

На правах рукописи



Фоминых Павел Андреевич

**Типохимизм и коренные источники самородного золота россыпей
Егорьевского рудно-россыпного района
(СЗ Салаирский кряж)**

1.6.10 – «Геология, поиски и разведка твердых полезных
ископаемых, минерагения»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Новосибирск – 2024

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН), г. Новосибирск.

Научный руководитель:

Неволько Петр Александрович, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории рудообразующих систем Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (ИГМ СО РАН, г. Новосибирск).

Официальные оппоненты:

Лаломов Александр Валерианович, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории геологии рудных месторождений Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (ИГЕМ РАН, г. Москва);

Черных Александр Иванович, кандидат геолого-минералогических наук, советник управляющего директора ООО «УК Полюс» (г. Москва).

Ведущая организация: Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (ИГХ СО РАН, г. Иркутск).

Защита состоится «29» марта 2024 года в 10 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета 24.1.050.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук по адресу: 630090, г. Новосибирск, просп. Академика Коптюга, д.3.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИГМ СО РАН и на сайте <https://www.igm.nsc.ru/index.php/obrazov/dissovet/d-003-067-03/zashchity>

Автореферат разослан «26» февраля 2024 года.

Ученый секретарь диссертационного совета
24.1.050.01, к.г.-м.н.

А.В. Котляров

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять ученому секретарю совета к.г.-м.н. Котлярову А.В. по адресу: 630090, г. Новосибирск, просп. Академика Коптюга, д.3 и в формате pdf на email: kotlyarov@igm.nsc.ru

Актуальность работы

Исследования, проводимые в данной работе, направлены на решение основной фундаментальной проблемы россыпной геологии: выявление формационных типов источников самородного золота и значимость их вклада в питание золотоносных аллювиальных россыпей. Формирование россыпей золота происходит в процессе разрушения коренных источников различных геологических типов золоторудной минерализации, в том числе и образований, относимых к формациям «коры выветривания» с последующим переносом и аккумуляцией самородного золота.

Актуальность проводимых исследований определяется необходимостью совершенствования принципов научного обоснования прогноза и поисков экзогенных и эндогенных месторождений золота в областях с мощным чехлом отложений, что осложняет и значительно увеличивает затраты на проведение поисковых и оценочных работ, в то время как в большинстве случаев проводимые традиционные методы поиска и оценки теряют свою эффективность. Поиску коренных источников питания россыпей посвящено большое количество научных работ отечественных (Петровская, 1973, 1993; Николаева и др., 2003, 2013; Савва и Прейс, 1990; Савва и др., 2004; Никифорова и др., 2011; 2013, 2014; Неволько и др., 2019; Колпаков и др., 2017, 2019, 2020, 2021; Lalomov et al., 2017; Kalinin et al., 2019; Nikiforova, 2021, 2023) и зарубежных исследователей (Morrison et al., 1991; Townley et al., 2003; Chapman and Mortensen, 2006; Moles et al., 2013; Vishiti et al., 2015; Chapman et al., 2005, 2009, 2010a, 2010b, 2011, 2017, 2021, 2022), что несомненно подтверждает актуальность выбора направления исследования. Происхождение россыпной золотоносности и ее источников в северо-западной части Салаирского кряжа остается до сих пор остро дискуссионным. Хотя россыпная золотоносность на данной территории установлена и активно эксплуатируется уже с четверть тысячелетия. Многоуровневые россыпи расположены на всех участках речных сетей, но по сей день достоверно не были выявлены коренные источники золота, послужившие образованию столь обширного ореола его рассеяния. Установление первичных источников самородного золота усложняется многолетней выработкой, переотложением и рекультивацией россыпных месторождений.

Полученные данные о химических особенностях самородного золота позволили приблизиться к решению данной проблемы. Несмотря на то, что в условиях россыпи происходит преобразование самородного золота, все же остаются участки, сохранившие свои первичные характеристики. Под типохимической характеристикой самородного золота понимаются: химический состав в совокупности с минералогическим анализом минеральных микровключений, заключенных в самородном золоте, и закономерности микропримесных особенностей. Интерпретация комплекса

проведенных в ходе подготовки диссертационной работы исследований позволила не только установить вклад и формационную принадлежность коренных источников питания россыпей Егорьевского рудно-россыпного района, но и оконтурить участки скрытой коренной золотой и золотосодержащей минерализации. Полученная информация о типохимизме самородного золота из кор выветривания и россыпных источников, а также обработка данных о первичных рудах из перспективных участков Егорьевского рудно-россыпного района определяют не только практический интерес, что может способствовать росту золотодобычи, но и высокую научную значимость. Полученные знания о микропримесном составе самородного золота несут прямую генетическую информацию об условиях его формирования.

Объекты исследования

Проведено исследование самородного золота: из четырех россыпных полей (Иковское, Тайлинское, Суенгинское и Бердское); с трех участков формации золотоносной коры выветривания (Гусельнятский, Лапинский и Лутанский); метасоматических и кварцево-жильных руд Новолушниковского и Егорьевского месторождений, рудопроявления Суенга-1. Рассматриваемые объекты располагаются в СЗ части Салаирского кряжа на участке Егорьевского рудно-россыпного района. Коренное оруденение в подавляющем большинстве, локализуется в нижнекембрийских терригенно-вулканогенно-карбонатных отложениях кинтерепских (Є1kn), суенгинских (Є1sn) свит и в рассланцованных вулканогенно-осадочных породах печеркинской свиты (Є1pc). Новолушниковское золото-сульфидно-кварцевое месторождение располагается в непосредственной близости от одноименного гранитного комплекса. (Геологическое строение ..., 1999).

Цели и задачи исследования

Цель: выявить типохимические характеристики россыпного золота Егорьевского рудно-россыпного района и обосновать его коренные источники.

В ходе исследования предполагалось решить следующие **задачи**:

1. Изучить химический состав золота и набор минеральных микровключений в самородном золоте из аллювиальных россыпей, кор выветривания и коренных источников северо-западной части Салаирского кряжа;
2. На основе химического состава и набора минеральных микровключений провести типизацию самородного золота для каждого россыпного поля;

3. Детализировать микропримесный состав выявленных типов самородного золота и обосновать коренные источники самородного золота для различных типов самородного золота.

Фактический материал и методы исследования

Для решения поставленных задач собрана представительная коллекция самородного золота, в которой были использованы личные образцы Нестеренко Г.В., Неволько П.А., Колпакова В.В. и саморучно дополненные в ходе полевых работ 2017 г. и 2019 г. в составе отряда лаборатории № 214 коллекции самородного золота и каменного материала. Таким образом, в работе задействовано более 5000 частиц самородного золота, полученного из аллювиальных россыпей, кор выветривания и эталонных коренных объектов, расположенных на территории Егорьевского рудно-россыпного района. Исследования самородного золота проводились в лабораториях ИГМ СО РАН (г. Новосибирск) и в Институте Минералогии УрО РАН (г. Миасс). Для исследования химического состава самородного золота использовался микрозондовый метод анализа, диагностика микровключений, заключенных в самородном золоте проводилась при помощи сканирующего электронного микроскопа. Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой и лазерной абляцией (ЛА-ИСП-МС) применялась для выявления микропримесей в составе самородного золота.

Защищаемые положения

1. На основании содержания основных элементов примесей и комплекса минеральных микровключений в пределах Егорьевского рудно-россыпного района обосновано выделение пяти типов самородного золота: медистое, умеренно-серебристое, серебристое, высоко-серебристое, ртутистое. Каждое из россыпных полей характеризуется комбинацией нескольких типов россыпного золота.
2. Медистое самородное золото Иковского россыпного поля характеризуется микропримесью Pd, что позволяет предполагать его связь с магматическими породами основного состава Тайлинского комплекса и отличает от медистого золота Суенгинского и Тайлинского полей. Коренные источники умеренно-серебристого и серебристого золота Тайлинского и Бердского полей могли быть представлены золотосодержащей полиметаллической минерализацией, что подтверждается наличием в составе золота микропримеси Sb.
3. Питание россыпей Егорьевского рудно-россыпного района происходило за счет разрушения коренных источников как минимум четырех основных типов: (1) первичная сульфидная минерализация в малых телах Тайлинского комплекса (медистое золото); (2)

золотоносные метасоматиты березит-лиственитового состава и коры выветривания по ним (серебристое и умеренно-серебристое золото); (3) золото-сульфидно-кварцевая минерализация «новолушниковского типа» (ртутистое золото); (4) золотосодержащая полиметаллическая минерализация (высоко-серебристое).

Научная новизна

Впервые была проведена систематизация всех накопленных данных о химическом составе самородного золота из аллювиальных россыпей, кор выветривания и эталонных коренных объектов СЗ части Салаирского кряжа. Установлены основные типы самородного золота и характерные для них наборы минеральных микровключений. Полученные данные позволили локализовать поля распространения самородного золота различного состава. Приведены новые данные о микропримесном составе золота Егорьевского рудно-россыпного района, установленные примеси Pd и Sb расширили систематические знания о самородном золоте.

Практическая значимость полученных результатов

На основании интерпретации полученных данных о химическом и микропримесном составе золота приводится обоснование коренных источников самородного золота для изучаемых россыпных полей (Иковское, Суенгинское, Бердское и Иковское), а также прогнозируется невыявленное золотое и золотосодержащее оруденение. Данная информация несет ценный вклад в создание поисковых моделей и позволяет существенно сократить затраты на площадные методы поиска. Проведенный комплексный анализ золота может использоваться при разработке поисково-оценочных критериев при геологоразведке и доразведке золоторудных и золотосодержащих месторождений и рудопроявлений.

Апробация результатов работы и публикации по теме диссертации

Автором лично и в соавторстве опубликовано в общей сложности 11 работ, из которых 4 статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК, а также 7 тезисов в материалах российских и международных конференций: Международная молодежная научная школа «Металлогения древних и современных океанов», 2018-2020, ИМин УрО РАН, г. Миасс; XXII Международный симпозиум имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященный 155-летию со дня рождения академика В.А. Обручева, 135-летию со дня рождения академика М.А. Усова, основателей Сибирской горно-геологической школы и 110-летию первого выпуска горных инженеров в Сибири, 2018, г. Томск; IX и XII Российские молодежные научно-практические Школы «Новое в познании процессов

рудообразования», 2019, 2023, ИГЕМ РАН, г. Москва; XXVII Всероссийская научная конференция «Уральская минералогическая школа-2021», 2021, ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург.

Благодарности

Квалификационная работа на соискание степени кандидата геолого-минералогических наук выполнена в лаборатории «Рудообразующих систем №214» в Институте геологии и минералогии Сибирского отделения Российской академии наук им. В.С. Соболева. Руководство при выполнении работы осуществлял к.г.-м.н., с.н.с. Неволько Петр Александрович.

Автор выражает благодарность всем, кто оказывал помощь и поддержку в работе над диссертацией. Сердечные благодарности за наставления и требовательность к выполнению задач на всех этапах подготовки работы автор выражает научному руководителю в лице Петра Александровича Неволько.

За огромный вклад в развитие научных способностей, а также конструктивную критику выражаю благодарность коллективам лабораторий ИГМ СО РАН: «Рудообразующих систем», д.г.-м.н., г.н.с. Борисенко А.С., д.г.-м.н., в.н.с. Гаськову И. В. и Гаськовой О.Л., к.г.-м.н., с.н.с. Колпакову В.В. и Светлицкой Т.В.; «Петрологии и рудоносности магматических формаций», д.г.-м.н., г.н.с. Изоху А.Э., д.г.-м.н., в.н.с. Туркиной О.М., к.г.-м.н., с.н.с. Шелепаеву Р.А.; «Прогнозно-металлогенических исследований», д.г.-м.н., г.н.с. Калинину Ю.А., д.г.-м.н., г.н.с. Пальяновой Г.А. и к.г.-м.н., с.н.с. Сухорукову В.П.; «Геохимии благородных и редких элементов», д.г.-м.н., г.н.с. Жмодику С.М. За значительную помощь в подготовке автореферата и текста диссертации автор выражает сердечную благодарность д.г.-м.н. Никифоровой Зинаиде Степановне. Особая благодарность за помощь при проведении аналитических работ с применением метода ЛА-ИСП-МС выражается сотруднику ИМин УрО РАН, к.г.-м.н. Артемьеву Д.А., г. Миасс. Отдельные благодарности за предоставленную личную коллекцию самородного золота и самые ценные знания о регионе исследования автор выражает д.г.-м.н. Г.В. Нестеренко.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ИГМ СО РАН и Гранта РФФИ (№ 19-45-543002/19) «*Типоморфизм самородного золота аллювиальных россыпей как показатель генезиса их коренных источников. (С-3 Салаирский кряж)*».

Объем и структура работы

Работа состоит из введения, пяти глав и заключения. Диссертация изложена на 187 стр. и сопровождается 38 иллюстрациями, 2 таблицами и приложением. Список литературы включает 117 наименований.

Во *введении* обосновывается актуальность темы исследования, определены объекты, цели и задачи исследования, описан фактический материал и личный вклад соискателя, сформулированы научная и практическая значимость работы, а также защищаемые положения. В *первой главе* систематизированы литературные данные об истории изучения территории СЗ Салаирского кряжа, рассмотрено состояние проблемы и золотоносность района исследования. *Вторая глава*, посвящена геологическому строению и регионально-тектоническому положению Егорьевского рудно-россыпного района. Приводятся характеристики эндогенного оруденения и магматических образований, с которыми оно связано. В *третьей главе* подробно рассмотрен химический состав самородного золота и проведен минералогический анализ минеральных микровключений всех исследуемых объектов. Применяются статистические методы систематики самородного золота. В заключении к третьей главе выделены основные типы самородного золота. В *четвертой* главе рассмотрены сферы применения метода ЛА-ИСП-МС к анализу золота различного происхождения. Основываясь на результатах микроанализа происходит разложение основных типов самородного золота на группы. В заключении к главе высказываются первые предположения о происхождении самородного золота с идентичным химическим составом по наличию микропримесей. В *пятой главе* обсуждаются литературные данные и выявленные металлогенические специфики исследуемой части Салаирского кряжа. Установлены коренные источники питания россыпей, а также оценен их вклад в золотоносность россыпей Егорьевского рудно-россыпного района. Прогнозируется невыявленное золотосодержащее оруденение различных типов

Обоснование защищаемых положений

Краткое геологическое строение и золотоносность Егорьевского рудно-россыпного района

Салаирский кряж рассматривается как самостоятельная структурно-тектоническая единица в пределах западной части Алтае-Саянской складчатой области (Геологическое строение..., 1999) (Рис. 1а). С точки зрения геологического строения Салаирский кряж представляет собой складчатую тектоническую структуру северо-западного простирания, которая вблизи ограничивающих ее Горловского и северо-западной части Кузнецкого прогибов резко, почти под прямым углом, меняет простирание пород на юго-западное. Осевая зона Салаирского кряжа сложена кембрийскими карбонатно-вулканогенными отложениями, интенсивно дислоцированными и собранными в линейные и изоклинальные складки северо-западного простирания. Периферия складчатой структуры сложена

менее дислоцированными ордовикскими и силурийскими карбонатно-терригенными породами (Минерагения..., 2001).

На территории СЗ части Салаирского кряжа золото является основным полезным ископаемым (Неволько и др., 2019). Здесь известны его эндогенные, элювиальные и россыпные месторождения золота, большое число проявлений, пунктов минерализации, геохимических и шлиховых ореолов и потоков, объединенных в Егорьевский рудно-россыпной район. На текущий момент выделяются (Геологическое строение..., 1998) Суенгинское, Иковское, Тайлинское и Бердское россыпные поля (Рис.16). В Суенгинском россыпном поле сосредоточены почти все рудные объекты золото-сульфидно-кварцевого типа и наиболее высокопродуктивные россыпи, в Иковском и в восточной части Тайлинского проявлено полиметаллическое, а в наименее изученном Бердском прогнозируется полиметаллическое оруденение (Минерагения..., 2001). Большинство россыпей, залегают в полях развития относительно легко разрушаемых карбонатных и терригенно-карбонатных пород (Нестеренко и др., 1984). В Егорьевской антиклинали располагаются Новолушниковское золото-сульфидо-кварцевое и Егорьевское месторождения. В работах предшественников (Золотоносность..., 1995; Минерагения..., 2001, Оболенский и др., 1999 и др.) под золотоносными образованиями Егорьевского месторождения понимаются метасоматиты лиственит-березитового состава образованные по терригенно-карбонатным породам суенгинской и кинтерепской свиты (Неволько и др., 2019). Еще одним немаловажным источником самородного золота Егорьевского рудно-россыпного района являются участки коры выветривания кварц-слюдисто-карбонатных метасоматитов по образованиям Тайлинского комплекса. К наиболее перспективным участкам относят Лутанский, Гусельнятский и Лапинские участки (Минерагения..., 2001).

Первое защищаемое положение:

На основании содержания основных элементов примесей и комплекса минеральных микровключений в пределах Егорьевского рудно-россыпного района обосновано выделение пяти типов самородного золота: медистое, умеренно-серебристое, серебристое, высоко-серебристое, ртутистое. Каждое из россыпных полей характеризуется комбинацией нескольких типов россыпного золота.

На участке Егорьевского рудно-россыпного района по принадлежности к руслам основных рек выделяются четыре россыпных поля (Рис. 16). Иковское россыпное поле включает в себя бассейн р. Большой Ик и его правые притоки, которые слагают два участка, Крохалевский и Еловский. Тайлинское россыпное поле расположено на северо-востоке исследуемого района. Основные россыпи приурочены к притокам первого и второго порядка правых притоков верховьям р. Суенга.

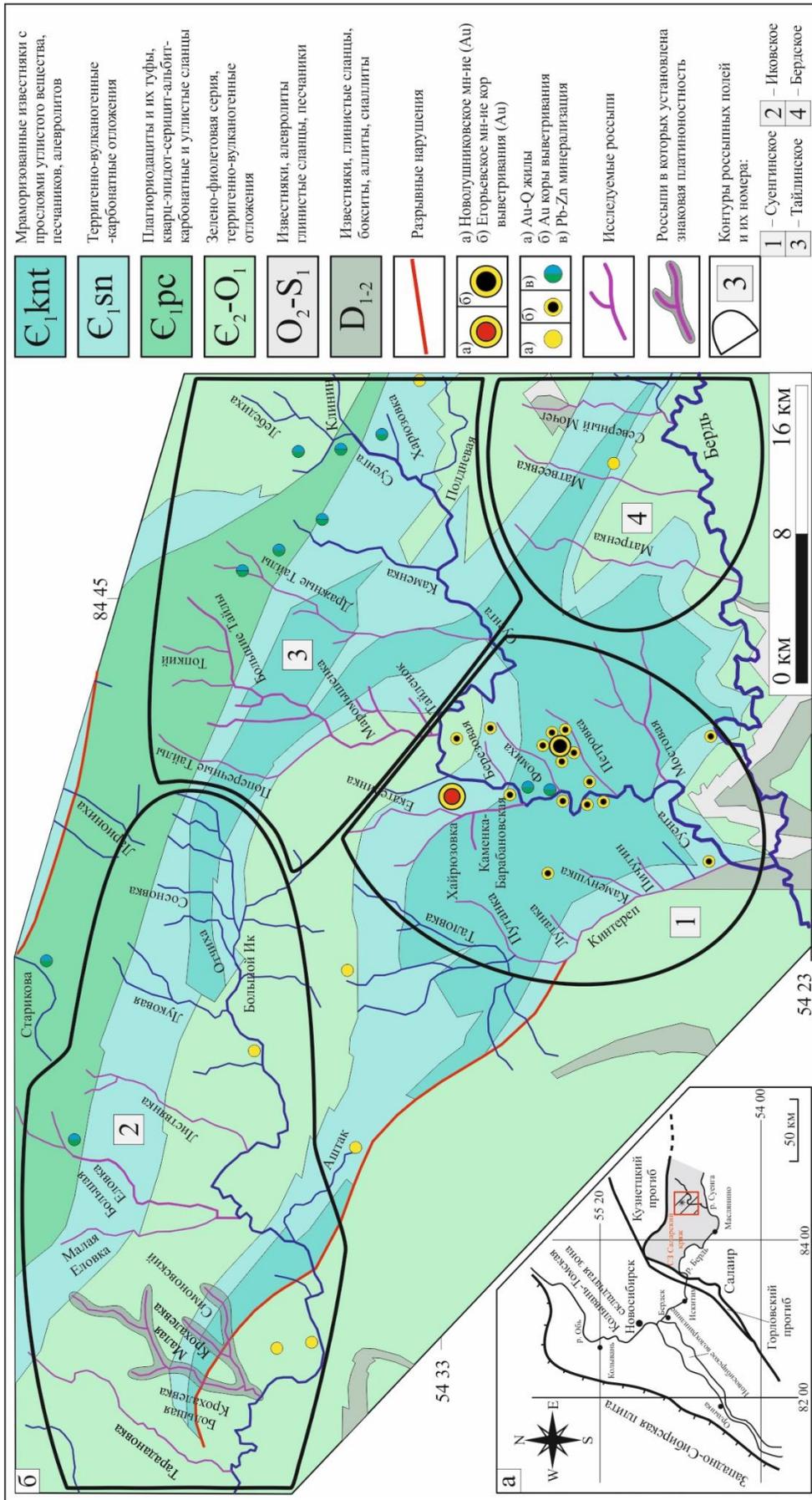


Рис. 1. а) Обзорная схема тектонического районирования области сочленения Кольвань-Томской складчатой зоны и Салаира; б) Схема геологического строения и золотоносности Егорьевского рудно-россыпного района (на основе Государственной геологической карты лист N-45-XIII (Минерагения ..., 2001).

Россыпи располагаются по рекам Маромышенка, Поперечные Тайлы, Дrajные Тайлы и Большие Тайлы. Бердское россыпное поле объединяет правые притоки р. Бердь, выше устья р. Суенга и сложено тремя россыпями по рекам Матренка, Матвеевка и Северный Мочег. Суенгинское россыпное поле объединяет россыпи бассейна нижнего течения р. Суенга, а также бассейна р. Кинтереп. Предметом изучения являются россыпи по рекам Кинтереп, Петровка, Мостовая, Каменка-Барабановская и Хайрюзовка.

Химический состав самородного золота выделенных россыпных полей и их участков изучался микронзондовым методом в классической системе концентраций Au-Ag-Cu-Hg.

Далее исходя из содержаний Ag вся совокупность самородного золота была предварительно разделена на группы. Выделение первичных групп проводилось с использованием диаграмм кумулятивных процентов по отношению к весовому содержанию серебра.

Использование таких диаграмм позволяет легко сравнить распределение серебра в различных выборках золота, независимо от количества изучаемых зерен (Chapman et al., 2000). Совпадающие участки в графиках интерпретируются в пользу дискретности выборки, в то время как разрывы в кривой или градиентные изменения определяют границы между группами самородного золота (Рис. 2).

Как видно из диаграмм основными интервалами изменения поведения кривой служат участки, отвечающие содержанию Ag: до 5 мас.%, 10-12 мас.%, 12-25 мас.% и более 25 мас.%. В ходе дальнейшего анализа данных о составе учитывалось наличие и количественное содержание примесей Hg и Cu в золоте (Рис. 3а). Явно выделяются выборки, отличимые по значимым содержаниям Cu (до 4 мас.%) и Hg (до 20 мас.%). При всем этом золото, характеризующееся содержанием Cu более чем 0,5 мас.%, как правило, содержит Hg не более 5 мас.%. В ртутистом самородном золоте (Hg более 10 мас.%), напротив, значимых концентраций меди не обнаруживается.

Последующий анализ самородного золота на предмет наличия заключенных в нем минеральных фаз выявил микровключения рудных минералов и их устойчивые минеральные ассоциации.

Увязка полученных данных о микровключениях с особенностями химического состава самородного золота легла в основу типизации всей совокупности самородного золота россыпных полей Егорьевского рудно-россыпного района. Характеристики **типов золота** даны в *Таблице 1*.

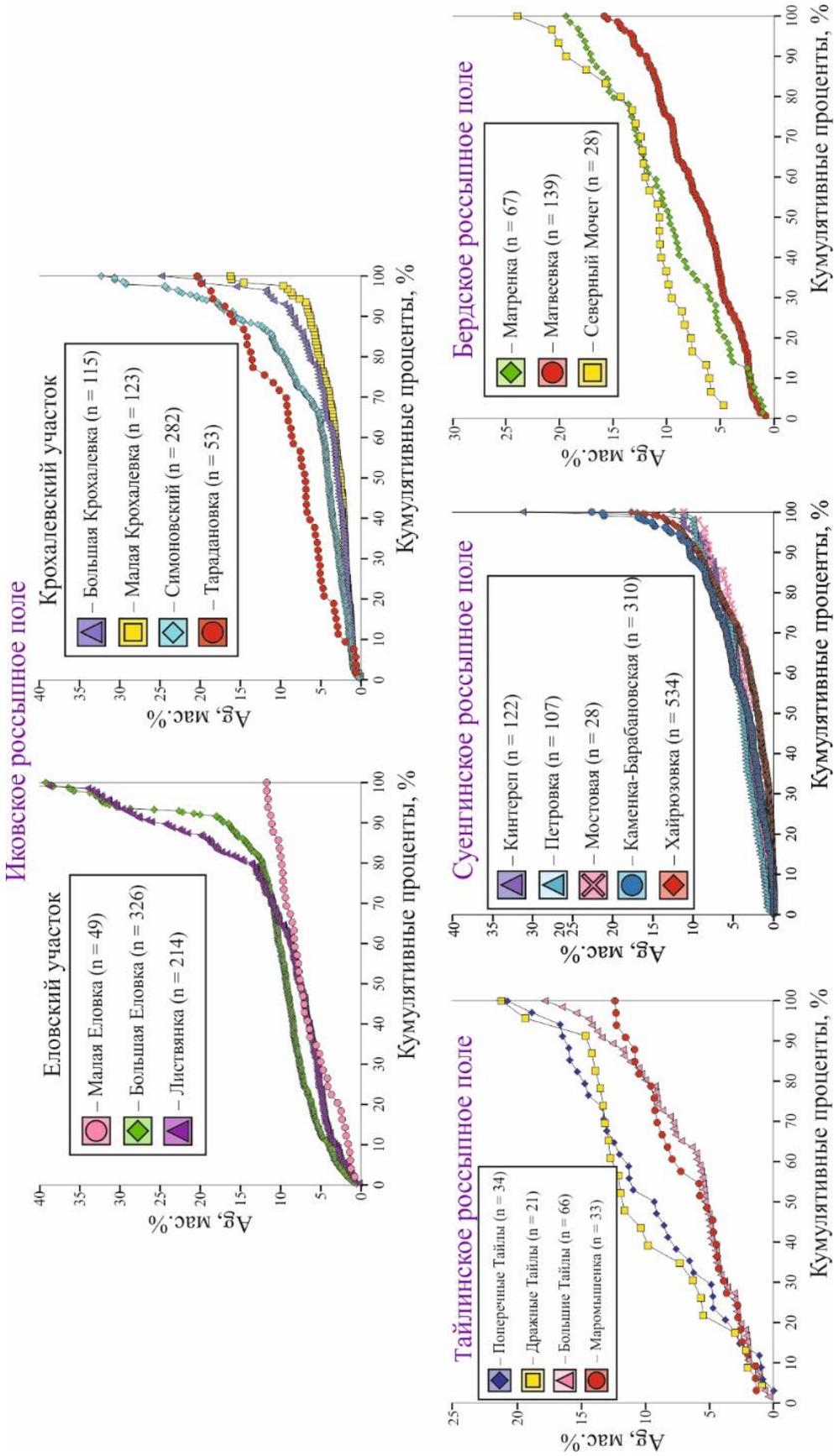


Рис. 2. Кумулятивные диаграммы содержания серебра для россыпных полей Егорьевского рудно-россыпного района

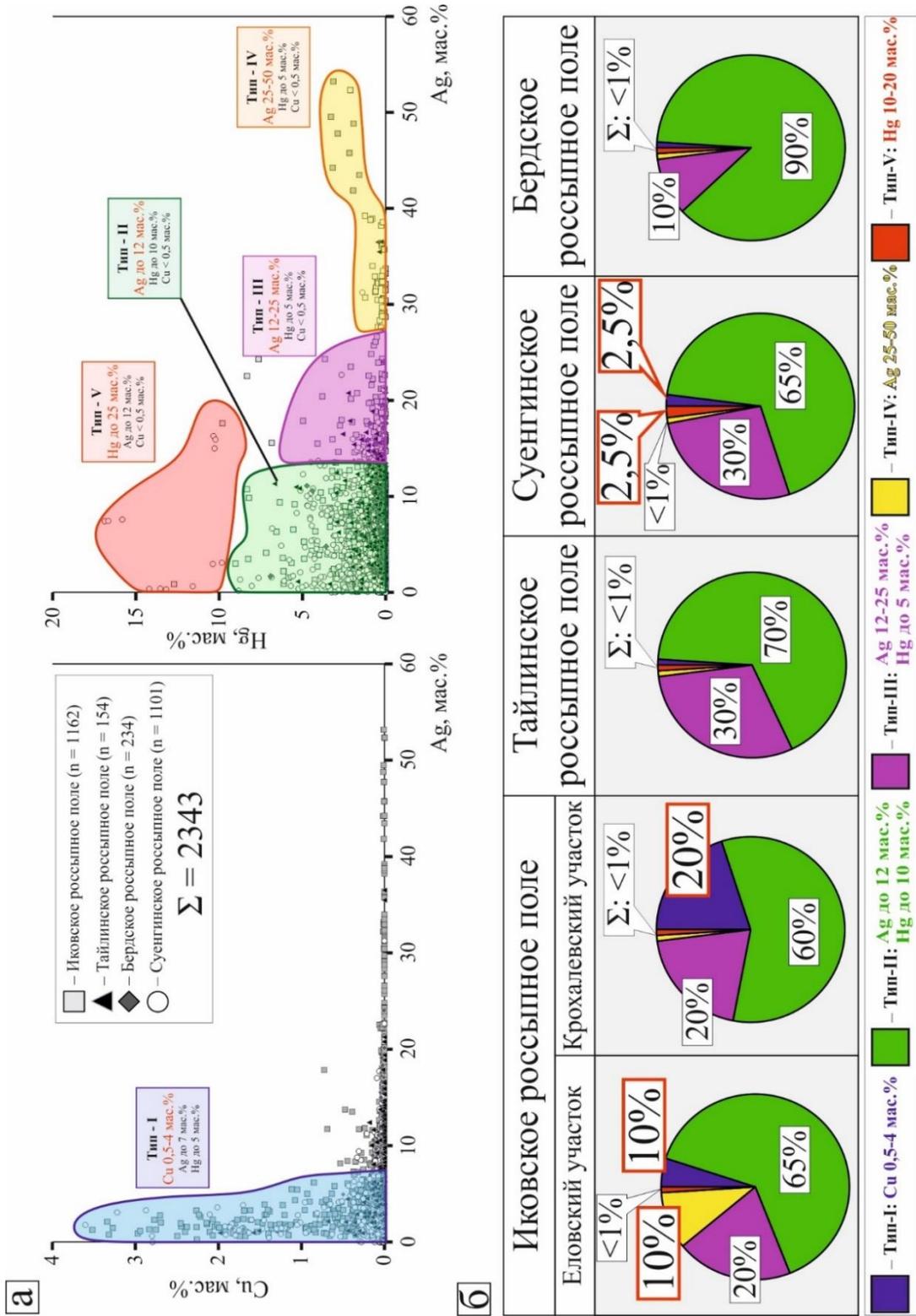


Рис. 3. а) Химический состав золота б) Вклад различных типов золота в россыпные поля Егорьевского рудно-россыпного района.

Таблица 1.

Типы самородного золота, выделяемые по составу.

Тип золота:	Химический состав, мас%			Минеральные микровключения:
	Ag	Hg	Cu	
Медистый, <i>Tun-I</i>	до 7	до 5	0,5-4	Халькопирит, Галенит, Ковеллин, Пирит Магнетит, Ильменит, Рутил
Умеренно-серебристый, <i>Tun-II</i>	до 12	до 10	<0,5	Пирит, Арсенопирит, Халькопирит, Галенит, Блеклая руда, Теллуrowисмутин, Теллуриды (Bi, Ag, Hg и Pb), Кварц, Рутил
Серебристый, <i>Tun-III</i>	12-25	до 5	<0,5	
Высоко-серебристый, <i>Tun-IV</i>	25-50	до 5	<0,5	Пирит, Галенит
Ртутистый, <i>Tun-V</i>	до 12	10-20	<0,5	Алтаит, Колорадоит, Аурустибит, Те-висмутит, Галенит

Сочетание типов самородного золота для каждого россыпного поля оценены в процентном эквиваленте и визуализированы при помощи классических круговых диаграмм (Рис. 3б). Для Крохалевского участка Иковского россыпного поля самородное золото *Tuna-I* является характеристичным. IV-тип самородного золота наиболее проявлен на Еловском участке Иковского россыпного поля. Тайлинское и Бердское россыпные поля полностью сложены II и III типом самородного золота в разных пропорциях. На участке Суенгинского россыпного поля установлены все выявленные типы самородного золота, включая собственный V-тип.

Подводя итоги проведенной группировки самородного золота с использованием статистических методов систематики при помощи программного обеспечения, были установлены закономерные сходства с классическими подходами систематизации золота на основе химического состава. По результату чего в каталоге данных, к составу каждой золотины системно присвоен советующий номер кластера. Согласно данной аббревиатуре была решена обратная задача и построены графики состава золота в координатах Ag-Cu, Hg (Рис.4).

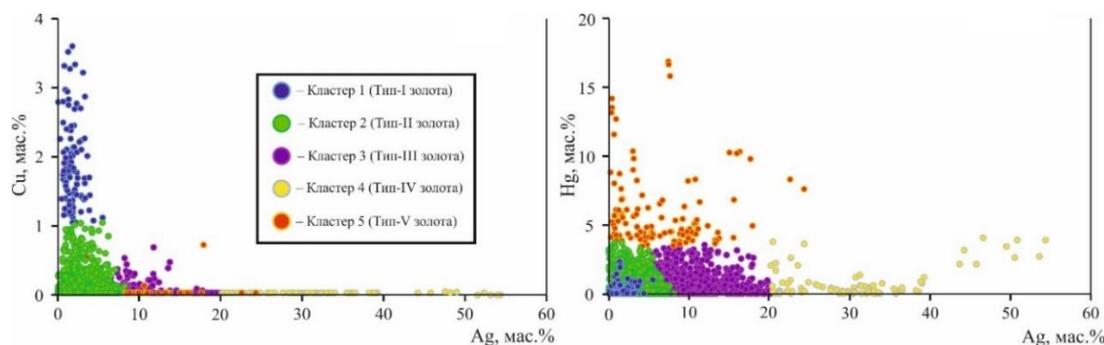


Рис. 4. Увязка химического состава выделенных типов самородного золота с результатам кластерного анализа.

Второе защищаемое положение:

Медистое самородное золото Иковского россыпного поля характеризуется микропримесью Pd, что позволяет предполагать его связь с магматическими породами основного состава Тайлинского комплекса и отличает от медистого золота Суенгинского и Тайлинского полей. Коренные источники умеренно-серебристого и серебристого золота Тайлинского и Бердского полей могли быть представлены золотосодержащей полиметаллической минерализацией, что подтверждается наличием в составе золота микропримеси Sb.

Микроэлементный анализ самородного золота проводился ЛА-ИСП-МС методом. К исследованию применялось золото из ранее выделенных типов и руд Новолушниковского месторождения. Исследуемые участки золота обладали заведомо известным составом (Ag, Cu, Hg, мас.%) и гомогенным строением.

В результате исследования самородного золота, относимого к медистому типу, охарактеризованного содержаниями Cu от 0,5 до 4 мас.% и Hg до 5 мас.%, проявленного на участках Иковского и Суенгинского россыпных полей, были установлены микропримеси Pd. Концентрации Pd незначительны и в среднем не превышают 5-100 ppm, в единичных случаях достигают 1000 ppm (Рис. 5). В медистом золоте Суенгинского и Тайлинского россыпных полей микропримесей Pd в составе золота выявлено не было. Таким образом, наличие микропримесей Pd в составе золота *Типа-I* является отличительной чертой Иковского россыпного поля.

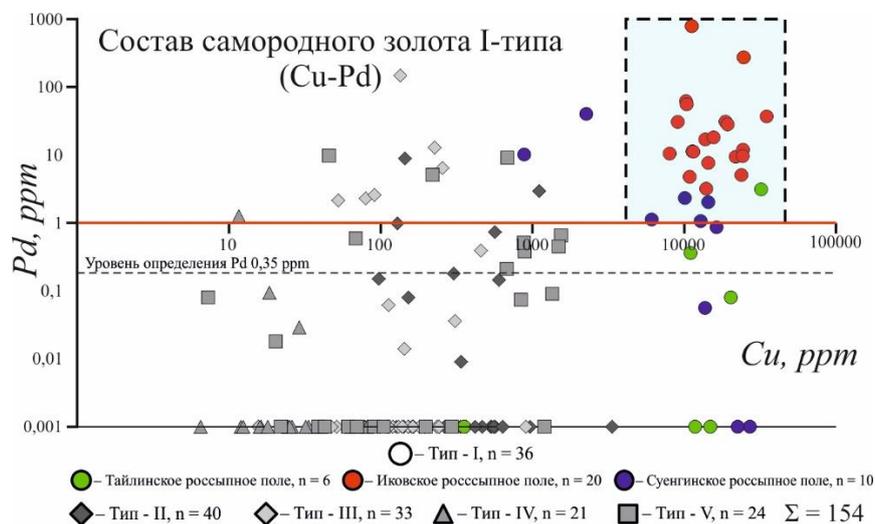


Рис.5. Микропримесный состав золота, отношения содержаний Pd к Cu.

Появление медистого самородного золота с микропримесью Pd на участке Иковского россыпного поля вероятнее всего обусловлено насыщенностью разреза небольшими интрузивными телами основного состава; габбро, диориты и метадиориты Тайлинского комплекса, где самородное золото связывают с первичной сульфидной минерализацией в данных телах (Золотоносность..., 1995).

При проведении микроанализа самородного золота, относимого к умеренно-серебристому и серебристому типам, определенного по содержаниям Ag до 12 мас.% и от 12 до 25 мас.%, при содержании Hg до 10 мас.% и до 5 мас.%, соответственно, была установлена микропримесь Sb, значения концентрации которой варьируют от 5 до 500 ppm (Рис. 6).

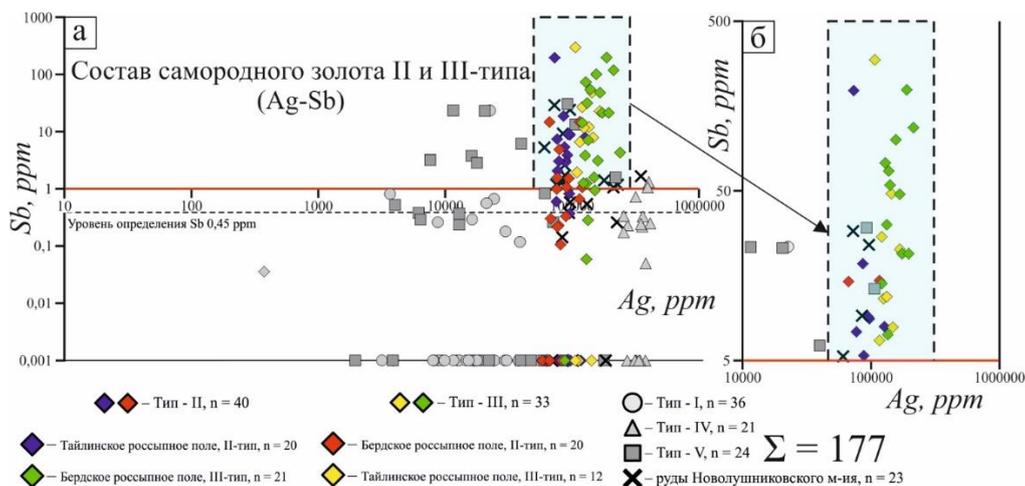


Рис.6. Микропримесный состав золота, отношения содержания Sb к Ag.

По наличию данной микропримеси представилось возможным разделить самородное золото Тайлинского и Бердского россыпных полей от прочего. Учитывая металлогеническую специфику изучаемой части Салаирского кряжа, а также принимая во внимание наличие протяженного полиметаллического пояса, расположенного в верховьях рек Иковского и Тайлинского россыпных полей (Минерагения...2001) и локализованного в вулканогенно-осадочных породах печеркинской свиты, можно предполагать, что микропримеси Sb в золоте определяются полиметаллическим источником. Тезис подтверждается данными (Liu, Beaudoin, 2021) о наличии в составе золота незначительных (до 200 ppm) примесей Sb и Bi в полиметаллических месторождениях вулканогенных массивных сульфидных руд.

Третье защищаемое положение:

Питание россыпей Егорьевского рудно-россыпного района происходило за счет разрушения коренных источников как минимум четырех основных типов: (1) первичная сульфидная минерализация в малых телах Тайлинского комплекса (медистое золото); (2) золотосодержащие метасоматиты березит-лиственитового состава и коры выветривания по ним (серебристое и умеренно-серебристое золото); (3) золото-сульфидно-кварцевая минерализация «новолушиковского типа» (ртутистое золото); (4) золотосодержащая полиметаллическая минерализация (высоко-серебристое).

В ходе обоснования третьего защищаемого положения будут высказаны предположения о коренных источниках для каждого из

выявленных типов аллювиального самородного золота. Аргументация будет строиться на геологической обстановке и минерагении районов питания россыпей; сравнительном анализе особенностей химического состава и набора микровключений самородного золота россыпей и известных источников (коры выветривания по метасоматитам, минерализация Новолушниковского и Егорьевского месторождений) самородного золота Егорьевского рудно-россыпного района (Рис. 7); полученные новые данные о микропримесном составе золота будут интерпретироваться в пользу генетических особенностей происхождения самородного золота.

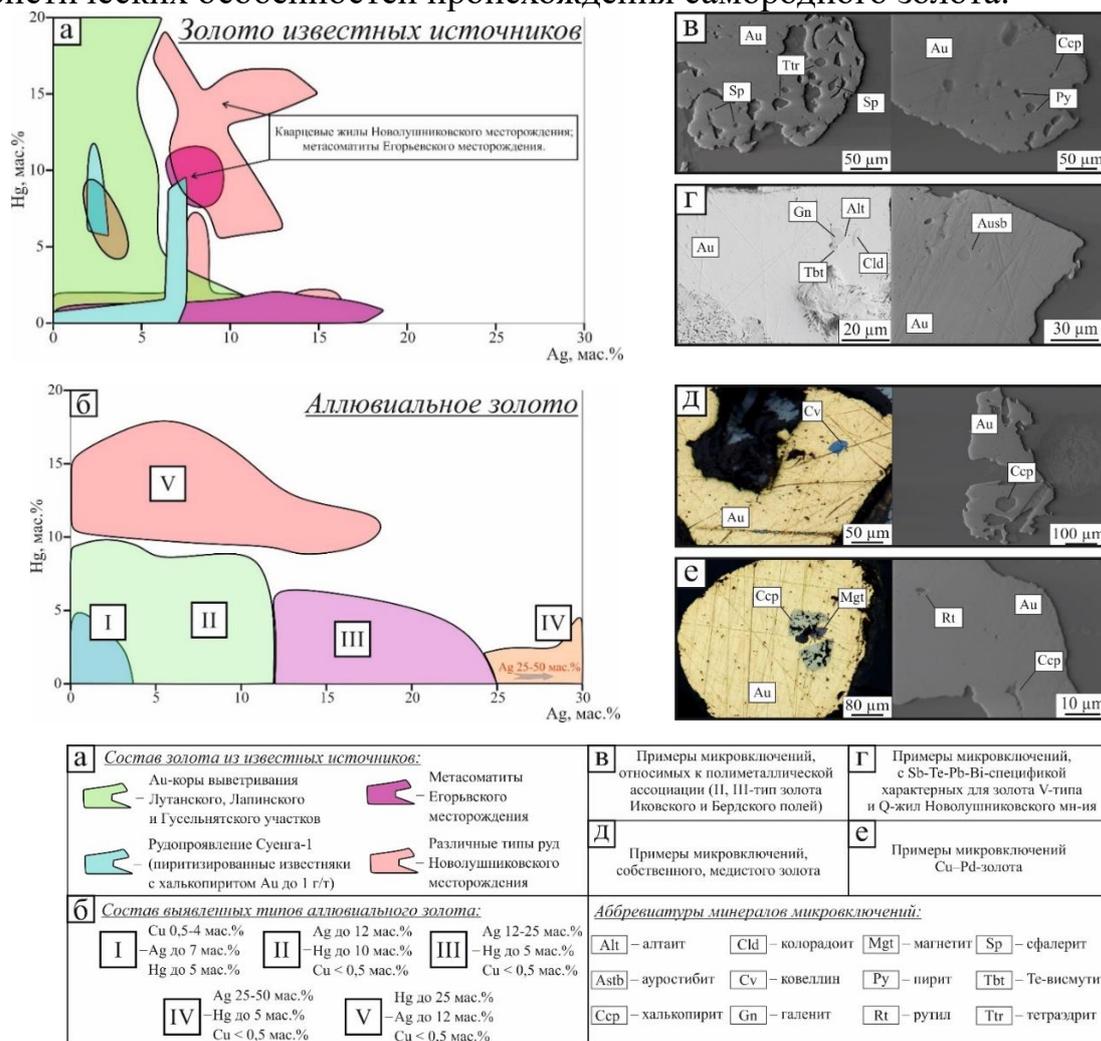


Рис.7. Иллюстрация комплексная. Поля составов золота аллювиальных россыпей и известных коренных источников, примеры микровключений.

Появление самородного золота *Tupa-I* на участке Иковского россыпного поля вероятнее всего обусловлено насыщенностью разреза небольшими интрузивными телами основного состава; габбро, диориты и метадиориты Тайлинского комплекса, где самородное золото связывают с первичной сульфидной минерализацией в данных телах (Золотоносность..., 1995). Наличие микропримесей Pd и уникальный набор микровключений (магнетит, ильменит и рутил) могут указывать на связь с магматизмом.

В ряду работ (Пальянова, 2020; Пальянова и др., 2023) наличие микропримесей Pd в составе золота описывается в пользу наличия месторождений элементов платиновой группы, связанных с основными-ультраосновными магматическими комплексами, что хорошо соотносится с знаковой платиноносностью россыпей Крохалевского участка Иковского россыпного поля (Рис. 1).

Все самородное золото, относимое к *медистому и высоко-серебристому типу*, характеризуется специфическим набором микровключений. Включения представлены, халькопиритом, галенитом, ковеллином, пиритом и их сростками. Принимая к учету, что ареалы распространения самородного золота совпадают с локализацией пунктов полиметаллической минерализации (Рис.8), можно предполагать, что появление золота в россыпях обусловлено разрушением и высвобождением из сульфидной минерализации известных кварц-карбонат-баритовых жил.

Самородное золото *II и III-типов* является наиболее распространенным в выборках всех россыпных полей Егорьевского рудно-россыпного района. Ранее его происхождение определялось, высвобождением самородного золота за счет разрушения метасоматитов лиственит-березитового состава, аналогичных проявленным на участках Егорьевского, Новолушниковского и Суенгинского (рудопроявления) месторождений (Неволько и др., 2019). Данное утверждение применимо к золоту Суенгинского и Иковского россыпных полей, на что указывает сходство химического состава аллювиального золота с основным золотом из метасоматитов (Рис. 7), а также наличием собственных метасоматических и эталонных золоторудных объектов на участке Суенгинского россыпного поля (Рис. 8). В настоящий момент, для самородного золота *II и III-типа* Иковского и Бердского россыпных полей предполагается полиметаллический источник питания. Данное предположение подкрепляется как наличием протяженного полиметаллического пояса, расположенного в верховьях рек Иковского россыпного поля, в той же мере, как и отсутствием каких-либо золоторудных объектов метасоматического характера. Более того, *умеренно-серебристое и серебристое золото* Иковского и Бердского россыпных полей, отличимо от прочего примесью Sb, и своей спецификой набора микровключений.

Ртутистый тип самородного золота является уникальным (Hg 10 мас.% и более), он наиболее близок к составу золота кварцевых жил Новолушниковского и частично метасоматических образований Егорьевского месторождения (Рис. 7). Данный тип золота установлен в россыпях Суенгинского россыпного поля в непосредственной близости от месторождений, что и объясняет его происхождение. В пользу этого аналогично свидетельствует наличие микропримеси Sb в составе золота *V-типа* и в *высокортутистом* золоте, полученном из кварцево-жильных руд Новолушниковского месторождения (Рис.6).

Заключение

На примере изучения самородного золота россыпей Егорьевского рудно-россыпного района (СЗ Салаирский кряж) Иковского, Тайлинского, Суенгинского и Бердского полей был определен химический состав, проведен минералогический анализ микровключений и выявлены микропримесные закономерности.

Группировка ранних несистематизированных данных о химическом составе самородного золота с самостоятельно полученными результатами позволила дополнить картину и оперировать материалом со всех известных россыпей Егорьевского рудно-россыпного района. При систематизации данных о составе самородного золота были определены первичные группы в соответствии с содержанием серебра. В ходе дальнейшего анализа основных компонентов состава золота (Cu и Hg) и значимости их содержаний с данными о включениях в самородном золоте рудных минералов и их ассоциаций было обосновано выделение пяти основных типов самородного золота (медистое, умеренно-серебристое, серебристое, высоко-серебристое и ртутистое) россыпей Егорьевского рудно-россыпного района. Установленные микропримеси в составе золота разделили ранее выделенные типы самородного золота.

В составе медистого самородного золота Иковского поля были установлены микропримеси Pd и минеральная ассоциация микровключений, свойственная минералам магматических руд (халькопирит, магнетит, ильменит, рутил). Согласно литературным данным и мнению предшественников, источником медистого золота Иковского россыпного поля служили малые тела Тайлинского комплекса основного состава (габбро – диорит). В то время как для аналогичного состава золота Суенгинского поля более характерна полиметаллическая ассоциация микровключений (халькопирит, галенит, ковеллин и пирит) и фактическое отсутствие микропримесей Pd. Исходя из предположений о полиметаллическом происхождении медистого золота Суенгинского россыпного поля и его наличии только в определенных россыпях, можно предполагать большее количество проявлений полиметаллов в пределах контура поля. Установленные микропримеси Sb в умеренно-серебристом и серебристом самородном золоте Тайлинского и Бердского россыпных полей позволили отличать его от аналогичного золота Суенгинского и Иковского россыпного поля. Ранее, включая собственные работы, считалось, что основное серебристое и умеренно-серебристое золото Егорьевского района попадало в россыпи за счет разрушения метасоматитов (лиственит-березитового типа) и кор выветривания по ним. Однако, принимая во внимание протяженный полиметаллический пояс, расположенный в

верховьях рек Тайлинского поля, наличие примесей Sb, полиметаллическую специфику микровключений (пирит, халькопирит, галенит, блеклая руда, тетраэдрит, сфалерит и теллуриды (Bi, Ag, Hg и Pb) в самородном золоте Тайлинского и Бердского россыпных полей, можно заключать, что основным источником золота служили кварц-карбонат-баритовые жилы с полиметаллической минерализацией. Такая же версия происхождения применима к высоко-серебристому самородному золоту Тайлинского и Иковского россыпных полей, в золоте которых установлены микровключения галенита и пирита. Вероятнее всего, высвобождение умеренно-серебристого, серебристого и высоко-серебристого самородного золота происходило непосредственно из сульфидов. Несмотря на различия в геологическом строении и фактическое отсутствие рудоконтролирующей полиметаллическое оруденение печеркинской свиты на участке Бердского россыпного поля, можно предполагать наличие как минимум двух перспективных участков на золотосодержащую сульфидную минерализацию и, как минимум, по одному для Тайлинского и Иковского полей.

Ртутистое самородное золото Суенгинского россыпного поля распространено локально и в непосредственной близости от Новолушниковского и Егорьевского месторождений, что в целом и определяет его происхождение. Данное доверяется наличием микропримеси Sb в составе золота V-типа и кварцевых жил Новолушниковского месторождения. В случае самородного золота с высокими содержаниями ртути Иковского участка, отвечающего химическому составу и набору микровключений, характерных для золота кварцевых жил Новолушниковского месторождения, можно только предполагать скрытое оруденение, что согласуется с наличием разрозненных кварцевых жил, расположенных вблизи основного течения р. Большой Ик.

Основные опубликованные работы по теме диссертации

Публикации в рецензируемых журналах:

1. Колпаков В.В., Неволько П.А., **Фоминых П.А.** Россыпное золото Егорьевского района как прогнозный критерий золотого оруденения (Северо-Западный Салаир) // Разведка и охрана недр. 2017. №5. С. 12-17.
2. Неволько П.А., Колпаков В.В., Нестеренко Г.В., **Фоминых П.А.** Самородное золото аллювиальных россыпей северо-западного Салаира: состав, типы и минеральные микровключения // Геология и геофизика. 2019. Т.60. № 1. С.79-100.
3. Колпаков В.В., Неволько П.А., **Фоминых П.А.** Типохимизм и минеральные ассоциации самородного золота коры выветривания

Егорьевского рудно-россыпного района (Северо-Западный Салаир) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2020. Т.2. № 42. С. 96-109.

4. **Fominykh P.A.**, Nevolko P.A., Svetlitskaya T.V., Kolpakov V.V. Native gold from the Kamenka-Barabanovsky and Kharuzovka alluvial placers (Northwest Salair Ridge, Western Siberia, Russia): Typomorphic features and possible bedrock sources // Ore Geology Reviews. 2020. V.126. Art.103781.

Публикации в материалах научных мероприятий:

1. **Фоминых П.А.**, Неволько П.А., Колпаков В.В. Типоморфизм и коренные источники самородного золота россыпей Хайрюзовка и Каменка-Барабановская (Салаирский Кряж) // Металлогения древних и современных океанов. 2018, Т. 24, С. 183-186.

2. **Фоминых П.А.** Самородное золото из россыпей Хайрюзовка и Каменка-Барабановская (Салаирский кряж) как инструмент прогноза эндогенного оруденения. В сборнике: ПРОБЛЕМЫ ГЕОЛОГИИ И ОСВОЕНИЯ НЕДР. 2018, Т. 2, С. 201-202.

3. **Фоминых П.А.**, Неволько П.А., Колпаков В.В. Минеральные включения в самородном золоте как индикатор формационной принадлежности коренного источника на примере россыпей Хайрюзовка и Каменка-Барабановская (СЗ Салаирский Кряж) // Металлогения древних и современных океанов. 2019. Т. 25. С. 193-197.

4. **Фоминых П.А.**, Неволько П.А. Типоморфизм и источники питания самородного золота аллювиальных россыпей Северо-Западного Салаирского кряжа // Новое в познании процессов рудообразования. 2019. Т. 9. С. 436-439.

5. **Фоминых П.А.**, Арефьев Д.А., Неволько П.А., Колпаков В.В. LA ИСП MS анализ самородного золота аллювиальных россыпей – генетическая интерпретация (Иковское россыпное поле, СЗ Салаирский кряж) // Металлогения древних и современных океанов. 2020. Т. 26. С. 162-165.

6. **Фоминых П.А.**, Неволько П.А., Колпаков В.В. LA-ICP-MS анализ самородного золота аллювиальных россыпей как метод выявления коренных источников и типоморфных примесей (СЗ Салаирский кряж, Бердское и Тайлинское россыпные поля) // Уральская минералогическая школа. 2021. №27. С. 125-127.

7. **Фоминых П.А.** Типохимизм и формационные типы коренных источников самородного золота россыпей Егорьевского рудно-россыпного района (СЗ Салаирский кряж) // Новое в познании процессов рудообразования. 2023. Т. 12. С. 230-233.