

На правах рукописи



КУЗЬМИНА Оксана Николаевна

**ГЕОЛОГИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ  
ЗОЛОТО-СУЛЬФИДНОГО ОРУДЕНЕНИЯ  
ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА  
(НА ПРИМЕРЕ БАЙБУРИНСКОГО И ЖАЙМИНСКОГО  
РУДНЫХ ПОЛЕЙ)**

Специальности: 25.00.11 – Геология, поиски и разведка  
твердых полезных ископаемых, минерагения  
25.00.04 – Петрология и вулканология

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Новосибирск 2015

Работа выполнена в Восточно-Казахстанском государственном техническом университете им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан) и в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского Отделения Российской академии наук (г. Новосибирск, Российская Федерация).

Научные руководители: доктор геолого-минералогических наук, академик НАН РК, профессор Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск  
Дьячков Борис Александрович

доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБУН Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск  
Владимиров Александр Геннадьевич

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук, член-корреспондент РАН, директор Северо-Восточного комплексного научно-исследовательского института ДВО РАН, г. Магадан  
Горячев Николай Анатольевич

Заслуженный геолог РФ, доктор геолого-минералогических наук, профессор, зав. кафедрой геологии, минералогии и петрографии Сибирского Федерального университета, г. Красноярск  
Сазонов Анатолий Максимович

Ведущая организация: Национальный исследовательский Томский Государственный Университет, г. Томск

Защита состоится «24» апреля 2015 г. в 12.00 на заседании диссертационного совета Д 003.067.03 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук, в конференц-зале по адресу: г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3

Отзыв на автореферат в 2х экземплярах, заверенных гербовой печатью организации, просим направить по адресу: 630090, г. Новосибирск, пр-т Ак. Коптюга, 3, Туркиной О.М., факс: +7(383) 333-21-30, e-mail: turkina@igm.nsc.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБУН Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (адрес сайта <http://www.igm.nsc.ru>, раздел «Образование»)

Автореферат разослан «16» марта 2015 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор геол.-мин. наук

О.М. Туркина

**Актуальность исследований.** Золоторудные месторождения в углеродистых вулканогенно-карбонатно-терригенных формациях составляют значительную долю мировых запасов золота. Крупные объекты известны в США, Австралии, России, Китае, Казахстане и других регионах мира. Общим для всех месторождений является вкрапленно-прожилковый характер оруденения во флишеидных и турбидитовых толщах разного возраста, присутствие золотоносных минералов – арсенопирита и пирита, структурно-тектонический контроль оруденения, наличие даек средне-основного состава, проявление посторогенных гранит-гранодиоритовых интрузий. К этому типу минерализации наиболее близка важная промышленная группа золотых месторождений карлин-типа [Padtke et al., 1985; Emsbo et al., 1999; 2003; Pchik, Barton, 1997; Нарсеев, 2002; Дьячков и др., 2011; Large et al., 2011; Цой и др., 2011; Ковалев и др., 2012; Наумов и др., 2014]. Геодинамические обстановки отвечают пассивным континентальным окраинам, зонам скольжения литосферных плит, внутриконтинентальным рифтам и крупным изверженным провинциям (LIPs) [Сазонов, 1998; Ханчук, Иванов, 1999; Борисенко и др., 2006; Ермолов, 2013; Goldfarb et al., Горячев и др., 2014].

На территории Восточного Казахстана особое место занимает Западно-Калбинский золотоносный пояс (ЗКЗП), расположенный в Зайсанской сутурной зоне герцинид, а именно, в зоне коллизионного сочленения Казахстанского и Сибирского палеоконтинентов [Добрецов и др., 1981; Дьячков и др., 2009; Буслов и др., 2001; Владимиров и др., 2003; Ермолов, 1983; 2013; Рафаилович, 2014]. С северо-запада на юго-восток этот пояс протянулся на расстояние около 800 км при ширине 30-100 км и содержит сотни месторождений и проявлений золота в черносланцевых толщах каменноугольного возраста. Этот регион является одним из перспективных на выявление новых месторождений золота, которые могут составить основу устойчивого развития золотодобычи на длительную перспективу в Республике Казахстан [Дьячков и др., 2009, 2013; Кузьмина и др., 2013; Рафаилович, 2014]. Главные генетические типы: 1) жильные золото-кварцевые месторождения, 2) месторождения минерализованных зон с вкрапленно-прожилковым золото-сульфидным, в том числе джаспероидным оруденением. Первый тип характеризуется гравитационно-извлекаемым золотом, образуют россыпи и в значительной мере уже отработан. Второй тип представляет наибольший промышленный интерес, поскольку формируют крупномасштабные объекты с запасами золота в сотни тонн. Месторождения этого типа не формируют россыпей, поскольку содержат тонкое трудно-извлекаемое, так называемое невидимое золото. В этой связи повышается интерес к поиску и оценке золото-сульфидного оруденения в карбонатных и черносланцевых толщах

Восточного Казахстана, что требует привлечения новых аналитических методов в их изучении и генетической интерпретации.

**Цель исследования** заключается в изучении закономерностей формирования, построении генетической модели, а также разработке критериев поиска и оценки перспектив золото-сульфидного оруденения в геологических структурах Зайсанской сутурной зоны (Восточный Казахстан).

**Задачи исследования.**

1. Изучить геологическую позицию золото-сульфидного прожилково-вкрапленного оруденения в пределах Байбуринского и Жайминского рудных полей. 2. Выявить рудные участки, морфологию рудных тел и структурно-текстурные особенности руд. 3. Провести петрографическое изучение рудовмещающих вулканогенно-карбонатно-терригенных толщ и интрузивных образований (в пределах рудных полей). 4. Исследовать минеральный и химический состав рудовмещающих пород и золото-сульфидных руд, провести комплексный сравнительный анализ с Суздальским месторождением. 5. Установить возрастные рубежи (стадийность) формирования золото-сульфидного оруденения в пределах Зайсанской сутурной зоны, выявить коррелятивные связи с магматизмом и геодинамическими обстановками формирования. 6. Разработать критерии поиска и оценки перспектив золото-сульфидного, в том числе - джаспероидного оруденения в пределах Зайсанской сутурной зоны Восточного Казахстана.

**Фактический материал, методы исследования и личный вклад автора.** Основой диссертационной работы являются личные материалы автора, собранные в ходе полевых работ в 2000 г., 2006-2007 г., 2011-2014 гг. и в результате выполнения научно-исследовательских работ по Программе фундаментальных исследований МОН РК (ПФИ, направление 5.1) по темам: «Оценка перспектив нетрадиционного типа золотого оруденения в карбонатных формациях Восточного Казахстана» (2006-2008 г.г.); «Научное обоснование региональных и локальных критериев прогноза и поиска новых золоторудных месторождений апокарбонатного типа в рудоносных структурах Западной Калбы и Чарской зоны» (2009-2011 г.г.); «Закономерности формирования, металлогения, прогнозно-поисковые критерии оценки перспектив Зайсанской сутурной зоны (Восточный Казахстан)» (2012-2014 гг.); «Новая технология прогнозирования и поиска скрытых золоторудных и редкометалльных месторождений на основе рудно-петрологических и минералогическо-геохимических критериев (Восточный Казахстан)» (2012-2014 гг.); Международный партнерский проект СО РАН - УрО РАН - НАН РК «Корреляция алтаид и уралид: магматизм, метаморфизм, стратиграфия, геохронология, геодинамика и металлогеническое прогнозирование» (2012-2014 гг.).

Полевые экспедиционные работы проводились на рудных участках с выполнением геологических маршрутов, разрезов и отбором крупнообъемных проб (23), образцов горных пород и руд (420) для выполнения различных видов лабораторных исследований. Микроскопические характеристики даны для 55 шлифов, 127 аншлифов, в том числе 75 препаратов – на сканирующем электронном микроскопе. Выполнены силикатные (45), спектральные (650), ISP-MS определения РЭ и РЗЭ (32), пробирные (24) и минералогические (48) анализы. Проведено обобщение материалов геолого-съёмочных и прогнозно-металлогенических работ прошлых лет. Изучение рудного вещества проводилось в лаборатории «ИРГЕТАС» ВКГТУ им. Д.Серикбаева (сканирующая электронная микроскопия ISM-6390, масс-спектрометрия ISP-MS, рентгено-структурный анализ) и в Аналитическом центре ИГиМ СО РАН (микрорентгеноспектральный анализ на микрозонде MS-46 «Самеса», сканирующая электронная микроскопия на электронном микроскопе Jeol-100С с энергодисперсионной приставкой Kevex-Ray, рентгенофлуоресцентный анализ, атомно-абсорбционный анализ, рентгенофлуоресцентный анализ с синхротонным излучением). Проведено Ag-Ag изотопное датирование серицита из сульфидных руд Жайминского месторождения. Выполнено изучение морфологии, размерности и пробности золотинок, выделенных из бурых железняков зоны окисления Байбуринского и Жайминского рудных полей. Технологическое исследование лабораторной пробы (рудопоявление Байбура) выполнено в лаборатории гравитации ВНИИЦВЕТмета (г. Усть-Каменогорск, Казахстан). Обработка графических и геохимических данных проводилась с использованием программ Excel, CorelDRAW, MapInfo.

**Научная новизна.** Для Восточного Казахстана впервые диагностированы и выделены как новый апокарбонатный формационный тип золотоносные джаспероиды. На примере *Байбуринского рудного поля* изучены структурно-геологические особенности рудных тел золотоносных джаспероидов, их петрохимический состав, а также содержания золота, серебра, редких и рассеянных элементов. Проведено детально изучение морфотипов и состава свободного золота, для которого установлена высокая пробность 935 ‰ и повышенное содержание ртути. На основе геолого-геофизических данных и петролого-геохимических исследований установлено, что золотоносные джаспероиды пространственно связаны с карбонатными толщами, входящими в состав аркалыкской свиты (С<sub>1v2-3</sub>) островодужного генезиса, и показана их приуроченность к надинтрузивным зонам гранодиорит-плагиогранитных массивов кунушского комплекса (310-300 млн лет). Для *Жайминского рудного поля* впервые дана минералого-геохимическая характеристика золото-сульфидных руд прожилково-вкрапленного типа (пробность 940-920 ‰), подтверждено формирование руд за счет гидротермально-метасоматического преобразования углеродистых

вулканогенно-карбонатно-терригенных толщ аркалыкской свиты ( $C_{1v_{2-3}}$ ) и выявлены четкие коррелятивные связи с главным этапом рудоотложения на Суздальском месторождении. Впервые установлен возраст золотосульфидных руд Жайминского месторождения ( $279 \pm 3.3 \div 272.2 \pm 2.9$  млн лет,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , серицит).

**Практическое значение и внедрение.** На основании проведенных исследований, анализа и обобщения материалов по золоторудной металлогении Зайсанской сутурной зоны разработаны прогнозно-поисковые критерии и предпосылки для выявления новых месторождений золоносных джаспероидов и золото-сульфидных рудопроявлений – аналогов Суздальского месторождения карлин-типа. По грантам Министерства образования и науки Республики Казахстан проведена прогнозная оценка перспектив на этот тип оруденения, с участием автора подготовлены прогнозно-металлогенические карты Зайсанской сутурной зоны масштаба 1:500 000, Семипалатинского Прииртышья и Западной Калбы масштаба 1:200 000, центральной части Чарской зоны масштаба 1:50 000 и отдельных карт-врезок по перспективным участкам [Дьячков и др., 2009; 2014]. По заданию Национального агентства по технологическому развитию проводилась оценка прогнозных ресурсов по категориям  $P_2$  и  $P_3$  на ряде золотоносных площадей Восточного Казахстана.

**Степень достоверности и обоснованность полученных результатов,** обобщенных в виде защищаемых положений, определяется большим объемом фактического материала, использованием современных высокоточных аналитических методов исследования, а также апробацией результатов исследований на казахстанских, российских и зарубежных конференциях.

**Апробация результатов.** Основные положения диссертации опубликованы в монографии, 7 статьях и 15 тезисах, апробированы на нескольких международных и республиканских научных конференциях, в том числе на I-ой Международной научно-технической конференции «Проблемы комплексного освоения рудных и нерудных месторождений Восточно-Казахстанского региона», Усть-Каменогорск, 2001; геологической конференции «Проблемы геологии и разведки месторождений полезных ископаемых», посвященной 75-летию со дня основания кафедры разведочного дела и специальности «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых», Томск, 2005; Международном геологическом конгрессе МГК-33, Осло (Норвегия), 2008; Всероссийской конференции посвященной 100-летию Н.В. Петровской «Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождения, задачи прикладных исследований», Москва, 2010; III научной молодежной школе «Новое в познании процессов рудообразования» ИГЕМ РАН, 2013; Российско-Казахстанских научных совещаниях «Корреляция алтаид и уралид: магматизм, метаморфизм, стратиграфия, геохронология,

геодинамика и металлогеническое прогнозирование» Новосибирск, Усть-Каменогорск, 2012-2014; Второй всероссийской научной конференции «Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит», Владивосток, 2014; всероссийской научной конференции с международным участием «Благородные, редкие и радиоактивные элементы в рудообразующих системах» Новосибирск 2014.

### **Соответствие диссертации паспортам научных специальностей.**

В работе приведены результаты выполненных с участием автора геолого-съемочных и поисково-разведочных работ на золотоносных участках Байбуринского и Жайминского рудных полей, дана петролого-геохимическая характеристика рудовмещающих вулканогенно-карбонатно-терригенных пород, магматических и рудоконтролирующих комплексов, минералого-геохимическая характеристика руд, проведено Ar-Ar изотопное датирование, изучены морфотипы и состав свободного золота. На основе проведенных авторских исследований с привлечением опубликованных фондовых материалов проведено металлогеническое районирование Зайсанской сутурной зоны и формационный анализ главных типов золотоносных рудопроявлений и месторождений. Построена петролого-генетическая модель формирования золотоносных джаспероидов (на примере Байбуринского рудного поля) и золото-сульфидных руд карлин-типа (на примере Жайминского рудного поля). Перечисленные пункты исследований входят в паспорта двух специальностей: 25.00.11 – Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения; 25.00.04 – Петрология и вулканология.

**Структура и объем работы.** Работа состоит из введения, пяти глав и заключения, списка литературы. Общий объем работы 240 машинописных страницы, в том числе 95 рисунков, 31 таблица. Список литературы состоит из 270 наименований.

**Благодарности.** Автор выражает искреннюю благодарность своим научным руководителям: академику НАН РК, д.г.-м.н., профессору Б.А. Дьячкову и д.г.-м.н., профессору Владимирову А.Г. за методическую помощь, ценные замечания и консультации на всех этапах подготовки диссертационной работы. Автор благодарен за оказанную помощь проректору ВКГТУ к.г.-м.н. О.Д. Гавриленко, декану Горно-металлургического факультета ВКГТУ д.т.н. А.К. Адрышеву, директору ТОО «Алтайский геолого-экологический институт» академику АМР РК, д.г.-м.н. Е.М. Сапаргалиеву, а также д.г.-м.н. М.С. Рафаиловичу, д.г.-м.н. А.С. Борисенко, д.г.-м.н. К.Р. Ковалеву, д.г.-м.н. Ю.А. Калинину, к.г.-м.н. М.А. Мизерной, к.г.-м.н. Е.А. Наумову, к.г.-м.н. Н.П. Майоровой, к.г.-м.н. В.Н. Майорову, к.г.-м.н. З.И. Черненко, к.г.-м.н. О.Н. Злобиной, к.г.-м.н. Н.И. Волковой, к.г.-м.н. Н.Н. Крук, к.г.-м.н. С.В. Хромых, к.г.-м.н. И.Ю. Анниковой, к.г.-м.н. М.В. Кириллову, аспирантам П.Д. Котлеру, Е.И. Михееву.

Особую благодарность необходимо высказать специалистам, выполнившим аналитические исследования: В.Н. Королюку и Л.Н. Пospelовой, А.Т. Титову, Н.Г. Кармановой и Н.М. Глухой, В.Г. Цимбалист и В.Н. Ильиной, Ю.П. Колмогорову, В.Н. Реутскому и М.Н. Колбасовой, А.В. Травину, С.Ф. Петрову, А.Б. Садыбекову, С.Н. Полежаеву, А.В. Русаковой. Автор выражает свою признательность за помощь в технической подготовке диссертации Т.В. Мирясовой, А.В. Владимировой. И отдельная благодарность семье, без чьей поддержки подготовка работы была бы невозможна.

### **Обоснование защищаемых положений.**

Зайсанская сутурная зона (ЗСЗ) является ключевой в геологических структурах алтайских герцинид. Эволюция алтайских герцинид сейчас интерпретируется с позиций сближения Казахстанской и Сибирской плит при их проворачивании относительно друг друга по часовой стрелке и одновременном сокращении Чарского палеоокеанического бассейна, который в этот период взаимодействовал с Казахстанским и Сибирским континентами в виде двух субдукционных зон (Жарма-Саурская и Рудно-Алтайская островные дуги). К середине карбона океанический бассейн полностью закрылся и дальнейшая эволюция ЗСЗ протекала на фоне генеральных левосдвиговых деформаций. Тектоническая схема ЗСЗ и сопредельных территорий приведена в приложении 1. На эту же схему вынесены эталонотипные месторождения и рудопроявления золота, входящие в состав ЗКЗП [Большой Алтай, 1998; Нарсеев и др., 2001; Жаутиков, Фомичев, 2003; Дьячков и др., 2008; Кузьмина и др., 2013а,б; Рафаилович, 2014]. Литостратиграфические колонки, отражающие геологическое строение ЗСЗ, приведены в приложении 2. Необходимо подчеркнуть, что все магматические комплексы, включая тесно связанные с ними в пространстве и времени золотоносные объекты ЗКЗП, имеют сквозное распространение и по отношению к общей линейности ЗСЗ субкордантны [Дьячков и др., 2011; Рафаилович и др., 2014]. Комплексная характеристика геологии, минералогии, состава рудовмещающих осадочно-вулканогенных толщ, рудоконтролирующих интрузивных образований и развернутое обоснование геолого-генетических условий формирования золото-сульфидных руд на Байбуринском и Жайминском рудных полях обосновываются в первом и втором защищаемых положениях.

***Первое защищаемое положение.* Золото-сульфидная джаспероидная минерализация формирует главный объем Байбуринского рудного поля, генетически связана с плагиогранит-гранодиоритовыми интрузиями и дайками (кунушский комплекс, С<sub>3</sub>) и гидротермально-метасоматическими преобразованиями вмещающих пород повышенной карбонатности (зоны скарнирования, золото-джаспероидного окремнения и прожилкового окварцевания). По вещественному составу руд и золота (Au 0,1-33,5**

**г/т; Ag 0,05-2,5 г/т) эта минерализация отвечает самостоятельной формации золотоносных джаспероидов.**

Рудное поле Байбура входит в состав Западно-Калбинского золоторудного металлогенического пояса. В тектоническом плане главным структурным элементом района является Сенташ-Курчумский вал, примыкающий к Теректинскому разлому [Нахтигаль, 1984]. Этот вал подчеркивается скрытыми (на глубине 1-2 км) интрузиями среднего-кислого состава (приложение 3). На поверхности над ними располагаются рудные узлы Сенташ, Джумба, Кулуджун. Далее к юго-востоку выделяются скрытые диорит-гранодиоритовые массивы, образующие плутон Байбура. В краевой части последнего расположено рудопоявление Байбура с золоторудной минерализацией. Обращает на себя внимание отчетливая пространственная приуроченность к надинтрузивным зонам гранитоидных массивов золото-сульфидных и золото-кварцевожильных рудопоявлений. С последними связаны многочисленные россыпи в верховьях рек Малая Буконь и Большая Буконь.

Интрузивные породы практически не обнажены, за исключением единичных выходов в надинтрузивной кровле Кулунджунского массива. По внешнему облику, петрографическому и петрохимическому составу они отвечают плагиогранитоидам кунушского комплекса, С<sub>3</sub>.

Рудовмещающими являются карбонатно-терригенные отложения аркалыкской свиты, С<sub>1V2-3</sub> (песчаники, алевролиты, кремнистые сланцы, пелитоморфные и криноидные известняки), которые перекрываются породами аганактинской свиты, С<sub>1S</sub> (массивные полимиктовые и вулканомиктовые песчаники с редкими прослоями известняков). В пределах рассматриваемого района карбонатно-терригенные породы этих свит совмещены по Байбурунскому надвигу (приложение 4), который в существенной мере контролировал рудопоявления золотоносных джаспероидов. Зона надвига фиксируется брекчированными кремнистыми сланцами, в которых «плавают» отторженцы рифовых известняков и отдельные тела джаспероидов и кварцитоподобных метасоматитов.

Структурные исследования показали, что золотоносные джаспероиды сформировались в тектонических зонах расланцевания по карбонатно-терригенным породам в результате процессов кремнисто-железистого и кремнисто-марганцевого метасоматоза. Ведущим фактором, контролирующим их развитие, вероятнее всего, является приуроченность к зонам высокой тектонической активности и резкого изменения режима кислотности, определившего подвижность элементов. В зоне окисления эти породы фиксируются по выходам бурых железняков. Геологические наблюдения и геохимические исследования однозначно показывают, что исходной матрицей для джаспероидов служили в той или иной степени мраморизованные известняки.

Золотоносные джаспероиды по данным рентгено-флюоресцентного анализа имеют простой петрохимический состав с резким преобладанием кремнезема и окислов железа. Среди петрогенных компонентов в известняках кальций резко преобладает над магнием, содержание щелочей, алюминия и фосфора невысокое. При метасоматическом изменении известняков увеличивается содержание Al, Na и K, связанное с новообразованием алюмосиликатных минералов. Джаспероиды, по сравнению с неизмененными известняками, были сформированы за счет существенного привноса рудных элементов халькофильной, сидерофильной и редкометалльной групп, отмечается вынос в основном Ca и в меньшей степени Mg и Sr. По результатам атомно-абсорбционного анализа в этих рудах установлены весовые содержания Au (от 0,1 до 33,5 г/т) и Ag (от 0,06 до 2,66 г/т) (приложение 5).

На основе изучения вещественного состава рудного вещества на макро- и микроуровне с использованием электронной микроскопии и микрозонда установлены морфометрические характеристики самородного золота. Размеры золотин составляют: от первых единиц мкм до 0,1 мм, редко больше. Зерна золота имеют преимущественно интерстиционные жилковидно-пластинчатые и идиоморфные кристаллические формы. На массивных первичных зернах установлены наросты гипергенного, более чистого по составу золота. В гидротермально-измененных карбонатных породах (джаспероидах) выявлены микровключения тонкого самородного золота, арсенопирита и пирита (приложения 6,7).

Изучение состава самородного золота производилось в полированных шашках на микрозонде MS-46 «Самеса». Состав золота анализировался на 4 элемента: Au, Ag, Cu и Hg. Пределы обнаружения, масс. %: Cu – 0,08; Au – 0,082; Hg – 0,138; Ag – 0,075. Полученные значения пробности проанализированных золотин, при средних значениях 934-935 ‰, указывают на однотипность самородного золота в выборках, единство и монохронность его источника. Сравнительно низкие для рассматриваемого типа оруденения содержания ртути от 0,2 до 0,7 мас. %, вероятнее всего, обусловлены карбонатной средой. Содержания меди не превышают предела обнаружения. Вышеприведенные минералого-геохимические особенности самородного золота характерны для золотоносных месторождений карлин-типа [Radtke, 1985; Kovalev et al., 2009; Kuzmina et al., 2013].

Новые геологические, минералогические и геохимические данные позволяют утверждать, что ведущим фактором, определяющим развитие золотоносных метасоматитов, является приуроченность их к зонам высокой тектонической активности и резкое изменение режима кислотности-щелочности растворов в карбонатной среде, обусловившее подвижность элементов (Si, Ca, Na, K, Au, As и др.). При этом «базовой золотоматеринской» является вулканогенно-терригенная формация D<sub>3</sub>-C<sub>1v</sub> (по А.М. Мыснику), а рудогенерирующей – плагиогранит-гранодиоритовая формация C<sub>3</sub>. Метасоматоз осуществлялся под влиянием

газовых и газовой-жидких эксгаляций углекислотно-калиевого и сероуглекислотно-натриевого состава. Химический состав газовой-жидких включений из кварца и бурых железняков зоны окисления соответствует калиево-натриево-гидрокарбонатному (с F и Cl) типу растворов. По величине pH это были умеренно кислые растворы. Осаждение золота происходило, вероятно, на углеродисто-железооксидно-кварцевом геохимическом барьере, широко распространенном на золоторудных месторождениях карлинского типа, представленных золотоносными железистыми кварцитами и джаспероидами [Кузьмина и др., 2014].

Таким образом, рудообразование объектов золотоджаспероидного типа, обусловлено формированием минерализованных зон золотого оруденения в тектонически нарушенных карбонатно-терригенных породах аркалыкской свиты (C<sub>1V2-3</sub>) в результате процессов кремнисто-железистого и кремнисто-марганцевого метасоматоза. Карбонатные отложения, рассматриваются как благоприятная рудовмещающая среда (структурно-литологические и геохимические ловушки) для осаждения и концентрации золота из поступающих ювенильных рудоносных растворов, генетически связанных с магматическими образованиями кунушского комплекса (C<sub>3</sub>).

**Второе защищаемое положение. Золото-сульфидная вкраплено-прожилковая минерализация формирует главный объем Жайминского рудного поля и генетически связана с раннепермским дайковым комплексом (диабазами и кварцевыми гранит-порфирами). Рудовмещающими являются вулканогенно-терригенные толщи повышенной углеродистости с подчиненным значением карбонатных пород. Возраст сульфидно-вкрапленной руды  $279 \pm 3.3 \div 272.2 \pm 2.9$  млн лет ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , серицит). По вещественному составу руд и золота (Au 0,1-8 г/т; Ag 0,08-0,36 г/т) эта минерализация отвечает главной стадии рудоотложения на Суздальском полигенном месторождении (Au 0,72-44 г/т; Ag до 0,42 г/т).**

Жайминское рудное поле располагается в северо-западной части Западно-Калбинского золоторудного пояса. Фрагмент Жайминского рудного поля, где сосредоточены промышленно-значимые рудопроявления (Жайма-1, Жайма-2, Игл) показан в приложении 8. В геологическом строении принимают участие отложения карабайской, аркалыкской, аганактинской и буконьской свит, а также отложения кайнозойской группы. Характерной особенностью изученной площади является отсутствие в ее пределах крупных интрузивных массивов, выходящих на современный эрозионный срез. Имеющиеся интрузивные образования представлены дайками диабазовых порфиритов и кварцевых гранит-порфиров (P<sub>1</sub>?), между которыми прямых возрастных взаимоотношений не установлено (см. прил. 8).

Минерализованные зоны представляют собой участки тектонически нарушенных и гидротермально измененных терригенно-осадочных и вулканогенно-осадочных пород повышенной углеродистости (аркалыкская свита,  $C_{1V2-3}$ ). Среди вулканогенных пород на рудопроявлении Жайма-2 распространены лавовые потоки базальтовых, андезитобазальтовых и андезитовых порфиров мощностью до десятка метров. По петрохимическому составу основные разновидности вулканогенных пород отвечают известково-щелочной серии островодужного типа.

На рудопроявлении представлено два минеральных типа золотого оруденения: золотоносная кора выветривания и первичные золотосодержащие сульфидные руды [Ковалев и др., 2015, в печати].

*Золотоносная кора выветривания* имеет площадной и линейный характер, представлена каолинит-гидрослюдистым типом и сложена смесью обломочного и сыпучего материала, мощность ее варьирует от 0 до 50-60 м в зависимости от состава и строения исходных пород и достигает максимума до 100 м в тектонических зонах. Распределение золота в коре гнездово-неравномерное и составляет 0,1-5,6 г/т (среднее 1,5 г/т). В окисленных рудах присутствуют следующие основные элементы: As - 3600; Sb - 400; Cu - 110; Zn - 150; Ni - 10; Co - 30 (г/т). Золото в коре выветривания - свободное, мелкое, ярко-желтой окраски. Основная масса его относится к классу - 0,63 мм. Размеры зерен золота варьируют от первых микрон до 150 мкм. Форма золотин комковатая. На сканирующем электронном микроскопе выявляются разнообразное строение золотин - от единичных кристаллов до их сложных сростаний: призматические и октаэдрические кристаллы, их сростки, плоские дендритовидные листоватые агрегаты (приложение 9).

*Первичные золото-сульфидные руды* имеют вкрапленные, вкрапленно-полосчатые и прожилково-вкрапленные текстуры. Встречаются массивные разновидности руд, сложенные преимущественно тонкозернистым пиритом. Чаще всего последние образуются по базальтоидным породам, которые обогащены железистыми минералами - магнетитом и титаномагнетитом. При изучении вмещающих и минерализованных пород рудопроявления Жайма-2 на растровом электронном микроскопе выявлен широкий спектр элементов (Fe, As, Sb, Ag, РЭЗ). Наиболее распространенными рудными минералами являются мышьяковистый пирит, арсенопирит и антимонит, отмечаются также апатит, шеелит, циркон, монацит и другие (приложение 10).

Характерной особенностью руд Жайминского рудного поля является их простой минеральный состав, представленный исключительно пиритом и (или) арсенопиритом, сформировавшимися в один этап. Основным золотосодержащим минералом руд является арсенопирит. Он представлен пылевидными игольчатыми кристаллами размером в первые

десятки мкм и мельче, иногда отмечаются более крупные кристаллы до 100 мкм. Характерно неравномерное распределение арсенопирита в виде редкой вкрапленности или сгустковых скоплений в пиритизированных и серицитизированных разностях пород. По химическому составу арсенопирит характеризуется значительным преобладанием серы над мышьяком.

По данным атомно-абсорбционного анализа содержание золота в арсенопирите составляет 35 г/т (приложение 11). Рентгеноспектральным анализом выявлено крайне неравномерное распределение золота как в отдельных зернах арсенопирита, так и по площади рудных образцов. Золото обнаружено в половине из 29 проанализированных зерен в количестве первых десятков г/т при максимальном значении 100 г/т. Из элементов-примесей в арсенопирите часто присутствуют (мас. %): сурьма (до 0,1), медь (до 0,1), кобальт (до 0,5) и никель (до 0,6).

Пирит слагает основную массу рудных минералов месторождения. Наиболее характерны кристаллическая форма зерен кубического, реже пентагондодекаэдрического облика или агрегаты сложного строения. Часто пирит обрастает арсенопиритом или содержит субмикроскопические вкрапления этого минерала. Рентгеноспектральным анализом золото в пирите обнаружено не было (с пределом обнаружения 17 г/т). Из элементов-примесей в пирите постоянно присутствуют (мас. %): Sb (до 0,04), Cu (до 0,3), Co (до 0,33) и Ni (до 0,07). На сканирующем электронном микроскопе в пирите иногда диагностируются субмикроскопические выделения золота размером 2-0,5 мкм, содержащее серебро в количестве до 2,2-4,6 г/т. В ряде образцов при минимальных значениях мышьяка содержания золота достигали десятков г/т, что указывает на возможное присутствие этого элемента в рудах не только в тесной ассоциации с сульфидами, но в свободной субмикроскопической форме. В окислительных условиях коры выветривания серебросодержащее золото сульфидов и самородное золото освобождается от примесей и переотлагается с укрупнением зерен, как это было показано на примере Суздальского месторождения [Калинин и др., 2009].

Минерализация здесь обуславливается одноактным эндогенным ювенильным процессом, контролируемым зоной глубинного Кызыловско-Серебрянского разлома. Обогащенность руд и главных рудных минералов никелем, кобальтом, титаном, фосфором, хромом с одной стороны указывает на унаследованную геохимию замещаемых вулканогенных и вулканомиктовых пород основного состава. С другой стороны, как и на многих месторождениях, отмечается пространственная совмещенность золоторудной минерализации с дайковым комплексом средне-основных и кислых пород и геохимическое родство с ними [Дьячков и др., 2013]. Присутствие в рудах Жайминского рудного поля комплекса сульфоарсенидов и сульфосолей никеля, как и на других золото-сульфидных

месторождениях района, а также изотопный состав серы, близкий к метеоритному стандарту, скорее всего, указывает на глубинный ювенильный источник минерализации на месторождении Жайма.

Возрастные характеристики формирования арсенопирит-пиритовых руд продуктивной ассоциации укладываются в интервал значений  $279 \pm 3.3 \div 272.2 \pm 2.9$  млн лет. Они коррелируются с возрастным интервалом ( $273,6 \pm 2,6 \div 287,9 \pm 2,8$  млн лет) формирования ранней продуктивной арсенопирит-пиритовой ассоциации на ряде золото-сульфидных месторождений Западно-Калбинского золотоносного пояса [Наумов и др., 2014; Naumov et al., 2011].

Третье защищаемое положение. **Возрастные рубежи и геодинамические обстановки формирования золото-сульфидного оруденения Зайсанской сутурной зоны включают: первый этап – рудоподготовительный, когда появляется эпигенетическое тонкое золото и золотосодержащие сульфиды в вулканогенно-карбонатно-черносланцевых отложениях островодужного генезиса (аркалыкская свита,  $C_{1V_{2-3}}$ ); второй этап отвечает золотоносным джаспероидам в надинтрузивных зонах гранитоидных тел коллизионного генезиса (310-300 млн лет); третий этап представлен золото-сульфидной минерализацией в черносланцевых толщах, связанной с реактивацией Иртышской сдвиговой зоны и активностью Таримского плюма (285-275 млн лет); четвертый и пятый этапы отражают полистадийное переотложение свободного золота, обусловленное процессами ремобилизации под воздействием субщелочных кремнекислых магм (Семейтауская вулканическая структура, 250 - 240 млн лет).**

По геолого-геофизическим данным земная кора ЗСЗ имеет двухчленное строение, нижнюю часть слагают океанические породы, связанные с каледонской субдукцией, верхнюю часть – терригенно-карбонатно-вулканогенные толщи каменноугольного возраста, отвечающие герцинской субдукции и коллизии [Берзин, Кунгурцев, 1996; Большой Алтай, 1998; Буслов и др., 2003; Владимиров и др., 2005; 2008]. Для алтайских герцинид выделяются следующие этапы тектогенеза.

*Островодужный этап ( $C_1$ ).* Аккреционные процессы герцинского возраста фиксируются в виде островодужного магматизма в Жарма-Саурской зоне (саурская вулканоплутоническая серия,  $C_{1t}$ ) [Ермолов и др., 1977] и карбонатно-терригенно-вулканогенного осадконакопления в Зайсанской сутурной зоне (аркалыкская свита,  $C_{1V_{2-3}}$ ) [Ермолов и др., 1977, 1983; Большой Алтай, 1998]. Петрологическим индикатором *коллизионного этапа* являются малые интрузии и дайки кислого состава (кунушский комплекс  $C_1$ ), представленные практически на всех рудных золотоносных полях (Баладжал,

Кулуджун, Бакырчик, Байбура и др.). Следует обратить особое внимание на тот факт, что плагиогранитоиды кунушского комплекса имеют сквозное распространение, «запечатывая» структуры Зайсанской и Калба-Нарымской зон Восточного Казахстана. Несмотря на принципиально различный состав вмещающих толщ, которые в ЗСЗ имеют островодужный существенно мафитовый профиль (аркалыкская свита,  $C_{1V2-3}$ ), а в Калба-Нарымской зоне отвечают турбидитовому бассейну (черносланцевая формация, такырская свита,  $D_3-C_1$ ), с дайковыми поясами и гипабиссальными массивами плагиогранитов кунушского комплекса повсеместно ассоциируют рудопроявления и месторождения золото-сульфидного типов, включая золотоносные джаспероиды [Дьячков и др., 2011, 2013; Кузьмина и др., 2013]. Возраст плагиогранитоидов определен U-Pb изотопным датированием в интервале  $307 \pm 9 \div 299 \pm 2$  млн лет [Куйбида и др., 2009].

*Постколлиззионные* магматические комплексы в настоящее время интерпретируются с позиции воздействия Таримского плюма ( $P_1$ ) на континентальную литосферу [Борисенко и др., 2006; Цзян и др. 2006; Владимиров и др., 2008; Добрецов, 2008; Мао et al., 2008; Chen et al., 2010; Хромых и др., 2011, 2013; Кузьмин, Ярмолюк, 2014]. В качестве достоверного петрологического индикатора плюмовой активности, наряду с траппами, предлагаются Cu-Ni-ЭПГ-расслоенные габбро-пикритовые интрузивы [Поляков и др., 2008; Добрецов, 2008; Хромых и др., 2013; Kuzmin et. al., 2014]. Детальные петролого-геохимические и изотопно-геохронологические исследования последних лет позволяют рассматривать базитовый магматизм ЗСЗ в качестве петрологического индикатора активности Таримского мантийного плюма раннепермского возраста.

Наряду с базитами на территории ЗСЗ в это же время фиксируются монцонит-граносиенит-гранитные (трахидацит-риолитовые комплексы), которые объединены в салдырминскую и тастаускую вулканоплутонические серии [Ермолов и др., 1977, 1983; Владимиров и др., 1979]. Характерной чертой этих вулканоплутонических серий является их принадлежность к глубокоэродированным срезам палеовулканических структур центрального типа. Для Сиректасской вулканической структуры достоверно определен раннепермский возраст гранитов (U-Pb метод,  $289 \pm 7.1$  млн лет).

Необходимо подчеркнуть, что на этот же возрастной интервал ( $285 \pm 5$  млн лет) приходится реактивация Иртышской сдвиговой зоны, включая оперяющие разломы [Травин и др., 2001]. Интерпретация раннепермской магматической активности и сдвигово-раздвиговых деформаций привела, в конечном итоге, к формированию Западно-Калбинского золотоносного пояса, включая крупные и уникальные месторождения карлин-типа (Бакырчик, Суздаль) [Борисенко и др., 2006; Ковалев и др., 2012; Pirajno et. al., 2009].

*Субплатформенный этап тектогенеза* ( $T_1$ ), представлен Семейтауской вулканической структурой [Ермолов и др., 1983]. Учитывая тектоническую позицию этой вулканической постройки, субщелочной и одновременно контрастный (бимодальный) состав магматической серии, а также субсинхронное формирование с Сибирскими траппами и однотипными магматическими ассоциациями в юго-западном обрамлении Сибирской платформы, можно предполагать взаимосвязь Семейтауской структуры с Сибирским суперплюмом [Lyons et al., 2002; Добрецов и др., 2005; Добрецов, 2008; Ермолов, 2013].

В генерализованном виде эволюционная направленность перераспределения и концентрирования золота в пределах Зайсанской сутурной зоны Восточного Казахстана показана в приложении 12. Анализ всех полученных геологических, геохимических и минералогических данных, включая Суздальское месторождение [Ковалев и др., 2012], позволяет рассматривать золото-сульфидное оруденение как многостадийное и полигенное, при этом байбуринский формационный тип (джаспероиды) отвечает ранним стадиям рудообразующего процесса, создавая исходные предпосылки для промышленных месторождений, которые представлены на месторождениях Суздаль, Жайма и др. золото-сульфидной прожилково-вкрапленной минерализацией раннепермского возраста (приложение 13).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа основана на комплексном изучении золото-сульфидных рудопроявлений и месторождений (геологическое строение и минералого-геохимическое характеристика, петролого-геохронологические исследования рудоконтролирующих магматических комплексов), развитых в пределах Зайсанской сутурной зоны Восточного Казахстана. На примере Байбуринского и Жайминского рудных полей получены новые данные о возрасте и составе рудовмещающих толщ, рудоконтролирующих дайковых комплексов и интрузивных тел, золото-сульфидных руд и рудных минералов (арсенопирит, пирит, свободное золото). Установлено ювенильное происхождение золото-сульфидных руд, что подтверждается изотопным составом серы в арсенопирите (0.2 ‰), а также тесной пространственно-временной связью с магматизмом. Сделан вывод, что тектономагматический контроль золото-сульфидного оруденения имеет полистадийный характер: выделено три главных возрастных рубежа, связанных с коллизионными процессами (310-300 млн лет), активностью Таримского плюма и реактивацией Иртышской сдвиговой зоны (285-275 млн лет), отдаленным влиянием Сибирского суперплюма, Семейтауская вулканическая постройка (250 млн лет).

Для Восточного Казахстана - впервые диагностированы и выделены золотоносные джаспероиды как новый апокарбонатный формационный тип. На примере Байбуринского

рудного поля изучены структурно-геологические особенности рудных тел золотоносных джаспероидов, их петрогеохимический состав, а также содержания золота и серебра. Проведено детальное изучение морфотипов и состава свободного золота, для которого установлена высокая пробность 935 ‰ и повышенное содержание ртути.

Впервые для данного региона разработана гидротермально-метасоматическая модель золоторудных объектов джаспероидного типа, сделан вывод, что карбонатные отложения являются благоприятной рудовмещающей средой (структурно-литологические и геохимические ловушки) для осаждения и концентрации золота из поступающих ювенильных (магматогенных) рудоносных растворов.

Разработаны основные критерии и предпосылки для прогнозирования и поиска нетрадиционного (апокарбонатного) типа золотого оруденения (геотектонические, структурные, геофизические, роль вмещающей среды, геолого-генетическая модель, геохимические данные, специфика вещественного состава руд и их технологические свойства). На этой основе проведена прогнозная оценка перспектив и подготовлены с участием автора разномасштабные карты Зайсанской сутурной зоны (1:500 000 – 1:200 000) и карты-врезки для ряда золотоносных площадей (1:25 000 – 1:5 000).

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Монографии

1. Дьячков Б.А., Черненко З.И., Майорова Н.П., Мизерная М.А., **Кузьмина О.Н.** Геологические условия формирования и размещения золоторудных месторождений апокарбонатного типа Восточного Казахстана. Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2011. 136 с. - 8 п.л. (в т.ч. автора 1,6 п.л.).

### Статьи в рецензируемых журналах РФ и РК

2. **Кузьмина О.Н.** Золото-ртутная минерализация Чарско-Горностаевского ультрабазитового пояса // Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева, 2003 г., № 1. – С. 6-13. - 0,47 п.л.

3. Дьячков Б.А., Мочалкина Л.Н., **Кузьмина О.Н.**, Бочкова О.И., Кравченко М.М. Типы месторождений кор выветривания Восточного Казахстана // Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева. № 4. 2005. – С. 6-12. - 0,41 п.л. (в т.ч. автора 0,08 п.л.).

4. Дьячков Б.А., Черненко З.И., **Кузьмина О.Н.** Палеогеодинамические условия формирования и особенности металлогении Зайсанской сутурной зоны // Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева, 2007, №2. С. 10-16. - 0,41 п.л. (в т.ч. автора 0,14 п.л.).

5. Дьячков Б.А., Майорова Н.П., Черненко З.И., **Кузьмина О.Н.** К проблеме поиска и оценки нового нетрадиционного типа золотого оруденения в карбонатных формациях

Восточного Казахстана // Руды и металлы, 2009, №3. С. 11-21. - 0,65 п.л. (в т.ч. автора 0,16 п.л.).

6. Дьячков Б.А., Черненко З.И., Майорова Н.П., **Кузьмина О.Н.**, Рахимбаева Б.Б. К проблеме золотоносности Зайсанской сутурной зоны Восточного Казахстана /Вестник ВКГТУ, №2. 2010. С. 14-19. - 0,35 п.л. (в т.ч. автора 0,07 п.л.).

7. **Кузьмина О.Н.**, Дьячков Б.А., Владимиров А.Г. Основные критерии и предпосылки для поиска золоторудных месторождений джаспероидного типа (Восточный Казахстан) //Литосфера, 2013, №6.С. 54-64. - 0,65 п.л. (в т.ч. автора 0,22 п.л.).

8. **Кузьмина О.Н.**, Дьячков Б.А., Владимиров А.Г. Кириллов М.В., Редин Ю.О. Геология и минералогия золотоносных джаспероидов Восточного Казахстана (на примере рудного поля Байбура) //Геология и геофизика. 2013. т.54. № 12. С. 1889-1904. - 0,82 п.л. (в т.ч. автора 0,16 п.л.).

#### Тезисы на конференциях

9. **Усыпенко О.Н. (Кузьмина О.Н.)**, Дьячков Б.А., Борцов В.Д. Новый перспективный тип золотого оруденения в Западно-Калбинском поясе // Материалы I Межд. научно-техн. конф. «Проблемы комплексного освоения рудных и нерудных месторождений Восточно-Казахстанского региона». – Усть-Каменогорск, 2001. – С. 148-150.

10. Дьячков Б.А., **Усыпенко О.Н. (Кузьмина О.Н.)** Золотоносность метасоматически измененных известняков Западной Калбы. // Международная научно-техническая конференция «Индустриально-инновационная политика – новый этап развития Казахстана. – Ч.I. ВКГТУ – Усть-Каменогорск, 2003. – С. 255-257.

11. Дьячков Б.А., Майорова Н.П., Мочалкина Л.Н., Никитина Т.М., **Кузьмина О.Н.** Рудоносность магматических формаций различных геотектонических обстановок Большого Алтая // Тезисы докладов Всероссийского совещания, посвященного 100-летию академика Ю.А. Кузнецова «Современные проблемы формационного анализа, петрология и рудоносность магматических образований». – Новосибирск, 2003, С. 119-122.

12. **Кузьмина О.Н.** Золотоносность Сенташ-Байбуринской рудоносной зоны Западной Калбы // Труды Респ. научн. конф. «Молодые ученые – будущее науки». – Алматы: КазНТУ, 2004. – С. 518-521.

13. Дьячков Б.А., Мочалкина Л.Н., **Кузьмина О.Н.** Рудные формации и минералогия Зайсанской сутурной зоны // Материалы геологической конференции «Проблемы геологии и разведки месторождений полезных ископаемых», посвященной 75-летию со дня основания кафедры разведочного дела и специальности «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых». Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – С. 44-45.

14. Дьячков Б.А., Майорова Н.П., Черненко З.И., **Кузьмина О.Н.** Основные закономерности формирования и размещения золоторудных месторождений, ассоциирующих с карбонатно-терригенными формациями Восточного Казахстана // Межд. геологический конгресс – МГК-33 (Норвегия, 2008) / Науки о Земле в Казахстане. – Алматы: «КазГЕО», 2008. С. 159-167.

15. Дьячков Б.А., Майорова Н.П., **Кузьмина О.Н.** Металлогения золота Восточного Казахстана // Материалы Всероссийской конф. посвященной 100-летию Н.В. Петровской «Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований», Москва, 2010. С. 187-189.

16. Дьячков Б.А., Черненко З.И., Кузьмина О.Н., Майорова Н.П. Геология и металлогения сутурных зон Большого Алтая и оценка их перспектив // Большой Алтай – уникальная редкометалльно-золото-полиметаллическая провинция Центральной Азии: Материалы межд. Конф. – Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2010. С. 30-31.

17. Дьячков Б.А., **Кузьмина О.Н.** Критерии прогнозирования и поиска золоторудных месторождений апокарбонатного типа (Восточный Казахстан) // Материалы Первого Российско-Казахстанского международного научного совещания Корреляция алтаид и уралид (магматизм, метаморфизм, стратиграфия, геохронология и металлогеническое прогнозирование), Новосибирск, 2012. С. 22-24.

18. **Кузьмина О.Н.** Геологическое строение и типы золоторудных месторождений Западной Калбы (Восточный Казахстан) // Материалы III международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов памяти академика А.П. Карпинского. Санкт-Петербург: ФГУП «ВСЕГЕИ» 2013. С. 245-248.

19. **Кузьмина О.Н.** Условия рудообразования и особенности вещественного состава золотоносных джаспероидов Восточного Казахстана // III научная молодежная школа «Новое в познании процессов рудообразования», Москва: ИГЕМ РАН, 2013. С. 151-154.

20. Дьячков Б.А., Майорова Н.П., **Кузьмина О.Н.** Рудообразующие процессы и основные критерии прогноза месторождений Большого Алтая // Материалы Всероссийской конференции (с международным участием) «Рудообразующие процессы: от генетических концепций к прогнозу и открытию новых рудных провинций и месторождений», посвященной 100-летию со дня рождения академика Н.А. Шило. Москва: ИГЕМ РАН, 2013, С. 28.

21. **Kuzmina O.N.**, Dyachkov B.A., Vladimirov A.G., Kirillov M.V., Kolpakov V.V., Mizernaya M.A., Mayorova N.P. Gold-Sulfide Jasperoids of East Kazakhstan // Mineralogical Magazine. Goldschmidt 2013 (Florence, Italy, 25-30 August 2013). - 2013. - 77. - № 5. - P. 1531.

22. **Кузьмина О.Н.**, Дьячков Б.А., Рафаилович М.С., Мизерная М.А., Ойцева Т.А. Рудоносные геохронологические уровни Западной Калбы // Материалы Второго Российско-Казахстанского международного научного совещания «Корреляция алтаид и уралид» магматизм, метаморфизм, стратиграфия, геохронология, геодинамика и металлогеническое прогнозирование, Новосибирск, 2014. С. 99-100.

23. **Кузьмина О.Н.** Геологические и минералого-геохимические факторы формирования золото-сульфидной минерализации Западной Калбы (Восточный Казахстан)// Вторая Всероссийская научная конференция «Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит», Владивосток, 2014. С. 336-338.

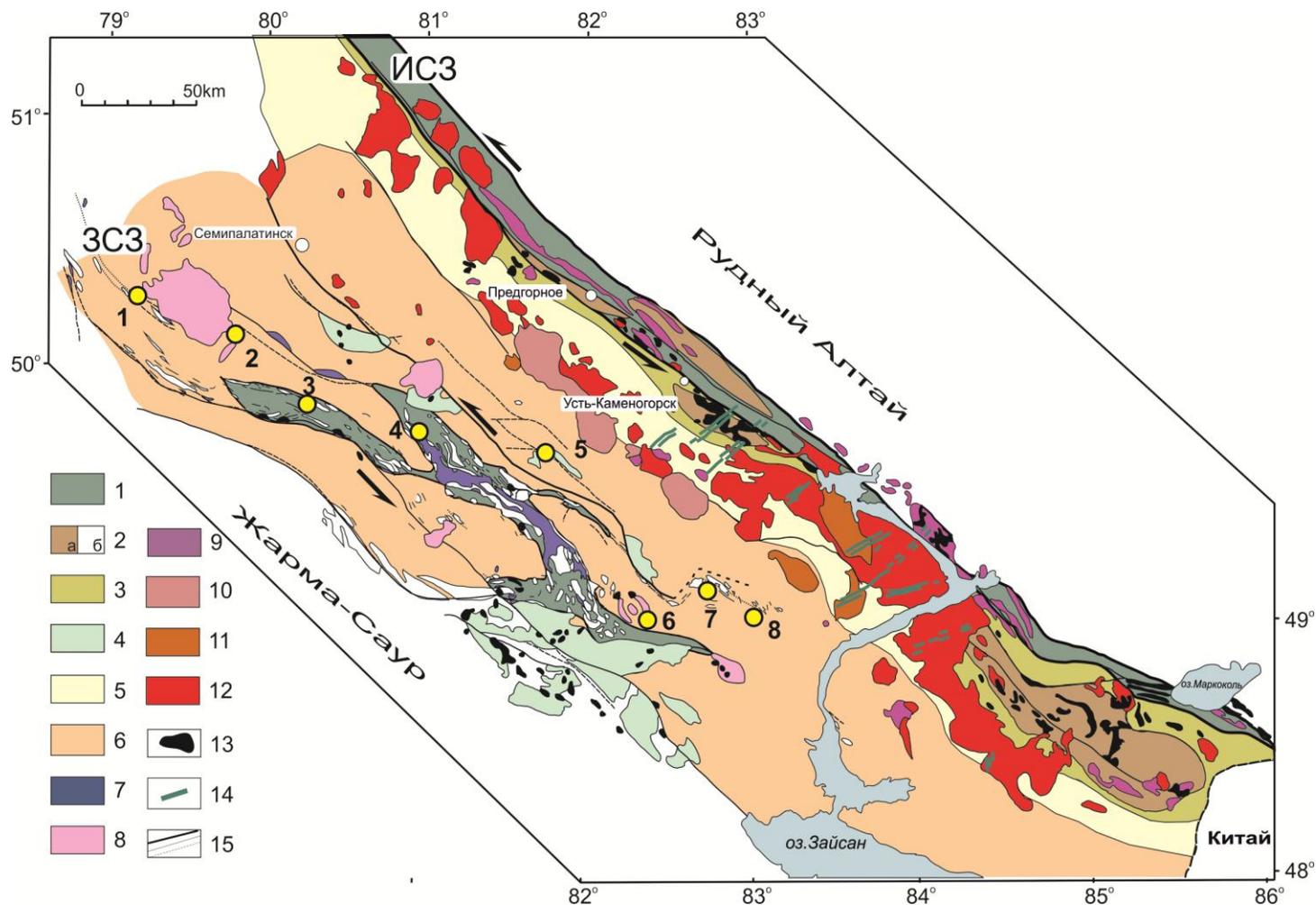
Подписано в печать

Формат 60 84/16. Бумага офсет №1. Гарнитура Таймс

Печ.л. 0,9. Тираж 120. Зак. №

---

ИНГГ СО РАН, ОИГ, 630090, Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3



**Приложение 1.** Тектоническая схема Зайсанской сутурной зоны и Калба-Нарымской зоны Восточного Казахстана с вынесенными возрастами U-Pb и Ag-Ag изотопными возрастами (пояснения в тексте). Составлено А.К. [Дьячков и др., 2002; 2005; Владимиров и др. 2005].

1 – бластомилониты Иртышской зоны смятия (ИСЗ) и Зайсанской сутурной зоны (ЗСЗ); 2 – тектонические блоки: глубокометаморфизованных пород ИСЗ (а), алохтонных стратиграфических образований ЗСЗ (б); 3 – зеленосланцевое обрамление ИСЗ и Курчумского выступа, нерасчлененное; 4 – синсдвиговые бассейны strike-slip типа; 5 – Калба-Нарымская зона; 6 – Западно-Калбинская зона; 7 – серпентинитовый меланж и офиолиты; 8 – гранитоиды А-типа и вулканиты Семейтауской вулканоплутонической ассоциации; 9 – гранитоиды I-типа; 10 – гранитоиды монастырского комплекса; 11 – гранитоиды позднекалбинского комплекса; 12 – гранитоиды раннекалбинского комплекса; 13 – габброиды аргимбайского и максутского комплекса; 14- дайки основных пород и ласпрофиров; 15 – разломы различного порядка.

Месторождения и рудопроявления золота в Зайсанской сутурной зоне: 1 – Мираж, 2 – Суздальское, 3 – Жайма, 4 – Веро-Чар, 5 – Бакырчик, 6 – Баладжал, 7 – Байбура, 8 – Кулуджун.

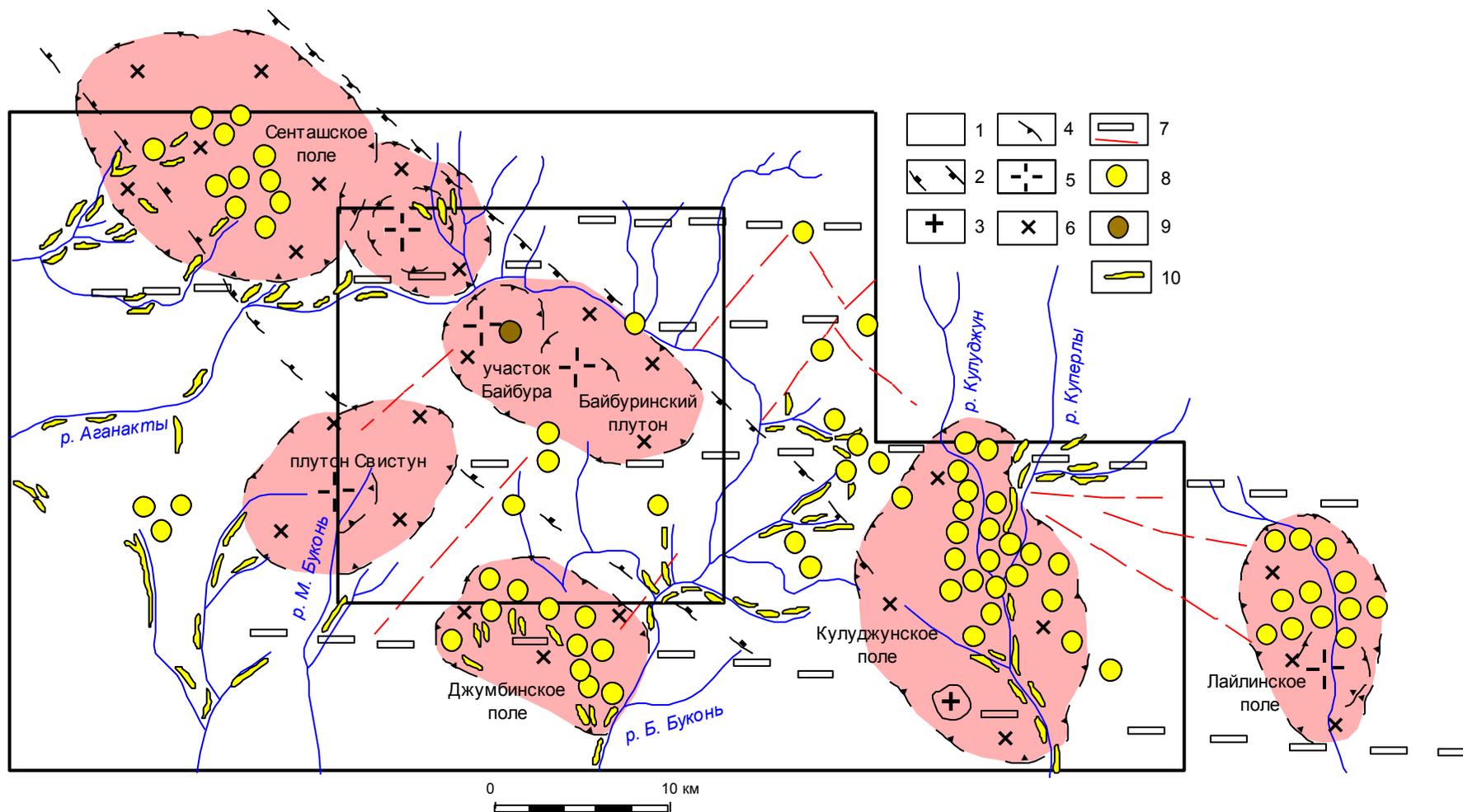
### Чарско-Зимунайская подзона

| Рудовмещающие геологические формации (структурно-вещественные комплексы) |                  |                                              |                                                            | Литолого-стратиграфическая колонка с металлогенической нагрузкой | Рудогенерирующая магматическая формация (комплекс)                                                                                                                                  | Рудная формация                                                                                                                  |
|--------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Геодинамическая обстановка                                               | Свиты, серии     | Геологические формации                       | Возраст                                                    |                                                                  |                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                  |
| Неотектоническая                                                         | Вторушинская     | Разнообломочная сероцветная                  | Q                                                          | 40-200                                                           |                                                                                                                                                                                     | Коры выветривания Au                                                                                                             |
|                                                                          |                  | Гравелит-песчаная карбонатная                | N <sub>2</sub>                                             | 15-20                                                            |                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                  |
|                                                                          | Аральская        | Глинисто-сульфатно-карбонатная               | N <sub>1</sub>                                             | 70                                                               |                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                  |
|                                                                          | Туранга-ашутас   | Углисто-сидерит-колчеданная                  | P <sub>1</sub> , P <sub>2</sub>                            | 40-100                                                           |                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                  |
|                                                                          | Северозайсанская | Алевритоглинистая                            | K, P <sub>2</sub>                                          | 200                                                              |                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                  |
| Субплатформенная                                                         | Семейтаусская    | Трахибазальт-трахириолитовая                 | T <sub>1</sub>                                             | 700-1000                                                         | Трахибазальт-трахириолитовая (семейтаусская Т); Габро-пиритовая (арзямбайский, маусетский Р); Габро-гранито-гранодиоритовая (проборазянский Р); гипербазитовая метаморфизованная PR | Коры выветривания Zr-Ti, Co-Ni                                                                                                   |
| Постколлизийная                                                          | Салдырминская    | Риолит-дацитовая наземная                    | P <sub>2</sub>                                             |                                                                  | Габро-пиритовая (арзямбайский, маусетский Р)                                                                                                                                        | Специализация Ti, Cu, Ni                                                                                                         |
|                                                                          |                  |                                              | C <sub>3</sub>                                             | 1000                                                             |                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                  |
| Коллизионная                                                             | Майтобинская     | Молассовая базальт-андезитовая наземная      | C <sub>3,3</sub>                                           | 1400                                                             | Плаггиогранит-гранодиоритовая (кунушской С)                                                                                                                                         | Золотосульфидно-кварцевая (Васильевское, Жанан)                                                                                  |
|                                                                          | Буко-нская       | Молассовая лимническая угленосная            | C <sub>2,3</sub>                                           | 1500-2000                                                        | Габро-диабазовая (карабирский С)                                                                                                                                                    | Золото-сульфидно-мышьяковистая (Карабирок)                                                                                       |
| Предколлизийная                                                          | Аганактинская    | Граувакковая олигостромовая                  | C <sub>1,5</sub>                                           | 2500                                                             | Габродиорит-гранодиоритовая (ивилевский С)                                                                                                                                          | Золото-кварцевая (Акжал); золотосульфидно-кварцевая (Суурлы); золотосульфидно-кварцевая (Суздальское); золото-ртутная (Веро-Чар) |
| Окраинно-островодужная                                                   | Аркалыкская      | Базальт-андезитовая известняково-терригенная | C <sub>1,5,3</sub>                                         | 2500-2800                                                        | Гипербазитовая метаморфизованная                                                                                                                                                    | Железо-марганцевая                                                                                                               |
|                                                                          |                  | Известняковая                                | C <sub>1-v</sub>                                           | 25-110                                                           |                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                  |
| Преддуговой рифтогенез                                                   |                  | Кремнисто-известняково-терригенная           | D <sub>1-l-p</sub><br>S <sub>1-w</sub><br>S <sub>1-d</sub> | 130-80-360                                                       |                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                  |
| Коллизионная                                                             |                  | Эклогит-амфиболит-гнейсовая                  | O <sub>2,3</sub>                                           |                                                                  |                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                  |
| Островодужная                                                            |                  | Метабазальтовая кремнисто-алевритовая        | V-Є                                                        |                                                                  |                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                  |
| Океаническая                                                             |                  | Гипербазитовая                               | V?                                                         |                                                                  | Гипербазитовая (чарский комплекс)                                                                                                                                                   |                                                                                                                                  |

### Западно-Калбинская подзона

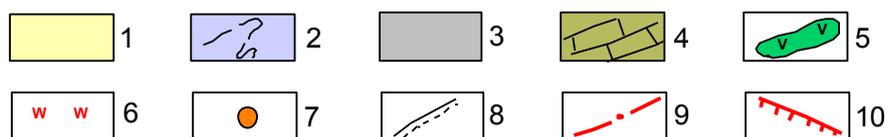
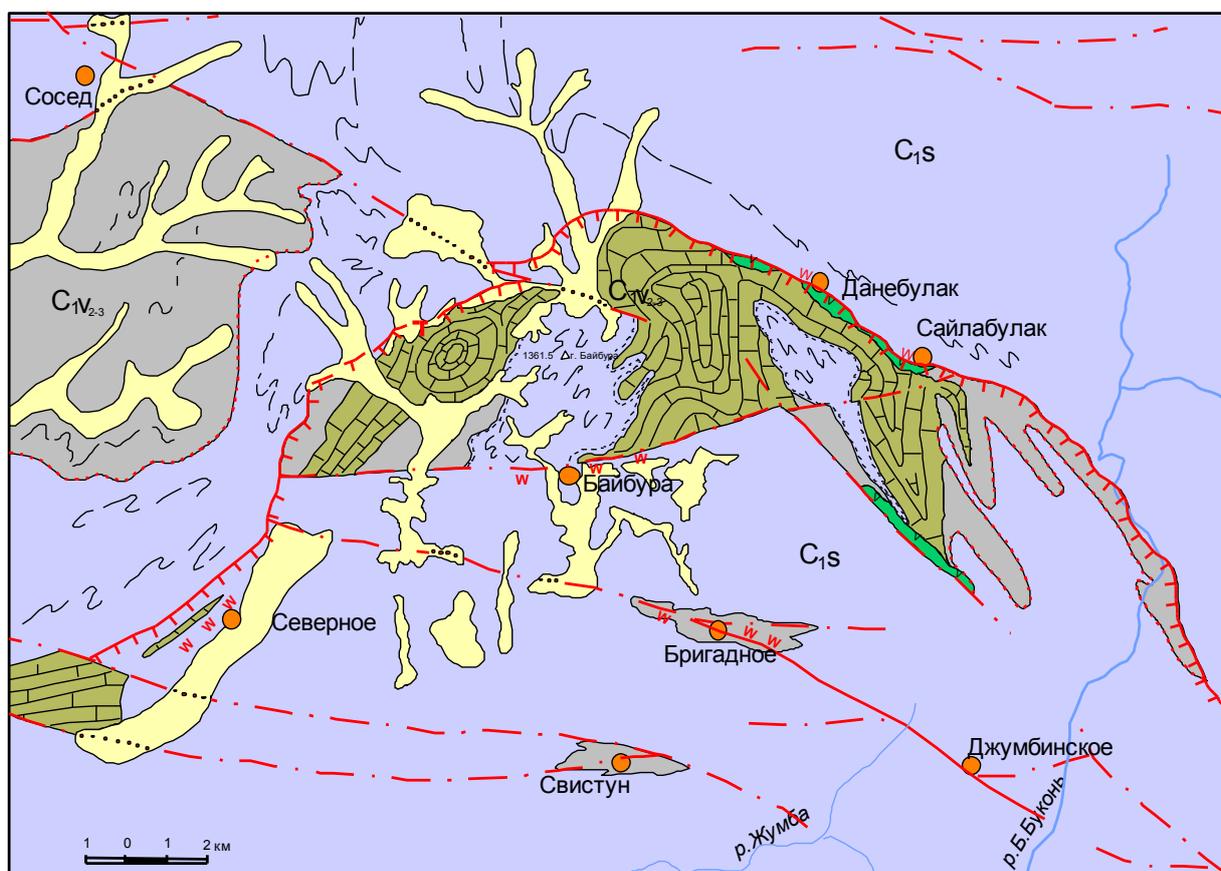
| Рудовмещающие геологические формации (структурно-вещественные комплексы) |                           |                                                |                                            | Литолого-стратиграфическая колонка с металлогенической нагрузкой | Рудогенерирующая магматическая формация (комплекс) | Рудная формация                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Геодинамическая обстановка                                               | Свиты, серии              | Геологические формации                         | Возраст                                    |                                                                  |                                                    |                                                                   |
| Неотектоническая                                                         |                           | Континентальные разнообломочные                | Q-K                                        | 800                                                              | Т <sub>1</sub> Сапайское<br>Au Мкур                | Россыли и коры выветривания                                       |
| Субплатформенная                                                         | Семейтаусская             | Трахибазальт-трахириолитовая                   | T <sub>1</sub>                             | 700?                                                             |                                                    |                                                                   |
| Постколлизийная                                                          |                           |                                                | P                                          |                                                                  | Sn Кзылжал                                         | Гранит-лейкогранитовая (дельбегетейский Р)                        |
| Коллизионная                                                             | Буко-нская                | Молассовая лимническая угленосная              | C <sub>2,3</sub>                           | 1500-2500                                                        | Au Бакирлик<br>Au Эспе                             | Золото-мышьяково-углеродистая (Бакирлик)                          |
| Предколлизийная                                                          | Аганактинская             | Граувакковая алевритоглинисто-песчаная         | C <sub>1,5</sub>                           | 1500-2000                                                        | Au Жумдук<br>Au Балдыбай<br>Au Думба               | Золото-кварцевожильная (Кулуд-жуң); Золото-березитовая (Балдыбай) |
| Окраинно-островодужная                                                   | Аркалыкская               | Вулканогенно-карбонатно-терригенная            | C <sub>1,5,3</sub>                         | 1600-3300                                                        | Au Байбура<br>Au Мариновское<br>Au Бригадное       | Золото-джемперная (Байбура)                                       |
|                                                                          | Карабайская               | Базальтовая известняково-терригенно-кремнистая | C <sub>1-t</sub><br>D <sub>1-fm</sub>      | 500-1000                                                         |                                                    | Золотосульфидная ливневитовая (Бригадное)                         |
| Преддуговой рифтогенез                                                   | Аналоги андреевской свиты | Алевритовая асидная                            | D <sub>1-fm</sub>                          | 350-800                                                          |                                                    |                                                                   |
|                                                                          |                           | Базальт-андезитовая карбонатно-терригенная     | D <sub>1-gv</sub>                          | 1000                                                             |                                                    |                                                                   |
|                                                                          |                           |                                                | D <sub>1-ef</sub>                          | 160-500                                                          |                                                    |                                                                   |
|                                                                          |                           |                                                | D <sub>1-p</sub>                           | 140                                                              |                                                    | Гранодиорит-плаггиогранитовая (D <sub>1</sub> ?)                  |
|                                                                          |                           | Молассовая вулканотерригенная                  | S <sub>1-p-l-d</sub><br>S <sub>1-w-l</sub> | 130-600                                                          |                                                    |                                                                   |
| Коллизионная                                                             |                           | Эклогит-амфиболит-гнейсовая                    | O <sub>2,3</sub>                           |                                                                  |                                                    |                                                                   |
| Островодужная                                                            |                           | Метабазальтовая кремнисто-алевритовая          | V-Є                                        |                                                                  |                                                    |                                                                   |
| Океаническая                                                             |                           | Гипербазитовая                                 | V?                                         |                                                                  | Гипербазитовая (чарский комплекс)                  |                                                                   |

Приложение 2. Литолого-стратиграфические колонки с магматическими и рудными формациями Зайсанской сутурной зоны



**Приложение 3.** Структурная позиция рудного поля Байбура, расположенного в пределах Сенташ-Байбуринского гранитоидного пояса (по геолого-геофизическим данным [Нахтигаль и др., 1984]). В квадратной рамке – рудное поле Байбура (золотоносные джаспероиды).

1 – карбонатно-терригенные и терригенные отложения раннего карбона; 2 – границы Сенташ-Байбуринского гранитоидного пояса; 3 – плагиогранитоидные интрузии кунушского комплекса, выходящие на поверхность; 4 – контуры нескрытых гранитных массивов по геофизическим данным; 5-6 – скрытые гранитоидные интрузии: 5 – кислого состава; 6 – умеренно-кислого состава; 7 – разломы; 8-9 – эндогенные рудопроявления золота: 8 – золото-кварцево-жильные и 9 – золото-сульфидные; 10 – россыпи золота.

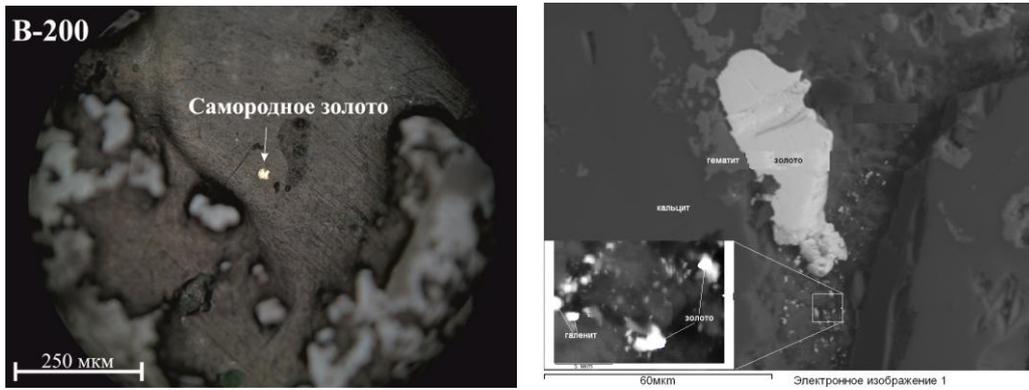


**Приложение 4.** Структурно-геологическая схема рудного поля Байбура. Составлена В.Н. Майоровым, Б.А. Дьячковым, с авторскими дополнениями [Кузьмина и др., 2013].

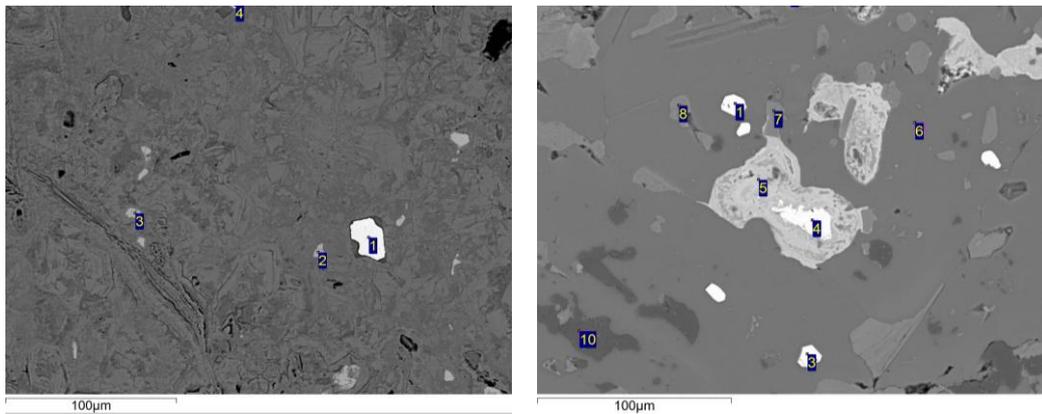
1 – четвертичные отложения (Q); 2 – алевролито-песчаниковая формация (аганактинская свита  $C_{1s}$ ); 3-4 – углеродисто-известковисто-терригенная формации (аркалыкская свита  $C_{1v2.3}$ ): 3 – углеродисто-терригенная, 4 – известняки; 5 – дайки габбро-диабазов; 6 – зоны минерализации; 7 – рудопроявления золота; 8 – граница несогласного залегания; 9-10 – разрывные нарушения: 9 – разломы установленные, 10 – зона надвига

**Приложение 5.** Содержания золота и серебра (атомно-абсорбционный анализ, г/т),  $SiO_2$ , CaO,  $\Sigma Fe_2O_3$  (РФА, мас. %) в представительных образцах золотоносных джаспероидов Байбуриного рудного поля

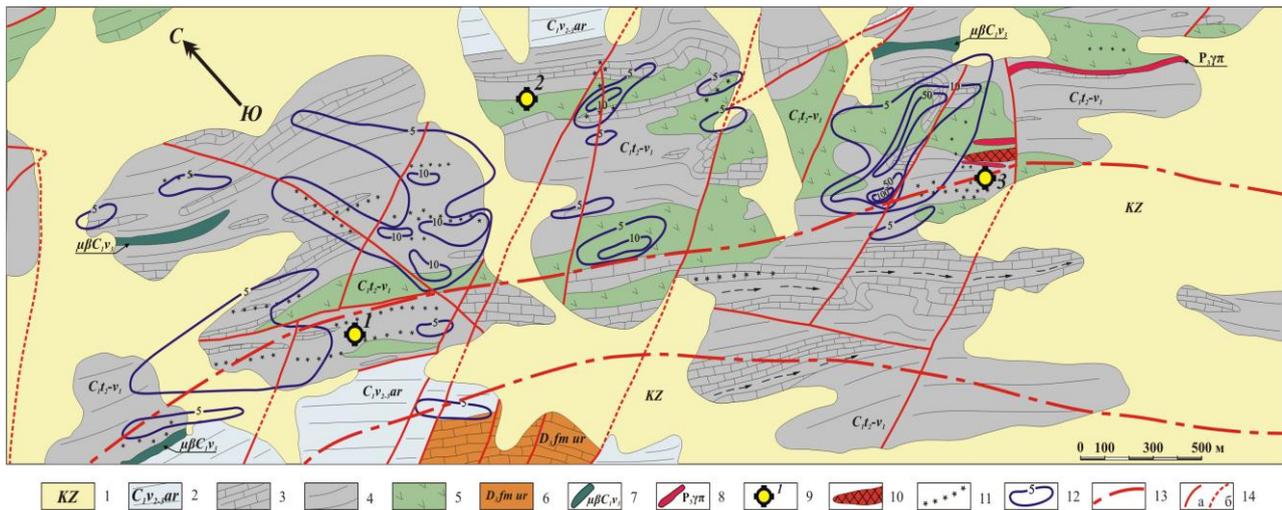
| № п.п | № образца | Характеристика | Au   | Ag    | $SiO_2$ | CaO  | $\Sigma Fe_2O_3$ |
|-------|-----------|----------------|------|-------|---------|------|------------------|
| 1     | 21-ИСХ    | Бурый железняк | 3,2  | 0,38  | 52,95   | 0,20 | 43,31            |
| 2     | Б-7       | Бурый железняк | 33,5 | 2,2   | 45,36   | 0,86 | 42,29            |
| 3     | Б-5       | Джаспероиды    | 0,13 | 0,10  | 53,59   | 1,76 | 38,10            |
| 4     | Б-3       | Джаспероиды    | 2,8  | 0,31  | 57,69   | 0,35 | 35,86            |
| 5     | 20-ИСХ    | Джаспероиды    | 8,3  | 0,65  | 68,84   | 0,69 | 34,31            |
| 6     | Б-4       | Джаспероиды    | 33,5 | 2,66  | 61,98   | 0,37 | 31,34            |
| 7     | 22-СФР    | Джаспероиды    | 3,3  | 0,38  | 70,85   | 0,71 | 24,81            |
| 8     | Б-2       | Джаспероиды    | 0,35 | 0,047 | 76,45   | 0,49 | 19,57            |
| 9     | Б-1       | Джаспероиды    | 0,10 | 0,072 | 81,09   | 0,26 | 15,31            |
| 10    | Б-200     | Джаспероиды    | 0,37 | 0,06  | 80,45   | 0,69 | 16,16            |



**Приложение 6.** Слева – микроструктурные особенности джаспероидов со свободным золотом; справа - РЭМ-изображение самородного золота в рудах рудопроявления Байбура. На врезке показан увеличенный участок.

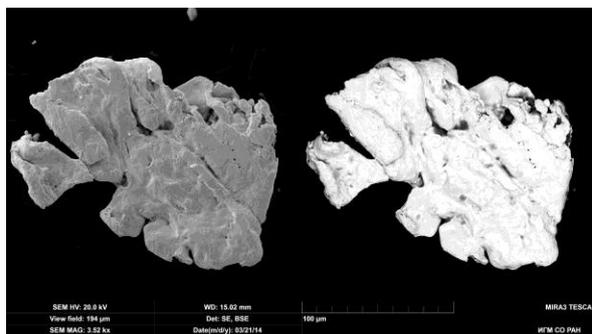
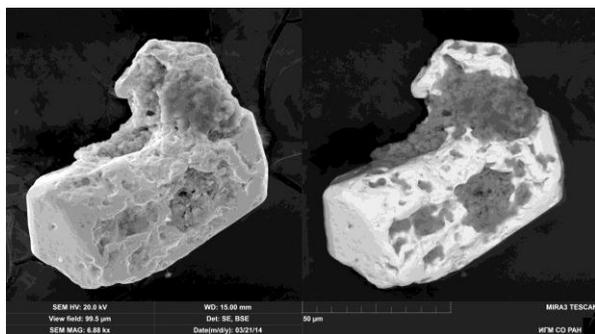


**Приложение 7.** Слева - РЭМ-изображение кристалла арсенопирита (спектр 1) и микровключений пирита (спектры 2,3); справа – РЭМ-изображение замещения пирита (спектр 4) гидрогетитом (спектр 5) в джаспероидах рудопроявления Байбура.

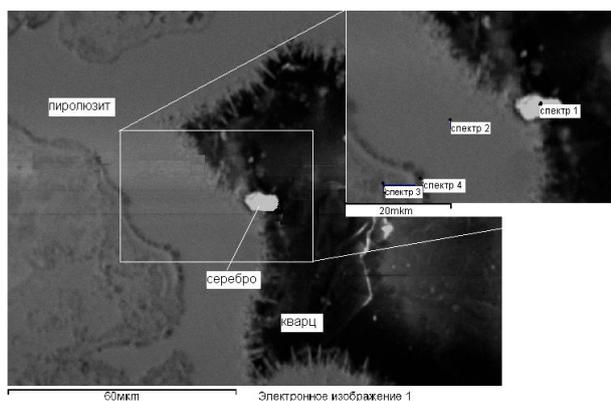
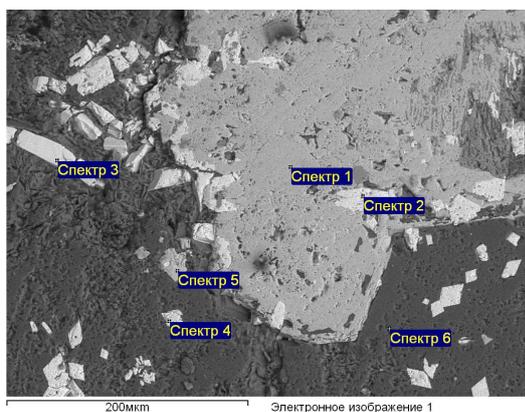


**Приложение 8.** Схематическая геологическая карта месторождения Жайма. М-6 1:10000 (по данным В.Я. Кудрявцева [1981ф], с изменениями [Ковалев и др., 2014]).

1 – кайнозойские отложения; 2-5 – отложения карбона: 2- средний-верхний визе (аркалыкская свита: песчаники, алевролиты, глинисто-кремнистые сланцы); 3-5 – турне-визейский ярус (карбонатно-вулканогенная толща): 3 – известняки, известняковые брекчии и песчаники, 4 – вулканомиктовые и полимиктовые песчаники, углеродистые известковистые алевропелиты, 5 – лавы и туфолавы андезит-базальтовых порфиров; 6 – верхнедевонский отдел (карабайская свита): известняки, фтаниты, кремнистые сланцы, радиолариты, туфогенные песчаники, туфы, базальты; 7 – диабазовые порфиры; 8 – кварцевые плагиопорфиры; 9 – карьеры: 1 – Жайма 1, 2 – Игл, 3 – Жайма 2; 10 – зоны интенсивной лимонитизации; 11 – зоны трещинно-пятнистой лимонитизации; 12 – вторичные ореолы рассеяния мышьяка ( $n \cdot 10^{-3}\%$ ); 13 – главные разрывные нарушения; 14 – нарушения: а) второстепенные; б) предполагаемые.



**Приложение 9.** Микроморфология золота коры выветривания месторождения Жайма. Снято на сканирующем электронном микроскопе в режимах BSE и SE. Слева - призматический кристалл золота; справа - плоский дендритовидный агрегат золота;



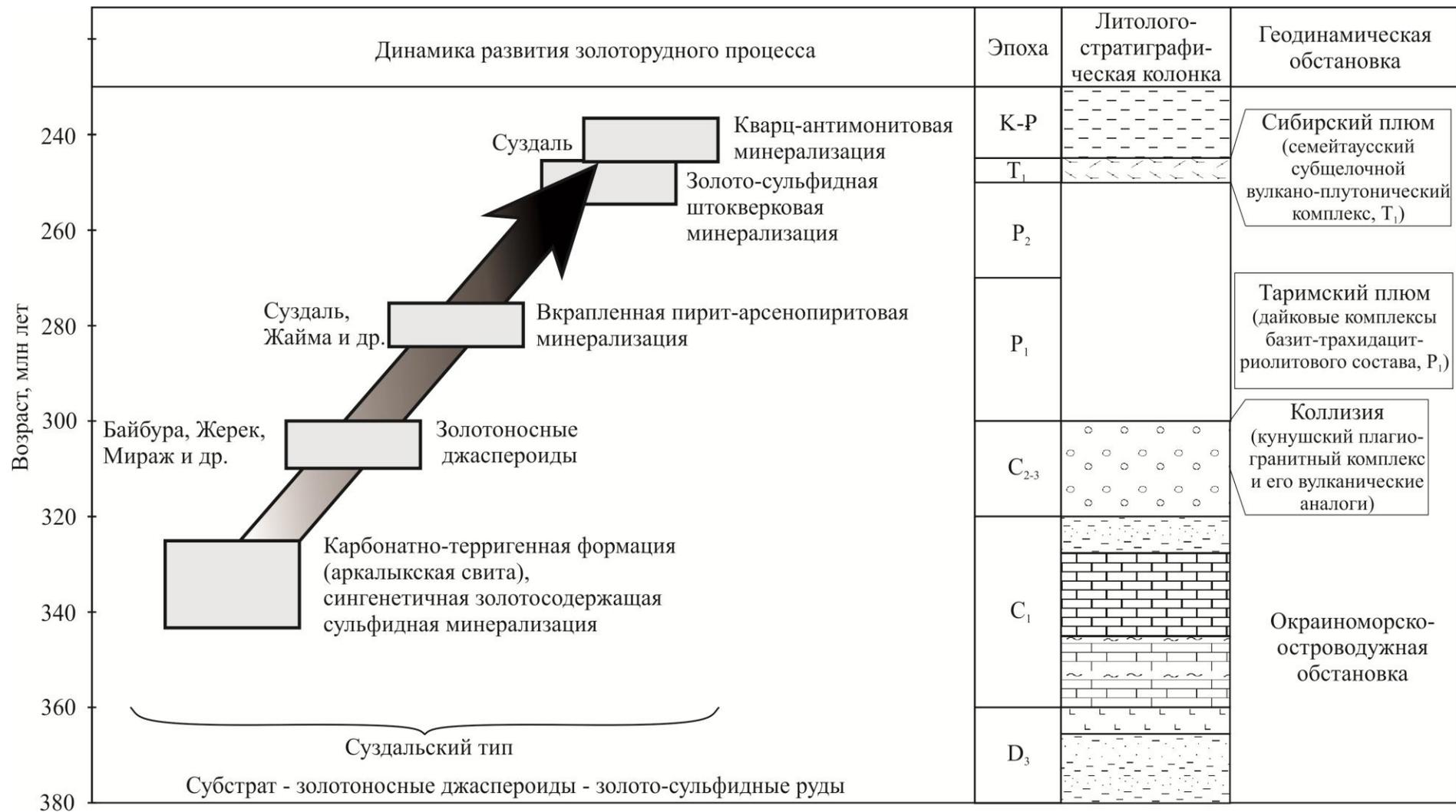
**Приложение 10.** Слева - РЭМ-изображение замещение кристалла пирита (спектр 1) арсенипитом пластинчатой формы (спектры 2,3) в метасоматически-измененных известняках месторождения Жайма; справа - Увеличенный участок, показывающий замещение пирролюзита метасоматическим кварцем

**Приложение 11.** Содержания золота и серебра (атомно-абсорбционный анализ, г/т), As, К и Ti (РФА-СИ метод, мас. %) в представительных рудных образцах Жайминского рудного поля

| № п/п | № обр. | Характеристика                         | Au   | Ag   | As   | K    | Ti   |
|-------|--------|----------------------------------------|------|------|------|------|------|
| 1     | КК-13  | Кора выветривания                      | 4,7  | 0,08 | 0,14 | 0,68 | 0,22 |
| 2     | КК-20  |                                        | 3,8  | 0,12 | 0,18 | 1,51 | 0,93 |
| 3     | КК-37  |                                        | 0,75 | 0,08 | 0,4  | 1,59 | 0,39 |
| 4     | КК-34  | Ожелезненный кварцит                   | 0,32 | 0,23 | 0,15 | 1,47 | 0,38 |
| 5     | КК-36  | Ожелезненный известняк                 | 0,4  | 0,27 | 0,54 | 1,24 | 0,52 |
| 6     | Ж-1    | Вкрапленно-прожилковая сульфидная руда | 1,4  | 0,26 | 2,42 | 2,53 | 1,28 |
| 7     | Ж-2    |                                        | 0,72 | 0,10 | 0,04 | 0,95 | 0,13 |
| 8     | Ж-3    |                                        | 8,3  | 0,08 | 0,44 | 2,66 | 0,28 |
| 9     | Ж-9    |                                        | 2,5  | 0,22 | 2,28 | 1,91 | 1,25 |
| 10    | Ж-10   |                                        | 19   | 0,35 | 3,43 | 2,68 | 1,43 |
| 10    | Ж-11   |                                        | 1,0  | 0,36 | 2,1  | 2,16 | 1,31 |
| 12    | КК-336 |                                        | 1,3  | 0,14 | 1,73 | 2,49 | 1,22 |
| 13    | КК-29  | Сульфидизированный известняк           | 0,98 | 0,7  | 0,18 | 1,82 | 0,13 |
| 14    | КК-33а |                                        | 1,2  | 0,13 | 0,15 | 0,56 | 0,13 |

**Приложение 12.** Сравнительная структурно-геологическая и минералого-геохимическая характеристика рудных полей Байбура, Жайма и Суздальского месторождения (Восточный Казахстан)

| Характеристика                                                   | Рудное поле Байбура                                                                                                                                                                                                      | Рудной поле Жайма                                                                               | Суздальское месторождение                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Геодинамическая позиция рудовмещающих толщ                       | Островодужный этап тектогенеза – аркалыкская базальт-андезитовая, известняково-терригенная формация (C <sub>1V2-3</sub> ), предколлизийный этап – аганактинская граувакковая олистостромовая формация (C <sub>1s</sub> ) |                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Геодинамические обстановки первичной рудно-магматической системы | Коллизийный этап тектоногенеза (C <sub>3</sub> )                                                                                                                                                                         | Тектоническая активность, связанная с Таримским плюмом (P <sub>1</sub> )                        |                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Геодинамическая обстановка переотложения золота                  | –                                                                                                                                                                                                                        | –                                                                                               | Семейтауский вулканоплутонический комплекс (T <sub>1</sub> )                                                                                                                                                                                                 |
| Структурная геология                                             | Многочисленные тектонические подвижки, расланцевание и брекчирование минерализованных вулканогенно-карбонатно-терригенных пород                                                                                          |                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Протолиты                                                        | Мраморизованные известняки                                                                                                                                                                                               | Углеродистые вулканогенно-карбонатно-терригенные породы                                         |                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Рудоподготовительный этап                                        | Сингенетичная золото-сульфидная минерализация в вулканогенно-карбонатно-терригенных отложениях – C <sub>1</sub> (345-325 млн лет)                                                                                        |                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Этапы формирования золотого оруденения                           | I этап – золотоносные джаспероиды, 310-300 млн лет (U-Pb, циркон из плагиогранитов кунушского комплекса) [Куйбида и др., 2009]                                                                                           | –                                                                                               | –                                                                                                                                                                                                                                                            |
|                                                                  | –                                                                                                                                                                                                                        | I этап – 279±3.3 ÷ 272±2.9 ( <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar, серицит) [Ковалев и др., 2014] | I этап – 281±3,3 млн лет ( <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar, серицит),<br>II этап – 248,3±3,4 млн лет ( <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar, серицит),<br>III этап – 241,9±2,7 млн лет ( <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar, серицит) [Ковалев и др., 2012] |
| Минеральный состав золото-сульфидных руд                         | Золото, арсенопирит, пирит, ± галенит; шеелит, рутил                                                                                                                                                                     | Золото, пирит, арсенопирит, сфалерит, халькопирит, блеклые руды, рутил                          | Золото, арсенопирит, пирит, пирротин; киноварь, шеелит, блеклые руды, галенит, рутил                                                                                                                                                                         |
| Содержания золота и серебра в рудах                              | Au – 0,1-33,5 г/т<br>Ag – 0,05-2,5 г/т                                                                                                                                                                                   | Au – 0,4-19 г/т<br>Ag – 0,08-0,36 г/т                                                           | Au – 1,5-23,0 г/т; среднее – 6,4 г/т (до 106 г/т в рудной зоне №3) Ag – 0,5-3,0 г/т; среднее – 1,69 г/т                                                                                                                                                      |
| Морфология самородного золота                                    | Интерстиционные формы: жилковидно-пластинчатая и комковидная (от 60 до 90%) и кристаллическая (от 5 до 25 %)                                                                                                             | Преимущественно кристаллические формы, дендритовые, листоватые                                  | Преимущественно кристаллические формы, интерстиционные жилковидно-пластинчатые и комковидные                                                                                                                                                                 |
| Состав зерен самородного золота                                  | Пробность золота 920-950%, содержание ртути 0,2-0,7 мас.%, меди – ниже предела обнаружения                                                                                                                               | Пробность золота 930-980%, содержание ртути 0,1-0,6 мас.%, меди – ниже предела обнаружения      | Пробность золота 930-980%, содержание ртути 0,0-0,7 мас.%, меди – ниже предела обнаружения                                                                                                                                                                   |



**Приложение 13.** Динамика концентрирования золота, геодинамические обстановки формирования золотоносных джаспероидов (байбуринский тип) и золото-сульфидных (суздальский тип) месторождений Восточного Казахстана