МГУ имени М.В. Ломоносова

Кафедра геохимии

№ госрегистрации
121061600048-7

УТВЕРЖДАЮ
Директор/декан
_____
«27» декабря 2022 г.

УДК
550.46 Геохимия и геохимические действия гидросферы (воды) и атмосферы
550.4.02 Практическая и экспериментальная геохимия
550.84 Химические и физико-химические методы геологических исследований. Геохимические методы (комплексные методы)

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

по теме:
Развитие комплексных методов физической, прогнозно-поисковой и экологической геохимии
(промежуточный)

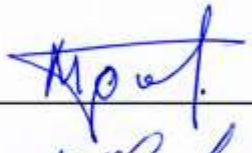
Зам. директора/декана
по научной работе
_____
«27» декабря 2022 г.

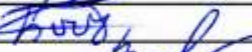
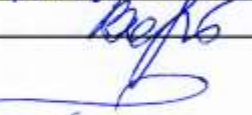
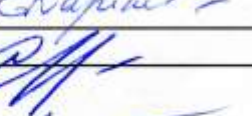
Руководитель темы
Борисов М.В.
_____
«26» декабря 2022 г.

Николаев Ю.Н.
_____
«26» 12. 2022 г.

Москва 2022

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы:
заведующий кафедрой, доктор геолого-минералогических наук, профессор по кафедре —  (Борисов М.В.)
доцент, кандидат геолого-минералогических наук, доцент/с.н.с. по специальности —  (Николаев Ю.Н.)

Исполнители темы:
старший преподаватель —  (Аплеталин А.В.)
аспирант —  (Балыкова И.В.)
профессор, кандидат геолого-минералогических наук, доктор геолого-минералогических наук, профессор, доцент по кафедре —  (Бычков А.Ю.)
научный сотрудник —  (Бычков Д.А.)
инженер 1-ой категории —  (Бычкова Г.В.)
доцент, кандидат геолого-минералогических наук, доцент по кафедре —  (Воробьев С.А.)
профессор, доктор геолого-минералогических наук, профессор по кафедре —  (Гричук Д.В.)
специалист —  (Джеджея Г.Т.)
 (Жандарова Т.В.)
старший научный сотрудник, кандидат геолого-минералогических наук —  (Калько И.А.)
старший научный сотрудник, кандидат геолого-минералогических наук, доцент/с.н.с. по специальности —  (Коптев-Дворников Е.В.)
 (Коренева Е.В.)
научный сотрудник, кандидат геолого-минералогических наук —  (Липатникова О.А.)
старший научный сотрудник, кандидат геолого-минералогических наук —  (Лубкова Т.Н.)
старший научный сотрудник, кандидат геолого-минералогических наук —  (Митоян Р.А.)
ведущий специалист —  (Назьмова Г.Н.)

специалист	_____ (Охапкина Е.Ю.)
старший научный сотрудник, кандидат геолого-минералогических наук, доцент/с.н.с. по специальности	_____ (Пчелинцева Н.Ф.)
инженер 1-ой категории	_____ (Родионова И.П.)
	_____ (Румянцева О.П.)
	_____ (Солопова Е.А.)
инженер 1-ой категории	_____ (Филатова О.Р.)
главный специалист	_____ (Филёв Е.А.)
ведущий научный сотрудник, кандидат геолого-минералогических наук	_____ (Шваров Ю.В.)
старший научный сотрудник, кандидат химических наук	_____ (Шестакова Т.В.)
старший научный сотрудник, кандидат геолого-минералогических наук	_____ (Яблонская Д.А.)

РЕФЕРАТ

Ключевые слова:
жильно-прожилковые зоны, численное термодинамическое моделирование, прожилково-вкрапленные руды, формы нахождения элементов, рудообразование, гидротермальные системы, мафит-ультрамафитовые расслоенные комплексы, золотое оруденение, экологическая геохимия, кислотный дренаж
Ключевые слова по-английски:
ecological geochemistry, hydrothermal systems, ore formation, mafic-ultramafic layered complexes, thermodynamic modeling, vein-disseminated ores, gold mineralization, vein-veinlets zones, acid rock drainage, speciation of elements

1.Исследования по теме «Развитие методических основ прогнозно- поисковой и экологической геохимии». В отчетный период были продолжены работы по уточнению параметров поисковой геолого-геохимической модели золотого оруденения в гранитоидах и выявлению критериев оценки эродированности рудно-магматических систем на ранних стадиях ГРР. Целью исследований являлось совершенствование методики геохимических поисков и оценки месторождений благородных металлов в условиях Северо-Востока РФ. Для определения перспективности оруденения при поисках на обширных площадях ранга рудных районов и узлов, весьма продуктивным для прогноза является использование современных геолого-генетических моделей. Такие модели наиболее эффективны для районов сложного геологического строения с длительным развитием гидротермальных процессов и многоэтапным формированием оруденения. Наиболее известными и получившими общее признание являются, например, модели порфирово-эпитермальных систем и систем золота, связанных с интрузиями (IRGS). В результате геохимических, минералогических и термобарохимических исследований получены новые данные о параметрах рудообразования, глубинах формирования и пульсационном характере рудно-магматического процесса в Стадухинском рудно-россыпном районе с крупным золоторудным месторождением Кекура и перспективными проявлениями на его площади. В развитии рудно-магматической системы выделены этапы, связанные с разными фазами внедрения и последовательного формирования 3-х основных типов оруденения: золото-редкометального теллуридно-висмутового, золото-кварцевого (березитового) и золото-серебряного. Определены поисковые критерии выявления и параметры потенциальных рудных объектов с золото-кварцевым, золото-редкометальным и золото-серебряным оруденением. Изучен вещественный состав различных типов руд, разработаны минералогические и геохимические критерии их типизации. Разработаны критерии оценки перспективности выявляемых рудных объектов на ранних стадиях ГРР и предложена рациональная последовательность проведения геолого-геохимических работ применительно к разным типам оруденения. Полученные данные могут быть использованы для выделения рудоносных структур ранга потенциальных рудных районов, узлов и полей с медной, золотой и золото-серебряной минерализацией, их типизации и оценки перспективности при геохимических поисках по вторичным ореолам рассеяния в различных регионах РФ со сходными геологическими и ландшафтно-

геохимическими условиями.

2.Впервые предложена и апробирована методика формирования выборки экспериментальных данных повышенной надёжности, состоящая из проверки аналитических данных масс-балансовыми расчётами, проверки соответствия анализов заявленным минеральным видам и оценки равновесности экспериментов. Это позволило на предварительном этапе очистить выборку от ненадёжных экспериментальных данных. На материале шести экспериментальных серий выполнена верификация совместной работы оливинового, авгитового и плагиоклазового композитометров, с учетом совместного влияния.

3.Целью данного этапа работы являлась комплексная гидрохимическая характеристика вод родников особо охраняемых природных территорий (ООПТ) южного и западного округов г. Москвы (Государственного историко-архитектурного художественного и ландшафтного музея-заповедника «Царицыно», природного заказника «Воробьевы горы», природно-исторических парков «Москворецкий» и «Битцевский лес»), многие из которых используются местным населением для питьевых целей. Всего обследовано 30 родников. Изучен макро- и микрокомпонентный состав с использованием прецизионных методов анализа вещества, проведена графическая обработка результатов, а также рассчитано распределение растворенных форм микроэлементов в водах с использованием программы Visual–MINTEQ. Обследованные родники дренируют надъюрский водоносный комплекс; по химическому составу на диаграмме Пайпера воды попадают в область распространенности двух типов: IV — Ca–Mg–HCO3 и I — Ca–Mg–Cl–SO4. Сравнение микрокомпонентного состава вод родников с ПДК химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования показало превышение только по железу и марганцу в единичных пробах. Термодинамический расчет растворенных форм нахождения микроэлементов (Ba, Sr, Fe, Mn, Zn, Cd, Ni, Co, Pb, Cu) в водах обследованных родников показал, что для Sr, Ba, Fe, Mn, Zn, Ni, Co, Cd, преобладающими формами являются свободные ионы, для Cu и Pb – карбонатные комплексы и комплексы с органическими кислотами.

ВВЕДЕНИЕ

1.В рамках темы «Развитие методических основ прогнозно-поисковой экологической геохимии проводились работы по совершенствованию методики геохимических поисков и оценки месторождений благородных и цветных металлов в условиях Северо-Востока РФ. Для достижения поставленной цели проведено исследование вертикальной геохимической зональности золотого оруденения в Стадухинском рудно-россыпном районе и разработаны критерии оценки уровня эрозионного среза проявлений на ранних стадиях ГРР. На основе проведенных исследований разработана поисковая модель золотого оруденения в гранитоидах, актуальная при проведении поисковых и геологоразведочных работ в сходных ландшафтных и геологических условиях.

2.Решение фундаментальной проблемы образования ритмической расслоенности мафит-ультрамафитовых комплексов и сопряженных с нею магматогенных месторождений полезных ископаемых (хромитовых, платинометальных, титаномагнетитовых) возможно только путём численного моделирования динамики внутрикамерных процессов магматической эволюции. Для этого необходимо разработать новую математическую модель, состоящую из термодинамического и динамического блоков. Необходимой компонентой термодинамического блока является набор композитометров – систем уравнений, моделирующих равновесие между соответствующим минералом и силикатным расплавом. Коэффициенты и константы в этих уравнениях находятся путём статистической обработки выборок экспериментальных данных. Отсюда следует, что качество получаемых композитометров напрямую зависит от качества включённых в выборки экспериментов. Целью создания комплекса композитометров и алгоритма решения задачи равновесия является поиск равновесия в природной многофазной системе на фоне понижения температуры. Это требует совместной работы комплекса композитометров для всех минеральных фаз. Материал для верификации программы КриМинал могут предоставить экспериментальные серии кристаллизации единого исходного состава при понижении температуры.

3.Родники, сохранившиеся на территории Москвы, являются уникальными природно-историческими объектами, входящими в природный комплекс города. Однако в связи с активной градостроительной и хозяйственной деятельностью на территории города в последнее время их количество сокращается. Площади водосборов загрязнены, территории, занимаемые родниками, зачастую не обустроены, что исключает гарантированное соответствие качества воды в родниках требованиям санитарно-эпидемиологической безопасности. Целью нашей работы являлась комплексная гидрохимическая характеристика вод родников особо охраняемых природных территорий южного и западного округов г. Москвы. Родники города Москвы, являясь показателем подземного стока и индикатором экологического состояния городской территории на площади водосбора, имеют также природоохранное, историческое, культурно-познавательное, эстетическое,

рекреационно-оздоровительное значение. Особенно значимыми для городского социума являются родники, расположенные на рекреационных территориях, в частности на особо охраняемых природных территориях музеев-заповедников, природных заказников и природно-исторических парков. Такие родники пользуются популярностью у населения, их вода часто

используется в питьевых целях, но таблицы с информацией об их составе обычно отсутствуют. Таким образом, актуальность и практическая значимость выполняемых исследований не вызывает сомнений.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1.Геологическая характеристика территории. В 2014-16 и 2018-21 гг. на территории Южно-Анюйской металлогенической зоны (Чукотский АО) проводились поисковые геолого-геохимические работы на флангах золоторудного месторождения Кекура и перспективных участках Стадухинского рудно-россыпного района. В результате этих работ были выявлены и заверены поисковыми маршрутами многочисленные геохимические аномалии ранга потенциальных рудных полей, перспективные на обнаружение промышленного оруденения благородных и цветных металлов. К категории объектов, промышленное освоение которых ведется (или планируется в ближайшее время) на Чукотке, относятся месторождения золото-кварцевой, золото-серебряной вулканогенной и медно-порфировой рудных формаций. Наиболее востребованными на сегодня и вовлеченными в промышленную отработку являются месторождения вулканогенной золото-серебряной (Купол, Двойное, Сентябрьское и др.) и золото-кварцевой (Каральвеем, Кекура) формаций с богатыми (бонанцевыми) рудами. Золото-кварцевые месторождения, несмотря на их привлекательность из-за высоких содержаний металла и простой схемы гравитационного обогащения руд, до последнего времени не играли существенной роли в общем балансе добычи золота на Чукотке. Причиной этому являлся преимущественно средний - мелкий масштаб запасов разведанных месторождений золота жильного типа, отработка которых возможна только подземным способом. Месторождения и проявления золото-кварцевой формации приурочены к основным складчатым зонам Чукотки (Анюйской, Раучуанской, Чаунской) и локализованы преимущественно в терригенных породах триаса. Как правило, они расположены на площади известных и давно отработанных крупнейших рудно-россыпных узлов (Кэпервеемского, Ичувеемского, Гремучинского, Ревеемского и др.) и либо вовлечены в промышленную отработку (Коральвеем, Озерное), либо находятся на стадиях разведки и подготовки к эксплуатации. Менее изучены, и на наш взгляд, недооценены золоторудные месторождения в гранитоидах, привлекающие все больший интерес во всем мире своими крупными запасами, легкой обогатимостью и возможностью отработки открытым способом. На северо-востоке России с советских времен известны только месторождение Школьное в Магаданской области (частично отработано) и месторождение Кекура в Чукотском АО (недавно введено в промышленную эксплуатацию) и ряд менее значительных по масштабу объектов на востоке республики Саха Якутия. В отличие от повышенного интереса к этому типу западных исследователей [Baker, 2002, Baker, 2005, Hart, 2005, Hart, 2007, Hedenquist, 1994, Sillitoe 1991, Thompson, 1999, Lang, 2001] в отечественной литературе ему уделяется недостаточно внимания. Усилиями специалистов ИГЭМ РАН изучены условия и параметры формирования золотого оруденения типа «Intrusion-related» [Волков ,2018, Vikent’eva, 2018]. В то же время фактически отсутствует поисковая модель этого оруденения, недостаточно хорошо изучен вещественный состав руд и метасоматитов, отсутствуют их геохимические характеристики, в том числе представления о параметрах вторичных ореолов и потоков рассеяния промышленно-значимых объектов и критериях оценки уровня эрозионного среза на основе исследований их геохимической зональности.

Полученные в последние годы результаты поисковых геолого-

геохимических работ в Стадухинском рудно-россыпном районе, где разведано и введено в эксплуатацию крупное золоторудное месторождение Кекура, позволяют частично ответить на поставленные вопросы относительно вещественного состава руд, проявленности оруденения во вторичных ореолах, критериев оценки перспективности выявляемых объектов и др. Стадухинский рудно-россыпной район выделен в результате геологического изучения, поисковых и разведочных работ на россыпное и коренное золото в пределах Южно-Анюйской складчатой системы, которая с позиций современной геотектоники рассматривается как пограничная структура, отделяющая Чукотский микроконтинент (Чукотскую складчатую область) от структур Алазейско-Олойской складчатой области, представляющих собой коллаж тектонических блоков, большая часть которых имеет островодужную природу [Соколов, 2015]. Южно-Анюйская сутура сложена интенсивно деформированными палеозойско-мезозойскими магматическими, метаморфическими образованиями и осадочными отложениями. В составе структурно-вещественных комплексов выделяются офиолиты, островодужные образования, деформированные турбидиты триаса, верхней юры – нижнего мела, а также терригенный меланж аккреционного типа с блоками океанической коры. Во время коллизии океанические и островодужные комплексы были шарьированы в северном направлении на пассивную окраину Чукотского континента, а затем повторно шарьированы в южном направлении. Заключительный этап коллизии характеризуется сдвиговыми деформациями (правые сдвиги запад-северо-западного направления). В постколлизионный этап они сменились субширотными левосторонними сдвигами, завершившими формирование сложного чешуйчато блокового строения Южно-Анюйской складчатой структуры. В апт-альбское время последующее растяжение привело к формированию наложенных впадин [Соколов, 2015]. В постколлизионный период на фоне растяжения происходило внедрение магматических масс и формирование интрузивно-купольных структур, сопровождавшееся гидротермальной деятельностью с образованием золоторудных месторождений типа «Intrusion-related». Наиболее древние образования в пределах рассматриваемой территории представлены комплексами Яракваамского поднятия (террейна), включающими вулканогенные и туфо-терригенные толщи карбона и перми с суммарной мощностью 3,5-4 км [Соколов, 2015]. Палеозойские комплексы Яракваамского террейна слагают серию блоков, разделенных тектоническими нарушениями. Нижнемезозойские отложения в Стадухинском рудно-россыпном районе представлены терригенными породами Устиевской толщи и вулкано-терригенными породами Игрековской и Приречинской толщ. Среднемезозойские образования и отложения пользуются самым широким развитием на территории и представлены всеми тремя отделами юрской системы - серией толщ различного состава и генезиса (терригенные, вулканотерригенные, вулканогенные), слагающих пластины и чешуи надвигов в аллохтоне Южно-Анюйской сутуры. Верхнемезозойские отложения и образования представлены нижним отделом в составе туфотерригенных Валуннинской и Левотеньвельвеемская толщ и вулканогенной (базальтовой) саламихинской свитой. Из плутонических образований рассматриваемой части Южно-Анюской зоны к палеозою отнесены породы громадненского (габбро-перидотитового) и вургувеемского (плагиогранит-тоналитового) комплексов, слагающие крупный Громадненско-Вургувеемского массив. Поздне-

юрские интрузивные образования на площади представлены Кораньвеемским габбро-плагиогранитовым комплексом. Породы комплекса слагают плитообразные и силлоподобные массивы г. Снеговая и г. Трехречье в междуречье Нутесын-Кульпольней-Орловка. Последние датировки этих образований свидетельствуют о вероятном раннемеловом возрасте этих интрузивов (122-118 млн. лет [Глотов,1995, Уютов, 2001]). Основным этапом интрузивного магматизма, с которым связана активная гидротермальная деятельность, является конец раннего мела. В конце апта – начале альба в интервале 113-100 млн. лет, согласно результатам U-Pb датирования [Уютов,2001], на территории района сформирован ряд интрузивов гвардейского габбро-диорит-монцодиорит-гранодиорит-гранитного комплекса. Значительная часть этих тел изометричной формы с ярко выраженной многофазностью образует купольно-кольцевую структуру, сформировавшуюся в условиях постколлизионного растяжения. В границах развития интрузивного магматизма и широко проявленной россыпной золотоносности, источником которой являются месторождения и проявления типа «Intrusion-related», выделяют Стадухинский рудно-россыпной район. Диаметр этой структуры составляет около 80 км [Уютов,2009]. Ее строение, осложнено радиально-кольцевыми структурами, выраженными в рельефе в виде преимущественно отрицательных (кальдеро- или кратерообразных) морфоструктур. Предположительно, в формировании этих структур большую роль играли процессы проседания кровли периферических магматических камер после уменьшения их объема (за счет ухода части первоначального расплава, удаления газово-жидкой фазы и т.д.) [Алмазов 2014]. К структурам ранга рудных узлов и рудных полей, имеющих размер от первых километров до 10-25 км в поперечнике, относятся: Лосихинская (или Гвардейская), Топографическая, Кекура, Утайвеемская и Медвежинская. Сводовая часть этих структур отчетливо выделяется в современном рельефе отпрепарированными интрузиями и подчеркнута радиально-концентрическим рисунком гидросети. Дуговые долины верховьев рек со всех сторон окружают ядра структур. В строении каждой из структур, как правило, принимают участие относительно крупный интрузивный массив и сопровождающие его группа более мелких тел-сателлитов. Интрузивные группы сложены породами монцодиорит-гранодиорит-гранитной формации гвардейского комплекса. Конкретные интрузивные массивы (на примере массива Кекура) нередко обладают признаками зонально-кольцевого строения с гомодромной последовательностью становления интрузивных фаз [Уютов, 2009]. Все перечисленные интрузивно-купольные структуры являются локальными рудогенерирующими центрами или рудно-магматогенными структурами (РМС) высокого порядка. С ядерными участками структур Лосихинская и Кекура связано золото-редкометальное и золото-кварцевое оруденение; с Топографической - штокверковое вольфрам-молибденовое и жильное вольфрамовое. В пределах рудно-россыпного района важнейшее значение имеют диагональные разломы, узлом пересечения которых контролируется положение Стадухинской ИКС. Системы северо-западных (290 - 295° и 290-320°) разрывных нарушений являются ведущими и наиболее долгоживущими среди тектонических структур района. К ним относятся крупные (десятки и сотни километров) нарушения, которые маркируются мощными зонами тектонического меланжа и контролируют размещение разновозрастных интрузивных образований и наиболее важные элементы речной сети. Разломы харак-

теризуется преимущественно взбросовой или взбросо-надвиговой кинематикой. Северо-восточная система разломов характеризуется значительным разнообразием конкретных направлений разрывных структур, трассируемых линейным расположением интрузивных групп и локальных дайковых поясов, прямолинейными элементами речной сети (особенно в центральной части района – Койгувеемская тектоническая зона). Система северо-восточных нарушений (45–70°) представлена крутопадающими сбросами, сбросо-сдвигами, сдвигами. Она относительно моложе разломов северо-западного направления и имеет крутое (70–80°) юго-восточное падение. Разломы этого направления играют важную роль в локализации золотого оруденения, контролируя ореолы березитизации, залегание даек гвардейского комплекса, золотоносные метасоматиты и зоны прожилкования.

Система северо-восточных (субмеридиональных) нарушений (преобладающее направление 10–20°) широко проявлена в пределах Коральвеемского рудного узла. Все разломы этой системы крутопадающие, преобладает крутое восточное падение. В пределах Стадухинского рудно-россыпного района известны многочисленные проявления и месторождения рудного и россыпного золота, проявления цветных металлов, урана и строительных материалов. Золоторудные месторождения и проявления по данным предшественников принадлежат к малосульфидной золото-кварцевой формации, в составе которой выделяются золото-редкометальный, золото-кварцевый, кварц-золото-арсенопиритовый и кварц-антимонитовой типы. В границах распространения золотого оруденения разных типов выделены Коральвеемский, Утайвеемский, Топографический, Медвежинский, Гвардейский, Койгувеемский, Звонкинский рудно-россыпные узлы. Все выделенные месторождения и проявления золота связанные с раннемеловым гвардейским габбро-монцонит-гранодирит-гранитным комплексом. В экзоконтактовой зоне гранитного массива г. Трехречье геохимическими съемками и поисковыми маршрутами в углеродистых алевролитах Теньвельвеемской толщи, вмещающих интрузив, выявлена полиметаллическая медно-цинковая минерализация, разведанная бурением [Аплеталин, 2019]. В бассейне правого притока р. Звонкой поисковыми геохимическими работами впервые на площади района выявлена золото-серебряная минерализация с близкими к промышленным параметрами [Аплеталин,2020].

Исследование вертикальной геохимической зональности золотого оруденения в Стадухинском рудно-россыпном районе. Исследование геохимической зональности с целью оценки степени эродированности рудных объектов и прогноза распространения оруденения на глубину является актуальной задачей. Основным способом решения такой задачи являются прямые исследования с выявлением рядов зонального отложения элементов в рудных телах (месторождениях), вскрываемых поверхностными горными выработками и буровыми скважинами на основе специально разработанных алгоритмов. Основным направлением исследований является выявление вертикальной зональности как приоритетного направления, отвечающего запросам практики ГРР. Они ведутся с применением специальных программ для выявления рядов и показателей вертикальной геохимической зональности [Инструкция…, 1983; Соловов, 1985]. Методология исследования геохимической зональности, разработанная в 70-80 -е годы прошлого века, очень жестко привязана к стадиям детальных поисков, поисково-оценочных работ и предварительной разведки и компоненту опробования – коренному

субстрату, содержащему рудные тела и их первичные ореолы. При этом регулярная сеть опробования формируется и привязывается к поверхностным горным выработкам и линиям буровых профилей, а диапазон решаемых задач по прогнозированию на основе геохимических показателей зональности, как правило, ограничивается их флангами и глубокими горизонтами, еще не достигнутыми разведкой. В конечном итоге для исследуемого типа оруденения создается формализованная модель зональности на основе наиболее полно изученного (эталонного) рудного тела (месторождения), каждому уровню которого (верхне- средне- нижнерудному) соответствуют единственные значения геохимического показателя зональности, числитель которого образован «низкотемпературными», а знаменатель «высокотемпературными» элементами. На ранних стадиях ГРР, при отсутствии разведочных данных, в качестве эталонов могут использоваться уже известные генетически и вещественно однотипные месторождения, в метрике формализованных моделей которых возможна оценка (таксация) рудных пересечений и определение уровня эрозионного среза выявленного оруденения по численным значениям показателей вертикальной геохимической зональности.

Практика, тем не менее, показывает, что при использовании «чужих» эталонов правильность определения степени эродированности оцениваемых рудных объектов зачастую невысока, потому что генетически однотипные месторождения из разных металлогенических провинций или даже из одних и тех же рудных районов обладают индивидуальными особенностями, при этом количественные соотношения между содержаниями химических элементов в показателях зональности являются «плавающими» несмотря на реально близкую последовательность отложения элементов по вертикали. Особенно чревато ошибками использование геохимических показателей «чужих» эталонов для оруденения с ограниченным набором элементов-спутников и слабо контрастностной зональностью (золото-кварцевой формации в терригенных толщах, кварц-касситеритовой, медно-порфировой и некоторых других рудных формаций). При дефиците разведочных данных на ранних стадиях ГРР для выявления вертикальной зональности и создания формализованных геохимических моделей в условиях интенсивно расчлененного рельефа допустимо использовать результаты штуфного опробования рудоносных образований, вскрытых эрозией на различных гипсометрических уровнях [Николаев и др, 2021]. Подобный подход позволяет оперативно решать задачи по оценке степени сохранности выходящих на поверхность проявлений рудной минерализации в локальных системах и оценивать перспективы ее распространения на глубину еще до начала проходки первых горных выработок. Для определения перспективности оруденения при поисках на обширных площадях ранга рудных районов, входящих в сферу интересов компаний, владеющих действующими горнодобывающими предприятиями, весьма продуктивным для прогноза является использование современных геолого-генетических моделей. Такие модели наиболее эффективны для районов сложного геологического строения с длительным развитием гидротермальных процессов и многоэтапным формированием оруденения. Наиболее известными и получившими общее признание являются, например, модели порфирово-эпитермальных систем [Sillitoe, 1993] и систем золота, связанных с интрузиями (IRGS) [Lang, 2001; Hart, 2002]. К последнему типу, по многим признакам, можно отнести рудное поле месторождения Кекура и многочисленные проявления золота в Стадухинском

рудном районе, представляющем крупное магматогенное поднятие с многочисленными выходящими на поверхность интрузиями гранитоидов гвардейского комплекса и роями даек. В разновозрастных породах вмещающей рамы также локализованы проявления золота, серебра, и полиметаллов. Данные по месторождению Кекура и его флангам могли бы быть использованы для создания модели геохимической зональности, но на всех стадиях его изучения, вплоть до начала добычи, анализ керна скважин и бороздовых проб из канав проводился только на золото и серебро, а немногочисленные результаты определения всего спектра химических элементов в рудах и метасоматитах малочисленны, разрознены и непригодны для решения поставленной задачи. В этой связи для разработки геолого-геохимической модели зональности рудно-магматической системы Стадухинского района использовались только результаты анализа штуфных проб, систематически отбиравшихся в поисковых маршрутах, и минералогические, термобарогеохимические и изотопные геохронологические данные, полученные в результате собственных исследований и согласованные с общей геолого-генетической моделью IRGS. Исходными данными для прямого исследования геохимической зональности рудного поля Кекура послужили результаты анализов 246 штуфных проб с содержаниями золота >0.5 г/т, отобранных при прослеживании рудных образований на различных гипсометрических уровнях в условиях интенсивно расчлененного рельефа. Общий размах прослеженного оруденения в естественных обнажениях по вертикали составляет 400 м, подсчеты средних содержаний рудных элементов проводились для 100-та метровых интервалов по гипсометрии. Для исследования вертикальной зональности была составлена композиция, которая включала результаты анализов штуфных проб как из восточной (участок Центральный с зоной Пологой, участки Гранат и Рыжий), так и из западной (участок Западный) частей рудного поля Кекура (рис. 1). Выделенные по результатам минералогических и геохимических исследований два основных типа оруденения рудного поля Кекура (золото-кварцевый березитовый в восточном блоке и золото-редкометальный в западном блоке) хотя и приурочены к одному и тому же интервалу современных гипсометрических отметок (800-1200 м), сформировались в разные этапы гидротермальной деятельности, предположительно связанные с разными фазами внедрения гранитоидов и более поздних даек. Исходя из геолого-генетической модели IRGS [Lang, 2001] и собственных минералогических и термобарогеохимических исследований глубинность формирования раннего золото-редкометального оруденения должна быть больше, чем золото-кварцевого березитового. Это подтверждается наблюдаемым общим снижением температур гомогенизации газово-жидких включений в кварце от более ранних стадий оруденения к более поздним. Основываясь на этих представлениях и фактах, для выявления вертикальной геохимической зональности в рудном поле Кекура была составлена искусственная 8-ми уровневая композиция: четыре верхних уровня в соответствии с гипсометрическими отметками охарактеризованы расчетными средними содержаниями 21 химического элемента в штуфных пробах, отобранных в восточном блоке, четыре нижних уровня - средними содержаниями в выборках из западного блока. Примерное равенство гипсометрических отметок в двух блоках рудного поля Кекура (западном и восточном) с разными типами оруденения может являться следствием пострудных вертикальных тектонических перемещений по разлому руч. Винт – руч. Грана-

товый и действием эрозионных процессов, протекающих в период времени между двумя этапами магматизма и рудообразования. Исследование вертикальной геохимической зональности по общей композиции, включающей 8 опробованных уровней, проводилось по программе НЮ-2 [Соловов, 1985]. В результате обработки был получен ряд вертикальной зональности элементов (снизу - вверх): W-Te-Bi-Fe-Cu-Co-Na-Pb- S-Sb-Mo-Mg-As-Ag-Ca-Au-Ni-Mn-Al-Zn-K. В обработку данных включались химические элементы, представляющие метасоматическую ассоциацию. Их распределение по вертикали и положение в ряду зональности (снизу – вверх): Na-Mg-Ca-Al-K может быть интерпретировано как смена существенно калиевых метасоматитов на верхних уровнях на натровые с глубиной. График распределения золота по вертикали в рамках искусственно созданной композиции хорошо согласуется с разведочными данными. Максимум средних содержаний соответствует выходам на поверхность наиболее богатой (основной) рудной зоны Пологая месторождения Кекура, а опробованные на более низких гипсометрических уровнях рудные образования участков Гранат и Рыжий характеризуются промышленными содержаниями и продолжаются ниже гипсометрических отметок 1000 м по данным бурения. Это позволяет определить принадлежность охарактеризованных средними содержаниями золота рудных образований восточного блока в интервале 1100-800 м как соответствующую верхнерудному – среднерудному уровню формализованной модели, представленной золото-кварцевым березитовым типом оруденения (рис. 2). Распределение золота по вертикали в рудоносных образованиях западного блока, поставленного в соответствие нижней части формализованной модели, характеризуется промышленным уровнем с локальным максимумом на гипсометрической отметке 1000 м. Ниже и выше по гипсометрии средние содержания золота являются промышленными, что подтверждено проходкой канав и бурением, вскрывающим рудные пересечения у поверхности и на глубину. В охарактеризованном интервале отсутствуют явные признаки верхней и нижней выклинки оруденения и его уровень может быть определен как среднерудный. В распределении элементов-спутников золота по вертикали наблюдается отчетливая дифференциация. Верхняя часть искусственно составленной композиции, соответствующая сформировавшемуся на меньших глубинах убогосульфидному золото-кварцевому (березитовому) оруденению, характеризуется близфоновыми или слабоаномальными содержаниями большинства элементов за исключением As, Zn и Mo. В нижней части на графиках наблюдается резкое возрастание концентраций W, Te, Bi, Fe, S – типоморфных элементов-спутников золото-редкометального оруденения, а также менее значительное, но заметное - Cu, Co, Mo, As, Ni, Sb. Распределение элементов в двух интервалах искусственно созданной композиции свидетельствует о ярко выраженном обогащении золотом верхнерудных уровней обеих типов оруденения и отсутствие тенденций к их выклинке на низких гипсометрических отметках в современном рельефе. Типоморфные элементы-спутники золото-кварцевого оруденения в восточном блоке не имеют, за исключением Zn и Mo, локальных максимумов в вертикальном разрезе. В западном блоке типоморфные элементы золото-редкометального оруденения более дифференцированы, их распределение по вертикали характеризуется отчетливыми локальными максимумами: Ag, Pb, Cu, Bi - на уровне абсолютных отметок 1100 м; Au, Sb, As, Te, Fe, S – на уровне абсолютных отметок 1000 м; W, Mo - на уровне

абс. отметок 900 м. Исходя из наблюдаемого характера распределения, прежде всего наличия отчетливых максимумов отложения химических элементов на разных уровнях, можно ожидать более контрастную вертикальную зональность золото-редкометального оруденения и менее контрастную – золото-кварцевого. Результаты исследования вертикальной зональности оруденения в рудном поле Кекура были положены в основу разработки общей геохимической модели рудно-магматической системы Стадухинского района. Используя весь фактический материал (результаты анализов штуфных проб, минералогические и термобарогеохимические исследования) по изученным проявлениям золота в районе, базовая модель вертикальной геохимической зональности рудного поля Кекура была дополнена данными по другим объектам, не противоречащим геолого-генетической модели IRGS. В рамках теоретических представлений и согласованных с ними определений физико-химических параметров рудообразования исходная композиция для исследования вертикальной зональности была дополнена: - результатами опробованными на трех гипсометрических уровнях рудоносных образований золото-серебряного проявления Звонкое, достраивающих гидротермальную систему сверху (выше золото-кварцевого березитового оруденения месторождения Кекура); - результатами опробованными на трех гипсометрических уровнях рудоносных образований золото-кварцевого проявления Ирис, по ряду признаков относящихся к нижнерудным интервалам этого типа оруденения (ниже золото-кварцевого березитового оруденения месторождения Кекура и его ближних флангов); - результатами опробованными на трех гипсометрических уровнях рудоносных образований золото-редкометального проявления гранитоидного массива Пик Блохина, достраивающих гидротермальную систему снизу (ниже интервалов оруденения участка Западный). Присутствие золото-серебряной минерализации в составе геолого-генетических моделей IRGS у большинства западных исследователей не отображено в явном виде. В то же время, ряд из них косвенно указывают на наличие «эпитермальных» рудных образований, формирующихся на глубинах 1-2 км как в виде поздних «дистальных» Ag-Pb-Zn (Au-As-Sb) жил [Hart, 2007], так и в виде Au-Ag-As-Sb-Hg жил и штокверков [Lang, 2001] в надапикальных частях, связанных с поздними дайками и штоками. При этом сколь либо значимой роли золото-серебряного оруденения в общем балансе ресурсов золота в системах IRGS никем не отмечено. Пожалуй, единственным исключением является месторождение Школьное в Магаданской области, которое относят к золото-серебряному типу. Авторы, изучавшие этот объект, отмечают как его близость к эпитермальным аналогам, так и отсутствие целого ряда присущих им признаков [Волков, 2018]. Вывод о том, что золото-серебряное оруденение, локализованное в штоке гранитоидов, является либо корневыми частями эпитермального, либо верхней частью мезотермального (золото-редкометального) оруденения страдает неопределенностью. Вместе с тем, генетическая связь золото-серебряного оруденения с многоэтапным формированием системы IRGS как будто не вызывает у авторов сомнений. В этом контексте данные, касающиеся выявленного в последнее время в Стадухинском районе золото-серебряного оруденения на участках Звонкий и Лосиха, расширяют существующие представления о системах IRGS по части состава периферийных (дистальных) жил, которые могут быть источниками прироста или даже играть ведущую роль (Школьное) в общем балансе запасов золота. Признаки развития золото-серебряной ми-

нерализации в гранитоидных массивах Стадухинского района проявлены очень слабо, что может свидетельствовать, следуя представлениям ряда авторов [Волков, 2018], об эродированности самого верхнего яруса рудно-магматической системы. Это не накладывает запрета на включение в общую композицию для исследования вертикальной геохимической зональности данных по периферийным Au-Ag жилам участков Звонкий и Лосиха, которые могут рассматриваться как наиболее поздние проявления гидротермальной деятельности, связанные с внедрением даек среднего состава в ослабленные зоны северо-восточного простирания. Отмеченное ранее по результатам исследования вертикальной геохимической зональности рудного поля Кекура отсутствие нижнерудных интервалов и выклинки золото-кварцевого березитового оруденения стало основанием для включения в общую композицию данных опробования на 3-х гипсометрических уровнях на участке Ирис, в которых определено значимое снижение средних содержаний золота (с 6-24,7 г/т до 3,7-7,7 г/т) по сравнению с зоной Пологой и участками Гранат и Рыжий. Дополнительными признаками намечающейся на этих уровнях выклинки золото-кварцевого оруденения является снижение средних содержаний мышьяка, уменьшение мощности кварцевых жил и прожилков при доминировании карбонатно-магниевой составляющей в составе березитов, появление кварц-молибденитовых прожилков, не несущих золота. Аналогичным образом, из-за отсутствии тенденции к выклинке золото-редкометального оруденения, в интервалах с наименьшими гипсометрическими отметками на участке Западный, общая композиция была дополнена результатами анализа проб, отобранных из рудоносных образований на трех гипсометрических уровнях гранитоидного массива Пика Блохина. Обоснованность включения такого фрагмента в искусственную композицию определяется уровнем средних содержаний золота в рудоносных образованиях (1,6-2,0 г/т), соответствующих бортовому значению и вероятной нижней выклинке золото-редкометального оруденения в этом массиве. Главным фактом, свидетельствующим в пользу вскрытия эрозией относительно глубинных частей рудно-магматических систем в Утайвеемском, Медвежкинском, Пика Блохина, Гвардейском гранитоидных массивах являются более высокие температуры гомогенизации газово-жидких включений, которыми обосновывается созданная из ряда фрагментов общая искусственная композиция для исследования вертикальной геохимической зональности системы IRGS в Стадухинском районе (рис. 3). Распределение рудных элементов по вертикали отражает общие закономерности эволюции состава рудообразующих флюидов и отлагающегося вещества в процессе длительного многоэтапного развития рудно-магматической системы Стадухинского района (рис. 4). В наиболее ранний этап из рудоносного флюида, связанного с восстановленными магмами, сформировалось типичное для систем IRGS золото-редкометальное оруденение, которому соответствуют максимальные содержания W, Te, Bi, Fe, S, As (уровни 1-7 на графиках рис. 4). Золото распределено относительно равномерно, с тенденцией некоторого роста концентраций к верхним частям интервала. Халькофильные элементы, за исключением меди, не играют сколь либо значимой роли в составе золото-редкометального оруденения. В более поздний этап на глубинах, сопоставимых с выделяемой авторами [Lang, 2001] «эпитермальной зоной» (уровни 9-14), из рудоносного флюида, вероятно связанного с второй фазой внедрения более кислых восстановленных магм, формировалось бо-

гатое убогосульфидное золото-кварцевое (березитовое) оруденение месторождения Кекура и ряда участков ближней периферии (Закол, Бонд, Забытый). Последние, вероятно, ассоциируют с апофизами Кекурского гранитоидного массива и имеют единый источник флюидов. Распределение рудных элементов золото-кварцевого оруденения по вертикали подробно описано выше. Принципиальным отличием от золото-редкометальных руд является отсутствие в геохимическом спектре Bi и Te, более высокие средние содержания золота и калия, которыми максимально обогащены верхние уровни (13-14) золото-кварцевого оруденения. К числу значимых рудных элементов этого типа оруденения можно отнести только мышьяк, концентрации которого хотя и ниже, чем в золото-редкометальных рудах, но все же являются высокоаномальными. На рассматриваемом интервале наблюдается уменьшение его содержаний, а также концентраций Fe и S к поверхности, которое корреспондируется с переходом более глубинных кварц-хлоритовых пропилитов и кварц-альбит-хлоритовых метасоматитов, обогащенных пиритом и арсенопиритом, к убогосульфидным кварц-мусковит-доломитовым и кварц-серицитовым полнопроявленным березитам, содержащим основную массу золота. В заключительный этап гидротермальной деятельности, вероятнее всего в связи с внедрением поздних даек, к которым приурочены кварцевые золото-серебряные жилы на участках Звонкий и Лосиха, состав рудоносных флюидов существенно изменился. Главной особенностью наблюдаемой эволюции можно считать изменение состава гетерогенных флюидов, в которых значимую роль играют углекисло-водные растворы с золотом существенно возросшими концентрациями халькофильных элементов. На графиках распределения рудных элементов по вертикали эпитермальная золото-серебряная минерализация фиксируется резко аномальными содержаниями Ag, Pb, Zn и повышенными - Sb, As, Mo, Fe и S (уровни 15-17). В распределении элементов на интервале прослеживается отчетливая дифференциация: максимумы Ag, Sb располагаются на наиболее высоком (17), свинца – на среднем (16), Zn, Mo – на нижнем гипсометрическом уровне, что предполагает наличие контрастной вертикальной геохимической зональности. Исследование вертикальной геохимической зональности искусственной композиции, включающей средние содержания рудных элементов на 17 опробованных уровнях в трех гранитоидных массивах (Кекура, г. Трехречье, Пик Блохина) и фрагментах вмещающей рамы (золото-серебряное оруденение на участке Звонкий), проводилось по программе НЮ-2 (Соловов, 1985). В результате обработки был получен общий ряд вертикальной геохимической зональности элементов для рудно-магматической системы Стадухинского района (снизу - вверх): Bi-Te-Na-Cu-S-As-Co-Fe- K-W-Al-Mg-Ni-Au-Mo-Ca-Sb-Mn-Zn-Pb-Ag Полученный при обработке по программе НЮ-2 ряд вертикальной геохимической зональности для гипотетически полного разреза рудно-магматической системы соответствует принятой модели, в которой элементы нижней его части (W-Te-Bi-Fe-S-Cu-Co) представляют ранний более высокотемпературный (300-350°) минеральный парагенезис золото-редкометального этапа, руды которого сформировались на больших глубинах (> 3 км), а элементы верхней части (Au-Ag-Sb-As-Pb-Zn) - низкотемпературный (250-300°) парагенезис элементов золото-кварцевого березитового и золото-серебряного (связанного с поздними дайками) этапов, оруденение которых относят к эпитермальной зоне (с глубиной формирования 1,5-3 км). По результатам обработки выявлены монотонно убываю-

щие с глубиной геохимические показатели зональности AgSbPb/WMoCu и AgSbPb/WMoAs (рис. 4), которые могут быть использованы для определения уровня вскрытия выходящих на поверхность отдельных частей (потенциальных рудных полей и проявлений золота) рудно-магматической системы. Для оценки уровня эрозионного среза в разведываемых блоках выявлены показатели вертикальной геохимической зональности для конкретных типов оруденения: золото-редкометального (теллуридно-висмутового, шеелит-висмутинового), золото-кварцевого березитового (убогосульфидного) и золото-серебряного (рис. 4). Выявленные показатели зональности для рудно-магматической системы в целом отражают общий тренд в эволюции гидротермальной системы золотого оруденения. В процессе этой эволюции и изменения состава флюидов и образующихся минеральных парагенезисов отчетливо фиксируется уменьшение пробности золота от более ранних стадий оруденения к более поздним (рис. 5). В составе золото-редкометальной ассоциации пробность самородного золота в парагенезисе с минералами висмута на участке Лосиха составляет 956-982 ‰, на участке Утайвеем – 906-931 ‰. Золото-кварцевое оруденение месторождения Кекура (801-890‰), его флангов -участков Рыжий (843-851‰), Гранат 840-861‰ (763-916) и однотипных проявлений ближней периферии – участков Бонд (780-841‰), Забытый (808-874‰), Ирис (857-927‰), а также участка Западный-2 (828-857‰) характеризуется присутствием золота средней пробности (Ср. пр. = 830‰) с небольшим разбросом его значений на разных объектах. Низкопробное самородное золото, электрум, и даже кюстелит с самородным серебром в небольших количествах встречаются на месторождении Кекура (690-704‰; 375‰), участках Западный (681-788‰; 530‰), Закол (748‰), Утайвеем (686‰). Минералогическими исследованиями установлено присутствие небольших количеств низкопробного золота в составе кобальт-никелевой арсенидной минерализации, а также в парагенезисе с наиболее ранними висмутовыми минералами, чаще всего встречающимися на участке Западный и Утайвеем. Еще менее распространенными являются выделения низкопробного золота, электрума и кюстелита в парагенезисе с сульфосолями серебра, акантитом, самородным серебром, галенитом, которые встречаются в рудах месторождения Кекура и на флангах его рудного поля. Золото-серебряная минерализация участков Звонкий (528-748‰, Ср.зн.=654‰) и Лосиха (602-618‰) характеризуется присутствием в составе продуктивной ассоциации электрума в кварце и в совместных выделениях с сульфосолями серебра. Таким образом, в соответствии с выявленной вертикальной геохимической зональностью рудно-магматической системы Стадухинского района наблюдается вполне отчетливый тренд роста пробности золота с глубиной (рис. 5) с переходом от электрума в золото-серебряных рудах эпитермального типа (условная пробность 600‰) к золоту средней пробности в золото-кварцевых объектах включая месторождение Кекура (условная пробность 800‰) и к высокопробному золоту в его парагенезисе с теллуридами висмута в золото-редкометальном типе (условная пробность 900‰). Пробность золота, исходя из выявленных закономерностей, может быть использована в качестве критерия для оценки степени эродированности локальных рудных систем на ранних стадиях поисковых работ. Для определения перспективности оруденения при поисках на обширных площадях ранга рудных районов и узлов, весьма продуктивным для прогноза является использование современных геолого-

генетических моделей. Такие модели наиболее эффективны для районов сложного геологического строения с длительным развитием гидротермальных процессов и многоэтапным формированием оруденения. Наиболее известными и получившими общее признание являются, например, модели порфирово-эпитермальных систем и систем золота, связанных с интрузиями (IRGS). Уровень эрозионного вскрытия рудно-магматической системы, согласно разработанной модели вертикальной минералого-геохимической зональности, в рудном поле Кекура, где сосредоточены основные промышленные запасы золота, оценивается как соответствующий нижним частям эпитермальной зоны (рис.6). Перспективы выявления на глубине горизонтов в восточном блоке мезотермального золото-редкометального оруденения гипотетически существуют, но их вероятность невысока. По всей видимости, выявленное в западном блоке золото-редкометальное оруденение формировалось до внедрения гранитов поздней стадии и, возможно, совмещение на одинаковых гипсометрических уровнях двух разных типов оруденения является результатом эрозии, произошедшей в интервале между двумя импульсами гидротермальной деятельности. В то же время, в западном блоке все признаки указывают на пространственное совмещение двух продуктивных золоторудных стадий вплоть до наличия отдельных блоков с поздним золото-кварцевым оруденением (участок Западный-2). Главным фактом, свидетельствующим в пользу вскрытия эрозией относительно глубинных частей рудно-магматических систем в Утайвеемском, Медвежкинском, Пика Блохина, Гвардейском гранитоидных массивах являются наиболее высокие температуры гомогенизации газово-жидких включений, которыми обосновывается созданная из ряда фрагментов общая искусственная композиция для исследования вертикальной геохимической зональности системы IRGS в Стадухинском районе (рис. 6). Степень эродированности золото-редкометального оруденения в периферийных гранитоидных массивах Стадухинского района, оцененная по геохимическому показателю зональности AgAsTe/(W)^3 принятого за эталон участка Западный, свидетельствует о преимущественно среднерудном срезе рудно-магматических систем (табл. 1). Только в массиве г. Медвежий уровень эрозионного среза определен как нижнерудно-подрудный. Наименее эродированным по результатам оценки является золото-теллуридно-висмутовое оруденение в массиве г. Пик Советской Гвардии.

Поисковая геолого-геохимическая модель золотого оруденения и оценка на ее основе проявлений золота в Стадухинском рудно-россыпном районе Структура аномального геохимического поля в плане (рис. 7) в пределах магматогенного поднятия, в границах которого выделяется Стадухинский рудный район, представлена: 1) ядерной зоной с крупным золоторудным месторождением Кекура и однотипными проявлениями ближнего круга, относящимся к золото-кварцевому березитовому типу оруденения; 2) промежуточной зоной с проявлениями золото-редкометального теллуридно-висмутового оруденения в гранитоидах; 3) внешней зоной, в которой впервые для подобных систем выявлены золото-серебряные проявления в терригенных породах рамы, имеющие промышленные перспективы. Ядерная часть рудно-магматической системы приурочена к узлу пересечения разноориентированных систем тектонических нарушений и гранитоидному массиву г. Кекура, в котором сконцентрированы основные промышленные запасы рудного золота. Поисковая геохимическая модель золото-

го оруденения крупного по масштабу запасов эталонного рудного поля Кекура по данным детальной литохимической съемки по вторичным ореолам представляет собой концентрически зональное аномальное поле с доминирующей ролью двух химических элементов – золота и мышьяка. Структура аномального поля золота имеет сложную морфологию и представлена мелкими сближенными высокоинтенсивными ореолами, группирующимися в отдельные неправильной формы блоки и прерывистые линейные (цепочечные) зоны различного простирания. «Блочная» форма локальных аномалий золота высокой интенсивности формируется как в центральной части рудного поля, так и на его периферии. Такая морфология связана как с развитием в центральной части массива крупных выходов полнопроявленных золотоносных березитов и интенсивно березитизированных гранодиоритов (участки Гранат и Рыжий), содержащих золоторудную минерализацию, так и в периферийных частях (участки Западный-2, Рыжий), где при локализации золота в тонких прожилках среди терригенных пород ближних экзоконтактов происходит его более интенсивное высвобождение из матрицы и обогащение металлом тонкой фракции элювио-делювия. Ядерная часть с промышленным оруденением (месторождение Кекура) при этом не выделяется в аномальном поле сколь-либо выдающимися по интенсивности аномалиями золота, уступая участкам Рыжий и Гранат, для которых характерны крупные блочного типа ореолы, соответствующие полнопроявленным березитам и интенсивно березитизированным гранодиоритам по причине незначительной мощности выходов зоны Пологой на дневную поверхность (рис.8). Прерывисто-цепочечная морфология вторичных ореолов золота на участке Западный определяется системой многочисленных маломощных жил и прожилков северо-восточного простирания. Различная, чаще всего небольшая протяженность отдельных жил и прожилков в совокупности с их незначительной мощностью и неравномерным распределением металла по простиранию определяет прерывисто-цепочечную морфологию ореолов золота и их невысокую интенсивность. Дополнительное усложнение строения ореолов связано с развитием в этой части массива солифлюкционных процессов. В общей структуре аномального поля золота наблюдается вполне отчетливая концентричная составляющая. Выделяются две области развития наиболее интенсивных ореолов золота. Первая обрамляет месторождение Кекуру и представлена «блочными» аномалиями участков Гранат и Рыжий. Вторая развивается по периферии массива на контакте с терригенными породами. Золото является главным и наиболее информативным элементом-индикатором золотого оруденения типа в гранитоидах. По своим параметрам аномалии золота, соответствующие масштабу крупного месторождения, не отличаются от параметров орогенных золото-кварцевых месторождений жильного типа одинаковой крупности (содержания золота в ореолах десятые г/т – первые г/т, площадная продуктивность – около 100 (92) м2%. Соответственно месторождениям средней крупности будут соответствовать продуктивности вторичных ореолов 20-50 м2%, мелких - 5-20 м2% при условии выхода промышленных руд на поверхность современного среза. Элементы концентрически-зонального строения наряду с отчетливой фрагментарной линейностью присущи строению главного спутника золота – мышьяка. Его наиболее интенсивные «блочные» ореолы образуют кольцевую структуры вокруг месторождения Кекура и фрагментарно – по обрамлению массива. В распределении мышьяка существуют только два отли-

чия от распределения золота: большая интенсивность линейно-цепочечных ореолов участка Западный, указывающего на доминирование в источнике высокомышьяковистых руд золото-редкометального оруденения и меньшая интенсивность ореолов в обрамлении массива, вероятно за счет локализации там преимущественно золото-кварцевого убогосульфидного типа минерализации. На более локальном уровне следует отметить отчетливую линейность ореолов мышьяка на правобережье руч. Гранат, вследствие чего подтверждается предположение о наличие северо-восточного разлома, по которому заложена его долина и долина ручья Винт (участок Рыжий), являющемуся объективной границей между участками Гранат и Западный на юге массива. Еще одним фактом, имеющим важное поисковое значение, является наличие в строении локальных участков многоуровневой кольцевой геохимической зональности, отчетливо проявленной на участке Гранат, где менее интенсивные ореолы золота продуктивной минерализации обрамляются интенсивными ореолами мышьяка. Второстепенные элементы рудной минерализации (вольфрам, медь, свинец, сурьма, серебро) образуют в структуре аномального геохимического поля слабоинтенсивные ореолы, приуроченные к разным частям площади и, как представляется, на первый взгляд, имеют небольшое поисковое значение. Ореолы вольфрама низкой интенсивности проявлены в основном на участке Западный, где они трассируют северо-восточную жильно-прожилковую зону, в которой присутствует золото-редкометальная минерализация. Более интенсивные ореолы вольфрама приурочены к эндо- и экзоконтактам северной части массива на участках развития тонкопрожилковой золото-кварцевой минерализации в терригенных породах рамы (участки Западный-2 и Рыжий). Ореолы серебра в градациях 0,3-1 г/т (только на участке Рыжий 1-3 г/т) приурочены исключительно к эндо и экзоконтактовым частям массива и преимущественно развиты в садочных породах триаса. Ореолы свинца в нижнеаномальной градации (50-100 г/т) развиты преимущественно в терригенных породах экзоконтактовой зоны. Ореолы меди преимущественно низкой градации (60-100 редко 100-300 г/т) развиты на флангах аномальной зоны северо-восточного простирания участка Западный и в эндо- и экзоконтактах массива на участке Рыжий. Вторичные ореолы халькофильных элементов, связанные с формированием поздней эпитермальной стадии минерализации практически всегда являются отрицательным фактором на выявлениях в их контурах золотого оруденения. Сложная структура аномального геохимического поля эталона, отражающая развитие в его границах разных минеральных и структурно-морфологических типов золотого оруденения, свидетельствуют о том что переход к горным работам должен осуществляться только после проведения детальных геохимических поисков в М 1:10000 - 1:5000, которые обязательно должны сопровождаться поисковыми геологическими маршрутами того же масштаба с опробованием всех потенциально рудоносных образований и изучением вещественного состава горных пород, руд и метасоматитов. Промежуточная зона рудно-магматической системы включает периферийные массивы магматогенного поднятия, к которым приурочены локальные гидротермальные системы с золото-редкометальным типом оруденения. По своему составу и морфологии вторичные ореолы золото-редкометального оруденения в периферийных гранитоидных массивах сходны с ореолами на участке Западный рудного поля Кекура, но по интенсивности существенно им уступают. Они не

распространяются на всю площадь массивов, образуя либо протяженные узкие зоны из прерывистых цепочечных ореолов (рис.9), отчетливо приуроченные к эндо- и экзоконтактам гранитоидных массивов (Медвежкинский, Гвардейский), либо представляют собой группы разрозненных ореолов, приуроченных к отдельным разноориентированным и небольшим по протяженности кварцевым жилам (Утайвеемский). В составе аномальных зон в рыхлых образованиях на участках Утайвеем, Лосиха, Медвежий в разных сочетаниях в качестве основных спутников золота присутствуют As, W, Bi, Mo, Sn, Cu, Pb, Ag, Sb. Три последних элемента являются индикаторами сопутствующей эпитермальной минерализации, развитой за редким исключением, в экзоконтактовых зонах массивов. Обособленность меди от золото-редкометального оруденения в виде формирования кварц-борнит-халькопиритовых жил, что послужило основанием выделения ее в собственную стадию на участке Западный, не является общераспространенным явлением. На участке Утайвеем она входит в состав золото-редкометального оруденения, отлагаясь вслед за арсенопиритом и шеелитом несколько раньше формирования продуктивной золото-висмутовой ассоциации. В этом случае медь может рассматриваться в качестве второстепенного индикатора золото-редкометального оруденения при поисках по вторичным ореолам рассеяния. Прямыми индикаторами золото-редкометального оруденения и основными спутниками золота во вторичных ореолах периферийных гранитоидных массивов рудно-магматической системы являются мышьяк и вольфрам. Они образуют наиболее интенсивные и обширные по площади вторичные ореолы, в наиболее богатых частях которых содержания мышьяка составляют 1000-3000 г/т и более, вольфрама – 100-300 г/т. В рыхлых образованиях наблюдаются более тесные корреляционные связи между мышьяком и золотом, тогда как в рудах по значимым корреляционным связям выделяется ассоциация Au-Te-Bi-W. Индикаторная роль наиболее тесно связанных с золотом висмута и теллура при литохимических поисках по вторичным ореолам нивелируется из-за недостаточного пределом обнаружения этих элементов приближенно-количественным спектральным анализом. Типизация оруденения достигается сочетанием геохимических характеристик, выявляемых при литохимической съемке по вторичным ореолам и результатам определения состава рудоносных образований в штуфных пробах, отбираемых в поисковых геологических маршрутах. Оценка перспективности выявляемых на поисковой стадии проявлений золото-редкометального оруденения основывается на комплексе геологических, геохимических, минералогических признаков и характеристик. Оценка перспективности объектов с золото-редкометальной минерализацией в гранитоидах по параметрам вторичных ореолов имеет объективный характер, хотя и не лишена свой специфики. Продуктивности вторичных ореолов золота в массиве Кекура (участок Западный) и Медвежкинском массиве сопоставимы (24,1 м2% и 27,1 м2% соответственно) и значительно выше, чем в Утейвеемском массиве (8,4 м2%). Низкая перспективность Утейвеемского массива определяется слабой насыщенностью гранитоидов жильно-прожилковыми образованиями. Мерой такой насыщенности является доля проб с аномальными содержаниями золота в рыхлых образованиях, которая является максимальной на участке Западный и минимальной в Утейвеемском массиве (табл. 2). Одновременно с этим в структуре аномальных зон Утейвеемского и Медвежкинского массивов крайне низкая доля средне и высокоинтенсивных

ореолов золота, которым в условиях расчлененного рельефа соответствуют потенциальные рудные тела. Еще одним фактором, свидетельствующим не в пользу перспективности золото-редкометального оруденения в периферийных массивах вероятном его непромышленном характере свидетельствуют невысокие содержания золота в рудоносных образованиях по данным штуфного опробования. Основной диапазон таких содержаний в наиболее богатых рудных пробах Утейвеемского, Медвежкинского и Пика Блохина гранитоидных массивов – 1-10 г/т, в то время как на участке Западный – 10-100 г/т. Оценка степени эродированности по геохимическим показателям зональности (раздел 4) также свидетельствует не в пользу перспектив распространения золото-редкометального оруденения в периферийных массивах на глубину. Золото-редкометальное оруденение Гвардейского массива имеет ряд индивидуальных особенностей. Если по структурно-морфологическим особенностям и параметрам вторичных ореолов золота оно вполне соответствует поисковой модели среднего по запасам промышленного золото-редкометального оруденения в гранитоидах (участок Западный массива Кекура), то по вещественному составу руд наблюдаются определенные отличия. Геохимическая ассоциация (Au-Te-Bi) и минеральный состав жильно-прожилкового оруденения (высокопробное самородное золото, тетрадимит Bi2Te2S, теллуровисмутит Bi2Te3, сульфоцумоит Bi3Te2S, жозеит-B Bi4Te2S, пильзенит Bi4Te3, фаза Bi4Te3S2), не содержащий арсенопирита, шеелита, молибденита, минералов олова и меди, типичных для периферийных массивов района являются весьма специфичными. Исходя из установленной стадийности формирования золото-редкометального оруденения на участке Западный (раздел 3), можно предположить, что на поверхность современного среза выведена наименее глубинная часть гидротермальной системы в виде тонкопрожилковой рудной зоны с наиболее богатой золото-теллуридно-висмутовой минерализацией (диапазон содержаний золота по результатам штуфного опробования 10-100 г/т). Оценка по геохимическому показателю зональности в метрике разработанной модели соответствует такому предположению. Дополнительным аргументом в пользу такой интерпретации служит присутствие в зоне экзоконтакта в осадочных породах рамы эпитермальной золото-серебряной минерализации, выявленной при ревизионных работах, что может указывать не незначительный срез этой локальной рудно-магматической системы. В рамках поисковой модели золото-редкометального оруденения в гранитоидах следует рассматривать еще один важный факт, связанный с отсутствием промышленных россыпей золота в водотоках, дренирующих периферийные массивы гранитоидов в Стадухинском районе. Причиной этого может являться как низкая продуктивность золота в коренных источниках, так и неглубокий срез локальных рудно-магматических систем, что противоречит их оценке в метрике разработанной модели вертикальной геохимической зональности. Вероятно, исключением является золото-теллуридно-висмутовое оруденение участка Лосиха в Гвардейском массиве, где типичный состав оруденения с высокими содержаниями золота, мышьяка, вольфрама, и других компонентов более ранних ассоциаций золото-редкометального оруденения можно прогнозировать на глубине, а канавами с поверхности вскрыто богатое золотом тонкопрожилковое оруденение, не имеющее промышленных параметров на уровне современного среза. Данные Анюйской ГРЭ, проводившей разведку россыпей в бассейне верхнего течения р. Корольвеем, хорошо со-

гласуются с оценкой пробности золота в золото-кварцевом типе оруденения. Пробность золота в промышленных россыпях варьирует в диапазоне от 793‰ (р. Средний Коральвеем) до 874‰ (руч. Верный) при среднем значении Ср.зн.=840‰. Наиболее близкой к этой цифре является пробность золота из золото-кварцевых жил и прожилков в блоке выработанных эрозией терригенных триасовых и юрских пород, слагающих пространство между массивами г. Кекура и г. Трехречной. Внешняя зона рудно-магматического поднятия, включающая разновозрастные и различные по составу породы вмещающей рамы в рамках поисковой модели благоприятны на золото-серебряное оруденение. В настоящее время положительные результаты поисковых работ связаны с юго-восточным периферийным сектором рудно-магматической системы, где золото-серебряное оруденение жильного типа с близкими к промышленными параметрами выявлено на участках Звонкий и Валунный (рис. 10). Рассмотрение формирования золото-серебряного оруденения как завершающего этапа развития рудно-магматической системы связано с отчетливой приуроченностью жильных зон к сериям поздних даек диоритового состава, возраст которых (около 100 млн. лет) не сильно отличается от возраста интрузивных массивов магматогенного поднятия. Поисковыми геохимическими признаками золото-серебряного оруденения являются средние до высокой интенсивности вторичные ореолы золота, серебра, мышьяка, свинца, цинка, меди, полностью соответствующие набору этих элементов и минеральному составу коренных источниках. Аномалии золото-серебряных объектов, выделяемые при среднемасштабных геохимических поисках, имеют простую морфологию, представлены узкими (50-100м) непротяженными (400-600 м) вторичными ореолами, приуроченными к выходам отдельных жил, которые группируются в линейные зоны протяженностью 1,5-2 км и шириной 500-800 м (рис. 10). Площадная продуктивность вторичных ореолов золото-серебряных проявлений в Стадухинском районе: золота – 22,3 м2%, серебра – 172 м2% соответствует параметрам вторичных ореолов средних по масштабу запасов золото-кварцевых или золото-редкометальных месторождений. В поисковых маршрутах жильный золото-серебряный тип оруденения легко выявляется и прослеживается по развалам и крупным обломкам кварца, содержащим вкрапленность арсенопирита, галенита, сфалерита и плохо диагностируемые сульфосоли серебра. Перспективы на наличие промышленных золото-серебряных объектов определяются устойчивыми, хотя и невысокими содержаниями золота (1-20 г/т) и серебра (50-1000 г/т) в штуфных пробах и значениями удельных продуктивностей qAu = 0,03 и qAg = 0,27 т/м/км2. Основные геолого-генетические характеристики к поисковой модели золотого оруденения в гранитоидах Стадухинского рудно-россыпного района приведены в табл. 3.

2.Определение коэффициентов и констант в композитометрах происходит путём статистической обработки соответствующих выборок экспериментальных данных. Следовательно качество полученных композитометров зависит от качества выборок. Для создания выборки мы использовали версию базы данных ИНФОРЭКС [Арискин и др., 1997] с добавлениями Д.А. Бычкова, включающую результаты 16103 закалочных экспериментов, извлечённых из 465 статей, опубликованных с 1977 по 2018 гг. На первом этапе из базы данных «ИНФОРЭКС» были выбраны только те эксперименты, в которых был измерен состав расплава, температура, давление и контролировалась летучесть кислорода. Мы решили начать наши работы по описа-

нию термодинамики равновесий минерал – расплав в безводных условиях. Поскольку нас интересует равновесие минерал-расплав в магмах нормальной щёлочности, из выборки были удалены эксперименты, содержащие щелочные минералы: нефелин, лейцит, мелилит, содалит и др. Экспериментов, отвечающих вышеперечисленным условиям, осталось 2683. Следующим этапом было удаление из выборки экспериментов, содержащих значительные аналитические погрешности. Выявить такие эксперименты можно двумя способами. В тех экспериментах, для которых известен стартовый состав и был определён состав всех фаз, были рассчитаны пропорции кристаллизации фаз методом наименьших квадратов и оценена невязка расчёта валового состава системы. Для невязок было рассчитано стандартное отклонение (σ) и удалены выбросы, невязка для которых превысила 3σ, что привело к уменьшению стандартного отклонения. Эти точки были удалены потому, что вероятность того, что они принадлежат генеральной совокупности исчезающе мала и составляет 0,0027 [Воробьев, 2016]. Процедура повторялась до тех пор, пока все невязки не оказались в пределах 3σ. Итоговые 3σ составили 1,474. После этой процедуры осталось 1287 экспериментов. Другим способом обнаружения аналитических погрешностей является пересчёт составов минералов на миналы с последующим обратным пересчётом минального состава минерала на содержание оксидов и оценка невязки. Следует обратить внимание на то, что в ходе пересчёта состава минерала минимизируется сумма квадратов отклонений измеренных содержаний компонентов от рассчитанных исходя из подбираемых концентраций миналов. В общем случае сумма квадратов отклонений отличается от нуля. Наличие остаточного отклонения означает, что пропорции химических элементов в анализе не точно соответствуют стехиометрическим пропорциям в минерале и, соответственно, к несовпадению измеренного и рассчитанного содержания оксидов. Именно это остаточное отклонение и использовалось как мера невязки. Для невязок рассчитывалось стандартное отклонение и удалялись из выборки эксперименты, для которых невязка превышала 3σ. Для всех интересующих нас силикатных минералов эта процедура повторялась до тех пор, пока невязки не перестали превышать 3σ. Остаточные 3σ невязок составили: Оливин – 0,993, Плагиоклаз – 6,804, Авгит – 2,406, Ортопироксен – 1,869, Пижонит – 0,913. Относительная большая дисперсия результатов для плагиоклазов свидетельствует о наличии проблем с микрозондовыми анализами этой фазы, чему есть свидетельства в литературе [Fiedrich и др., 2018]. Помимо адекватности химического анализа необходимо убедится в достижении равновесия между минералом и сосуществующим расплавом. Рёдер и Эмсли [Roeder, Emslie, 1970] провели серию экспериментов для определения взаимосвязи состава кристаллизующегося оливина с составом расплава. Они показали, что коэффициент обмена мало меняется в зависимости от T и состава расплава и приняли его постоянным со значением 0,3±0,03. Топлис [Toplis, 2005] показал, что ситуация сложнее и предложил уравнение, описывающее зависимость коэффициента обмена от температуры, давления, состава расплава и оливина. Проверка уравнения Топлиса на нашей выборке экспериментов с оливином показала, что дисперсия остатков невелика (3σ – 0,08) и практически все эксперименты попадают в интервал 3σ (673 из 689). Путирка [Putirka, 2008] предложил использовать аналогичный коэффициент обмена для клинопироксенов и показал, что для него существенна зависимость от темпе-

ратуры. Мы перекалибровали зависимость и получили значимые коэффициенты A=-1309±57 B=1,188±0,08, 3σ ошибок составляет 0,17. Большая часть экспериментальных составов клинопироксенов (371 из 375) попадают в интервал 3σ. Успешно применив этот критерий для клинопироксена, мы решили попробовать вывести аналогичные зависимости для ортопироксена и пижонита. Для ортопироксена выведенные коэффициенты уравнения составили A=-560±53 B=0,675±0,035, 3σ ошибок составляет 0,14. 155 из 158 экспериментов соответствуют данному критерию. Для пижонита выведенные коэффициенты уравнения составили A=-756±56 B=0,821±0,039, 3σ ошибок составляет 0,08. 144 из 147 экспериментов соответствуют данному критерию. К сожалению, единственный критерий равновесности плагиоклаза, который удалось обнаружить в литературе представляется неудовлетворительным. Поэтому в случае с плагиоклазом мы решили отказаться от предварительной проверки равновесности, полагая что плохие эксперименты будут отсеяны в процессе вывода плагиоклазового композитометра. Использованный нами ранее подход к формированию выборок опирался на субъективные критерии отбраковки экспериментов, например на продолжительность выдержки. Этот подход не исключал включения в выборку экспериментов с существенными аналитическими и экспериментальными погрешностями. В результате на этапе вывода композитометров до 30% экспериментов приходилось отбраковывать как нарушающие нормальность распределения остатков. Например, ранее при выводе оливинового композитометра при оптимизации размер выборки сократился от 651 эксперимента до 568 [Коптев-Дворников, Бычков, 2019]. После фильтрации выборок, описанной в данной работе число таких «неудачных» экспериментов резко сократилось. На стадии оптимизации из оливиновой выборки было отброшено 10 экспериментов из 673, из плагиоклазовой выборки – 11 из 490, авгитовая выборка из 371 эксперимента не потеряла ни одного, ортопироксеновая – из 154 экспериментов сократилась на 1, пижонитовая – из 144 на 7. Итоговый размер выборки составил 1000 экспериментов и такую выборку безводных закалочных опытов, прошедших проверку массбалансовыми пересчётами систем и каждого минерала, известными на сегодня критериями равновесности и оптимизацию мы предлагаем назвать выборкой повышенной надёжности. Каждая из стадий процедуры отбора хорошо известна и по отдельности используется в целом ряде исследований, однако следует подчеркнуть, что в виде комплексной процедуры они применены впервые. Целью создания комплекса композитометров и алгоритма решения задачи равновесия является поиск равновесия в природной многофазной системе на фоне понижения температуры. Это требует совместной работы комплекса композитометров для всех минеральных фаз. Материал для верификации программы КриМинал могут предоставить экспериментальные серии кристаллизации единого исходного состава при понижении температуры. Поскольку нас интересует взаимодействие композитометров различных фаз, такие серии должны представлять кристаллизацию силикатных систем с переходом от избыточной фазы к котектикам. Из выборки повышенной надёжности были отобраны 6 экспериментальных серий, представляющих достаточно широкий диапазон составов расплавов от базальтов до дацитов. Равновесная кристаллизация стартовых составов этих серий была рассчитана с помощью нашей программы КриМинал и популярного сегодня программного пакета Melts [Ghiorso, Sack, 1995]. Результаты моделирования

показали вполне удовлетворительное воспроизведение экспериментальных данных расчётами с использованием нашей программы КриМинал и существенную разницу рассчитанных в Melts и экспериментальных результатов, вызванную главным образом отклонением рассчитанных пропорций кристаллизации минералов на котектиках от экспериментальных. 3.В течение отчетного периода были изучены родники Государственного музея-заповедника «Царицыно» (6 родников), природного заказника «Воробьевы горы» (5 родников), природно-исторических парков «Москворецкий» (7 родников) и «Битцевский лес» (12 родников). В ходе полевых обследований местоположение родников фиксировали с помощью GPS-приемника, измеряли расход родника и in situ определяли температуру воды, pH, электропроводность и окислительно-восстановительный потенциал с использованием портативных pH-метра PH–200, кондуктометра COM-100 и ОВП–метра ORP–200 («HM Digital», Южная Корея). В случае, когда слив в одной точке происходил из нескольких труб, эти измерения позволяли определить количество образцов для детального анализа: если измеренные показатели практически не отличались, то отбирали одну пробу, если расхождения в значениях электропроводности оказывались заметны, то образцы отбирали из каждого выхода. Для определения содержания анионов и химического потребления кислорода (окисляемости) воду отбирали в емкости из полиэтилена «под крышку». Для определения содержания главных катионов и микроэлементов пробы отфильтровывали через стерильные фильтрующие насадки из ацетата целлюлозы с диаметром пор 0,45 мкм в пробирки из полипропилена вместимостью 15 мл, фильтрат подкисляли HNO3 (ос.ч.) до pH 2. Содержание главных катионов (Ca, Mg, Na, K) и микроэлементов (Al, Ti, Sr, Ba, Rb, Fe, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, V, Cr, As, Mo) анализировали методом масс–спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП–МС) в Отделе научно–производственных аналитических работ ФГБУ ИМГРЭ на масс-спектрометре ELAN–6100. Содержание Cl– и HCO3– оценивали методами объемного титрования; NO3– и NH4+ – методом потенциометрии; SO42– методом рентгенофлуоресцентного анализа с предконцентрированием по методу высушенной капли [Лубкова и др., 2022]. Содержание PO43– рассчитывали на основании результатов измерения в пробах фосфора методом ИСП–МС. ХПК определяли методом бихроматной окисляемости с фотометрическим окончанием (спектрофотометр Portlab 501, Великобритания) [ГОСТ 31859-2012]. Для графического изображения макросостава воды использованы диаграммы Стиффа [Stiff, 1951] и Пайпера [Piper, 1944], построенные с помощью модуля GSS программного пакета The Geochemist’s Workbench (GWB) [https://www.gwb.com]. Родники, по всей видимости, преимущественно дренируют верхний водоносный горизонт. Согласно проведенному крупномасштабному картированию гидрогеологических условий г. Москвы и области, проведенному Институтом геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН [Позднякова и др, 2012], в верхней толще в области распространения московской и донской морен водоносные горизонты и разделяющие их слабопроницаемые отложения объединяют в надморенный (межморенный) водоносный комплекс, а всю залегающую над юрскими глинами водоносную толщу – в надъюрский (надкаменноугольный) водоносный комплекс. Он распространен повсеместно и наиболее полно представлен на правобережье р. Москвы, где состоит из 5 и более водоносных горизонтов в четвертичных (аллювиальных, флювиогляциальных), меловых и верхнеюрских отложениях.

Подземные воды надморенного и надъюрского комплексов могут быть загрязнены. В пределах селитебных районов и промзон воды отличаются высокой минерализацией, концентрацией хлоридов, сульфатов, тяжелых металлов и нефтепродуктов. Для более детальной привязки вод к одному из водоносных горизонтов надъюрского комплекса нужны дополнительные исследования. Воды родников государственного музея-заповедника «Царицыно» имеют минерализацию 0,3–0,7 г/л, pH от околонейтральной до слабокислой (pH 6,2–6,9). По катионному составу магниево–кальциевые, по анионному очень разнообразны: гидрокарбонатные, хлоридно–гидрокарбонатные, сульфатно–гидрокарбонатные, сульфатно–хлоридно–гидрокарбонатные. Содержание нитратов не превышает 16 мг/л. Воды родников природного заказника «Воробьевы горы» имеют минерализацию 0,7–1,0 г/л, околонейтральные (pH 6,9–7,3). По составу преимущественно гидрокарбонатные или хлоридно–гидрокарбонатные, кальциевые или магниево–кальциевые. Содержание нитратов не превышает 16 мг/л. Воды родников природно-исторического парка «Москворецкий» имеют минерализацию 0,6–1,4 г/л, pH от околонейтральной до слабощелочной (pH 6,8–8). По анионному составу от сульфатно–гидрокарбонатных и хлоридно–гидрокарбонатных до гидрокарбонатно–хлоридных; по катионному – от магниево–кальциевых до натриево–кальциевых. Содержание нитратов – от 6 до 32 мг/л. Воды родников природно-исторического парка «Битцевский лес» имеют минерализацию 0,13–0,85 г/л, pH от околонейтральной до слабокислой (pH 5,8–7,1). По катионному составу магниево–кальциевые, по анионному очень разнообразны: гидрокарбонатные, сульфатно–гидрокарбонатные, гидрокарбонатно–

хлоридные, хлоридно–гидрокарбонатно–сульфатные. Содержание нитратов варьирует в довольно широких пределах (2–40 мг/л). При нанесении на диаграмму Пайпера точки состава вод родников изученных ООПТ преимущественно попадают в область распространенности двух типов вод: IV — Ca–Mg–HCO3 и I — Ca–Mg–Cl–SO4. Сравнение микрокомпонентного состава вод родников с ПДК химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования [СанПиН 1.2.3685-21] показало превышение только по железу и марганцу в единичных пробах. На основании полученных аналитических данных был проведен термодинамический расчет растворенных форм нахождения микрокомпонентов в водах с использованием программы Visual–MINTEQ (Королевский технологический институт, Стокгольм, Швеция) [Gustafson, 2004]. Исходный состав системы задавали по результатам химических анализов, при этом параметр DOC (Dissolved Organic Carbon) необходимый для расчета комплексообразования с органическими кислотами в соответствии с Гауссовой моделью растворенного органического вещества (Gaussian DOM), рассчитывали как DOC=0,375•ХПК, где 0,375=M(C)/M(O2)=12/32. Данный подход традиционно используется, в частности, в работах сотрудников Карельского научного центра [Лозовик и др., 2007]. По результатам термодинамических расчетов около 90% Sr, Ba, Mn, Fe и 75–85% Zn, Ni, Co, Cd находятся в виде свободных ионов; для Cu и Pb в большей степени характерны карбонатные комплексы и комплексы с органическими кислотами. Полученное в результате термодинамических расчетов распределение форм нахождения микроэлементов в водах родников в целом согласуется с ранее опубликованными данными по поверхностным пресноводным водоемам, не испытывающим значительной антропогенной нагрузки [Липатникова, Лубкова, 2021].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1.За последние несколько лет в результате проведения разномасштабных геолого-геохимических поисков получены новые данные, существенно расширяющие представление о структурных особенностях и вещественном составе эталонного месторождения Кекура, геохимических характеристиках и параметрах вторичных ореолов оруденения типа «Intrusion-related» в Стадухинском рудно-россыпном районе. В 2020-21 гг нашими работами на площади района впервые было выявлено золото-серебряное оруденение, обладающее близкими к промышленным параметрам, что существенно расширяет представление о новых типов оруденения в РМС данного типа. В результате выполненных работ по этапу 1.1. определены основные проблемы и предложены пути их решения для повышения эффективности ОГХР-200 и ГДП-200 при поисках на территориях, благоприятных для развития оруденения типа «Intrusion-related». Для повышения эффективности ОГХР-200 и ГДП-200 необходимо комплексирование геохимических, геологических, минералогических, термобарогеохимических и др. методов исследования, что открывает дополнительные возможности для разбраковки геохимических аномалий по их принадлежности к перспективным (промышленным) и неперспективным (непромышленным) типам оруденения и повышает достоверность оценки их прогнозных ресурсов.

2.1.Впервые предложена и апробирована методика формирования выборки экспериментальных данных повышенной надёжности, состоящая из проверки аналитических данных масс-балансовыми расчётами, проверки соответствия анализов заявленным минеральным видам и оценки равновесности экспериментов. Это позволило на предварительном этапе очистить выборку от ненадёжных экспериментальных данных и сформировать выборку повышенной надёжности, содержащую результаты 1000 закалочных опытов. 2.2. Из выборки повышенной надёжности были отобраны 6 экспериментальных серий, представляющих достаточно широкий диапазон составов расплавов от базальтов до дацитов. Результаты моделирования показали вполне удовлетворительное воспроизведение экспериментальных данных расчётами с использованием нашей программы КриМинал и существенную разницу рассчитанных в Melts и экспериментальных результатов, вызванную главным образом отклонением рассчитанных пропорций кристаллизации минералов на котектиках от экспериментальных.

3.Проведенный анализ макрокомпонентного состава вод 30 родников ООПТ южного и западного округов г. Москвы показал, что воды имеют минерализацию 0,13–1,4 г/л, pH от слабокислой до слабощелочной. По химическому составу воды разнообразны, на диаграмме Пайпера попадают в область распространенности двух типов: IV — Ca–Mg–HCO3 и I — Ca–Mg–Cl–SO4. Вероятнее всего, обследованные родники дренируют различные водоносные горизонты надъюрского водоносного комплекса. Содержание практически всех микрокомпонентов (кроме Mn и Fe в единичных пробах) ниже ПДК химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Термодинамический расчет растворенных форм нахождения микроэлементов (Ba, Sr, Fe, Mn, Zn, Cd, Ni, Co, Pb, Cu) в водах обследованных родников показал, что для Sr, Ba, Fe, Mn, Zn, Ni, Co, Cd, преобладающими формами являются свободные ионы, для Cu и Pb – карбонатные комплексы и комплексы с органическими кислотами.

Список использованных литературных источников

1. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. 413 с.

2. Арискин А. А. и др. Информационно-поисковая система ИНФОРЕКС: анализ и обработка экспериментальных данных по фазовым равновесиям изверженных пород // Петрология. 1997. Т. 5. № 1. С. 32–41.

3. Бакшеев И.А., Спиридонов Э.М. Карбонаты березитов и лиственитов месторождения Бестюбе. // Вест. Моск. ун-та. 1998. Сер. Геол. № 6. С. 29-35.

4. Волков А. В., Сидоров А. А., Прогнозно-поисковая модель месторождений золота, связанных с интрузивами гранитоидов арктической зоны России. Арктика: экология и экономика № 3 (31), 2018.

5. Воробьев С. А. Математическая обработка геолого-геохимических и экологических данных. Барнаул: Новый формат, 2016. 266 с.

6. ГОСТ 31859-2012. Вода. Метод определения химического потребления кислорода: межгосударственный стандарт (дата введения 2014-01-01). – Изд. официальное. М.: Стандартинформ, 2014. 11 с.

7. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Изд. 2-е. Серия Московская. Лист N-37-II (Москва). Объясн. зап. СПб.: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2001. 130 с.

8. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений /М-во геологии СССР. - М., Недра, 1983, 191 с.

9. Интернет-сервис Яндекс.карты. URL: https://yandex.ru/maps, дата обращения 04.09.2021

10. Коптев-Дворников Е. В., Бычков Д. А. Разработка ликвидусного термобарометра для моделирования равновесия оливин–расплав // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2019. № 5. С. 62–74.

11. Липатникова О.А., Лубкова Т.Н. Формы нахождения микроэлементов в природных водах водоемов канала имени Москвы и Волго-Балтийской системы // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2021. № 1. С. 110–116.

12. Лозовик П.А., Морозов А.К., Зобков М.Б., Духовичева Т.А., Осипова Л.А. Аллохтонное и автохтонное органическое вещество в поверхностных водах Карелии // Водные ресурсы. 2007. Том 34. № 2. С. 225–237.

13. Лубкова Т.Н., Липатникова О.А., Филатова О.Р., Балыкова И.В. Рентгенофлуоресцентный анализ сульфат-иона в водных растворах по методу высушенной капли с использованием портативного спектрометра // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2022. № 2. С. 59–67.

14. Николаев Ю.Н., Калько И.А., Власов Е.А., Прокофьев В.Ю. Минералого-геохимические характеристики и оценка промышленных перспектив золотосеребряной минерализации в Олойской зоне // Разведка и охрана недр, 2021, № 10, с. 60-69

15. Позднякова И.А., Кожевникова И.А., Костикова И.А., Томс Л.С. Оценка условий взаимосвязи водоносных горизонтов на основе крупномасштабного картирования геологического строения и гидрогеологических условий г. Москвы // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2012. № 6. С. 527–539.

16. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (Зарегистрировано в Минюсте России 29 января 2021 г. № 62296). Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL:

https://docs.cntd.ru/document/573500115, дата обращения 22.06.2021.
17. Программный пакет The Geochemist’s Workbench (GWB) URL:
https://www.gwb.com, дата обращения 3.10.2021
18. Соколов С.Д., Тучкова М.И. Ганелин А.В., Бондаренко Г.Е., Лейер П. Тектоника Южно-Анюйской сутуры (Северо-Восток Азии). Геотектоника, 2015, №1, с. 5-30.
19. Соловов А.П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. - М., Недра, 1985, 294 с.
20. Спиридонов Э.М., Соколова Н.Ф., Чвилёва Т.Н., Шумкова Н.Г. Теллуровисмутит и тетрадимит Северного Казахстана //Тр. Минерал. музея АН СССР им. А.Е. Ферсмана. 1978. Вып. 26. С. 120-139.
21. Baker T. 2002, Emplacement depth and carbon dioxiderich fluid inclusions in intrusion-related gold deposits // Econom. Geol. – Vol. 97. – P. 1111–1117
22. Baker, T., Pollard, P.J., Mustard, R., Mark, G., Graham, J.L., 2005. A comparison of granite-related tin, tungsten, and gold-bismuth deposits: implications for exploration. SEG Newsl. 61, 5–17.
23. Fiedrich A. M. и др. The influence of water in silicate melt on aluminium excess in plagioclase as a potential hygrometer // Sci Rep. 2018. Т. 8. № 1. С. 12421.
24. Gaillardet Y. Viers Y., Dupre B. Trace elements in river water. Ch. 7.7 // Treatise on Geochemistry: Second Edition. H.D. Holland., K.K. Turekian. Elsevier Ltd. 2014. Vol. 7. P. 195–235.
25. Ghiorso M. S., Sack R. O. Chemical mass transfer in magmatic processes IV. A revised and internally consistent thermodynamic model for the interpolation and extrapolation of liquid-solid equilibria in magmatic systems at elevated temperatures and pressures // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1995. Т. 119. № 2–3. С. 197–212.
26. Gustafson J.P. 2004. Visual MINTEQ, Version 2•30: A Windows version of MINTEQA2, version 4•0
27. Hart C. J. R. 2007. Reduced intrusion-related gold systems // Mineral deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division. Spec. Publ. No. 5. – P. 95–112.
28. Hart, C.R.J., 2005, Classifying, distinguishing and exploring for intrusion-related gold systems. The Gangue, Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, 87 (1): 4-9.
29. Hedenquist, J.W., Lowenstern, J.B., 1994. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits. Nature 370, 519–527.
30. Lang, J., Baker, T., 2001. Intrusion-related gold systems: the present level of understanding.
31. Piper A.M. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses // Transactions, American Geophysical Union. 1944. V. 25 (6). P. 914–928.
32. Putirka K. D. Thermometers and Barometers for Volcanic Systems // Reviews in Mineralogy and Geochemistry. 2008. Т. 69. № 1. С. 61–120.
33. Roeder P. L., Emslie R. F. Olivine-liquid equilibrium // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1970. Т. 29. № 4. С. 275–289.
34. Sillitoe RH Intrusion-related gold deposits. In: Foster RP (ed) Gold metallogeny and exploration. Blackie, Glasgow, 1991, pp 165-209

35. Stiff H.A. The interpretation of chemical water analysis by means of patterns // Journal of Petroleum Technology. 1951. Vol. 3, N 10. P. 15-17.

36. Thompson, J.F.H., Sillitoe, R.H., Baker, T., Lang, J.R., Mortensen, J.K., 1999. Intrusion related gold deposits associated with tungsten-tin provinces. Mineral. Dep. 34, 323–334.

37. Toplis M. J. The thermodynamics of iron and magnesium partitioning between olivine and liquid: criteria for assessing and predicting equilibrium in natural and experimental systems // Contrib Mineral Petrol. 2005. Т. 149. № 1. С. 22–39.

38. Vikent'eva O.V., Prokofiev V.Yu., Gamyanin G.N., Goryachev N.A. Bortnikov N.S. Intrusion-related gold-bismuth deposits of North-East Russia: PTX parameters and sources of hydrothermal fluids // Ore Geol. Rev., 2018, vol. 102, p. 240-259.

Фондовая:

39. Алмазов А.М., Косятов В.В. «Отчет о проведении поисковых и оценочных работ на флангах Стадухинского рудно-россыпного района» Том 1, Билибино, 2014.

40. Аплеталин А.В. Отчёт по объекту «Поисковые работы на золото в пределах Стадухинского рудно-россыпного района» (Чукотский АО) в 2018 году», этап 1. Том 1,. ООО «СВ ГЕОХИМПОИСКИ», г. Москва, 2019.

41. Аплеталин А.В. Отчёт по объекту «Поисковые работы на золото в пределах Стадухинского рудно-россыпного района» (Чукотский АО) в 2019 году»,. ООО «СВ ГЕОХИМПОИСКИ», г. Москва, 2020.

42. Глотов С.П. Отчет о геологическом доизучении масштаба 1:50 000 с общими поисками на площади листов Q-58-33-В,Г; 35-В-а-в-г; 46-А-а,б; Б-а,б; 47-А-а,б и геологической съемки масштаба 1:50 000 с общими поисками в пределах листов Q-58-35-Б-б; Г-а,б на междуречье Орловка - Нутесын в 1990-1995 гг. (Хребтовый ГСО). 6 кн. ГФ Анюйского ГГГП. 1995.

43. Гуревич Д.В. Отчет о полевых работах в пределах рудного узла Кекура. ГФ ООО «Сибирь». 2006 г.

44. Дёмин А.Д.. Отчет по объекту: «Поисковые геолого-геохимические работы с целью выявления и оценки перспективных золоторудных объектов на Стадухинской лицензионной площади» (Чукотский АО) в 2014-2015 гг. ООО «ГЕОХИМПОИСКИ СВ», г. Москва, 2015.

45. Кононов В.А., Загоскин В.В., Баранов С.А. Отчет о геохимических поисках месторождений меди и золота на междуречье рр. Большого и Малого Анюев. Гыданский ГХО за 1982-84 годы. Билибино, 1985.

46. Новоселов К.А. Отчет о результатах работ по теме «Вещественный состав руд и оклорудных изменений рудопроявлений Кекура, Бонд, Гонч» . ГФ ООО «Сибирь». 2007 г.

47. Уютов В.И. Шеховцев В.А. Отчет о геологическом доизучении ранее заснятых площадей масштаба 1:200 000 листов Q-58-XI, XII, XVII, XVIII (Стадухинская геологосъемочная партия), Билибино, 2001 г.

48. Уютов В.И. Отчет по результатам геологоразведочных работ по объекту «Поисковые и оценочные работы на рудное золото в пределах Коральвеемского рудного узла за 2004-2008 гг.», Москва, 2009 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
Объем финансирования темы в 2022 году
Таблица А.1

Источник финансирования	Объем (руб.)	
	Получено	Освоено собственными силами
Денежные средства в виде субсидии на выполнение фундаментальных научных исследований в соответствии с госзаданием МГУ, часть 2 (р. 01 10)	16 203 000,0	16 203 000,0

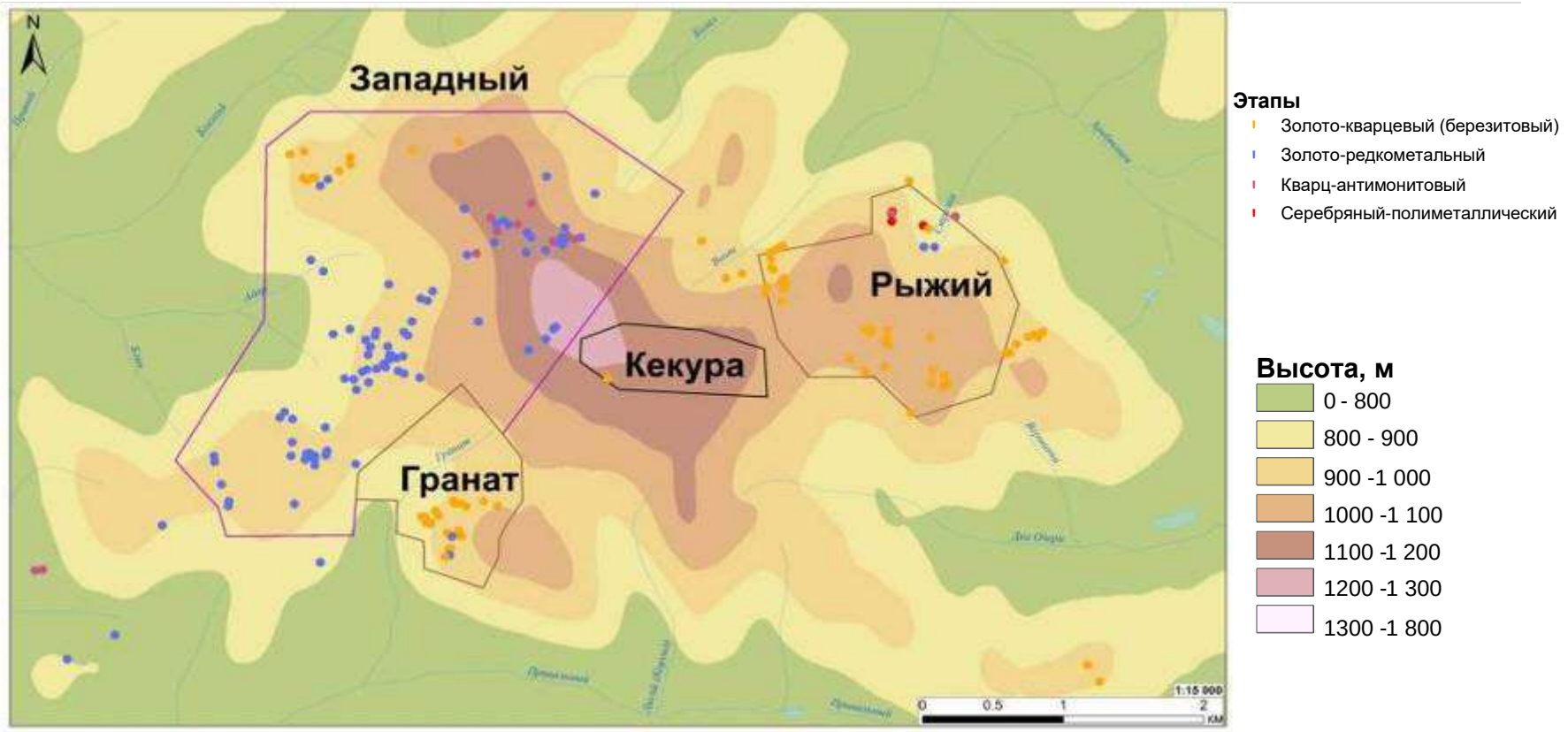


Рис. 1. Точки отбора штуфных проб с рудными содержаниями золота на различных гипсометрических уровнях рудного поля Кекура.

Показатели вертикальной геохимической зональности Кекуры								
Уровень оруденения	Рудн.	Рудн.	Рудн.	Рудн.	Рудн.	Рудн.	Рудн.	Верхн. Руд.
Абсолютная отметка	Зона 1. Западный (800 м)	Зона 2. Западный (900 м)	Зона 3. Западный (1000 м)	Зона 4. Западный (1100 м)	Зона 5. Гр-Рыж (800 м)	Зона 6. Гр-Рыж (900 м)	Зона 7. Гр-Рыж (1000 м)	Зона 8. Кекура (1100 м)
Au г/т	9.43	8.06	15.99	7.97	5.97	8.71	6.71	27.42
Ag г/т	0.81	0.55	1.34	4.49	0.51	0.60	0.46	2.20
Ряд зональности (сверху-вниз)	W-Te-Bi-Fe-Cu-Co-Na-Pb-S-Sb-Mo-Mg-As-Ag-Ca-Au-Ni-Mn-Al-Zn-K							
Пок. Зональности AgK/FePb	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.04	0.06	0.18

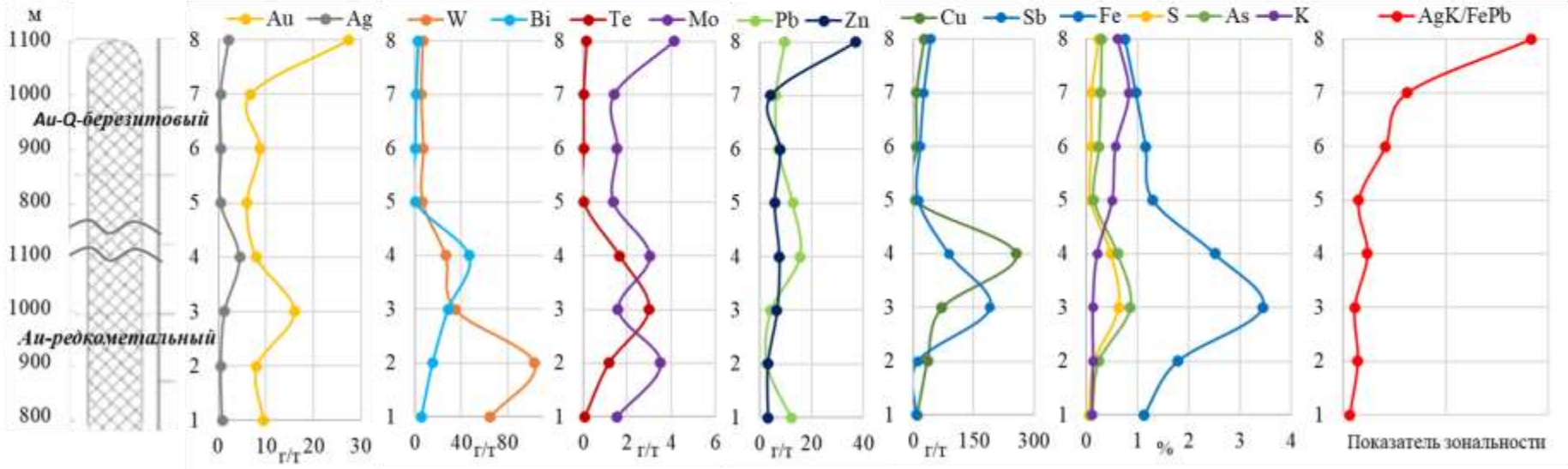
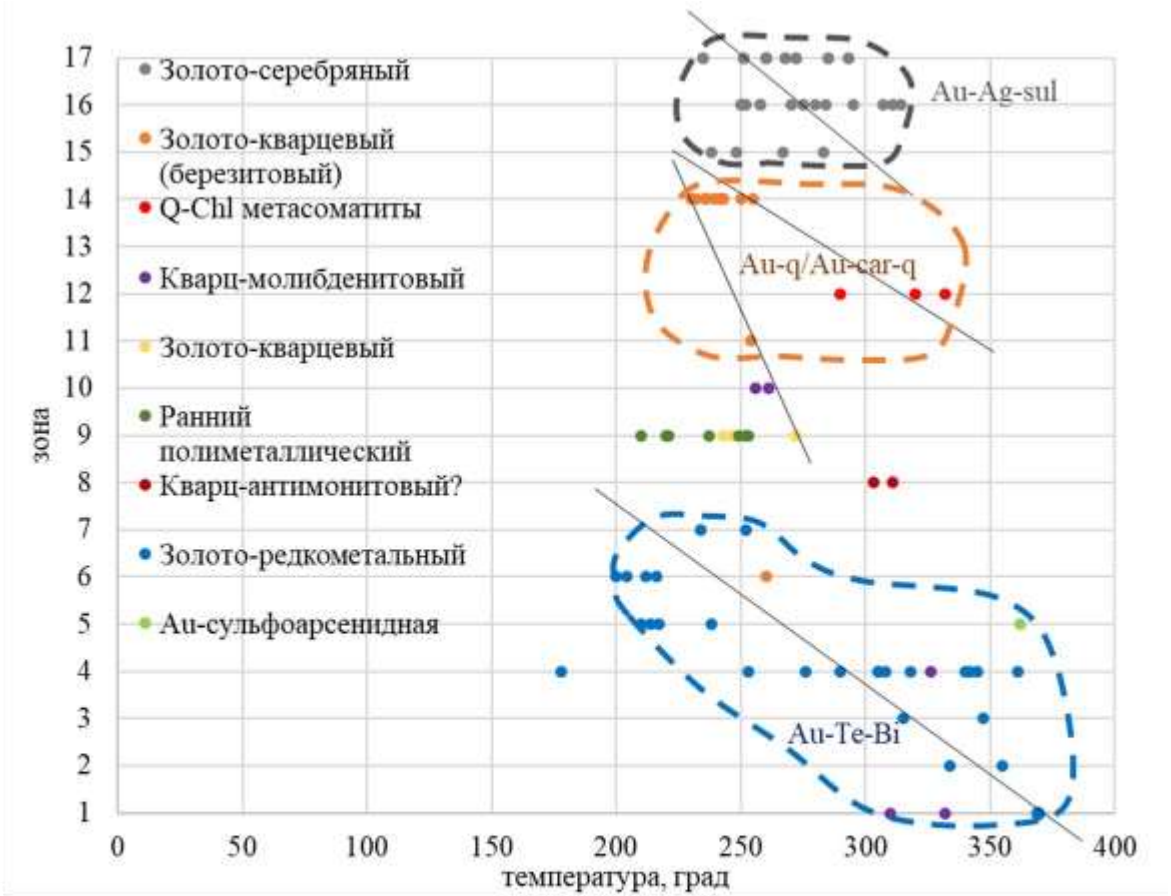


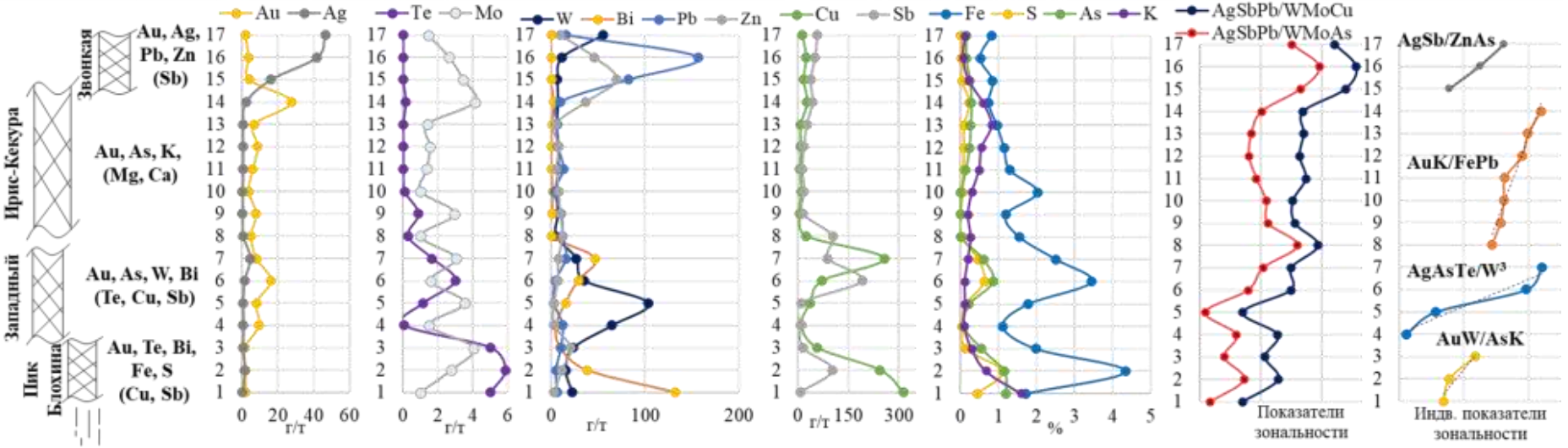
Рис. 2. Распределение рудных элементов и модель вертикальной геохимической зональности рудного поля Кекура.



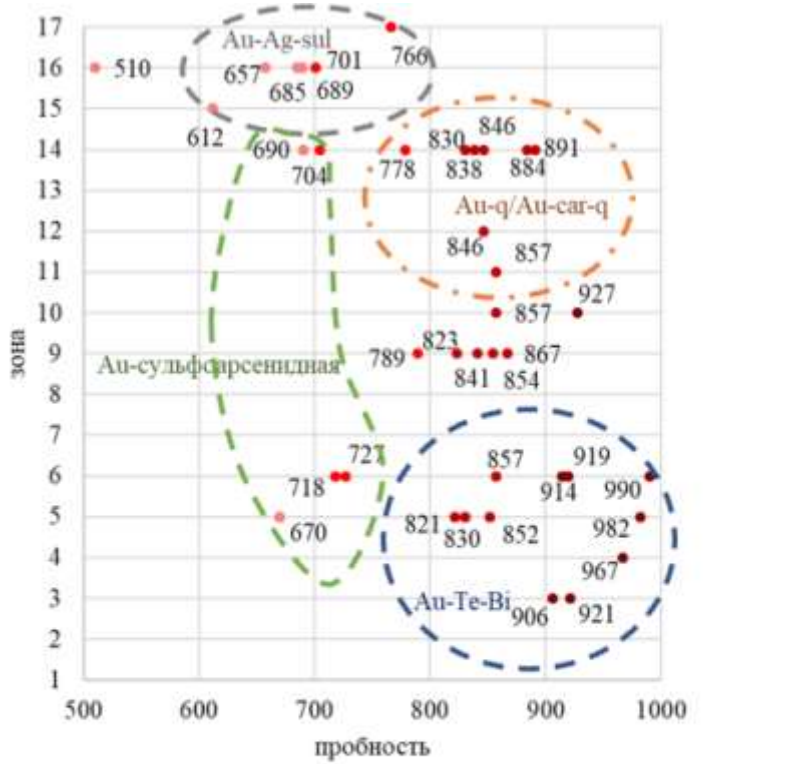
1-8 - Золото-редкометальный (Медвежий, П. Блохина, Лосиха, Западный)
9-14 - Золото-кварцевый березитовый (Ирис, Гранат, Рыжий, Кекура)
15-17 - Золото-серебряный (Лосиха, Звонкий)

Рис. 3. Распределение температур гомогенизации газово-жидких включений в вертикальном разрезе системы IRGS Стадухинского района

Показатели вертикальной геохимической зональности Стадухинского района																	
Уровень оруденения	Ниж. Рудн.	Ниж. Рудн.	Ниж. Рудн.	Ниж. Рудн.	Ниж. Рудн.	Ниж. Рудн.	Ниж. Рудн.	Рудн.	Рудн.	Рудн.	Рудн.	Рудн.	Рудн.	Рудн.	Верхн. Руд.	Верхн. Руд.	Верхн. Руд.
Абсолютная отметка	Зона 1. Блохина (1000 м)	Зона 2. Блохина (1200 м)	Зона 3. Блохина (1385-1508 м)	Зона 4. Западный (800 м)	Зона 5. Западный (900 м)	Зона 6. Западный (1000 м)	Зона 7. Западный (1100 м)	Зона 8. Ирис (760-892 м)	Зона 9. Ирис (914-996 м)	Зона 10. Ирис (1054-1235 м)	Зона 11. Гр-Рыж (800 м)	Зона 12. Гр-Рыж (900 м)	Зона 13. Гр-Рыж (1000 м)	Зона 14. Кекура (1100 м)	Зона 15. Звонкий (740 м)	Зона 16. Звонкий (820 м)	Зона 17. Звонкий (900 м)
Au г/т	2.0	1.8	1.6	9.4	8.1	16.0	8.0	5.0	7.7	3.7	6.0	8.7	6.7	27.4	4.1	3.5	1.9
Ag г/т	0.3	1.4	0.6	0.8	0.5	1.3	4.5	0.6	0.3	0.3	0.5	0.6	0.5	2.2	16.2	41.9	46.4
Ряд зональности (сверху-вниз)	W-Mo-Co-Fe-As-Bi-S-Te-Cu-Ca-Mg-Na-Mn-Al-K-Au-Ni-Zn-Pb-Sb-Ag Bi-Te-Na-Cu-S-As-Co-Fe-K-W-Al-Mg-Ni-Au-Mo-Ca-Sb-Mn-Zn-Pb-Ag																
Пок. Зональности AgSbPb/WMoCu	0.0013	0.07	0.02	0.07	0.001	0.29	0.30	6.35	0.45	0.37	1.56	0.77	1.2	1.2	136.1	469.2	42.2
Пок. Зональности AgSbPb/WMoAs	0.00003	0.0015	0.0002	0.001	0.00002	0.002	0.01	0.63	0.02	0.02	0.01	0.003	0.003	0.01	0.87	7.19	0.32



4.4. Распределение рудных элементов и модель вертикальной геохимической зональности рудно-магматической системы Стадухинского района



1-8 - Золото-редкометальный (Медвежий, П. Блохина, Лосиха, Западный, Утайвеем)
9-14 - Золото-кварцевый березитовый (Бонд, Забытый, Ирис, Гранат, Рыжий, Кекура)
15-17 - Золото-серебряный (Лосиха, Звонкий)

Рис. 5. Распределение пробности самородного золота в вертикальном разрезе системы IRGS Стадухинского района

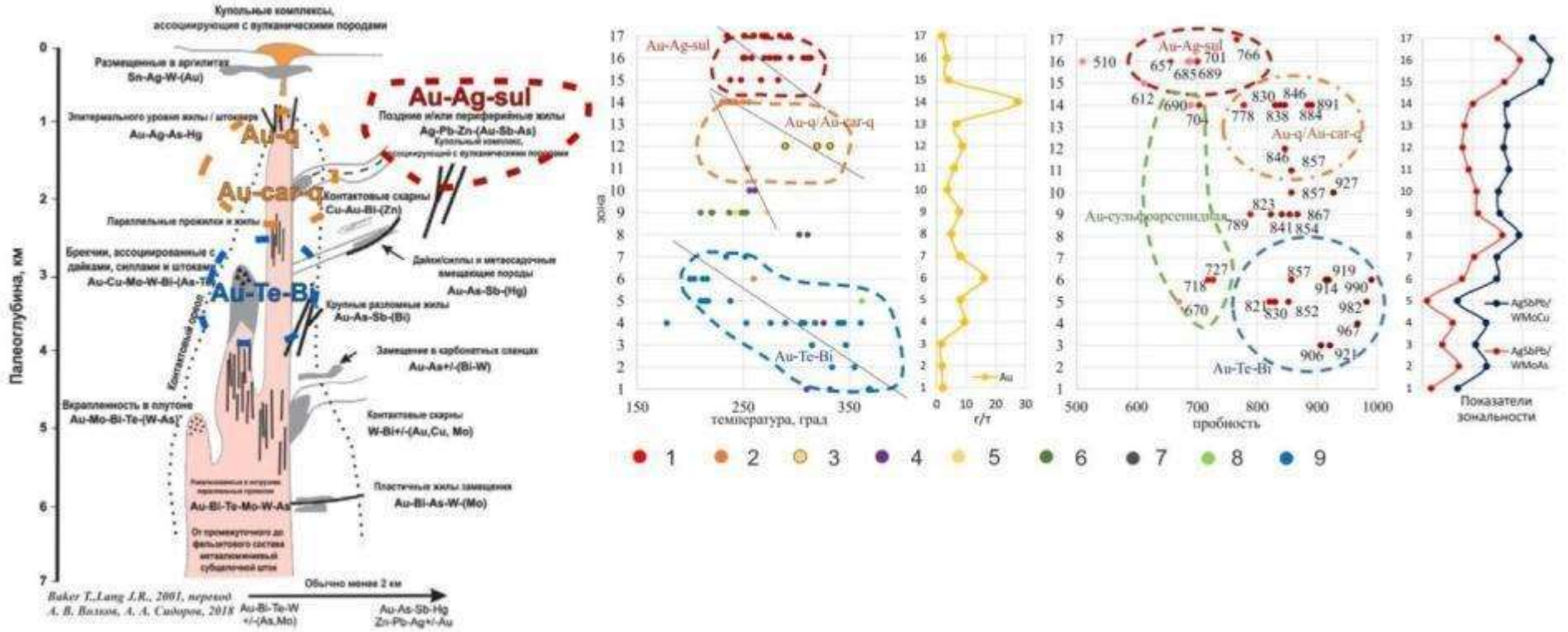


Рис. 6. Модель вертикальной рудно-геохимической зональности для золоторудной системы, связанной с интрузиями в Стадухинском рудноросыпном районе (Западная Чукотка).

Типы минерализации: 1. - Золото-серебряный, 2. - Золото-кварцевый (березитовый), 3. – Q-Chl метасоматиты, 4. - Кварц-молибденитовый, 5. - Золото-кварцевый, 6. - Ранний полиметаллический, 7. - Кварц-антимонитовый, 8, - Au-сульфоарсенидный, 9. - Золото-редкометальный.

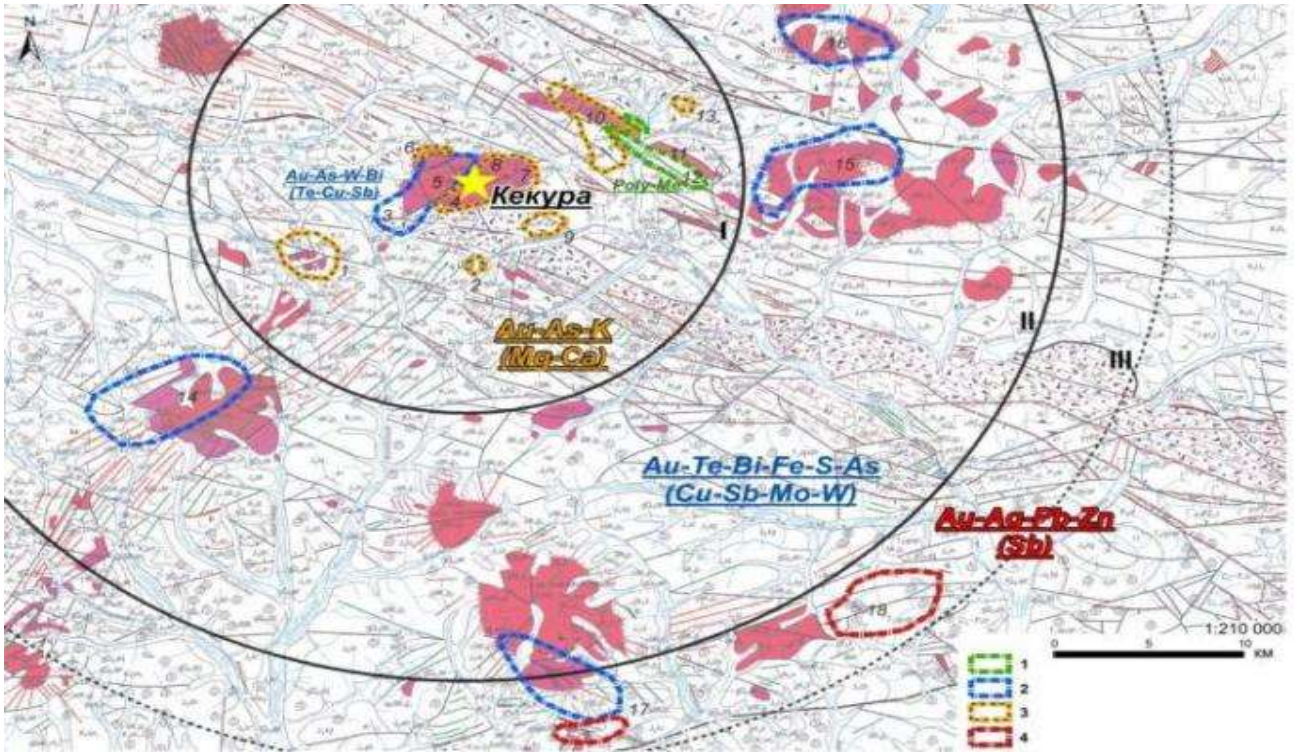


Рис. 7. Закономерности размещения золотого оруденения в Стадухинском рудно-россыпном районе (Западная Чукотка).
Типы золоторудной минерализации: 1 - Ранний полиметаллический (Poly-Me), 2 – Золото-редкометальный (Au-Te-Bi), 3. Золото-кварцевый (березитовый) (Au-q/Au-car-q), 4. Золото-серебряный (Au-Ag-sul).

Перспективные участки Стадухинского рудного района: 1. – Забытый, 2. – Бонд, 3. – Кварцевый, 4. – Гранат, 5. – Западный, 6. – Западный-2, 7 – Рыжий, 8. – Винт , 9. – Закол, 10. – Ирис, 11. – Дарун, 12 – Альпинист, 13. – Левый, 14. – Медвежий, 15. – Утайвеем, 16. – Пик Блохина. 17. – Лосиха, 18. – Звонкий.

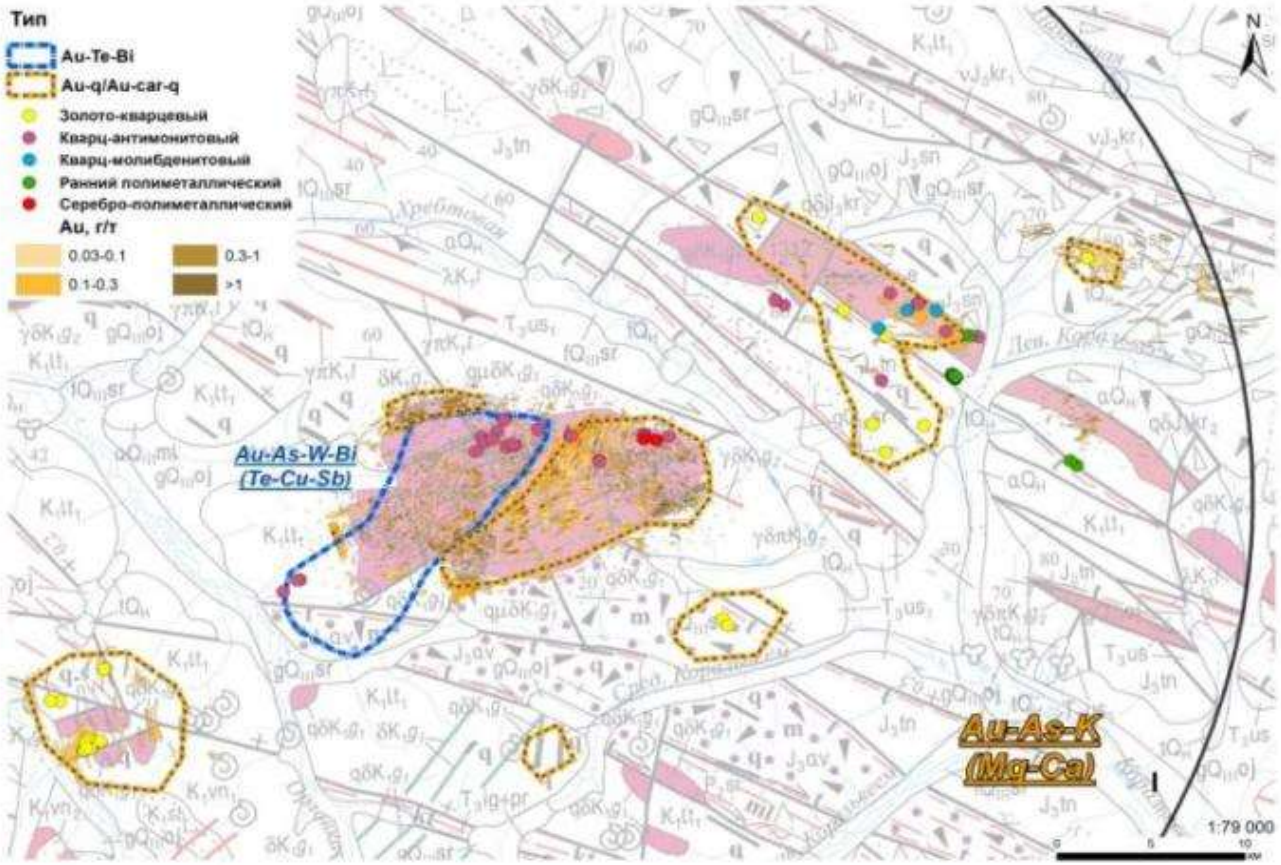


Рис. 8. Закономерности размещения золотого оруденения в Стадухинском рудно-россыпном районе (Западная Чукотка). Ядерная часть рудно-магматической системы.

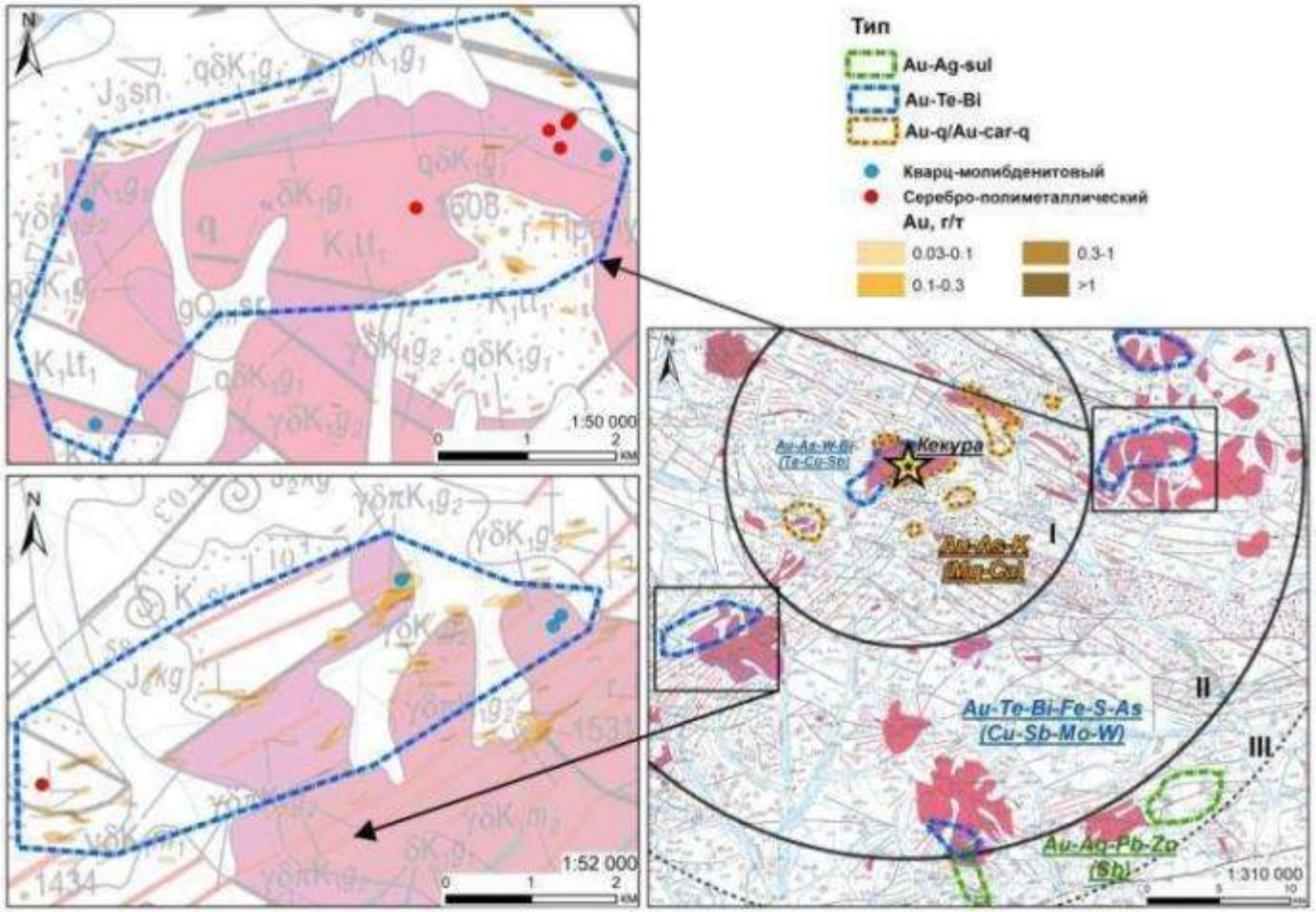


Рис. 9. Закономерности размещения золотого оруденения в Стадухинском рудно-россыпном районе (Западная Чукотка). Промежуточная зона рудно-магматической системы.

Таблица 1

Оценка степени эродированности золото-редкометального оруденения в периферийных массивах Стадухинского района по значениям геохимического показателя зональности

Значения показателя зональности эталона (участок Западный)				
Уровень оруденения (абсолютная отметка)	Среднерудный (1100 м)	Среднерудный (1000 м)	Среднерудный (900) м	Нижнерудный (800 м)
Содержание Au (г/т)	8,0	16,0	8,1	9,4
Значения геохимического показателя зональности $AgAsTe/W^3$	2,4	0,83	0,001	0,0002
Значения показателя зональности и уровень среза оцениваемых объектов				
Объекты оценки	Содержание Au (г/т)	Среднерудный	Среднерудный	Нижнерудноподрудный
Участок Лосиха	19,9	0,28		
Участок Пик Блохина	4,2		0,06	
Участок Утайвеем	6,4		0,03	
Участок Медвежий	0,42			0,0002

Таблица 2

Сравнительная характеристика параметров вторичных ореолов золото-редкометального оруденения в гранитоидных массивах Стадухинского района

Массив	Всего проб	Доля аномальных проб, %			P, $м^2$%	q, т/м/$км^2$
		C_{Au}≥0,01г/т	C_{Au}≥ 0,1г/т	C_{Au}≥ 1г/т		
Утайвеемский	2494	3,7	0,85	0,12	8,4	0,025-0,043
Медвежкинский	1671	18,9	5,50	0,32	27,1	0,086-0,15
Кекурский	12516	56,8	12,94	1,58	15,3	0,077

Таблица 3 Рудоконтролирующие факторы и характеристики золотого оруденения, связанного с интрузиями в Стадухинском рудно-россыпном районе

Тип/основные критерии	**Золоторедкометальный**	**Золото-кварцевый березитовый**	**Золото-серебряный**
Структурная позиция в системе магматогенного поднятия	Центральный периферийные локальные магматические очаги	Центральный магматический очаг и апофизы ближней периферии на пересечении радиальных разрывных нарушений	Системы разрывных нарушений и даек в периферийной части магматогенного поднятия
Связь с магматизмом	Генетическая пространственная, локализация в пределах интрузивных массивов	Генетическая и пространственная, локализация в пределах интрузивных массивов и зонах ближних экзоконтактов	Вероятно, генетическая, но может быть только пространственная в системах разрывных нарушений, вмещающих рои даек.
Состав и возраст рудоконтролирущих магматических образований	Монцониты, монцодиориты, диориты, грано-диориты ранней фазы внедрения	Граниты, гранодиориты поздней фазы внедрения	Дайки диоритов завершающего этапа магматизма
Связь с разрывной тектоникой	Локализация в северовосточных и северозападных системах разрывных нарушений	Локализация в северовосточных и субширотных системах разрывных нарушений	Локализация в северовосточных системах разрывных нарушений
Структурноморфологический тип оруденения	Параллельные жилы в трещинах скола	Жилы замещения, линзы, прожилки в березитах	Жилы в трещинах отрыва
Состав жильного выполнения	Кварц, сульфиды	Кварц, серит, карбонат	Кварц
Рудные минералы	Арсенопирит, шеелит, пирит, висмутин, самородный висмут, теллуриды и сульфотеллуриды висмута, самородное золото	Арсенопирит, шеелит, галенит, сфалерит, блеклая руда, самородное золото	Арсенопирит, пирит, галенит, сфалерит, халькопирит, блеклые руды, сурьмяные и свинцово-сурьмяные сульфосоли серебра, акантит, самородное золото
Рудная ассоциация элементов	Au, As, W, Bi, Mo, Sn	Au, As, W	Au, Ag, As, Pb, Zn, Sb
Средняя пробность самородного золота	900‰	840‰	680‰
Глубина формирования	2-3 км	1,5 км	<1,5 км
Температура рудообразования	340-370^0	230-270^0	270-300
Соленость флюида			4-14 мас.% NaCl экв.