold deposits in the Urals // *Economic Geology*. 2001. Vol. 96. P. 685-703.
259. *Schodde R.* Exploration and discovery of base and precious metal deposits in Pacific Rim over last 50 years. Mineral systems of the Pacific Rim (Pacrim 2019) congress, Auckland, New Zealand, 2019. Powerpoint presentation <https://minexconsulting.com/exploration-and-discovery-of-base-and-precious-metal-deposits-in-the-pacific-rim-over-the-last-50-years/>
260. *Scotese C.R.* Atlas of Earth History. Volume 1, Paleogeography// PALEOMAP Project, Arlington, TX, 2001. – 58 p.
261. *Seltmann R., Porter T.M., Pirajno F.* Geodynamics and metallogeny of the central Eurasian porphyry and related epithermal mineral systems: a review // *J. of Asian Earth Sciences*. 2014. Vol. 79. P. 810-841.
262. *Seltmann R., Goldfarb R.J., Bo Z., Creaser R.A., Dolgoplova A., Shatov V.V.* Chapter: 24; Muruntau, Uzbekistan: the World's largest epigenetic gold deposit // SEG Special Publication 23. 2020. P. 497-521.
263. *Seltmann R., Shatov V., Yakubchuk A.* Mineral deposits database and thematic maps of Central Asia: London, Natural History Museum, Centre for Russian and Central Eurasian Mineral Studies (CERCAMS), 2009. 143 p. and ArcGIS 9.2, ArcView 3.2 and MapInfo 6.0 (7.0) GIS packages, scale 1:1,500,000, CD-ROM.
264. *Şengör A.M.C., Natal'in B.A.* Turcic-type orogeny and its role in the making of the continental crust // *Annual Review in Earth and Planetary Sciences*. 1996. Vol. 24. P. 263-337.
265. *Shen P., Pan H.D., Hattori K., David R.C., Seitmuratova E.* Large Paleozoic and Mesozoic porphyry deposits in the Central Asian Orogenic belt: Geodynamic settings, magmatic sources, and genetic models. *Gondwana Res.* 2018, 58. P. 161-194.

266. *Sillitoe R.H.* A plate tectonic model for the origin of porphyry copper deposits // *Economic Geology*. 1972. Vol. 67. P. 184-197.
267. *Sillitoe R.H.* Epithermal models: genetic types, geometrical controls and shallow features. *Geological Association of Canada Special Paper 40*, 1993. P. 403-417.
268. *Sillitoe R.H.* Porphyry copper systems // *Economic Geology* 2010. Vol. 105. P. 3-41.
269. *Sillitoe R.H.* Chapter 1: Gold deposit types: an overview. *SEG Special Publications*. 2020. No. 23. P. 1-28.
270. *Sillitoe R.H., Hedenquist J.W.* Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious metal deposits. *Society of Economic Geologists Special Publication 10*, 2003. P. 315-343.
271. *Singer D.A., Berger V.I., Moring B.C.* Porphyry copper deposits of the World: database and grade and tonnage models // *U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1155 version 1.0*
272. *Smethurst M.A., Khramov A.N., Torsvik T.H.* The Neoproterozoic and Paleozoic paleomagnetic data for the Siberian Platform: from Rodinia to Pangea // *Earth-Science Reviews*. 1998. V. 43. P. 1-24.
273. *Soloviev S.G., Kryazhev S.G., Dvurechenskaya S.S., Vasyukov V.E., Shumilin D.A., Voskresensky K.I.* The superlarge Malmyzh porphyry Cu-Au deposit, Sikhote-Alin, eastern Russia: Igneous geochemistry, hydrothermal alteration, mineralization, and fluid inclusion characteristics // *Ore Geology Reviews*. 2019. Vol. 113. 103112
274. *Sorokin A.A., Ponomarchuk V.A.* Umlekan-Ogodzha Early Cretaceous magmatic belt (North margin of the Amurian superterrane): duration of magmatism // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 2002. Vol. 66, Spec. Issue. P. A728.
275. *Spiridonov E.M.* New data on mineralogy of deposits of plutogenic gold-quartz formation in the northern central Kazakhstan. Part I // *New Data on Minerals*. 2014. Vol. 49. P. 57-72.
276. *Stampfli G.M., Borel G.D.* A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrons // *Earth and Planetary Science Letters*. 2002. Vol. 196 (1–2). P. 17-33.
277. *Stampfli G.M., Hochard C., Vérard C., Wilhem C., von Raumer J.* The formation of Pangea // *Tectonophysics*. 2013. Vol. 593. P. 1-19.
278. *Stein H., Markey R., Morgan J.W., Hannah J.* The remarkable Re-Os chronometer in molybdenite: How and why it works // *Terra Nova*. 2001. Vol. 13(6). P. 479-486. DOI:[10.1046/j.1365-3121.2001.00395.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-3121.2001.00395.x)

279. *Su W., Dong W., Zhang X., Shen N., Hu R., Hofstra A.H., Cheng L., Xia Y., Yang K.* Carlin-type gold deposits in the Dian-Qian-Gui “Golden Triangle” of southwest China. *Reviews in Economic Geology*. 2018. Vol. 20. P. 157-185.
280. *Sun Y-G., Li B-L., Zhao Z-H., Sun F-Y., Ding Q-F., Chen X-C., Li J-B., Qian Y., Li Y-J.* Age and petrogenesis of late Mesozoic intrusions in the Huoluotai porphyry Cu-(Mo) deposit, northeast China: Implications for regional tectonic evolution // *Geoscience Frontiers*. 2022. Vol. 13. 101344
281. *Thompson J.F.H., Sillitoe R.H., Baker T., Lang J.R., Mortensen J.K.* Intrusion-related gold deposits associated with tungsten-tin provinces // *Mineralium Deposita*. 1999. Vol. 34. P. 323-334.
282. *Torsvik T.H., Cocks L.R.M.* Earth history and palaeogeography. Cambridge University Press. 2017. 315 p.
283. *Torsvik T., Smethurst M., Van der Voo R., Trench A., Abrahamsen N., Halvorsen E.* Baltica. A synopsis of Vendian-Permian palaeomagnetic data and their palaeotectonic implications // *Earth-Science Reviews*. 1992. Vol. 33. P. 133-152.
284. *Tungalag N., Jargalan S., Khashgerel B.* Characteristics of the Late Devonian Tsagaan Suvarga Cu–Mo deposit, Southern Mongolia // *Mineralium Deposita*. 2019. Vol. 54(3). P. 1-12. DOI:10.1007/s00126-018-0812-6
285. *Underwood D., Dumala M.* Beskauga copper-gold project, Pavlodar Province, Republic of Kazakhstan // Amended & Restated NI 43-101 Technical Report. Prepared for Arras Minerals Corporation. 2022. – 135 p.
286. *Vikentiev I.V., Belogub E.V., Novoselov K.A., Moloshag V.P.* Metamorphism of volcanogenic massive sulfide deposits of the Urals // *Ore Geology Reviews*. 2017. Vol. 85. P. 30-63.
287. *Vikent'eva O., Bortnikov N., Vikentyev I., Groznova E., Lyubimtseva N., Murzin V.V.* The Berezovsk giant intrusion-related gold quartz deposit, Urals, Russia: Evidence for Multiple Magmatic and Metamorphic Fluid Reservoirs // *Ore Geology Reviews*. 2017. Vol. 91. P. 837-863. doi:10.1016/j.oregeorev.2017.08.018
288. *Vila T., Sillitoe R.H.* Gold-rich porphyry systems in the Maricunga belt, northern Chile // *Economic Geology*. 1991. Vol. 86. P. 1238-1260.
289. *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. P. 523-543. **(1,1 авторского листа, 0,83 п.л., вклад автора 20%)**

290. *Wainwright A.J., Tosdal R.M., Wooden J.L., Mazdab F.K., Friedman R.M.* U–Pb (zircon) and geochemical constraints on the age, origin, and evolution of Paleozoic arc magmas in the Oyu Tolgoi porphyry Cu–Au district, southern Mongolia // *Gondwana Research*. 2011. Vol. 19. P. 764-787.
291. *Wilde S.A., Zhou J.-B., Wu F.-Y.* Development of the northeastern segment of the Central Asian orogenic belt. In: Kröner A. (Ed.), *The Central Asian Orogenic Belt: Geology, Evolution, Tectonics, and Models*. Beiträge zur regionalen Geologie der Erde Band 32. Borntraeger Science Publisher, 2015. P. 184-210.
292. *Wilhem C., Windley B.F., Stampfli G.M.* The Altaids of Central Asia: A tectonic and evolutionary innovative review // *Earth-Science Reviews*. 2012. Vol. 113. P. 303-341.
293. *Williams P.J., Barton M.D., Johnson D.A., Fontboté L., De Haller A., Mark G., Oliver N.H.S., Marschik R.* Iron oxide copper-gold deposits: geology, space-time distribution, and possible modes of origin // *Economic Geology 100th Anniversary Volume*. 2005. P. 371-405.
294. *Xanadu Mines.* Kharmagtai Copper-Gold Project. Scoping Study. 2022. 59 p.
295. *Xiao W., Windley B.F., Sun S., Li J., Huang B., Han C., Yuan C., Sun M., Chen H.* A tale of amalgamation of three Permo–Triassic collage systems in Central Asia: Oroclines, sutures, and terminal accretion // *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. 2015. Vol. 43 (1). P. 477-507. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-060614-105254>
296. *Xiao B., Chen H., Hollings P., Han J., Wang Y., Yang J., Cai K.* Magmatic evolution of the Tuwu–Yandong porphyry Cu belt, NW China: Constraints from geochronology, geochemistry and Sr–Nd–Hf isotopes // *Gondwana Research*. 2017. Vol. 43. P. 74-91.
297. ***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)**
298. ***Yakubchuk A.*** Kazakhstan. Encyclopaedia of European and Asian regional geology. Springer Dordrecht. 1997. P. 450-465. **(0,88 авторского листа, 0,66 п.л.)**
299. ***Yakubchuk A.*** The Baikaside-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. P. 273-297. **(1,33 авторского листа, 1,05 п.л.)**
300. ***Yakubchuk A.*** Architecture and mineral deposit settings of the Altai 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)**

301. **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**)
302. **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**)
303. **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**)
304. **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**)
305. **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**)
306. **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**)
307. **Yakubchuk A.** Russia: East of the Urals. Encyclopedia of Geology. United Kingdom: Academic Press. 2021. P. 451-463. (**0,66 авторского листа, 0,5 п.л.**)
308. **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**)
309. **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**)
310. **Yakubchuk A., Cole A., Selmann R., Shatov V.** Tectonic setting, characteristics, and regional exploration criteria for gold mineralization in the Altaid 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 Special Publication 9, USA. 2002. P. 177-201. (**1,33 авторского листа, 1 п.л., вклад автора 50%**)
311. **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. 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)**
312. *Yakubchuk A., Degtyarev K., Maslennikov V. et al.* Tectonomagmatic settings, architecture, and metallogeny of the Central Asian copper province. Special Publication 16. Geology and Genesis of Major Copper Deposits and Districts of the World: A Tribute to Richard H. Sillitoe. Society of Economic Geologists, Inc. 2012. P. 403-432. **(1,66 авторского листа, 1,25 п.л., вклад автора 50%)**
313. *Yakubchuk A., Nikishin A.* Noril'sk-Talnakh Cu-Ni-PGE deposits: A revised tectonic model // Mineralium Deposita. 2004. Vol. 39, № 2. P. 125-142. **(1,88 авторского листа, 1,41 п.л., вклад автора 50%, импакт-фактор Scopus 2,039)**
314. *Yakubchuk A.S., Nikishin A.M.* Russia. Encyclopedia of Geology. Elsevier. 2005. P. 456-473. **(1 авторский лист, 0,75 п.л., вклад автора 60%)**
315. *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. P. 1035-1068. **(1,88 авторского листа, 1,41 п.л., вклад автора 50%)**
316. *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)**
317. *Yoo B.C., Tungalag N., Sereenen J., Heo C.-H., Ko S.-M.* Mineralogy and Geochemistry of Carbonate Minerals from the Olon Ovoot Gold Mine, Mongolia // Econ. Environ. Geol. 2014. Vol. 47(2). P. 181-191.
318. *Zhao X., Xue C., Chi G., Mo X., Nurtaev B., Zhang G.* Zircon and molybdenite geochronology and geochemistry of the Kalmakyr porphyry Cu–Au deposit, Almalyk district, Uzbekistan: implications for mineralization processes // Ore Geology Reviews. 2017. Vol. 86. P. 807-824.
319. *Zhao Z., Sun J.-G., Li G.-H., Zhang X.* Zircon U–Pb geochronology and Sr–Nd–Pb–Hf isotopic constraints on the timing and origin of the Early Cretaceous igneous rocks in the Yongxin gold deposit in the Lesser Xing'an Range, NE China // Geological Journal. 2019. Vol. 55(3). DOI:10.1002/gj.3545
320. *Zhao C., Qin K., Song G., Li G., Li Z., Pang X., Wang L.* Petrogenesis and tectonic setting of ore-related porphyry in the Duobaoshan Cu deposit within the eastern Central Asian

- Orogenic Belt, Heilongjiang Province, NE China // *Journal of Asian Earth Sciences*. 2018. Vol. 165. P. 352-370.
321. *Zhao Z.-H., Sun J.-G., Li G.-H., Xu W.-X., Lü C.-L., Wu S., Guo Y., Ren L., Hu Z.-X.* Age of the Yongxin Au deposit in the Lesser Xing'an Range: Implications for an Early Cretaceous geodynamic setting for gold mineralization in NE China // *Geological Journal*. 2018. Vol. 54(5). P. 1-20. <https://doi.org/10.1002/gj.3310>
322. *Zipf G.K.* Human behavior and the principle of least effort. Cambridge, Massachusetts: Addison-Wesley. 1949.

Диссертации

323. *Антонов Ю.А.* Структурно-литологические закономерности локализации золотого оруденения месторождения Большевик: Восточный Казахстан. Диссертация на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук. 2012. – Томск. – 152 с.
324. *Доброшевский К.Н.* Геологическая позиция и минералого-геохимические особенности Малиновского золоторудного месторождения (Центральное Приморье). Диссертация на соискание учёной степени кандидата геолого–минералогических наук. - Владивосток. 2019. – 169 с.
325. *Доломанова-Тополь А.А.* Характеристики рудообразующего флюида, минералого-геохимические особенности и условия формирования Новоширокинского золото-полиметаллического месторождения, Восточное Забайкалье. Диссертация на соискание учёной степени кандидата геолого–минералогических наук. – Москва. 2017. – 105 с.
326. *Мирошникова А.П.* Геологические условия формирования и критерии прогнозирования золото-сульфидно-кварцевых месторождений штокверкового типа (на примере Васильковского месторождения, Северный Казахстан). Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева. Диссертация на соискание ученой степени доктора философии (PhD). 2018. – Усть-Каменогорск. – 150 с.
327. *Плотинская О.Ю.* Порфирово-эпитеpмальные системы Урала: источники вещества, эволюция и зональность. Диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук. 2023. – Москва: ИГЕМ. – 266 с.

328. *Davies R.S.* Assessment of methodologies to predict potential mineral endowment on entering an immature exploration space, using the Western Australian Sandstone orogenic gold districts a natural laboratory. PhD Thesis, the University of Western Australia. 2020. – 368 p.
329. *Demoux A.* Neoproterozoic to Middle Palaeozoic Evolution of the Central Asian Orogenic Belt in South-Central Mongolia: Chronological and Geochemical Perspectives. Dissertation zur Erlangung des Grades “Doktor der Naturwissenschaften” im Promotionsfach Geologie/Paläontologie am Fachbereich Chemie, Pharmazie und Geowissenschaften der Johannes Gutenberg-Universität Mainz. 2009. – 162 p.

Авторефераты диссертаций

330. *Ершов В.В.* Геолого-структурные и тектонофизические условия формирования Бугдаинского золото-вольфрам-молибденового месторождения: Восточное Забайкалье. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата геолого–минералогических наук. 2002. – 30 с.
331. *Корольков А.Т.* Геодинамика золоторудных районов юга Восточной Сибири. Автореферат диссертации на соискание учёной степени доктора геолого–минералогических наук. – Иркутск, 2011. – 54 с.

Приложение 1

Таблица общих ресурсов золотосодержащих месторождений Центральной Азии (составил А.С. Якубчук)

Условные сокращения: ES– эпитермальные (EHS – высоко-сульфидизированные, EIS – промежуточно-сульфидизированные, ELS – низко-сульфидизированные), IOCG – железо-окисно-медно-золотые, POR – порфировые, SKN – скарновые, OI – гранитоидные интрузии, OTBS – орогенные в осадочных толщах, VMS – колчеданные

Месторождение	Координаты	Тип	Металлогеническая провинция	Au, т	Возраст, млн лет	Источник
Мурунтау	41.51 сш 64.56 вд	OTBS	Тянь-Шаньская	6531	285	Seltmann et al., 2020
Сухой Лог	58.6 сш 115.27 вд	OTBS	Бодайбинская	3016	470	Vursiy et al., 2020
Кальмакыр-Дальнее	40.81 сш 69.64 вд	POR	Тянь-Шаньская	2200	320	Golovanov et al., 2005; Zhao et al., 2017; Звездов и др., 2018
Олимпиада	59.86 сш 92.93 вд	OTBS	Ангарская	1866	817-758	Sazonov et al., 2020
Ою Толгой	43.01 сш 106.85 вд	POR	Южно-Гобийская	1040	374	Wainwright et al., 2011; Crane, Kavalieris, 2012
Зармитан (Чармитан+Гужумсай+Промежуточное)	40.33 сш 66.74 вд	OI	Тянь-Шаньская	1000	285	Yakubchuk et al., 2002
Куранахская группа	58.76 сш 125.77 вд	CLN	Алдан-Становая	715	140	Rodionov et al., 2014; Анисимова и др., 2018
Риддер-Сокольное	50.3 сш 83.25 вд	VMS	Восточно-Казахстанская	712	400	Ганженко и др., 2018
Кумтор	41.85 сш	OTBS	Тянь-Шаньская	609	290	Yakubchuk et al., 2002

	78.18 вд					
Гайское	51.45 сш 58.48 вд	VMS	Уральская	560	390	Викентьев, 2004
Васильковское	53.43 сш 69.28 вд	OI	Казахстано- Джунгарская	513	470	Spiridonov, 2014; Мирошникова, 2018
Березовское	56.9 сш 60.74 вд	OI	Уральская	450	300	Sazonov et al., 2001; Herrington et al., 2005; Поленов и др., 2015; Vikent'eva et al., 2017
Бестюбе	52.49 сш 73.11 вд	OI	Казахстано- Джунгарская	404	445	Spiridonov, 2014
Тасеевское	51.85 сш 116.25 вд	ELS	Монголо- Маньжурская	390	160	Юргенсон, 2011
Быстринское	51.45 сш 118.55 вд	SKN	Монголо- Маньжурская	377	160	Коваленкер и др., 2019
Кокпатас	42.28 сш 63.91 вд	OTBS	Тянь-Шаньская	358	285	Yakubchuk et al., 2002
Малмыж	49.45 сш 136.91 вд	POR	Сихотэ-Алиньская	347	98	Читалин и др., 2013; Soloviev et al., 2019; Петров и др., 2020
Ключевское	53.53 сш 119.43 вд	OI	Алдан-Становая	342	160	Быбин, Багова, 2014
Бакырчик	49.72 сш 81.57 вд	OTBS	Восточно- Казахстанская	327	285	Антонов, 2012; Канаева и др., 2014; Ковалев и др., 2014
Вернинское	58.53 сш 113.58 вд	OTBS	Бодайбинская	322	470	Vursiy et al., 2020
Благодатное	62.1 сш 92.92 сш	OTBS	Ангарская	308	754	Сазонов и др., 2010
Маломыр	53.1 сш 131.83 вд	OTBS	Монголо- Маньжурская	304	132	Кадашникова и др., 2019
Верхний Кумарг	39.4 сш 68.63 вд	ELS	Тянь-Шаньская	300	305	Seltmann et al., 2009

Култуминское	51.77 сш 119.01 вд	SKN	Монголо- Маньчжурская	267	160	https://nedradv.ru/nedradv/ru/find_place?obj=ce25858e63a5838402c0bb8d7302f240
Даугызтау	41.28 сш 64.25 вд	OTBS	Тянь-Шаньская	250	285	Yakubchuk et al., 2002
Херуга (Heruga)	42.95 сш 106.8 вд	POR	Южно-Гобийская	249	374	Crane, Kavalieris, 2012
Хармагтай (Kharmagtai)	44.04 сш 106.15 вд	POR	Южно-Гобийская	249	298	Xanadu Mines, 2022
Гросс	57.66 сш 119.89 вд	ELS	Алдан-Становая	246	140	https://nedradv.ru/nedradv/ru/places?mineral=ea137769ab1dc8b338a79c54c3001d8a
Амантайтау	41.22 сш 64.19 вд	OTBS	Тянь-Шаньская	236	285	Yakubchuk et al., 2002
Талдыбулак	48.22 сш 67.82 вд	POR	Казахстано- Джунгарская	234	470	Seltmann et al., 2009; Degtyarev et al., 2013
Чанг Шань Хао (CSH) 217	41.81 сш 109.26 вд	OTBS	Северо-Китайская	231	220	Hart et al., 2002; Nilsson et al., 2012
Федотовское	55.36 сш 87.35 вд	OTBS	Алтае-Саянская	218	490	Ненашева и др., 2001
Хаояоэрхундонг (Хаоуаоерхундонг)	41.41 сш 109.37 вд	OI	Северо-Китайская	213	282	Goldfarb et al., 2019
Кызата	40.8 сш 69.71 вд	POR	Тянь-Шаньская	210	320	Seltmann et al., 2009
Дарасун	52.33 сш 115.5 вд	OI	Алдан-Становая	210	160	Прокофьев и др., 2006; Любимцева и др., 2020
Чертово Корыто	59.47 сш 114.8 вд	OTBS	Бодайбинская	208	470	Иванов, 2014
Светлинское	54.3 сш 60.42 вд	OTBS	Уральская	206	320	Sazonov et al., 2001

Гора Рудная (Морозкинское)	58.54 сш 125.46 вд	OI	Алдан-Становая	205	136	https://nedradv.ru/nedradv/ru/places?mineral=ea137769ab1dc8b338a79c54c3001d8a&mp=2
Сангнонг (Sangnong)	40.6 сш 128.72 вд	OI	Сихотэ-Алиньская	202		https://nautilus.org/napsnet/napsnet-special-reports/the-mining-industry-of-north-korea/
Триада	41.48 сш 64.6 вд	OTBS	Тянь-Шаньская	200	290	Seltmann et al., 2020
Ельничное	53.11 сш 127.45 вд	POR	Монголо- Маньчжурская	192	123	Моисеенко, Эйриш, 1996
Учалы	54.32 сш 59.42 вд	VMS	Уральская	186	390	Зайков и др., 2002
Райгородок (Новоднепровское)	52.76 сш 69.76 вд	OI	Казахстано- Джунгарская	186	422	Ковалев и др., 2018; https://tengrinews.kz/money/raygorodok-stal-odnim-samyih-krupnyih-mestorojdeniy-zolota-474690/
Хаоя (Наоуа)	41.68 сш 109.26 вд	OTBS	Северо-Китайская	180	278	Hart et al., 2002
Албазино	52.68 сш 137.96 вд	OI	Сихотэ-Алиньская	177	90	Трушин, Кириллов, 2018
Бощекуль	51.86 сш 74.32 вд	POR	Казахстано- Джунгарская	176	491	Shen et al., 2018
Джеруй	42.13 сш 73.04 вд	OI	Казахстано- Джунгарская	174	460	Seltmann et al., 2009
Чаарат	42.04 сш 71.19 вд	OTBS	Тянь-Шаньская	174	290	Seltmann et al., 2009
Элькон	58.7 сш 126.24 вд	IOCG	Алдан-Становая	170	140	Молчанов и др., 2012; Лоскутов, Жижин, 2014
Новоучалинское	54.34 сш 59.4 вд	VMS	Уральская	165	390	Зайков и др., 2002
Нурказган	50.17 сш 73.25 вд	POR	Казахстано- Джунгарская	165	438	Shen et al., 2018
Ведуга	59.4 сш	OTBS	Ангарская	165	805	Сазонов и др., 2010

	93.33 вд					
Высочайший	58.75 сш 115.51 вд	OTBS	Бодайбинская	162	470	Иванов, 2014
Бороо	48.76 св 106.16 вд	OI	Монголо- Маньчжурская	157	192	Cluer et al., 2005
Пакрут	39.08 сш 69.4 вд	OTBS	Тянь-Шаньская	156	290	Seltmann et al., 2009
Пионер	53.4 сш 126.42 вд	ELS	Монголо- Маньчжурская	156	120	Моисеенко, Эйриш, 1996
Синюхинское	51.8 сш 85.7 вд	SKN	Алтае-Саянская	156	500	Науменко, 2018
Пони	49.65 сш 137.42 вд	POR	Сихотэ-Алиньская	156	90	https://nedradv.ru/nedradv/ru/places?mineral=ea137769ab1dc8b338a79c54c3009281
Ирокинда	56.2 сш 115.8 вд	OI	Бодайбинская	155	600	Плотинская и др., 2019
Самсон	58.68 сш 94.19 вд	OTBS	Ангарская	150	700	Сердюк, 1999; Сердюк, Еханин, 1998
Новохайрюзовское	49.29 сш 84.35 вд	VMS	Восточно- Казахстанская	149	390	Seltmann et al., 2009
Албын	52.68 сш 137.96 вд	OTBS	Монголо- Маньчжурская	148	133	Моисеенко, Эйриш, 1996
Итака	53.85 сш 118.69 вд	OI	Алдан-Становая	148	160	Быбин, Багова, 2014
Кочкарь	54.4 сш 60.8 вд	OI	Уральская	147	300	Sazonov et al., 2001; Herrington et al., 2005
Узельга	54.18 сш 59.25 вд	VMS	Уральская	138	390	Зайков и др., 2002
Юбилейное	48.92 сш 58.7 вд	POR	Уральская	137	374	Shen et al., 2018; Плотинская, 2023
Подольское	52.22 сш	VMS	Уральская	136	390	Зайков и др., 2002

	58.4 вд					
Чульбаткан	52.81 сш 138.68 вд	OTBS	Сихотэ-Алиньская	135	90	Алексеев, Старостин, 2017
Юбилейное	52.17 сш 58.12 вд	VMS	Уральская	133	390	Зайков и др., 2002
Сафьяновское	51.61 сш 57.5 вд	VMS	Уральская	132	390	Зайков и др., 2002
Коктасжал	50.09 сш 76.19 вд	POR	Казахстано- Джунгарская	132	315	Бекбулатов и др., 2011
Большевик	49.75 сш 81.21 вд	OTBS	Восточно- Казахстанская	130	285	Антонов, 2012
Савуярды	40.14 сш 74.4 вд	OTBS	Тянь-Шаньская	130	290	Seltmann et al., 2009
Аксуг	53.44 сш 96.57 вд	POR	Алтае-Саянская	128	511	Берзина и др., 2011
Кочбулак	40.94 сш 70.12 вд	ELS	Тянь-Шаньская	124	305	Seltmann et al., 2009
Ащи (Архи)	44.27 сш 81.3 вд	ELS	Казахстано- Джунгарская	122	320	Long et al., 2005
Кызылалмасай	41.02 сш 70.01 вд	ELS	Тянь-Шаньская	120	305	Seltmann et al., 2009
Туанджигоу (Туанџигоу)	48.38 сш 130.31 вд	POR	Монголо- Маньчжурская	120	143	Goldfarb et al., 2019
Жолымбет Северный	51.75 сш 71.74 вд	OI	Казахстано- Джунгарская	118	445	Spiridonov, 2014
Чалкуйрюк- Акджилга	39.97 сш 73.03 вд	OI	Тянь-Шаньская	118	290	Seltmann et al., 2009
Секисовское	50.28 сш 82.57 вд	OI	Восточно- Казахстанская	118	240	Seltmann et al., 2009

Зун-Холба	52.15 сш 101.04 вд	OI	Монголо- Маньчжурская	115	500	Миронов, Жмодик, 1999; Москвитина и др., 2020
Амазаркан	53.98 сш 119.7 вд	OI	Алдан-Становая	112	160	Быбин, Багова, 2014
Токко (+Роман)	57.75 сш 119.81 вд	ELS	Алдан-Становая	112	140	https://gold.1prime.ru/news/20230403/489084.html
Дуобаошань (Duobaoshan)	50.18 сш 125.68 вд	POR	Монголо- Маньчжурская	111	484	Zhao et al., 2018
Советское	60.33 сш 92.83 вд	OTBS	Ангарская	109	820	Сазонов и др., 2010
Бамское	55.98 сш 123.9 вд	OI	Алдан-Становая	109	150	Мельников, Степанов, 2021
Покровское	53.22 сш 126.33 вд	ELS	Монголо- Маньчжурская	108	120	Сорокин и др., 2021
Кузеевское	56.73 сш 93.94 вд	OTBS	Ангарская	106	700	Сердюк, 1999; Сердюк, Еханин, 1998
Урях	57.06 сш 116.25 вд	OI	Бодайбинская	103	600?	https://nedradv.ru/nedradv/ru/places?mineral=ea137769ab1dc8b338a79c54c3001d8a&mp=4
Тургаюл	54.55 сш 89.23 вд	OI	Алтае-Саянская	103	490	Черных и др., 2018
Бескауга	51.8 сш 76.21 вд	POR	Казахстано- Джунгарская	101	457	Underwood, Dumala, 2022
Попутненское	58.68 сш 94.39 вд	OTBS	Ангарская	100	760	Сердюк, 1999; Сердюк, Еханин, 1998
Тавт	50.08 сш 102.47 вд	OI	Монголо- Маньчжурская	100	500	Неганов, Бывальцев, 2010
Мизек	48.87 сш 77.47 вд	VMS	Казахстано- Джунгарская	99	450	Lobanov et al., 2014

Троицкое	54.64 сш 113.15 вд	OTBS	Монголо- Маньчжурская	98	500	Моисеенко, Эйриш, 1996
Воронцовское	59.48 сш 60.52 вд	CLN	Уральская	98	391	Викентьев и др., 2016
Дяппе	51.78 сш 139.27 вд	OTBS	Сихотэ-Алиньская	97	90	Моисеенко, Эйриш, 1996
Куру-Тегерек	42.05 сш 71.45 вд	SKN	Тянь-Шаньская	97	325	Seltmann et al., 2009
Акбакай	45.12 сш 72.69 вд	OI	Казахстано- Джунгарская	96	430	Канаева и др., 2012
Нижнеякокутское	58.87 сш 125.69 вд	CLN	Алдан-Становая	96	140	Rodionov et al., 2014; Анисимова и др., 2018
Джилау	39.41 сш 67.72 вд	OTBS	Тянь-Шаньская	95	301	Yakubchuk et al., 2002
Баян Хундий (Bayan Khundi)	42.0 сш 99.2 вд	ELS	Южно-Гобийская	93	320?	https://erdene.com/en/projects/bayan-khundii/
Варваринское	52.96 сш 62.17 вд	SKN	Уральская	93	320	Антоненко и др., 2020
Донгпин (Dongpin)	40.87 сш 115.45 вд	OI	Северо-Китайская	93	142	Goldfarb et al., 2019
Жильно- Лысогорское	52.2 сш 134.0 вд	OTBS	Монголо- Маньчжурская	93	132	Yakubchuk, Edwards, 1999
Коксай	44.46 сш 78.46 вд	POR	Казахстано- Джунгарская	91	437	Shen et al., 2018
Костромихинское	53.49 сш 119.2 вд	OI	Алдан-Становая	90	160	Якубчук и др., 2018
Актогай	47.0 сш 79.99 вд	POR	Казахстано- Джунгарская	88	322	Shen et al., 2018
Александровское	53.55 сш 119.28 вд	OI	Алдан-Становая	86	160	Якубчук и др., 2018

Нурказган ЮВ	50.16 св 73.26 вд	POR	Казахстано- Джунгарская	85	438	Shen et al., 2018
Многовершинно е	53.96 сш 139.93 вд	ELS	Сихотэ-Алиньская	82	60	Моисеенко, Эйриш, 1996
Иштамберды	41.48 сш 70.96 вд	OTBS	Тянь-Шаньская	82	290	Seltmann et al., 2009
Уконикское	53.97 сш 119.41 вд	ELS	Алдан-Становая	82	160	Быбин, Багова, 2014
Панимба	59.54 сш 93.45 вд	OTBS	Ангарская	81	760	Сердюк, 1999; Сердюк, Еханин, 1998
Чудное	65.26 сш 60.31 вд	OTBS	Уральская	80	600	Кузнецов, Онищенко, 2018
Айдырлы	52.09 сш 59.84 вд	OI	Уральская	80	300	Sazonov et al., 2001
Арбинское	53.71 св 126.59 вд	POR	Монголо- Маньчжурская	80	123	Сотников и др., 2007
Макмал	41.22 сш 73.93 вд	SKN	Тянь-Шаньская	78	320	Seltmann et al., 2009
Рябиновое	58.63 сш 125.72 вд	POR	Алдан-Становая	78	140	Анисимова и др., 2018
Джинчанг (Jinchang)	44.24 сш 130.82 вд	POR	Сихотэ-Алиньская	78	102	Goldfarb et al., 2019
Глухое	45.48 сш 135.62 вд	ELS	Сихотэ-Алиньская	78	103	Моисеенко, Эйриш, 1996
Васильевское	49.13 сш 81.49 вд	OTBS	Восточно- Казахстанская	77	285	Seltmann et al., 2009
Боргуликан	53.85 сш 126.45 вд	POR	Монголо- Маньчжурская	75	123	Сотников и др., 2007
Бахтарнак	56.82 сш 116.31 вд	OI	Бодайбинская	74	470	https://nedradv.ru/nedradv/ru/places?mineral=ea137769ab1dc8b338a79c54c3001d8a&mp=1

Эльгакан	52.91 сш 133.67 вд	OTBS	Монголо- Маньчжурская	73	132	Мельников, Степанов, 2021
Ново- Лениногорское	50.31 сш 83.65 вд	VMS	Восточно- Казахстанская	70	390	Lobanov et al., 2014
Боголюбовское	58.35 сш 94.63 вд	OTBS	Ангарская	70	760	Сердюк, 1999; Сердюк, Еханин, 1998
Балпантау	41.72 сш 64.66 вд	OTBS	Тянь-Шаньская	69	285	Seltmann et al., 2009
Чульбой	38.56 сш 68.76 вд	OTBS	Тянь-Шаньская	69	290	Seltmann et al., 2009
Титимухта	59.98 сш 92.87 вд	OTBS	Ангарская	68	760	Sazonov et al., 2020
Березитовое	54.47 сш 122.97 вд	ELS	Алдан-Становая	68	128	Моисеенко, Эйриш, 1996; Сорокин и др., 2014б
Невское	58.51 сш 115.43 вд	OTBS	Бодайбинская	67	470	Буряк, Хмелевская, 1997
Бабгора	58.8 сш 94.51 вд	OTBS	Ангарская	66	700	Сазонов и др., 2010
Ивановское	54.37 сш 93.58 вд	OI	Алтае-Саянская	66	490	Черных и др., 2018
Кумакское	51.19 сш 59.99 вд	OTBS	Уральская	66	300	Sazonov et al., 2001
Благодатненское	53.34 сш 140.06 вд	OTBS	Сихотэ-Алиньская	64	90	Степанов, 2012
Кировское (Джалинда)	54.45 сш 124.23 вд	OI	Алдан-Становая	63	125	Моисеенко, Эйриш, 1996; Сорокин и др., 2014а
Джаркулак	46.59 сш 73.37 вд	OI	Казахстано- Джунгарская	62	490	Seltmann et al., 2009
Вера	52.57 сш 71.85 вд	OI	Казахстано- Джунгарская	62	445	Seltmann et al., 2009

Кварцитовые горки	52.48 сш 71.82 вд	OI	Казахстано-Джунгарская	62	445	Spiridonov, 2014
Джингци-Йелманд (Jingxi-Yelmand)	44.38 сш 81.22 вд	EHS	Казахстано-Джунгарская	62	345	Long et al., 2005
Бургунда	40.77 сш 69.53 вд	OTBS	Тянь-Шаньская	62	290	Seltmann et al., 2009
Бодороно	56.87 сш 130.23 вд	?	Алдан-Становая	62	140	Анисимова и др., 2017
Бесапантау	41.52 сш 64.55 вд	OTBS	Тянь-Шаньская	62	285	Seltmann et al., 2009
Тамуньер	59.01 сш 60.31 вд	VMS	Уральская	61	390	Зайков и др., 2002
Эльдорадо	60.06 сш 93.31 вд	OTBS	Ангарская	60	795	Сазонов и др., 2010
Белоусовское	50.11 сш 82.5 вд	VMS	Восточно-Казахстанская	60	395	Lobanov et al., 2014
Артемьевское	50.62 сш 82.11 вд	VMS	Восточно-Казахстанская	60	375	Lobanov et al., 2014
Угахан	58.7 сш 115.1 вд	OTBS	Бодайбинская	59	470	Иванов, 2014
Табаспин	39.29 сш 69.5 вд	OTBS	Тянь-Шаньская	59	290	Seltmann et al., 2009
Каракала	40.01 сш 73.56 вд	OTBS	Тянь-Шаньская	59	290	Seltmann et al., 2009
Ледяное	56.55 сш 121.99 вд	OI	Алдан-Становая	59	160	Моисеенко, Эйриш, 1996
Гатсуурт (Gatsuurt)	48.5 сш 106.75 вд	OI	Монголо-Маньчжурская	58	119	Hendry et al., 2006; Khishgee et al., 2014

Далабай	44.56 сш 77.81 вд	ELS	Казахстано- Джунгарская	58	300	Seltmann et al., 2009
Суздаль	50.08 сш 79.78 вд	OTBS	Восточно- Казахстанская	58	240	Ковалев и др., 2014
Красный	58.3 сш 114.76 вд	OTBS	Бодайбинская	57	470	Иванов, 2014
Любавинское	49.64 сш 112.22 вд	POR	Монголо- Маньчжурская	57	160	Абрамов и др., 2018
Зун-Оспа	52.15 сш 101.38 вд	OTBS	Монголо- Маньчжурская	57	500	Мионов, Жмодик, 1999
Томинское	55.08 сш 61.25 вд	POR	Уральская	56	427	Грабежев, 2012
Тишинское	50.24 сш 83.35 вд	VMS	Восточно- Казахстанская	55	395	Lobanov et al., 2014
Дубек	45.69 сш 71.63 вд	ELS	Казахстано- Джунгарская	54	300	Seltmann et al., 2009
Майкаин В, С, Е	51.46 сш 75.8 вд	VMS	Казахстано- Джунгарская	54	470	Lobanov et al., 2014
Карийское	52.75 сш 118.58 вд	OTBS	Монголо- Маньчжурская	54	160	Жмодик и др., 2009
Коммунарское	54.33 сш 89.25 вд	OTBS	Алтае-Саянская	52	490	Григоров, 2003
Кварцевая Гора	59.76 сш 93.46 вд	OTBS	Ангарская	51	700	Сердюк, 1999; Сердюк, Еханин, 1998
Эльгинское	52.79 сш 133.3 вд	OTBS	Монголо- Маньчжурская	51	132	Моисеенко, Эйриш, 1996
Малеевское	49.85 сш 84.27 вд	VMS	Восточно- Казахстанская	50	390	Lobanov et al., 2014
Бурное	60.8 сш 91.89 вд	OTBS	Ангарская	50	760	Сердюк, 1999; Сердюк, Еханин, 1998

Туву-Яндонг (Tuwu-Yandong)	42.09 сш 92.61 вд	POR	Казахстано- Джунгарская	50	334	Shen et al., 2018
Хул Морит (Khul Morit)	43.98 сш 98.36 вд	POR	Монголо- Маньчжурская	50	290	https://mrdata.usgs.gov/sir20105090z/show-sir20105090z.php?id=8177
Кочковское	51.98 сш 119.46 вд	ELS	Монголо- Маньчжурская	50	160	Павленко, 2012
Ункурташ	41.57 сш 71.32 вд	OTBS	Тянь-Шаньская	50	290	Seltmann et al., 2009
Степняк	52.84 сш 70.77 вд	OI	Казахстано- Джунгарская	50	445	Spiridonov, 2014
Кайрагач	40.99 сш 70.18 вд	ELS	Тянь-Шаньская	50	305	Seltmann et al., 2009
Кутын	53.75 сш 137.25 вд	OTBS	Сихотэ-Алиньская	50	79	Моисеенко, Эйриш, 1996
Лысогорское	54.41 сш 93.14 вд	OI	Алтае-Саянская	49	490	http://www.gold.1prime.ru/deposits/catalog/deposit.asp?depositid=382
Сергеевское	53.54 сш 119.41 вд	OI	Алдан-Становая	49	160	Якубчук и др., 2018
Березняковское	54.84 сш 61.13 вд	ELS	Уральская	49	427	Грабежев, 2012; Плотинская, 2023
Васильевское	58.69 сш 81.49 вд	OTBS	Ангарская	49	699	Сазонов и др., 2010
Жолымбет	51.73 сш 71.74 вд	OI	Казахстано- Джунгарская	47	445	Spiridonov, 2014
Светловское	58.43 сш 116.01 вд	OTBS	Бодайбинская	47	470	Иванов, 2014
Алтан Цаган Ово (АТО)	48.44 сш 112.78 вд	EIS	Монголо- Маньчжурская	47	160	https://steppegold.com/ato-gold-mine/
Балей	51.57 сш 116.63 вд	ELS	Монголо- Маньчжурская	47	160	Юргенсон, 2011

Николаевское	50.57 сш 81.82 вд	VMS	Восточно- Казахстанская	45	370	Lobanov et al., 2014
Сибай	52.69 сш 58.64 вд	VMS	Уральская	45	390	Зайков и др., 2002
Донган (Dong'an)	49.33 сш 128.45 вд	OTBS	Монголо- Маньчжурская	44	?	Goldfarb et al., 2019
Андаш	42.53 сш 72.99 вд	POR	Казахстано- Джунгарская	44	470	Seltmann et al., 2009
Аристантау	42.11 сш 64.27 вд	OTBS	Тянь-Шаньская	44	285	Seltmann et al., 2009
Аксу	52.44 сш 71.96 вд	OI	Казахстано- Джунгарская	44	445	Seltmann et al., 2009
Чонкимисдыкты	39.9 сш 72.35 вд	OTBS	Тянь-Шаньская	44	290	Seltmann et al., 2009
Агние- Афанасьевское	51.93 сш 138.72 вд	OI	Сихотэ-Алиньская	44	90	Моисеенко, Эйриш, 1996
Узбой	53.49 сш 70.59 вд	OI	Казахстано- Джунгарская	44	445	Seltmann et al., 2009
Центральный	41.33 сш 64.32 вд	OTBS	Тянь-Шаньская	42	290	Seltmann et al., 2009
Малиновское	45.26 сш 135.23 вд	OI	Сихотэ-Алиньская	42	84	Доброшевский, 2019
Первенец	58.52 сш 115.28 вд	OTBS	Бодайбинская	41	470	Буряк, Хмелевская, 1997
Акбеит	51.67 сш 70.05 вд	OI	Казахстано- Джунгарская	40	445	Seltmann et al., 2009
Комаровское	52.16 сш 61.25 вд	OTBS	Уральская	40	292	Sazonov et al., 2001; Ким, Мезенов, 2005
Таборное	57.65 сш 119.85 вд	CLN	Алдан-Становая	40	140	Молчанов и др., 2017

Аджибугут	41.15 сш 63.88 вд	OTBS	Тянь-Шаньская	40	285	Seltmann et al., 2009
Абыз	49.42 сш 76.52 вд	VMS	Казахстано- Джунгарская	39	375	Мазуров и др., 2020
Архарлы-II	44.2 сш 77.89 вд	ELS	Казахстано- Джунгарская	37	320	Seltmann et al., 2009
Орловское	50.92 сш 81.39 вд	VMS	Восточно- Казахстанская	37	370	Lobanov et al., 2014
Чоре	39.28 сш 68.51 вд	OTBS	Тянь-Шаньская	37	301	Seltmann et al., 2009
Кедровское	56.07 сш 115.55 вд	OI	Бодайбинская	36	600	Бондарь и др., 2018; https://nedradv.ru/nedradv/ru/find_place?obj=d37fe359ba24ff3a72ab550dd1082a68
Константиновское	54.4 сш 93.62 вд	OI	Алтае-Саянская	36	490	Сердюк, 1999; Сердюк, Еханин, 1998
Кызыкчадр	52.17 сш 94.27 вд	POR	Алтае-Саянская	36	290	Гусев и др., 2014
Чакуш	38.75 сш 71.06 вд	OTBS	Тянь-Шаньская	36	290	Seltmann et al., 2009
Полянка	53.07 сш 139.99 вд	OTBS	Сихотэ-Алиньская	36	90	https://zolotodb.ru/article/11860
Невьянская	57.49 сш 60.3 вд	OTBS	Уральская	35	300	Sazonov et al., 2001
Турбай	41.13 сш 63.94 вд	OTBS	Тянь-Шаньская	35	290	Seltmann et al., 2009
Артемовское	54.35 сш 93.38 вд	OI	Алтае-Саянская	35	490	Сердюк, 1999; Сердюк, Еханин, 1998
Шатыргуль	43.62 сш 74.26 вд	POR	Казахстано- Джунгарская	34	450	Seltmann et al., 2009
Учаминское	51.73 сш	OTBS	Сихотэ-Алиньская	34	90	Юшманов, 2018

	138.67 вд					
Каралон	57.02 сш 115.7 вд	OI	Бодайбинская	34	600	Саватенков и др., в печати
Новоширокинское	51.52 сш 118.77 вд	ELS	Монголо-Маньчжурская	34	160	Доломанова-Тополь, 2017
Кундызды	49.14 сш 58.73 вд	VMS	Уральская	34	390	Зайков и др., 2002
Лунное	58.58 сш 125.94 вд	ELS	Алдан-Становая	33	140	Моисеенко, Эйриш, 1996
Олон Овот	44.38 сш 104.17 вд	ELS	Южно-Гобийская	32	283	Yoo et al., 2014
Талатуйское	52.4 сш 115.35 вд	ELS	Алдан-Становая	32	160	Прокофьев и др., 2007
Лаозуошань (Laozuoshan)	45.91 сш 131.35 вд	ELS	Монголо-Маньчжурская	32	490	Goldfarb et al., 2019
Дурмин	47.8 сш 135.95 вд	ELS	Сихотэ-Алиньская	31	90	Моисеенко, Эйриш, 1996
Унгличикан	53.05 сш 133.55 вд	OTBS	Монголо-Маньчжурская	31	140	Моисеенко, Эйриш, 1996
Тасполы	43.08 сш 74.8 вд	OTBS	Казахстано-Джунгарская	31	420	Seltmann et al., 2009
Михеевское	52.99 сш 61.42 вд	POR	Уральская	31	356	Грабежев, 2012
Борлы	47.19 сш 74.72 вд	POR	Казахстано-Джунгарская	31	329	Seltmann et al., 2009
Саяк	47.01 сш 77.27 вд	SKN	Казахстано-Джунгарская	31	320	Seltmann et al., 2009
Каульды	40.79 сш 69.7 вд	EHS	Тянь-Шаньская	31	315	Golovanov et al., 2005
Бозымчак	41.26 сш	POR	Тянь-Шаньская	31	305	Seltmann et al., 2009

	71.06 вд					
Сарытүбе	41.55 сш 71.36 вд	ELS	Тянь-Шаньская	31	305	Seltmann et al., 2009
Мажуангшань (Mazhuangshan)	42.23 сш 96.21 вд	ELS	Казахстано- Джунгарская	31	299	Chen et al., 2001
Тохтаровское Южн	51.94 сш 61.6 вд	OTBS	Уральская	31	290	Костеров, Черемисин, 1984; Ким, Мезенов, 2005
Джинвози (Jinwozi)	42.07 сш 95.89 вд	ELS	Казахстано- Джунгарская	31	235	Goldfarb et al., 2019
Токур	53.15 сш 132.87 вд	OTBS	Монголо- Маньчжурская	31	132	Моисеенко, Эйриш, 1996; Сорокин и др., 2011
Сувенир	50.92 сш 75.35 вд	VMS	Казахстано- Джунгарская	31	490	Seltmann et al., 2009
Родниковское	44.42 сш 74.33 вд	OI	Казахстано- Джунгарская	31	445	Seltmann et al., 2009
Сейбинское	54.63 сш 93.46 вд	OI	Алтае-Саянская	31	490	https://archivegold.1prime.ru/deposits/catalog/deposit.asp?depositid=276
Маминское	56.4 сш 61.3 вд	OTBS	Уральская	31	390	Сазонов и др. 1999
Ходокан	58.61 сш 116.97 вд	OTBS	Бодайбинская	30	480	Иванов, 2014
Тарниер	60.82 сш 59.83 вд	VMS	Уральская	30	390	Зайков и др., 2002
Новогоднее Монто	66.81 сш 66.52 вд	SKN	Уральская	30	360	Плотинская, 2023
Алмалы	48.67 сш 74.0 вд	POR	Казахстано- Джунгарская	30	320	Seltmann et al., 2009
Лугоканское	52.73 сш 119.78 вд	POR	Монголо- Маньчжурская	30	162	Редин и др., 2014

Погромное	51.65 сш 116.2 вд	OTBS	Монголо- Маньчжурская	30	131	Спиридонов и др., 2016
Долинное	46.99 сш 76.25 вд	VMS	Казахстано- Джунгарская	30	395	Seltmann et al., 2009
Наседкино	53.95 сш 119.19 вд	OI	Алдан-Становая	30	160	https://nedradv.ru/nedradv/ru/places?mineral=ea137769ab1dc8b338a79c54c3001d8a&mp=2
Чекмарь	50.63 сш 83.57 вд	VMS	Восточно- Казахстанская	29	395	Lobanov et al., 2014
Кайдзияинг (Caijiaying)	41.3 сш 115.2 вд	SKN	Северо-Китайская	29		Goldfarb et al., 2019
Саридала (Saridala)	43.14 сш 86.72 вд	OI	Казахстано- Джунгарская	28	337	Goldfarb et al., 2019
Байнаймяо (Bainaimiao)	42.22 сш 112.49 вд	POR	Северо-Китайская	28	458	Li et al., 2012
Коунрад	46.99 сш 74.98 вд	POR	Казахстано- Джунгарская	28	328	Shen et al., 2018
Кичисандык	41.72 сш 70.98 вд	SKN	Тянь-Шаньская	28	320	Seltmann et al., 2009
Тохтазан	41.6 сш 72.35 вд	ELS	Тянь-Шаньская	28	290	Seltmann et al., 2009
Бoko- Васильевское	49.18 сш 81.49 вд	OTBS	Восточно- Казахстанская	28	285	Seltmann et al., 2009
Оборское	48.56 сш 136.69 вд	POR	Сихотэ-Алиньская	28	95?	Минина и др., 2019
Желтое	47.0 сш 135.46 вд	EIS	Сихотэ-Алиньская	27	82	Ханчук, Иванов, 1999
Майское	53.66 сш 90.1 вд	EHS	Алтае-Саянская	27	370	Черных и др., 2018
Шабaoзи (Shabaosi)	52.97 сш 121.88 вд	ELS	Монголо- Маньчжурская	26	130	Goldfarb et al., 2019

Баталы	52.8 сш 61.91 вд	POR	Уральская	25	310	Плотинская, 2017
Алтын-Джилга	39.72 сш 71.00 вд	SKN	Тянь-Шаньская	25	290	Seltmann et al., 2009
Чебачье	53.90 сш 59.27 вд	VMS	Уральская	25	390	Зайков и др., 2002
Назаровское	52.97 сш 111.66 вд	VMS	Монголо- Маньчжурская	25	500	Гордиенко и др., 2013
Озерное	52.98 сш 111.6 вд	VMS	Монголо- Маньчжурская	25	500	Минина и др., 2018
Космурун	48.65 сш 77.74 вд	VMS	Казахстано- Джунгарская	25	475	Lobanov et al., 2014
Жалтырбулак	48.46 сш 68.56 вд	ELS	Казахстано- Джунгарская	25	390	Seltmann et al., 2009
Нони	50.23 сш 132.68 вд	ELS	Монголо- Маньчжурская	25	120	Моисеенко, Эйриш, 1996
Белая Гора	53.38 сш 140.23 вд	EHS	Сихотэ-Алиньская	25	60	Моисеенко, Эйриш, 1996
Цаган Суваргаа	44.67 сш 108.5 вд	POR	Монголо- Маньчжурская	24	370	Tungalag et al., 2019
Сармич	40.36 сш 65.78 вд	OTBS	Тянь-Шаньская	24	290	Seltmann et al., 2009
Кумысты	44.29 сш 67.82 вд	CLN	Тянь-Шаньская	23	300	Seltmann et al., 2009
Гаосунгшань (Gaosongshan)	48.81 сш 128.75 вд	ELS	Монголо- Маньчжурская	23	99	Goldfarb et al., 2019
Саралинское	54.6 сш 88.53 вд	OTBS	Алтае-Саянская	22	490	Григоров, 2003
Казкырмыс	45.51 сш 74.28 вд	POR	Казахстано- Джунгарская	22	320	Seltmann et al., 2009

Бенкала	51.22 сш 61.77 вд	POR	Уральская	22	312	Грабежев, 2012
Аугул	39.72 сш 71.16 вд	SKN	Тянь-Шаньская	22	290	Seltmann et al., 2009
Ширальджин	42.35 сш 71.8 вд	OTBS	Тянь-Шаньская	22	290	Seltmann et al., 2009
Баладжал	49.02 сш 82.2 вд	OTBS	Восточно- Казахстанская	22	285	Seltmann et al., 2009
Сандаованзи (Sandaowanzi)	49.57 сш 126.52 вд	ELS	Монголо- Маньчжурская	22	120	Liu et al., 2011
Шамбесай	39.92 сш 72.29 вд	OTBS	Тянь-Шаньская	22	290	Seltmann et al., 2009
Чичиу #1 (Qiqiu #1)	45.9 сш 84.33 вд	OTBS	Казахстано- Джунгарская	22	123	Pirajno et al., 2002
Ашеле (Ashele)	48.28 сш 86.47 вд	VMS	Восточно- Казахстанская	22	375	Lobanov et al., 2014
Верхне- Алиинское	51.55 сш 117.02 вд	OI	Монголо- Маньчжурская	21	160	Абрамов, 2016
Березки	51.62 сш 75.05 вд	POR	Казахстано- Джунгарская	21	480	Seltmann et al., 2009
Жерек	50.13 сш 79.72 вд	OTBS	Восточно- Казахстанская	21	285	Seltmann et al., 2009
Баянговь II (Bayangovi II)	44.75 сш 100.28 вд	OTBS	Южно-Гобийская	21		Anonymous, 1996
Малошущенское	53.08 сш 91.88 вд	OI	Алтае-Саянская	21	490	Тетерина, 2017
Йонгцин (Yongxin)	49.18 сш 125.77 вд	ELS	Монголо- Маньчжурская	21	116	Zhao et al., 2019
Аккаргинское	51.64 сш 61.02 вд	OTBS	Уральская	20	300	Сазонов и др. 1999

Широтная	52.49 сш 71.99 вд	OI	Казахстано- Джунгарская	20		Seltmann et al., 2009
Мукодекское	57.21 сш 111.73 вд	OI	Бодайбинская	20	600	Ванин и др., 2018
Торткудук	51.74 сш 74.19 вд	VMS	Казахстано- Джунгарская	20	475	Seltmann et al., 2009
Шубинское	50.35 сш 83.62 вд	VMS	Восточно- Казахстанская	20	395	Lobanov et al., 2014
Скалистое	56.42 сш 122.19 вд	OI	Алдан-Становая	20	160	Степанов, Мельников, 2017
Кристал Вэлли (Crystal valley)	40.9 сш 116.36 вд	OI	Северо-Китайская	19		Hart et al., 2002
Посельщик	53.63 сш 90.08 вд	VMS	Алтае-Саянская	19	530	Lobanov et al., 2014
Рушан	43.04 сш 83.14 вд	ELS	Казахстано- Джунгарская	19	305	Seltmann et al., 2009
Бумбат (Bumbat)	48.28 сш 104.52 вд	OTBS	Монголо- Маньчжурская	19	192	Borisenko et al., 2021
Апрелевка	39.74 сш 70.02 вд	OTBS	Тянь-Шаньская	19	290	Seltmann et al., 2009
Удереysкое	58.73 сш 94.4 вд	OTBS	Ангарская	19	620	Сазонов и др., 2010
Аксур	40.76 сш 74.02 вд	OTBS	Тянь-Шаньская	19	290	Seltmann et al., 2009
Самолазовское	58.26 сш 125.45 вд	ELS	Алдан-Становая	19	140	Анисимова и др., 2018
Куросан Западный	53.96 сш 59.69 вд	ELS	Уральская	18	390	Сазонов и др. 1999
Акшар	49.49 сш 71.98 вд	ELS	Казахстано- Джунгарская	18		Seltmann et al., 2009

Каракутан	38.7 сш 67.22 вд	OTBS	Тянь-Шаньская	18	290	Seltmann et al., 2009
Эрденет	48.95 сш 104.07 вд	POR	Монголо- Маньчжурская	18	240	Gerel, Munkhtsengel, 2005; Shen et al., 2018
Лианхуашань (Lianhuashan)	42.29 сш 118.64 вд	OTBS	Северо-Китайская	18	240	Goldfarb et al., 2019
Железный Кряж	51.2 сш 119.11 вд	SKN	Монголо- Маньчжурская	18	160	Корчагина, 2019; https://wikimapia.org/35783811/ru/%D0%9C%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B6%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5-%D0%96%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%B7%D0%BD%D1%8B%D0%B9-%D0%9A%D1%80%D1%8F%D0%B6
Тардан	51.7 сш 95.38 вд	OTBS	Алтае-Саянская	17	485	Гусев, 2014
Цаган Цахир Уул (Tsagan Tsakhir Uul)	46.13 сш 101.13 вд	OI	Монголо- Маньчжурская	17	248	Jargalan, Muraо, 1998
Богунаевское	56.21 сш 94.54 вд	OTBS	Ангарская	16	700	Сердюк, 1999; Сердюк, Еханин, 1998
Тоголок	41.71 сш 78.75 вд	OTBS	Тянь-Шаньская	16	290	Seltmann et al., 2009
Дуварташ	41.65 сш 71.58 вд	OTBS	Тянь-Шаньская	16	290	Seltmann et al., 2009
Алтынтас	45.02 сш 72.99 вд	?	Казахстано- Джунгарская	16	420	Seltmann et al., 2009
Каракудук	39.97 сш 67.18 вд	OTBS	Тянь-Шаньская	16	290	Seltmann et al., 2009
Янгикана	40.4 сш 69.74 вд	OTBS	Тянь-Шаньская	16	290	Seltmann et al., 2009
Комсомольский	53.69 сш	VMS	Уральская	16	390	Прокин и др., 1988

	62.03 вд					
Айдарлы	47.0 сш 79.83 вд	POR	Казахстано- Джунгарская	16	336	Seltmann et al., 2009
Жекедуан	47.84 сш 74.07 вд	POR	Казахстано- Джунгарская	16	320	Seltmann et al., 2009
Тохтаровское	52.05 сш 61.62 вд	OTBS	Уральская	16	290	Костеров, Черемисин, 1984; Sazonov et al., 2001
Лебединое	58.48 сш 125.48 вд	ELS	Алдан-Становая	16	140	Анисимова и др., 2018
Зыряновское	49.72 сш 84.25 вд	VMS	Восточно- Казахстанская	16	390	Lobanov et al., 2014
Коктал	43.22 сш 70.3 вд	VMS	Восточно- Казахстанская	16	375	Lobanov et al., 2014
Пещерное	59.67 сш 59.99 вд	CLN	Уральская	15	390	Сазонов и др. 1999
Обдилла	39.98 сш 72.29 вд	OTBS	Тянь-Шаньская	15	290	Seltmann et al., 2009
Центральное	54.54 сш 88.91 вд	OTBS	Алтае-Саянская	15	490	Ненашева и др., 2001
Порожистое	43.11 сш 133.75 вд	OI	Сихотэ-Алиньская	15	82	http://www.gold.1prime.ru/deposits/catalog/deposit.aspx?depositid=404
Баоцинггоу (Baoxinggou)	52.57 сш 125.02 вд	ELS	Монголо- Маньчжурская	15	120	Goldfarb et al., 2019
Улаан (Ulaan)	49.08 сш 114.09 вд	OTBS	Монголо- Маньчжурская	14		Jargalan, 2016
Алдан-Маадыр	53.31 сш 96.6 вд	?	Алтае-Саянская	14	490	Кужугет, Монгуш, 2013
Писталы	40.75 сш 66.06 вд	ELS	Тянь-Шаньская	14	305	Seltmann et al., 2009
Хандиза	38.54 сш	VMS	Тянь-Шаньская	14	290	Seltmann et al., 2009

	67.53 вд					
Уштоган	50.91 сш 74.92 вд	OI	Казахстано- Джунгарская	13	445	Seltmann et al., 2009
Харгинское	53.0 сш 132.75 вд	OTBS	Монголо- Маньчжурская	13	132	Моисеенко, Эйриш, 1996
Кызылту	51.92 сш 72.75 вд	POR	Казахстано- Джунгарская	13	445	Seltmann et al., 2009
Биран	40.3 сш 65.72 вд	OTBS	Тянь-Шаньская	13	290	Seltmann et al., 2009
Чокпар	43.16 сш 74.74 вд	OTBS	Казахстано- Джунгарская	12	420	Seltmann et al., 2009
Гавиан	39.77 сш 71.33 вд	SKN	Тянь-Шаньская	12	290	Seltmann et al., 2009
Джамгыр	42.16 сш 71.58 вд	OTBS	Тянь-Шаньская	12	290	Seltmann et al., 2009
Ничкесу	39.96 сш 72.27 вд	OI	Тянь-Шаньская	12	290	Seltmann et al., 2009
Шангмачанг (Shangmachang)	49.82 сш 127.08 вд	ELS	Монголо- Маньчжурская	12	115	Goldfarb et al., 2019
Гаоджиагоу (Gaojiagou)	41.31 сш 117.85 вд	OI	Северо-Китайская	12		Goldfarb et al., 2019
Нижнесисимское	54.72 сш 93.19 вд	OI	Алтае-Саянская	12	490	Черных и др., 2018
Тарутинское	53.05 сш 61.13 вд	SKN	Уральская	12	362	Грабежев, 2012
Лекын-Талбей	68.11 сш 66.83 вд	POR	Уральская	12	>600	Плотинская, 2023
Уронайское	51.23 сш 115.46 вд	OI	Алдан-Становая	12	160	Павленко, 2009
Аскольд	42.76 сш	OI	Сихотэ-Алиньская	12	82	Ставрова и др., 2020

	132.32 вд					
Бугдаинское	51.23 сш 118.03 вд	SKN	Монголо- Маньчжурская	11	160	Хомич, Борискина, 2011
Ожерелье	58.65 сш 114.7 вд	OTBS	Бодайбинская	11	470	Иванов, 2014
Буринда	53.62 сш 124.9 вд	SKN	Монголо- Маньчжурская	11	127	Бучко и др., 2019
Барун-Холба	52.2 сш 100.92 вд	OTBS	Монголо- Маньчжурская	10	500	https://zavodfoto.livejournal.com/6245171.html
Ёрик	51.39 сш 133.16 вд	ELS	Монголо- Маньчжурская	10	120	Моисеенко, Эйриш, 1996
Среднеголготайское	51.48 сш 116.65 вд	ELS	Монголо- Маньчжурская	10	160	Афанасов и др., 2007
Тарор	39.28 сш 67.75 вд	SKN	Тянь-Шаньская	10	300	Seltmann et al., 2009
Обручевское	50.31 сш 83.59 вд	VMS	Восточно- Казахстанская	10	395	Lobanov et al., 2014
Рождественское	52.38 сш 135.78 вд	OTBS	Монголо- Маньчжурская	9	132	Моисеенко, Эйриш, 1996
Сивак	51.88 сш 135.06 вд	OTBS	Монголо- Маньчжурская	9	132	Моисеенко, Эйриш, 1996
Токоланское	52.35 сш 135.17 вд	OTBS	Монголо- Маньчжурская	9	132	Мельников, Степанов, 2014
Домбралы	52.9 сш 71.99 вд	OI	Казахстано- Джунгарская	9	445	Поцелуев, 2014
Баян-Айраг (Bayan Airag)	48.62 сш 94.98 вд	VMS	Монголо- Маньчжурская	9	950	http://www.bayanairag.com/en/nav/100
Курженколь (Kurzhenkuola)	47.2 сш 85.81 вд	?	Восточно- Казахстанская	9	345	Seltmann et al., 2009

Келатаг (Kelatage)	42.11 сш 91.49 вд	ELS	Казахстано- Джунгарская	9	320	Goldfarb et al., 2019
Пустынное	46.96 сш 76.05 вд	?	Казахстано- Джунгарская	9	320	Seltmann et al., 2009
Сарычеку	40.78 сш 69.78 вд	POR	Тянь-Шаньская	9	315	Golovanov et al., 2005; Звездов и др., 2018
Акжол	41.65 сш 72.32 вд	ELS	Тянь-Шаньская	9	300	Seltmann et al., 2009
Февральское	57.71 сш 60.53 вд	OTBS	Уральская	9	300	Сазонов и др. 1999
Кансуртаг	49.38 сш 81.94 вд	ELS	Казахстано- Джунгарская	9	286	Seltmann et al., 2009
Жанан	49.77 сш 79.5 вд	OTBS	Восточно- Казахстанская	9	285	Seltmann et al., 2009
Козловское	51.16 сш 118.9 вд	SKN	Монголо- Маньчжурская	9		Афанасов и др., 2007
Курпсай	41.57 сш 72.31 вд	VMS	Тянь-Шаньская	9		Seltmann et al., 2009
Оу-Бар (Ou-Bar)	41.6 сш 107.5 вд	OTBS	Северо-Китайская	9		Hart et al., 2002
Джиашенгпан (Jiashengpan)	41.1 сш 109.1 вд	SKN	Северо-Китайская	9	380	Goldfarb et al., 2019
Берикуль (Старый)	55.52 сш 88.17 вд	OI	Алтае-Саянская	9	474	Ненашева и др., 2001
Сагурское	52.98 сш 132.6 вд	OTBS	Монголо- Маньчжурская	8	128	Моисеенко, Эйриш, 1996
Архарлы	44.2 сш 77.9 вд	ELS	Казахстано- Джунгарская	8	320	Seltmann et al., 2009
Акбастау	48.67 сш 77.66 вд	VMS	Казахстано- Джунгарская	8	475	Lobanov et al., 2014

Перевальное	41.55 сш 71.16 вд	?	Тянь-Шаньская	8	290	Seltmann et al., 2009
Богомолдовское	51.2 сш 118.94 вд	SKN	Монголо- Маньчжурская	8	160	Корчагина, 2019
Каратюбе	41.56 сш 71.36 вд	OTBS	Тянь-Шаньская	7	290	Seltmann et al., 2009
Щебенчиха	47.31 сш 134.46 вд	?	Сихотэ-Алиньская	7	84	Петров и др., 2019
Суркудук	47.98 сш 67.6 вд	ELS	Восточно- Казахстанская	6		Seltmann et al., 2009
Герфед	58.69 сш 94.23 вд	OTBS	Ангарская	6	700	Сердюк, 1999
Карчига	48.45 сш 85.11 вд	VMS	Восточно- Казахстанская	6	500	Lobanov et al., 2014
Кавказ	58.17 сш 114.38 вд	OTBS	Бодайбинская	6	470	Иванов, 2014
Карамурун Южн	44.42 сш 66.91 вд	CLN	Тянь-Шаньская	6	300	Ваулин, 2016
Манка	48.41 сш 85.61 вд	OTBS	Восточно- Казахстанская	6	286	Seltmann et al., 2009
Гарбузовское	58.26 сш 125.56 вд	?	Алдан-Становая	6	140	Леонтьев и др., 2018
Покровско- Троицкое	52.2 сш 138.96 вд	OTBS	Сихотэ-Алиньская	6	90	Юшманов, 2016
Каменушинское	54.24 сш 85.81 вд	VMS	Алтае-Саянская	6	500	Lobanov et al., 2014; Инякин, 2018
Гавриловское	55.82 сш 86.65 вд	OI	Уральская	6	300	Сазонов и др. 1999
Майское	53.66 сш 90.08 вд	OI	Алдан-Становая	6	160	Сердюк, 1999; Сердюк, Еханин, 1998

Прогнозное	50.45 сш 129.97 вд	ELS	Монголо- Маньчжурская	6	160	Мельников, Степанов, 2014
Ворошиловское	52.99 сш 132.07 вд	OTBS	Монголо- Маньчжурская	6	132	Моисеенко, Эйриш, 1996
Дубовое	47.37 сш 134.31 вд	?	Сихотэ-Алиньская	6	84	Степанов, 2012
Кеинчектау	44.38 сш 67.71 вд	CLN	Тянь-Шаньская	6	300	Ваулин, 2016
Пангкаймен (Pangkaimen)	50.95 сш 126.44 вд	ELS	Монголо- Маньчжурская	6		Goldfarb et al., 2019
Центральный Мукур	50.22 сш 79.93 вд	OTBS	Восточно- Казахстанская	6	285	Seltmann et al., 2009
Греховское	49.71 сш 84.35 вд	VMS	Восточно- Казахстанская	6	390	Lobanov et al., 2014
Копыловское	58.13 сш 114.7 вд	OTBS	Бодайбинская	6	470	Иванов, 2014
Кутюхинское	52.04 сш 61.25 вд	OTBS	Уральская	6	290	Сазонов и др. 1999
Николаевское	58.78 сш 94.23 вд	OTBS	Ангарская	6	700	Сердюк, 1999; Сердюк, Еханин, 1998
Сорское	53.0 сш 90.0 вд	POR	Алтае-Саянская	6	506	Берзина и др., 2011
Хака	47.51 сш 136.15 вд	OTBS	Сихотэ-Алиньская	6	82	Степанов, 2012
Кызылкаин	47.58 сш 84.16 вд	POR	Восточно- Казахстанская	5	320	Seltmann et al., 2009
Кадаинское	50.93 сш 119.29 вд	EIS	Монголо- Маньчжурская	5	160	Корчагина, 2019
Бейдагоу (Beidagou)	49.84 сш 126.84 вд	ELS	Монголо- Маньчжурская	5	119	Goldfarb et al., 2019

Аллочка	52.08 сш 139.27 вд	OTBS	Сихотэ-Алиньская	5	82	Моисеенко, Эйриш, 1996
Новофирсовское	50.19 сш 86.58 вд	EHS	Восточно- Казахстанская	5	377	Seltmann et al., 2009
Кумсан	39.95 сш 127.45 вд	ELS	Сихотэ-Алиньская	5		Степанов, 2012
Ыкан	58.55 сш 114.62 вд	OTBS	Бодайбинская	5	470	Иванов, 2014
Иртышское	50.24 сш 82.33 вд	VMS	Восточно- Казахстанская	5	395	Lobanov et al., 2014
Каратас	43.09 сш 74.36 вд	POR	Казахстано- Джунгарская	5	320	Seltmann et al., 2009
Насоновское	42.56 сш 73.55 вд	SKN	Казахстано- Джунгарская	4	290	Seltmann et al., 2009
Байшилази (Baishilazi)	50.76 сш 126.55 вд	ELS	Монголо- Маньчжурская	4	137	Goldfarb et al., 2019
Спингшань (Spingshan)	46.38 сш 133.52 вд	ELS	Сихотэ-Алиньская	4		Goldfarb et al., 2019
Рулиха	50.52 сш 81.97 вд	VMS	Восточно- Казахстанская	4	395	Lobanov et al., 2014
Приозерное	46.75 сш 75.33 вд	POR	Казахстано- Джунгарская	4	320	Seltmann et al., 2009
Акташ	42.53 сш 73.1 вд	SKN	Казахстано- Джунгарская	4	470	Seltmann et al., 2009
Александринско е	53.52 сш 59.36 вд	VMS	Уральская	4	390	Зайков и др., 2002
Сужигтей (Sujigtei)	47.44 сш 100.16 вд	ELS	Монголо- Маньчжурская	4	192	Goldfarb et al., 2019
Карамурун	41.52 сш 63.35 вд	CLN	Тянь-Шаньская	4	300	Ваулин, 2016

Золотой Ключ	54.36 сш 93.55 вд	OI	Алтае-Саянская	4	490	Григоров, 2003
Бейшань (Beishan)	44.01 сш 95.15 вд	ELS	Южно-Гобийская	3	399	Goldfarb et al., 2019
Снегирихинское	50.69 сш 82.96 вд	VMS	Восточно- Казахстанская	3	395	Lobanov et al., 2014
Шемонаиха	50.7 сш 81.86 вд	VMS	Восточно- Казахстанская	3	395	Lobanov et al., 2014
Юбилейно- Снегирихинское	50.67 сш 82.92 вд	VMS	Восточно- Казахстанская	3	395	Lobanov et al., 2014
Ильинское	50.4 сш 83.66 вд	VMS	Восточно- Казахстанская	3	390	Lobanov et al., 2014
Тайсоган	47.1 сш 79.02 вд	POR	Казахстано- Джунгарская	3	320	Кривцов и др., 1986
Зимовье	50.5 сш 139.49 вд	ELS	Сихотэ-Алиньская	3	84	Моисеенко, Эйриш, 1996
Музбель	47.79 сш 78.69 вд	ELS	Казахстано- Джунгарская	3	305	Seltmann et al., 2009
Теремки	52.38 сш 115.47 вд	OI	Алдан-Становая	3	160	Прокофьев и др., 2004
Жолбасты	44.22 сш 67.84 вд	CLN	Тянь-Шаньская	2	300	Seltmann et al., 2009
Весенне- Аральчинское	50.55 сш 59.33 вд	VMS	Уральская	2	390	Зайков и др., 2002
Захаровское	51.62 сш 81.58 вд	VMS	Восточно- Казахстанская	2	390	Lobanov et al., 2014
Рубцовское	63.41 сш 80.96 вд	VMS	Восточно- Казахстанская	2	370	Lobanov et al., 2014
Шован	44.53 сш 67.6 вд	CLN	Тянь-Шаньская	1	300	Seltmann et al., 2009

Дуджихе (Dujiahe)	47.88 сш 130.33 вд	ELS	Монголо- Маньчжурская	1		Goldfarb et al., 2019
Сишанличанг (Sishanlinchang)	44.93 сш 130.93 вд	POR	Сихотэ-Алиньская	1	111	Goldfarb et al., 2019
Майбулак Вост	43.01 сш 75.16 вд	OI	Казахстано- Джунгарская	0.6		Seltmann et al., 2009
Анисимов Ключ	50.63 сш 83.11 вд	VMS	Восточно- Казахстанская	0.6	395	Lobanov et al., 2014