Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

На правах рукописи

ЛЕСНЯК ДМИТРИЙ ВИКТОРОВИЧ

ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНЫЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЭПИТЕРМАЛЬНОГО ВЫСОКОСЕРНИСТОГО ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ РУДНОГО ПОЛЯ СВЕТЛОЕ (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ)

Специальность 1.6.10 – Геология, поиски и разведка твердых ископаемых, минерагения

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:
доктор геолого-минералогических наук,
профессор Мазуров Алексей Карпович

Томск – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4

ГЛАВА 1. СВЕДЕНИЯ О ГЕОЛОГИЧЕСКОМ СТРОЕНИИ РУДНОГО ПОЛЯ СВЕТЛОЕ. 12

1.1. Состояние проблемы 12

1.2. Обзор ранее выполненных работ 14

1.3. Краткая геолого-структурная характеристика рудного поля Светлое 20

1.4. Метасоматические изменения вмещающих пород 23

1.5. Рудная минерализация 27

1.6. Сопоставление рудного поля Светлое с аналогами 29

ГЛАВА 2. МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ 47

2.1. Методика обработки космоматериалов 48

2.2. Методика работы с геофизическими материалами 55

2.3. Методика работы с литохимическими материалами 56

ГЛАВА 3. ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНАЯ ПОЗИЦИЯ РУДНОГО РАЙОНА, РУДНОГО УЗЛА, РУДНОГО ПОЛЯ 58

3.1. Геолого-структурная позиция Среднеульинского рудного района 58

3.2. Геолого-структурная позиция Уенминского рудного узла 64

3.4. Геолого-структурная позиция рудного поля Светлое 70

3.5. Геолого-структурные факторы рудоконтроля 74

ГЛАВА 4. ГЕОХИМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РУДНОГО ПОЛЯ СВЕТЛОЕ 77

4.1. Геохимическая модель уровня рудного поля Светлое 78

4.1.1. Расчет фоновых и минимально-аномальных концентраций элементов 78

4.1.2. Геохимическая зональность вторичного ореола рассеяния 79

4.2. Геохимическая модель уровня месторождений в рудном поле Светлое... 85
4.2.1. Расчет фоновых и минимально-аномальных концентраций элементов 85
4.2.2. Структура аномального геохимического поля 86

4.3. Геохимическая модель уровня рудного тела 95

4.4. Обобщенная геохимическая модель золоторудного поля Светлое 103

ГЛАВА 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНОГО И ГЕОХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА УЧАСТКОВ ДЮЛЬБАКИ, АЛЯДАКАН, БОЛЬШАЯ ХОЛИ. 106

5.1. Участок Дюльбаки 106

5.1.1. Аэрогеофизические данные 108

5.1.2. Геолого-структурные особенности по результатам дешифрирования... 110

5.1.3. Геохимические особенности Дюльбакинской площади 113

5.1.4. Прогнозная оценка рудоносности участка Дюльбаки и результаты ее заверки 123

5.2. Участок Алядакан. 124

5.3. Участок Большая Холи 127

ГЛАВА 6. КРИТЕРИИ И ПРИЗНАКИ ЭПИТЕРМАЛЬНОГО ОРУДЕНЕНИЯ. ГЕОЛОГО-ПОИСКОВАЯ МОДЕЛЬ 129

6.1. Критерии и признаки эпитермального оруденения 129

6.2. Геолого-поисковая модель рудного поля 137

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 141

ЛИТЕРАТУРА 144

ПЕРЕЧЕНЬ ТЕКСТОВЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ 159

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования условий формирования золоторудных месторождений определяется двумя глобальными факторами. При сохранении традиционной инвестиционной привлекательности золота отмечается снижение динамики мирового производства этого драгоценного металла по фактическому объему добычи в период с 2019-2021 гг. По некоторым экспертным оценкам мировое производство золота может сократится на 15-20% уже к 2030 году по причине снижения качества и количества мировых запасов. Российский сектор, как составная часть мирового производства, будет подчиняться глобальным тенденциям, что создает возможность прохождения в ближайшей перспективе пиковых объемов добычи золота в нашей стране. Истощение сырьевой базы исторически лидирующих золотодобывающих регионов России делает актуальным проведение геологоразведочных работ на выявление перспективных золоторудных объектов, не являющихся привычными по геологической и/или технологической характеристикам, в том числе находящихся в труднодоступных районах. В таком качестве могут рассматриваться эпитермальные кислотно-сульфатные золоторудные месторождения Охотско-Чукотского вулканического пояса.

Геологические работы, направленные на поиски золоторудных объектов на территориях, перспективных к обнаружению объектов кислотно-сульфатного типа, традиционно специализировались на выявлении кварцево-жильных месторождений (низко-сульфатных или адуляр-серицитовых). Поэтому поля так называемых вторичных кварцитов, характерных для кислотно-сульфатных обстановок, не изучались должным образом, а обширные проявления алунитовых кварцитов время от времени рассматривались в качестве потенциального источника получения алюмосодержащего сырья. Однако, в последнее время отмечается рост интереса золотопромышленников ко вторичным кварцитам. В геологоразведочные проекты и горно-перерабатывающее производство стали включаться месторождения и рудопроявления Малетойваям-Ветроваямской

группы и Озерновского рудного поля на Камчатке, а также рудного поля Светлое в Хабаровском крае. Привлекательной особенностью этого типа месторождений служит наличие свободного, дисперсного, легкорастворимого золота в относительно хорошо проницаемом матриксе пористых и глинистых кварцитов, что позволяет экономически и технологически обоснованно применять сравнительно менее затратную технологию кучного выщелачивания в условиях труднодоступных территорий. Возможность применения технологии кучного выщелачивания в условиях низких температур Крайнего севера успешно подтверждена на месторождении Светлое (Хабаровский край, компания «Полиметалл»), на котором себестоимость производства золота является одной из самых низких в отрасли не только в России, но и в мире [Polymetal International Plc].

Таким образом относительно низкая изученность эпитермальных кислотно-сульфатных месторождений, обусловленная их редким нахождением на территории России, в совокупности с экономической привлекательностью технологий разработки и переработки определяет актуальность проблемы прогнозирования и поисков золоторудных месторождений этого типа.

Цель работы.

Целью работы является определение основных факторов локализации эпитермального кислотно-сульфатного оруденения на основе анализа геолого-структурной позиции рудного района, рудного узла и рудного поля, особенностей проявления оруденения во вторичном и первичном геохимических полях, а также разработка комплекса критериев и признаков на обнаружение данного типа месторождений в пределах Ульинского прогиба.

Задачи работы.

1. Установление главных геолого-структурных факторов, определяющих пространственное расположение золотого кислотно-сульфатного оруденения;

2. Установление особенностей проявления золотого эпитермального кислотно-сульфатного оруденения во вторичном и первичном геохимических полях.

3. Разработка главных разноранговых критериев прогноза и поисков и уточнение поисковой модели эпитермального кислотно-сульфатного золотого оруденения.

Фактический материал и методы исследований.

В основе исследований лежат космоматериалы Landsat ETM+, Landsat 8, Aster, Sentinel, цифровые модели рельефа SRTM и AsterGDEM, аналитические данные, полученные по результатам литохимических работ по вторичным ореолам рассеяния в масштабах 1:50000 и 1:10000, проведённые в разные года на площади рудного поля Светлое (2001, 2003, 2004, 2006, 2007, 2009 гг.). В качестве справочных данных использованы материалы геологической съемки 1:200000 листов О-54-VIII (Ивлев А.Н., 1977, 1986), О-54-IX (Умитбаев Р.Б., 1967), О-54-XIV (Шпак Н.С., 1974, 1979), поисковых работ в юго-западной части Охотского района (Ульинская площадь; Бутвин В.Н., 1987), поисковых работ и оценке месторождений золота бассейнов ручьев Алалиндя, Онемна (Литвинов, 2012), результаты аэрогеофизических работ разных лет съемки (1978-1985 гг.), переработанные и увязанные ООО Гепарт в 2019 г..

Обработка и дешифрирование космоматериалов выполнялись для построения структурно-геологических схем уровней рудного района, рудного узла, рудного поля с целью выявления закономерностей проявления разноранговых вулканоструктур, разрывных нарушений, субвулканических тел, интрузий, метасоматитов в различных элементах дешифрирования.

Обработка и дешифрирование космоматериалов выполнялись для построения структурно-геологических схем уровней рудного района, рудного узла, рудного поля с целью выявления закономерностей проявления разноранговых вулканоструктур, разрывных нарушений, субвулканических тел, интрузий, метасоматитов в различных элементах дешифрирования. Общая методика дистанционных работ включала в себя:

- подбор исходных космических данных различных систем;
- улучшение, классификация растровых изображений и их дешифрирование;
- создание спектрозонального изображения из моноканальных растров и его обработка;
- дешифрирование всего комплекса синтезированных изображений с выделением линейных и кольцевых (дуговых) структур и других особенностей геологического строения;
- расчет спектральных индексов по материалам Aster;
- корреляционный анализ многоканальных изображений методом главных компонент;
- спектральный анализ многозонального изображения материалов Aster;
- интерпретация полученных материалов с привлечением геологической, геофизической и геохимической информации и составление геолого-структурных схем.

Для построения структурно-геологической схемы Среднеульинского рудного района масштаба 1:500000 использованы космические снимки Landsat и ЦМР SRTM. Для построения структурно-тектонической схемы Уенминского рудного узла и рудного поля Светлое масштабов 1:100000 и 1:25000 использованы космические снимки Aster и Sentinel, а также ЦМР AsterGDEM.

Кроме перечисленных космоматериалов для построения структурно-геологических схем использованы результаты геолого-съемочных работ масштаба 1:200000 по листам О-54-VIII, О-54-IX, О-54-XIV, О-54-XV, XVI, XXI, результаты обработки аэрогеофизических данных по Охотской площади, результаты переинтерпретации аэрогеофизических данных и результаты обработки литохимических съемок по вторичным ореолам рассеяния.

В работе использованы результаты аэрогеофизических работ разных лет съёмки (1978-1985 гг.), переобработанные и увязанные в ходе ранее выполнявшихся тематических работ.

Подтверждение наличия рудных процессов обеспечивается выявлением в геохимическом поле ассоциации элементов, связанной с рудообразованием, и прямых признаков золотого оруденения. Обработка и интерпретация геохимических данных выполнялась с целью создания обобщённой модели аномального геохимического поля Светлого по полученным в ходе анализа данных закономерностям распределения элементов во вторичном ореоле рассеяния. В основу работы легли аналитические данные, полученные по результатам литохимических работ по вторичным ореолам рассеяния в масштабе 1:50 000 (сеть 500×100м) и 1:10 000 (сеть 100×40м), проведенных в разные годы на площади золоторудного поля Светлое. Площадь работ составила 67 км^2 и 16.1 км^2 соответственно. При обработке данных использованы методы многомерной статистики: ранговая корреляция, факторный и кластерный анализы. Построены схемы распределения элементов и комплексных показателей (КП). Выполнены: расчет фоновых и минимально-аномальных содержаний элементов; моделирование геохимических полей методами многомерной статистики; расшифровка структуры аномального геохимического поля.

Основные защищаемые положения.

1. Основными элементами структурно-геологического строения при выделении потенциальных золоторудных объектов являются: вулканотектонические депрессии I и II порядка, остатки палеовулканических построек центрального типа, в том числе с проявленной кальдерой проседания, разрывные нарушения, тела секущих интрузивных, субвулканических и жерловых образований, вторичные кварциты и аргиллизиты, – которые могут быть выявлены дистанционными методами.
2. В масштабах рудного тела распределение ассоциаций элементов первичного геохимического поля имеет концентрически-зональное строение, выражающееся в последовательной смене геохимических

ассоциаций (от тыловой зоны к фронтальной): Au-Ag-Se-Sb → V-As-P-Fe-Mo-Pb-Sr-Sb-Cu → K-Na-Al-Co-Zn-Ba →Cr-Ni-Mn.

На уровне месторождений в кислых породах устанавливается последовательность формирования геохимических ассоциаций (от центральной части к периферии): Au, Ag, Bi, Te → Ni, Cr, Co, Ti, V, Zn, Mn → As, Sb, Hg, Pb, Cu (Mo, W) → P, La, Mg, Sc, Mn, Zn, Sr, Co, Si.

Рудное поле фиксируется концентрически-зональной структурой с пространственной сменой геохимических ассоциаций (от центральной зоны рудообразования к периферии): Au (Mo) → Au, Ag, Pb → K, Na, Al → V, Zn, (Co, Ni, Cr, Mn, P).

3. Разработаны основные региональные и локальные критерии поиска и оценки золотого эпитермального оруденения, характеризующиеся комплексом геохимических, геофизических и геолого-структурных факторов, которые отражают особенности размещения оруденения в структурах региона.

Научная новизна.

В пределах золоторудного поля Светлое описан эпитермальный кислотно-сульфатный тип золотого оруденения. Обоснована роль вулканотектонических депрессий I и II порядков и продольных северо-восточных и северо-западных разломов мантийного и корового заложения в размещении вулканотектонических депрессий, метасоматических полей и золотых рудопроявлений. Детально охарактеризованы геологические и структурные особенности рудного поля. Установлено, что рудоносные участки размещаются в кальдерах проседания вулканических аппаратов. Описаны характеристики потенциально рудоносных вулканических структур в магнитном поле и полях распределения естественных радиоактивных элементов. Установлены закономерности формирования и зональность рудогенных геохимических полей, сопровождающих золотое оруденение эпитермального кислотно-сульфатного типа. Для определения критериев отбраковки участков на ранних стадиях их изучения проведено сопоставление

особенностей рудного поля Светлое с рудопроявлением Дюльбаки, участками минерализации Алядакан и Большая Холи. Полученные данные легли в основу разработки новых региональных и локальных критериев прогноза, поисков и оценки золотого оруденения.

Практическая значимость.

Разработанные прогнозно-поисковые критерии могут быть использованы предприятиями, ведущими поисковые и оценочные работы на эпитермальный кислотно-сульфатный тип золотого оруденения в пределах Уенминского золоторудного узла и в сходных геологических обстановках.

Личный вклад автора.

Личный вклад автора заключается в инициации проведения тематических исследований по тематике диссертации, организации и участии в полевых работах и отборе проб, участии в обработке, систематизации и интерпретации полученных результатов дешифрирования космоматериалов и результатов геохимического опробования.

Апробация работы и публикации.

По теме диссертационной работы опубликовано 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК и входящих в базу данных Scopus. Результаты обсуждались на Международных симпозиумах имени академика М. А. Усова (2021, 2022) и X научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов» (2021). Часть диссертационных исследований выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSWW-2023-0010).

Структура работы.

Текст диссертации изложен на 199 страницах, включающих введение, заключение, шесть глав и текстовые приложения. В первой главе даны общие сведения о геологическом строении рудного поля светлое, включая состояние проблемы, обзор ранее выполненных работ и сопоставление объекта исследований с отечественными и зарубежными месторождениями-

аналогами. Во второй главе «Методы…» описаны исходные материалы, аналитические и расчетные методы, использованные в работе. В третьей главе описана геолого-структурная позиция рудного района, рудного узла, рудного поля на основании результатов дешифрирования спектральных космоснимков и обработки геофизических данных с использованием материалов геолого-съемочных работ разных лет. Четвертая глава «Геохимическая модель рудного поля Светлое» посвящена результатам обработки и интерпретации данных литохимического опробования, на основании которых представлены геохимические модели уровней рудного поля, месторождения и рудного тела, а в заключение главы дана обобщенная модель золоторудного поля. В пятой главе приведены результаты геолого-структурного и геохимического анализа участков Дюльбаки, Алядакан, Большая Холи, которые были использовании при формировании прогнозно-поискового комплекса и геолого-поисковой модели, отраженных в заключительной шестой главе «Критерии и признаки эпитермального оруденения. поисковая модель», объединяющей результаты исследования геолого-структурной позиции золоторудных таксонов и особенностей геохимических полей на различных уровнях.

Благодарности.

Автор работы искренне благодарен за понимание, помощь и поддержку в разработке темы диссертации своему научному руководителю доктору геол.-мин. наук А.К. Мазурову. Автор глубоко признателен доктору геол.-мин. наук Ю.С. Ананьеву, кандидату геол.-мин. наук М.А. Рудмину, кандидату геол.-мин. наук Р.Ю. Гаврилову, кандидату геол.-мин. наук А.Н. Орехову за советы и помощь в написании некоторых разделов данной работы. Автор благодарит сотрудников НИ ТПУ: кандидата геол.-мин. наук А.С. Рубана, кандидата геол.-мин. наук Т.Ю. Якич, кандидата геол.-мин. наук О.В. Савинову за полезные советы и консультации при создании данной работы. Автор выражает признательность сотрудникам группы компаний АО «Полиметалл УК» С.И. Трушину и Д.В. Левочской за поддержку, ценные советы и предоставленные материалы.

ГЛАВА 1. СВЕДЕНИЯ О ГЕОЛОГИЧЕСКОМ СТРОЕНИИ РУДНОГО ПОЛЯ СВЕТЛОЕ.

1.1. Состояние проблемы

Россия занимает лидирующие позиции в структуре мировых объемов производства золота и его резервов в недрах. За последнее десятилетие добыча золота в России выросла почти на 60%. С 2018 года ежегодно производится более 300 т российского золота, а в 2020 году эта цифра составила 340.2 т аффинированного металла. Центральными золотодобывающими регионами России являются Дальний Восток и Сибирь, располагающие значительной сырьевой базой и обладающие перспективами увеличения добычи за счёт освоения известных на сегодня месторождений упорных, труднообогатимых руд. Осуществление проектов освоения таких месторождений в перспективе по некоторым оценкам позволит превысить годовые объемы добычи золота до 450 т [О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации…, 2021].

Учтенные Государственном балансом запасы золота на 01.01.2021 г. превышают 15 тыс. т (8 793.9 т категории $A+B+C_1$ и 5 986,1 т категории C_2). Сопоставление запасов, учтённых Государственным балансом, с резервами золота зарубежных стран не является корректным из-за разницы принципов определения количества извлекаемого из недр металла, поэтому некоторыми источниками даётся приближенно-тождественные к международным стандартам и по этой причине более скромные оценки резервов России в 5,3-6,8 тыс. т, что оставляет за нашей страной место в тройке лидеров по данному показателю совместно с Австралией и США.

В 2018 году завершился очередной цикл наращивания производства золота в мире и в течение последних трёх лет определяется динамика на снижение добычи на 2-3% ежегодно, что в массовых публикациях ошибочно оправдывается только лишь «ковидными» ограничениями. Но следует не упускать из вида валидную и основательную причину образовавшейся тенденции на отрицательную динамику добычи и переработки золотого сырья,

заключающуюся в снижении качества и количества ресурсов и резервов золота в недрах, а также, что может быть более приоритетным, в сокращении объемов возобновления добываемых ресурсов. По-простому, происходящее формулируется как истощение минеральных ресурсов. На этом основании экспертами строится прогнозная оценка 15-20% сокращения выпуска продукции золотодобывающих компаний в мире к концу текущего десятилетия. Что должно представляться чрезмерно пессимистичным прогнозом в количественном исчислении, но бесспорным в определении вектора движения отрасли. Общемировые тенденции не исключают возможную смену негативного и позитивного лидерства между странами по объемам добычи. Однако фундаментальная проблема ограниченности ресурсов и их восполнения неизбежно приведёт к прохождению пиковых объемов добычи для каждого участника рынка в ближайшей перспективе.

Таким образом определяется возрастание актуальности для проведения и интенсификации геологоразведочных работ (далее ГРР) не только на флангах и глубоких горизонтах известных месторождений, что является основным методом или источником прироста металла в последние десятилетия (из доклада на MinexConsulting, 2020), но и интенсификации ГРР на выявление новых перспективных золоторудных объектов, в том числе не являющихся привычными по геологической и технологической характеристикам для отрасли в целом и для отдельных районов в частности.

В России до недавнего времени золоторудные эпитермальные кислотно-сульфатные месторождения редко выступали в качестве источника коренного золота из-за редкого их обнаружения, сложной доступности, низкого качества минерализации и малого масштаба золоторудного проявления. Однако пример эксплуатации месторождения Светлое обращает внимание на данный тип месторождений в качестве потенциального развития минерально-сырьевой базы. В настоящее время в пределах рудного поля Светлое аффилированной компанией группы компаний Полиметалл разрабатываются четыре карьера – Елена, Тамара, Людмила и Эмми, а также продолжаются геологоразведочные

работы в пределах самого поля и его ближайших окрестностей. Совокупные эксплуатационные запасы, учтённые Государственным балансом, составляют более 35 т золота при средних содержаниях в руде 2,5-3,5 г/т. Золото извлекается из руды по технологии кучного выщелачивания в условиях Крайнего севера круглогодично.

1.2. Обзор ранее выполненных работ

Первые шаги геологического изучения юго-восточной части Ульинского прогиба были связаны со старательской деятельностью, о чем свидетельствуют следы шурфовки с сохранившимися штагами 1933-1934 гг. на ручьях Буралкит, Майок, Колка и др. Однако, сведения о результатах тех работ отсутствуют [Фролов и др., 1977].

Серпухов В.И. по результатам геологическая съемки масштаба 1:500 000 в бассейне р.Нудыми давал отрицательную оценку золотоносности территории.

Перспективность района на поиски россыпного золота была определена в период 1944-1945 г. Уенминской партией Охотского РайГРУ (Лисицин А.А., Воротко Т.П., Куцаенко В.А., Федотов С.И., Ипатов М.П.) в результате съемочных и поисковых работ масштаба 1:1 000 000, что подтверждалось поисковой партией «Золоторазведки» (Петров В.Я., 1945) и Кондакитской партией РайГРУ (Баранцевич А.А., 1946), установившими золотоносность бассейнов р.Колка, Амундакит и Алядакан.

Первая аэромагнитная съемка района 1:200 000 масштаба 1958 г. (Алданская экспедиция, Херувимова Е.Г.) установила сложное строение магнитного поля района с генеральным северо-восточным направлением аномальных зон.

Поиски золота в бассейне Амундакита возобновились в 1964 г. Охотская аэромагнитная партия (Задорожко Л.И., Стариков Ю.Г.) открыла здесь зону гидротермально изменённых пород, содержащих до 0,8 и 10 г/т золота и серебра соответственно [Фролов и др., 1977].

Золотоносность вторичных кварцитов в бассейне р. Уенма впервые определена в 1973 г. при проведении геологической съемки масштаба 1:200 000 (Аэрогеологическая экспедиция №2, Шпак Н.С., 1974). По результатам поисковых работ 1975 г. (Аэрогеологическая экспедиция №2, Фролов и др., 1977) было выявлено рудопроявление Светлое, расположенное на водоразделе рр. Алалиньди и Онёмны в периферийной части Дюльбакинской вулканоструктуры. Прогнозные ресурсы проявления оценивались как «высокие», но дальнейшие работы по его изучению не выполнялись из-за удаленности территории, низких содержаний благородных металлов и «нетрадиционности» этого типа рудопроявления.

ООО «ПД РУС» («PhelpsDodgeRussia», принадлежащая Phelps Dodge Exploration Corporation (США), с 2005 года собственник Fortress Minerals (Канада)) в 2001 году провело полевую экспертную оценку проявления и начало его планомерное изучение в 2003.

В период с 2003 по 2009 год был проведен комплекс поисковых работ, включая литохимическую съёмку по вторичным ореолам рассеяния в масштабах 1:50 000, 1:10 000, наземную магниторазведку 100×20 м, СЭП-ВП 250-400×50 м. По результатам работ сделан вывод о низкой эффективности геофизических исследований, осложняющихся в условиях развития островных многолетнемерзлых пород и полях рассеянной сульфидной минерализации, и высокой эффективности геохимических методов [Литвинов, 2012].

В результате литохимических поисков масштаба 1:50000-1:10000, горных и буровых работ были выявлены пять перспективных участков развития рудоносных вторичных кварцитов, на которых в 2004-2005 годах были продолжены поисково-оценочные работы. В результате было открыто золоторудное месторождение Светлое (2006 г.), выполнено технико-экономическое обоснование (далее ТЭО) временных разведочных кондиций и подсчитаны запасы золота и серебра, утвержденные ГКЗ Роснедра 22.09.2006 г. [протокол ГКЗ № 1262-ОП, 2006]. В контуре проектного карьера участка

Елена были приняты на государственный учёт запасы золота категории С2: руда 2 047,5 тыс. т, золото 6 644,1 кг, попутное серебро 16,5 т.

В течение 2006-2009 годов поисково-оценочные и разведочные работы на месторождении были продолжены. Большая часть геологоразведочных работ была сосредоточена на наиболее перспективных участках – Эмми, Елена и Тамара, по результатам которых запасы участков легли в основу ТЭО постоянных разведочных кондиций с подсчетом запасов металлов по категориям С1+С2, утвержденные ГКЗ Роснедра 29.01.2014 г [протокол ГКЗ №3483, 2014] в количестве 11 745,5 тыс. т руды, 32 735,1 кг золота и 35,5 т серебра.

Геологоразведочные работы в рудном поле Светлое продолжаются до сегодняшнего дня. В результате чего в 2019, 2020, 2022 году были выполнены оперативные приросты запасов по рудным зонам Елена, Эмми, Людмила в общем количестве 1 690 тыс. т руды, 4 693,1 кг золота и 8,5 т серебра [Лесняк, 2019; Лесняк, 2020; Архипов, 2022; Протокол ТКЗ Дальнедра №1225, 2020; Протокол ТКЗ Дальнедра №1272, 2020].

Эксплуатация месторождения началась с 2016 года. Всего, с начала горных работ добыто более 8,5 млн т руды, 26 088 кг золота и 28,7 т серебра. Среднегодовая производительность карьера составляет 1,27 млн т руды со средним содержанием 3,50 г/т и 3,65 г/т золота и серебра соответственно.

Детальное изучение вещественного состава руд и пород, структурных и генетических особенностей месторождения проводилось в современный этап изучения объекта – после 2000 года.

В 2006 году опубликован отчет Алдертона Д., Брамелда Ф., в котором впервые описана специфическая теллуридно-висмутовая минерализация рудопроявления (далее рудная зона) Эмми [Alderton, Brameld, 2006; Колесников, 2007].

В 2007 г. опубликованы тезисы коллектива авторов под руководством Колесникова А.Г., в которых описано зональное строение массива гидротермально изменённых пород по вертикали и латерали от

гидрослюдистых аргиллизитов, кварц-гидрослюдистых, кварц-диккит-алунитовых, алунит-кварцевых вторичных кварцитов к монокварцитам. Установлены два морфологических типа золотоносных кварцитов: плитообразные залежи, несущие большую часть запасов месторождения, и линейные тела. Рудная минерализация охарактеризована как убогая, тонкодисперсная, высокопробная (более 950‰) с характерными примесями Ag (1,6–3,9%), Sb (до 11%), Bi (до 5%), Pb (до 0,6%).

Отмечена ассоциация Au, Ag, Sb, Bi, Pb во вторичных ореолах рассеяния, а мультипликативный показатель Au×Ag×Bi использован для оконтуривания рудных зон в пределах полей вторичных кварцитов.

В монокварцитах рудной зоны Эмми установлена температура гомогенизации флюидных включений 240-270 °С, а для прожилков и гнезд в областях развития рудной минерализации – 330-370 °С [Колесников, 2007].

В период с 2006 по 2009 годы в пределах рудного поля было проведено картирование гидротермально изменённых пород с поверхности рудных зон и из характерных скважин с использованием минералого-петрографических исследований, инфракрасной спектрометрии (спектрометр Pima), рентгеноструктурного анализа и электронной микроскопии, изотопного анализ состава серы и кислорода. Материалы публиковались в статьях [Ивановым, 2011; Мишин, 2007, 2008, 2010, 2011, Савва Н.Е., 2013].

Мишин Л.Ф. особое внимание уделяет строению и зональности вторичных кварцитов, которые слагают разобщённые поля, представляющие собой фрагменты неравномерно эродированной залежи. В структуре массивов вторичных кварцитов выделяются обширная пластовая часть, унаследовавшая первичную структуру вмещающих вулканогенных толщ, субвертикальные линейные зоны килевидного сечения под первой и жилоподобные зоны. Общая схема метасоматической зональности представляет переход от осевой части залежи, сложенной алунитовыми кварцитами с линзами монокварцитов, в верхнюю и нижнюю часть залежи, представленной кварц-диккитовыми кварцитами и метасоматитами. В подошве залежи фиксируются кварц-

гидрослюдистые аргиллизиты сильно пиритизированные. Для монокварцитов выделены массивная, пористая и брекчиевидная разности. На участке Эмми описаны серицитовые вторичные кварциты. Пористые монокварциты обрамляются пирофиллит-серицитовыми с диаспором, реже с диккитом вторичными кварцитами, которые на флангах сменяются пиритизированными кварц-гидрослюдистыми породами, что, по мнению Мишина Л.Ф., связано с наибольшей эродированностью зоны Эмми в сравнении с остальными участками месторождения Светлое. Впервые описаны брекчии обрушения, развитые в виде линз и гнёзд в верхних уровнях пластовой залежи. Брекчии состоят из обломков пород, пропитанных гидроокислами железа, и гипергенного ярозита, сцементированных скрытокристаллическим гематитом.

Корреляционной связи между содержаниями металла и текстурными разновидностями монокрвацитов Мишиным Л.Ф. не установлено.

К геохимическим особенностям вторичных кварцитов и аргиллизитов месторождения Светлое относится: повышенные содержания Ba, As, Se, Cu, Mo, Pb и Zn; корреляция содержаний золота с Ag, Ba, Se, Mo, Te; присутствие висмута в большинстве проб, но отсутствие корреляционных связей с содержаниями других рудных элементов.

На основании комплекса полученных данных Мишиным Л.Ф. были сделаны выводы о генетической природе и типе месторождения Светлое.

Широкое распространение алунитовых и диккитовых разностей вторичных кварцитов позволяет отнести вторичные кварциты месторождения Светлое к среднетемпературному типу. Поскольку на рудной зоне Эмми преобладает серицитовая фация вторичных кварцитов, присутствуют диаспор и пирофиллит, то кварциты отнесены к более высокотемпературному типу.

По результатам изучения изотопии сделан вывод, что сера пиритов месторождения имеет эндогенный характер, а состав кислорода и водорода диккитов свидетельствует о существенно метеорном составе гидротерм.

Выделены три основных этапа минералообразования месторождения Светлое, базирующихся на изучении морфологии минералов кремнезёма:

дорудный (становление вторичных кварцитов), рудный (заполнение пор и полостей колломорфным кварцем), пострудная перекристаллизация за счёт воздействия остаточных флюидов.

На основании проведенных исследований сделан вывод о необходимости проведения ревизии на всех массивах вторичных кварцитов с широко проявленной алунитовой фацией на предмет выявления золоторудных месторождений кислотно-сульфатного типа [Мишин, 2011].

Ивановым В.В установлено, что системы разломов, ограничивающие фланги рудного поля, контролируют расположение гипабиссальных и субвулканических тел. А зоны минерализации тяготеют к крутопадающим разломам высокого порядка: меридиональному (Эмми), субмеридиональному (Тамара), северо-восточному (Елена), северо-западным (Лариса, Людмила), которые могли выполнять рудоподводящую функцию.

Образование пористых кварцитов, по мнению Иванова В.В., происходило вследствие газовой «продувки» неконденсированными флюидами зон кислотного выщелачивания в областях повышенной проницаемости, о чём свидетельствует образование пленочных, корковых, перепончатых сублиматов (кварц, опал, тридимит, кристабалит, сульфаты, халькогениды, простые вещества) на стенках пустот.

Отмечается видовое разнообразие золотой минерализации, которая включает самородную, теллуридную и оскидную формы. Самородное золото принадлежит двум генетических типам: первичное и вторичное. В сплавах с золотом на уровне первых процентов отмечаются массы Ag, Pd, Cu и Hg. Отмечено «сквозное» развитие висмутовой и сурьмяно-висмутовой (с теллуром) минерализации. Описаны гипергенные минералы, в том числе редкие оксиды (оксиды TR, цинкит и теллурит), гидрооксидов и водных кислородных солей Te, Sb, S, P, As (теллуриты, антимониты, антимонитотеллуриты, теллуритоантимониты, сульфотеллуриты, сульфоантимониты и сульфофосфаты).

Оруденение месторождения Светлое отнесено к золото-порфировому типу, а по соотношениям Au/Ag и Te/Se к золотому типу и теллуровому с селеном подтипу [Иванов, 2011].

На примере рудного поля Светлое по результатам анализа спектральных космических снимков, аэрогеофизических и площадных литохимических съёмок была разработана иерархическая прогнозно-поисковая модель и структурные и структурно-вещественные критерии и признаки поисков эпитермальных золото-серебряных месторождений кислотно-сульфатного типа регионального, локального и детального уровней. Дан прогноз перспективности юго-восточного и восточного флангов месторождения [Ананьев, 2019, Лесняк, 2022].

На данный момент остались дискуссионными вопросы об основных факторах локализации кислотно-сульфатного оруденения, особенностях проявления оруденения во вторичном и первичном геохимических полях и критериях на обнаружение данного типа месторождений в схожих обстановках.

Для решения этих вопросов была проделана данная работа, заключающаяся в установлении главных геолого-структурных факторов, определяющих пространственное расположение, особенностей проявления во вторичном и первичном геохимических полях, разработке главных разноранговых критериев прогноза и поисков и уточнение поисковой модели эпитермального кислотно-сульфатного золотого оруденения.

1.3. Краткая геолого-структурная характеристика рудного поля Светлое

Рудное поле Светлое (рис.1.3.1) расположено в Ульинском прогибе Охотской ветви Охотско-Чукотского вулканического пояса, выполненном меловыми вулканогенными образованиями.

Рис. 1.3.1. Положение и схематическая геологическая карта рудного поля Светлое: 1 – аллювиальные отложения (QIV); 2 – андезибазальты хакаринской свиты (К2); 3 – лавы, туфы, игнимбриты дацитов уракской свиты (К2); 4 – лавы андезитов и андезибазальтов, туфы андезитов хетанинской свиты (К2); 5 – штоки и дайки андезибазальтов хакаринского базальтоидного комплекса (К2); 6, 7 – уракский дацит-риолитовый комплекс (К2): 6 – гранодиорит-порфиры, 7 – риодациты и дациты; 8 – площади развития вторичных кварцитов и аргиллизитов; 9, 10 – разломы: 9 – региональные, 10 – прочие; 11 – стратовулканы центрального типа; 12 – кальдеры проседания; 13 – контур рудного поля Светлое

Ульинский прогиб осложнен позднемеловыми вулканическими структурами, к числу которых принадлежит Секчинская вулкано-тектоническая депрессия (50х28 км), в юго-западной части которой расположено рудное поле Светлое.

В районе широко проявлена разрывная тектоника. Выделяются региональные разломы северо-восточного простирания (продольные по отношению к Охотско-Чукотскому поясу), к числу которых принадлежит Дюльбакинский разлом, проходящий по площади месторождения. Синвулканические разломы, ограничивают и осложняют кольцевые вулканоструктуры. К последним тяготеют субвулканические и интрузивные тела, поля гидротермально-измененных пород. Их заложение происходило в позднемеловое время и связано с многостадийным оседанием игнимбрито-лавовых полей над периферическими магматическими очагами. Дуговой Онёмнинский разлом северо-западного простирания контролирует выходы штокообразных тел гранит-порфиров и размещение полей вторичных кварцитов. С Онёмнинским разломом сопряжены «радиальные» разломы меридионального и северо-восточного простирания с которыми связывается локализация золотой минерализации.

Стратифицированные образования в рудном поле представлены меловыми вулканитами амкинской, хетанинской, уракской, хакаринской свит и незначительно распространёнными рыхлыми четвертичными образованиями.

Амкинская свита ($К_{1-2}$am) закартирована на небольшой площади в эрозионном окне в юго-восточном части рудного поля. Она представлена лавами, туфами и туффитами риолитов. Неполная мощность амкинской свиты 100-120 м.

Хетанинская свита (K_2ht) широко распространена в западной части рудного поля и слагает здесь нижние части склонов. В составе свиты преобладают лавы андезитов и андезибазальтов, с редкими прослоями туфов. Видимая мощность свиты на площади работ составляет 200 м.

Уракская свита (K_2ur) субгоризонтально и слабонаклонно залегает на породах хетанинской свиты, закартирована в восточной части рудного поля, а также слагает приводораздельные участки в центральной и западной частях поля.

Субвулканические образования представлены мелкими штоками и дайками гранодиорит-порфиров, дацитов, риолитов уракского комплекса и андезибазальтов хакаринского комплекса. Субвулканические тела в пределах рудного поля наиболее широко распространены в полосе широтного-северо-западного простирания, протянувшейся с левобережья верхнего течения руч. Онёмна до истоков руч. Алалиньдя, пространственно совпадающей с полями распространения вторичных кварцитов и рудных объектов Светлого рудного поля.

Породы, вмещающие оруденение, разделены на два комплекса. Нижнюю часть разреза слагают лавы и туфы андезитов и андезидацитов хетанинской свиты (K_2 ht); верхнюю часть разреза мощностью более 300 м, судя по сохранившимся структурам и фрагментам минералов, образуют лавы, кластолавы дацитового состава с прослоями туфов, туфогенно-осадочных пород и игнимбритов. Часть дацитов имеет субвулканическую природу. Судя по выходам пород на поверхности и немногочисленным замерам слоистости, вулканические породы образуют вытянутую в субширотном-северо-западном направлении куполовидную структуру с пологим периклинальным залеганием пород относительно осевой ее части.

1.4. Метасоматические изменения вмещающих пород

Золоторудное поле Светлое характеризуется разнообразием гидротермально-метасоматических образований, развивающихся по вулканогенным породам преимущественно кислого и, реже, средне-основного состава. На участках Елена, Эмми, Людмила и Лариса выделяются следующие типы метасоматитов: вторичные кварциты (монокварциты, алунитовые, диккитовые, алунит-диккитовые, гидрослюдистые), кварц-карбонатные метасоматиты, иллит-хлоритовые и кальцит-лептохлоритовые аргиллизиты. Во всех вулканических образованиях в разной степени проявлены метасоматические изменения, выраженные прежде всего в замещении

полевых шпатов и темноцветных минералов (роговая обманка, биотит) глинистыми и гидрослюдистыми минералами (аргиллизация).

В пределах рудного поля вторичные кварциты слагают разобщенные в плане многослойные залежи неправильной вытянутой формы, имеющие наклонное залегание. Как неоднократно отмечалось предшественниками осевые части этих залежей сложены монокварцитами, характеризующимися широким разнообразием структурно-текстурной специфики. По этому признаку выделяются три группы монокварцитов – массивные, пористые, брекчированные. Распространение тех или иных структурно-текстурных разновидностей монокварцитов отражает изменчивость состава и строения материнских пород. Пористые и брекчированные разности развиваются по наиболее проницаемым породам (например, крупнообломочные туфы, вулканические брекчии), в то время как массивные – по слабопроницаемым (пелитовые туфы, дациты). Наибольшее распространение имеют пористые монокварциты, поровое пространство в которых может оставаться пустым, либо быть заполненным кварцем более поздних генераций, рудной минерализаций, сульфатами, филлосиликатами (глинистыми минералами) и др.

В монокварцитовой залежи присутствуют прослои и линейно-вытянутые зоны, сложенные диккитовыми, реже – алунитовыми кварцитами. Диккит и алунит здесь образуют отдельные включения и их агрегаты, которые заполняют поровое пространство. Значительно реже они развиваются по трещинам, образуя как мономинеральные, так и кварц-диккит-алунитовые прожилки. Процентное содержание диккита и алунита здесь, как правило, составляет 15-20%.

Монокварцитовые залежи обрамляются алунитовыми кварцитами, при этом на локальных участках (рис. 1.4.1) отмечается переход монокварцитов к диккитовым, алунит-диккитовым и алунитовым кварцитам. На участке Эмми монокварциты оконтуриваются гидрослюдистыми кварцитами (рис. 1.4.2). Внутри алунитовой залежи наблюдается зональное распределение алунита в

микрозернистом кварцевом базисе. Это выражается в постепенном увеличении содержания алунита от периферии (20-25%) к осевой части залежи (до 50 %). Наиболее широкое распространение алунитовых кварцитов отмечено на участке Елена (1.4.1).

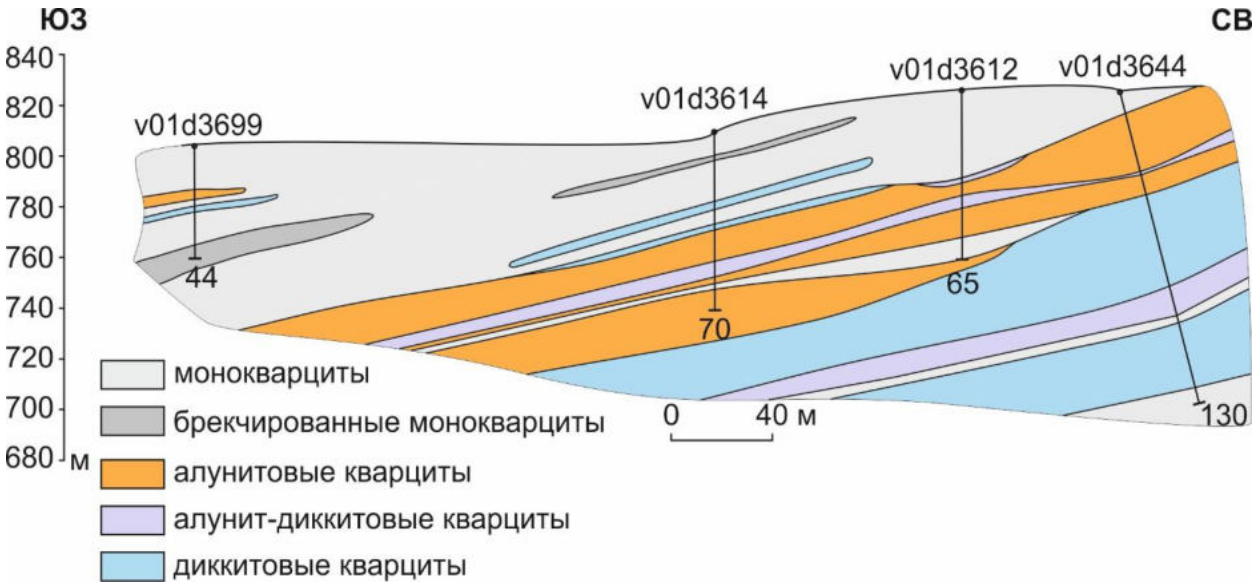


Рис. 1.4.1. Вертикальная изменчивость гидротермально-метасоматических и вулканических образований, участок Елена

Через алунит-диккитовые разности алунитовые кварциты переходят в диккитовые, которые обрамляют залежь вторичных кварцитов, слагая её прикровельную и приподошвенную зоны. На локальных участках диккитовые кварциты оконтуривают моноквацриты. Диккит представлен мелкочешуйчатым агрегатом, который заполняет поровое пространство в микрозернистой кварцевой основной массе, а также замещает реликты кристаллокластов. В переходных зонах (к моноквацритам, алунитовым и алунит-диккитовым кварцитам) отмечается развитие относительно крупных таблитчатых кристаллов диккита, которые формируют порфиробластовые включения и заполняют трещины, образуя мономинеральные или алунит-диккитовые прожилки.

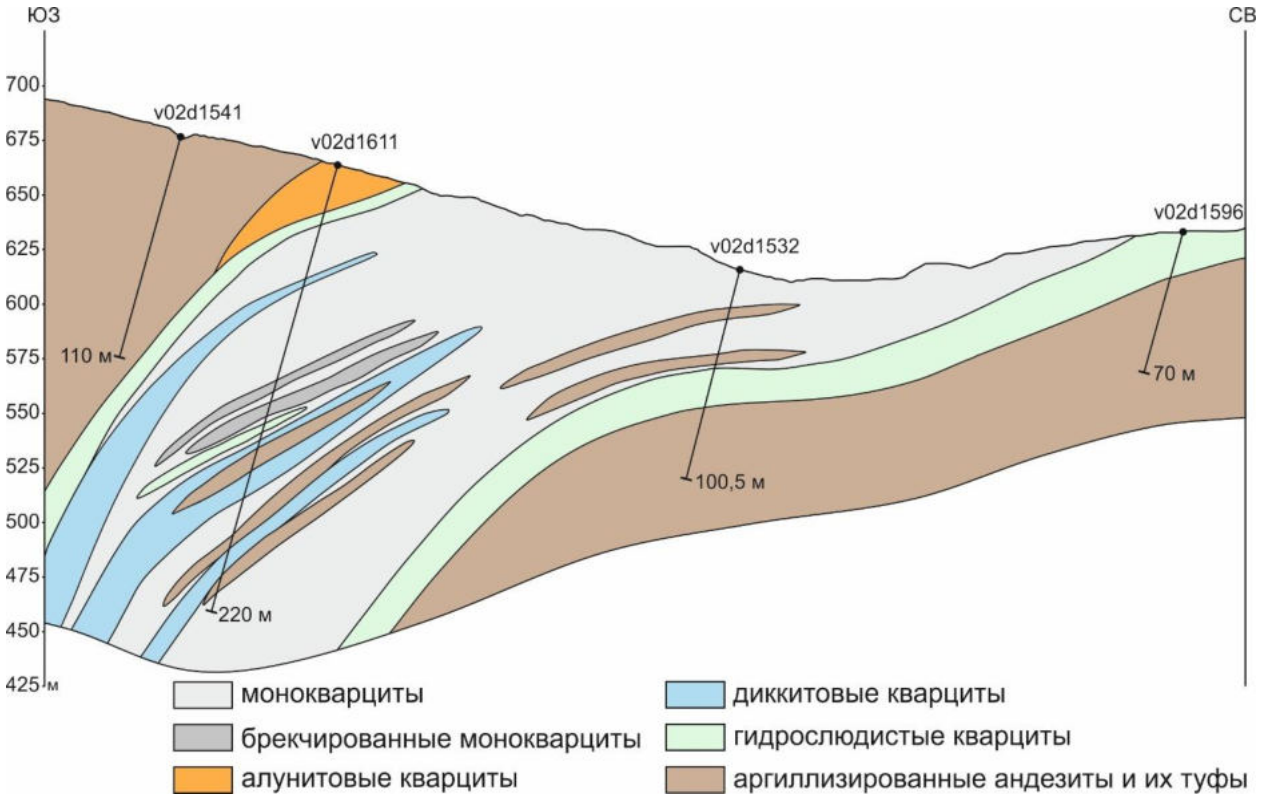


Рис. 1.4.2. Вертикальная изменчивость гидротермально-метасоматических и вулканических образований, участок Эмми

Диккитовые залежи подстилаются кварц-гидрослюдистыми аргиллизитами, содержание кварца в которых, в большинстве случаев, не превышает 30 %. В аргиллизитах сохраняются структурно-текстурные признаки и основные черты минерального состава исходных вулканических и вулканогенно-обломочных первичных пород [Левочская и др., 2021].

На основании результатов спектрального анализа многозональных космических снимков ASTER, а также с учетом классических моделей эпитермальных золоторудных месторождений [Hedenquist и др., 1995a; Sillitoe RH, 2010; Vila, Sillitoe, 1991] предполагается, что кварц-гидрослюдистые аргиллизиты постепенно сменяются низкотемпературными пропилитами.

В пределах залежи вторичных кварцитов метасоматически измененные вулканические и вулканогенно-обломочные образования слагают крутопадающие линейно-вытянутые зоны, являющиеся останцами первичных вмещающих пород. Эти зоны, ввиду их слабой метасоматической

переработки, по-видимому, отражают механически устойчивые и наименее проницаемые области.

Метасоматическая зональность золоторудного поля Светлое имеет достаточно универсальную схему, наблюдаемую во многих известных эпитермальных месторождениях: монокварциты, представленные тремя структурно-текстурными типами, обрамляются алунитовыми кварцитами, которые постепенно переходят в диккитовые кварциты, слагающие прикровельную и приподошвенную зоны залежи вторичных кварцитов. Вторичные кварциты подстилаются кварц-гидрослюдистыми аргиллизитами, плавно сменяющимися низкотемпературными пропилитами.

1.5. Рудная минерализация

Эндогенная рудная минерализация формировалась в завершающие стадии гидротермального процесса, когда происходило заполнение во вторичных кварцитах пор и полостей вторичным кремнеземом полосчато-зонального строения, в котором сосредоточена ранняя золотосульфидная (пиритовая) минерализация, образующая совместно с серебром, теллуром, барием, висмутом различные по составу природные сплавы. Этот тип рудной минерализации сохранился в настоящий момент на нижних неокисленных горизонтах рудной залежи Эмми [Иванов, 2011; Мишин, 2007, 2008, 2011; Левочская и др., 2021].

Образование основных минеральных комплексов для участка Эмми происходило в пять стадий: дорудная (кварц-серицит-рутиловый), ранняя сульфатно-сульфидная (кварц-алунит-диккит-пиритовый), первая рудная (кварц-пирит-полиметаллический), вторая рудная (теллуридный с золотом и серебром), пострудная (гипергенный с переотложенным золотом).

Наиболее распространенным и сквозным рудным минералом является пирит. Пирит полиметаллической стадии развит в пределах всех участков. Пирит теллуридной стадии отличается от более ранних пиритов химизмом

(наличие примесей Cu, Te, Se, As), свежим обликом отличных от кубической формы кристаллов. Для участка Эмми добавляется существование колломорфных разностей и тесная ассоциация позднего пирита с блеклыми рудами, сульфостаннатами, теллуридами.

Отличительной особенностью рудных минералов участка Эмми является наличие в них примеси Cu – медьсодержащий пирит, медьсодержащий сфалерит, медьсодержащее золото, которое также проявляется в пределах участка Елена.

Образование основных минеральных комплексов для участков Елена, Людмила, Тамара и Лариса происходило в четыре стадии: дорудная (кварц-рутил-пиритовый), ранняя сульфатно-сульфидная (кварц-алунит-диккит-пиритовый/кварц-иллит-хлорит-кальцит-пиритовый), рудная (кварц-пиритовый с единичными полиметаллическими сульфидами и золотом), пострудная (гипергенный с переотложенным золотом).

Гидротермальный процесс завершается формированием безрудных кварцевых жил и зон окварцевания.

В результате активного проникновения метеорных вод в зону развития пористых оруденелых кварцитов происходило интенсивное выщелачивание в них первичных сульфидов, их замещение гипергенными минералами, массовое высвобождение ультрадисперсного золота, его перенос и переотложение. Это привело к тому, что в окисленных рудах месторождения (залежи Елена, Тамара) доля свободного легкоцианируемого золота повысилась до 89-94%.

Таким образом, месторождение Светлое представляет собой типичное эпитермальное золото-серебряное месторождение кислотно-сульфатного типа. Примерами месторождений такого типа могут служить Саммитвилл, Голдфилд (США), Пуэбло-Вьехо (Доминиканская Республика), Озерновское (Россия) и другие [Cooke et al., 2013; Hedenquist et al., 1995; Sillitoe RH, 2010; Tolstykh et al., 2019; Наумова и др., 1995 и др.].

Рудные тела месторождения представлены плащеобразными и линейными залежами килевидного (в разрезе) строения, осложненными вблизи рудоподводящих каналов грибовидными раздувами. Они ориентированы в северо-восточных и близмеридиональных румбах и контролируются разрывами тех же направлений.

Визуально окисленные руды месторождения – это светлоокрашенные в бурый и красноватый цвет породы за счет широкого развития гидроокислов железа. Золото в рудах, преобладающего микронного и субмикронного размера, распределено неравномерно или весьма неравномерно. К числу основных признаков золотоносности относятся: пористость, брекчированность, вторичное окварцевание и лимонитизация руд. В смешанных рудах (Эмми) к ним добавляются сульфидизация и теллуровая минерализация, уменьшается лимонитизация.

Строение рудных залежей (рудных тел) определяется морфологией рудоподводящих каналов, структурой и составом вмещающих пород, наличием внутрирудных породных прослоев, осложняющих их строение.

По характеру золотоносности, сложности геологического строения и морфологическим особенностям в соответствии с методическими рекомендациями по применению Классификации запасов МПР России Светлое относится к месторождениям 3 группы – стратифицированные линзо- и пластообразные залежи от субгоризонтального до крутого залегания большой мощности.

1.6. Сопоставление рудного поля Светлое с аналогами

Эпитермальные месторождения занимают значимое (но не главное) положение в структуре мировых запасов руд золота и серебра и получили своё определение благодаря В. Лингреду [Lindgren, 1933]. К таким месторождениям он относил низкотемпературные (<200°C) месторождения золота с проявлением теллуридов, антимонидов и селенидов. В последствии

это понятие закрепилось, а характеристики, определяющие гидротермальные системы в качестве эпитермальных и наличие её в рудном месторождении, были доработаны и широко применялись многими авторами. В современном представлении эпитермальные процессы протекают на глубинах до 1 км от поверхности в субаэральных условиях при температурах 50-300 °C. Источником гидротерм служат метеорные воды и некоторые магматические компоненты. Форма месторождений и рудных тел разнообразная. Ими могут быть жилы различной мощности, штокверки, рассеянные руды и замещенные руды. Встречаются комбинации различных форм. Текстура руды так же вариативна: заполнение открытых пространств, крустификационная, колломорфная, гребенчатая, пористая, брекчиевая. Метасоматизм (метаморфизм) проявляется в окремнении, поверхностной аргиллизации, присутствии монтмориллонита/иллита, адуляра, пропилитизации и других характерных метасоматических формах в различных вариантах, идентифицирующих соответствующие типы эпитермального образования. Общими признаками, определяющими наличие эпитермального процесса, могут служить тонкозернистый халцедоновидный кварц, псевдоморфоза кварца по кальциту, брекчирование. Рудными элементами эпитермальных систем являются Au, Ag, (As, Sb), Hg, [Tl, Ta, Ba, U], (Pb, Zn, Cu). В квадратных скобках показаны элементы, редко представленные в полупромышленном содержании, а в круглых – элементы, часто присутствующие в промышленных концентрациях, но обычно менее ценные, чем связанные с благородными металлами. [Einaudi et al., 2003; Hedenquist et al., 1995; Sillitoe and Hedenquist, 2003 и др.]

Модель формирования рудного поля Светлое представляется на основании материалов, приведенных в разделе 1.2 и др. и ее необходимо рассматривать в связи с развитием Ульинского прогиба в пределах Охотского сектора Охотско-Чукотского вулкано-плутонического пояса.

Охотский сектор Охотско-Чукотского вулкано-плутонического пояса был заложен на континентальной коре с мощным гранито-матаморфическим

слоем в раннем мелу и начал свое развитие как активная континентальная окраина при субдукции охотоморской плиты [Ханчук, 2006].

Поддвижение Охотоморской плиты под Евразийскую приводило к их разогреву и частичному плавлению с формированием коровых магматических камер. Активная разрывная тектоника привела к началу вулканической деятельности. В это время, в субаэральных условиях, шло формирование раннемеловой риодацитовой (игнимбритовой) субформации андезитовой формации (магейская свита, K_1mg). Далее в сеноманский век магматизм стал более кислым, и в результате была образована риолитовая формация (амкинская свита, K_2am).

В раннесенонский век (коньякский и сантонский века по современной МСШ) кислый магматизм сменился на средний. В этих условиях сформировалась андезибазальт-андезитовая формация (хетанинская свита, K_2ht).

Во второй половине хетанинского времени в центральных частях Охотского сектора накопились огромной мощности толщи кислых и средних вулканических продуктов (магейская, амкинская и хетанинская свиты), что привело к гравитационному оседанию обширных участков земной коры по заложенным системам дугообразных разрывов, и, как следствие, начала формироваться Секчинская вулкано-тектоническая депрессия.

В позднесенонское время (кампанский и маастрихский века по современной МСШ) вулканические аппараты трещинного типа сформировали экструзии дацитов и риолитов и их субвулканические аналоги, а также обширные платообразные поля игнимбритов и горизонты туффитов – начала формироваться дацит-риолит-лейкогранитная формация (уракская свита, K_2ur). По мере поступления на поверхность магматического материала гравитационная неоднородность усиливалась, а коровый магматический очаг постепенно исчерпывал свои ресурсы, что привело к формированию вулкано-тектонических структур оседания.

При дальнейшем поступлении кислых расплавов к палеоповерхности земли до уровня, на котором давление заключенных в магме газов стало пробивать ряд каналов для своего продвижения. В результате чего происходили газово-пемзовые извержения центрального типа и начали формироваться стратовулканы. Продолжающиеся извержения опустошали магматические очаги, что привело к проседанию вулканических построек и обрушению их центральных частей с формированием кальдер.

Накопившиеся в коровых магматических камерах флюиды в надкритических условиях начали формировать рудно-метасоматические системы эпитермального типа.

Рудно-метасоматический процесс приурочен к дегазации средне-кислого магматического очага и накладывался на поля вулканитов. Металлонасыщенные флюиды поступали по зонам тектонического разуплотнения, кольцевым и радиальным разломам, и в неравновесных условиях приводили к интенсивному преимущественно кислотному (реже близ нейтральному) метасоматозу вмещающих полей вулканитов. В результате формировался так называемый «литокап» вторичных кварцитов как верхняя часть порфировой системы. Мощные и протяженные поля монокварцитов, сменяющиеся алунитовыми кварцитами и наложением диккитовых или диккит каолинитовых кварцитов в дистальном направлении переходят в хлоритовые, иллит-хлоритовые и иллит-смектитовые аргиллизиты. Основной температурный режим гидротермальных изменений лежал в пределах 337-205 °С.

Формирование пяти основных месторождений рудного поля Светлое происходило вследствие функционирования единого магматогенного источника, как результат дегазации магматического очага. Единство рудного процесса доказывается общей геохимической специализацией всех месторождений, однотипностями минеральных комплексов и метасоматической зональности, соответствующей традиционной модели эпитермально-порфировой системы [Hedenquist et al., 1995; Sillitoe RH, 2010].

Разобщенный во времени вулканизм, способствующий накоплению вулканитов средне-кислой хетанинской и кислой уракской свит, является первоочередным этапом развития магматогенно-гидротермальной системы регионального уровня.

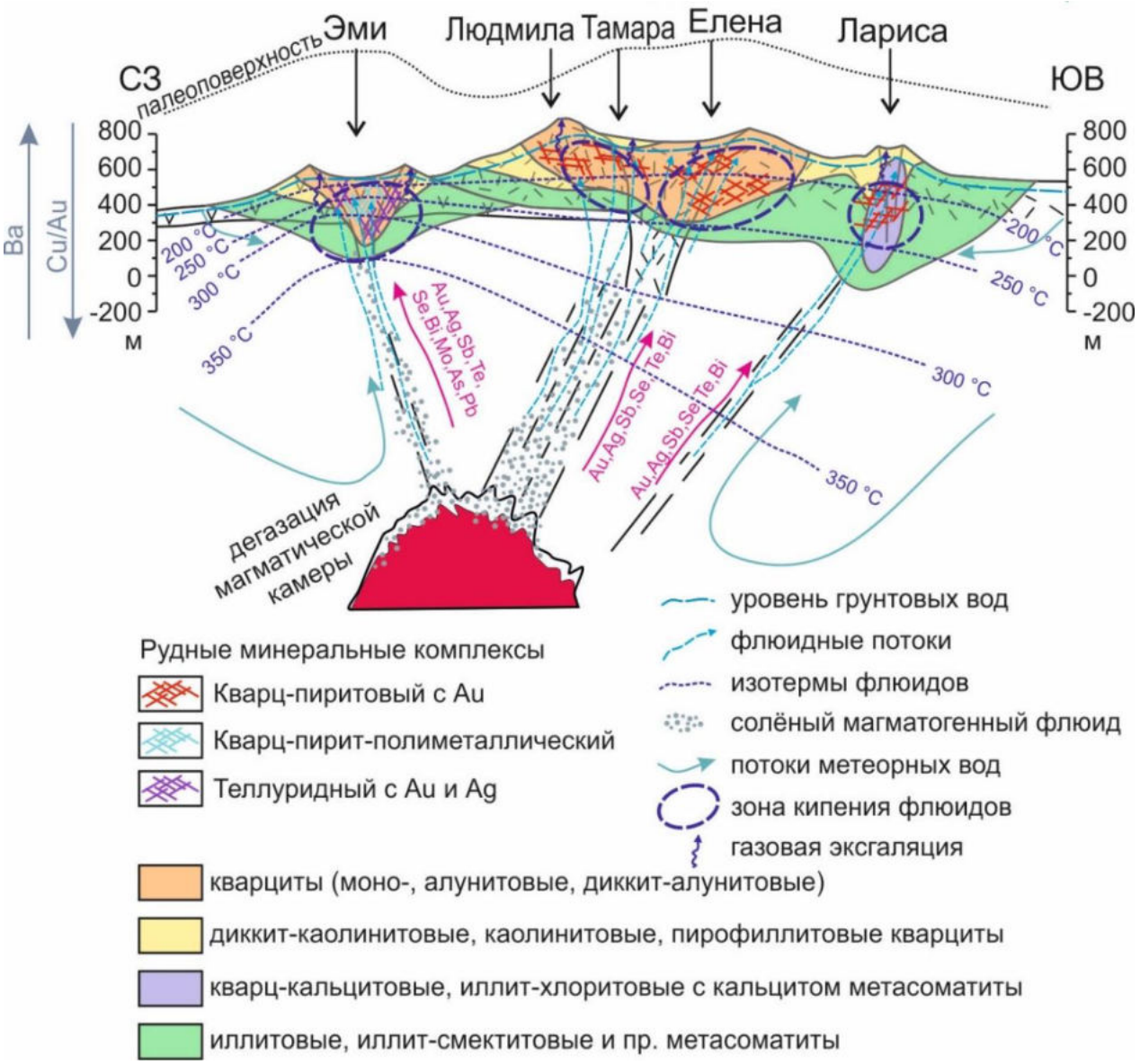


Рис. 1.6.1. Схематическая модель формирования эпитермального оруденения рудного поля Светлое

В корневых частях эпитермальной системы рудообразование протекало как минимум в две стадии, что отразилось на образовании двух минеральных комплексов месторождения Эмми: кварц-пирит-полиметаллической и теллуридной с золотом и серебром. Температуры флюидов этих стадий были повышенными (337-233 °С) относительно верхних уровней (или дистальный

зон) системы. Месторождения Елена, Людмила, Тамара и Лариса формировались при функционировании флюидов пониженных температур (273-205 °С) с убогой насыщенностью полиметаллами и теллуридам.

В постуракское время, на рубеже поздний мел–палеоген субдукция прекратилась вследствие резкой перестройки взаимного движения литосферных плит с фронтального на параллельное. В результате этого произошел «скачок» зоны магмогенерации из области мантийного клина в астеносферную зону мантии. Результатом этого стало формирование хакаринского субвулканического комплекса ($\alpha\beta K_2$–Phk) и консолидация земной коры региона.

Дальнейшее развитие рудного поля Светлое связано с процессами выветривания, денудации и гипергенеза. В современных условиях эти процессы продолжаются – идет разрушение первичных минеральных комплексов метасоматитов и руд с формированием низкотемпературных сульфатов (ярозит, микасаит, диадохит), гидрооксидов и самородных фаз с переотложенным высокопробным золотом и вторичных (англезит, церуссит, ковеллин, сепиолит) минералов.

Приведенная выше генетической модель рудного поля Светлое согласуется с данными приведенными для отечественных и зарубежных месторождений-аналогов (табл. 1.6.1).

Как известно [Einaudi et al., 2003; Hedenquist et al., 1995; Sillitoe and Hedenquist, 2003], наиболее распространенные типы эпитермальных месторождений подразделяются на высокосульфидные (HS – high sulfidation) и низкосульфидные (LS – low sulfidation), а также на промежуточные или переходные месторождения (IS – intermediate sulfidation). Большинство таких месторождений локализованы преимущественно в Тихоокеанском поясе, Средиземноморско-Гималайском орогене и Монголо-Охотском поясе. Типы месторождений различаются минеральным составом метасоматитов, жильным выполнением и индикаторными рудными минералами. В

метасоматических породах HS типа развиты кварц, алунит, диккит, пирофиллит; жилы сложены кварцем и баритом; индикаторные рудные минералы – энаргит, люцонит, фаматинит, акантит. А, например, метасоматиты IS типа сложены кварцем, серицитом и альбитом; в жилах присутствуют только кварц и марганцовистые карбонаты; к характерным рудным минералами относятся сфалерит, галенит, теннантит–тетраэдрит, халькопирит.

Многие HS месторождения образуются в нейтральных кальциево-щелочных андезит-дацитовых дугах, некоторые также встречаются в дугах сжатия. Высококислотные флюиды создают поля аргиллизитов (литокапы – lithocaps) над порфировыми системами. Многие LS месторождения связаны с бимодальными (базальто-риолитовыми) вулканическими формациями в рифтовых геодинамических условиях [Sillitoe RH, 2010], то есть в обстановках тектонического растяжения. Известнейшими примерами HS месторождения являются Саммитвилль (США), Нансацу (Япония), Эль-Индио (Чили), Пуэбло-Вьехо (Доминиканская Республика), Родалькиларе (Испания), Кочбулак (Узбекистан), Лепанто (Филиппины) [Cooke et al., 2013; Hedenquist et al., 1995; Plotinskaya et al., 2006a; Sillitoe RH, 2010]. В пределах Камчатского региона также существуют аналоги Светлинского рудного поля с золото-теллуридной минерализацией, относящейся к HS-типу, – это Малетойваям-Ветроваямская группа и некоторые рудопроявления Озерновского рудного поля. Месторождения золота горячих источников (так называемые *«hot-spring»*), близкие к палеоповерхностям, также встречаются в западной части США в районе «Круглых гор» (Round Mountain). Примерами LS месторождений (или адуляр-серицитовых) являются следующие эпитермальные системы: Крид (США), Эль-Бронсе (Чили), Гуанахуато, Тайолтита (Мексика), Багио (Филиппины), Кремница (Словакия), Архалы (Казахстан) и Понгкор (Индонезия) [Cooke, 2001; Heald et al., 1987]. Они образуются из относительно разбавленных и холодных растворов с почти

нейтральным pH и в условиях восстановления при смешении магматических и метеорных жидкостей.

Современные примеры золоторудной эпитермальной минерализации встречаются в Маклафлине (США) и в геотермальной системе Вайотапу в Новой Зеландии [Sillitoe RH, 2010]. Они образуются поверх различных видов вулканических и местами осадочных пород и интерпретируются как самые верхние части эпитермальных систем. Помимо золота они содержат значительные количества пирита, марказита, стибнита, блеклых руд, реальгара и киновари. Далее рассматриваются основные сходства и различия эпитермальной системы рудного поля Светлое с другими объектами этого типа (табл. 1.6.1).

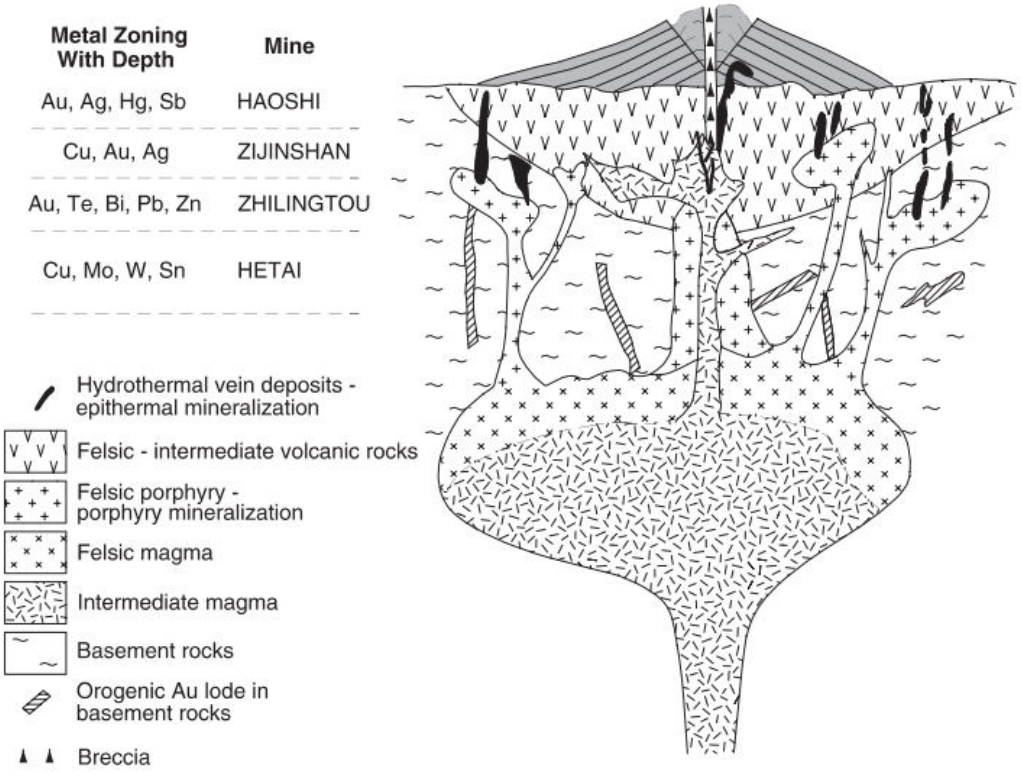


Рис. 1.6.2. Идеализированная модель Франко Пираджно (Pirajno and Bagas, 2002) Яншаньской вулкано-плутонической эпитермально-порфировой системы Южно-Китайского складчатого пояса с соответствующей минерализацией эпитермально-порфирового типа (например, Zhilingtou и Zijinshan) и глубинным зонированием металлов.

Au-Te-Bi-Pb-Zn эпитермальная минерализация, подобная участку Эмми, широко развита на золоторудном эпитермальном месторождении Джилингтоу (Zhilingtou) Южно-Китайского складчатого пояса. Согласно модели Яншаньской вулкано-плутонической эпитермально-порфировой системы Южно-Китайского складчатого пояса вертикальная проявленность (рис. 1.6.2) основных рудных минеральных ассоциаций имеет следующий вид (на глубину): Cu-Au-Ag (м-е Дзиньшань), Au-Te-Bi-Pb-Zn (м-е Джилингтоу).

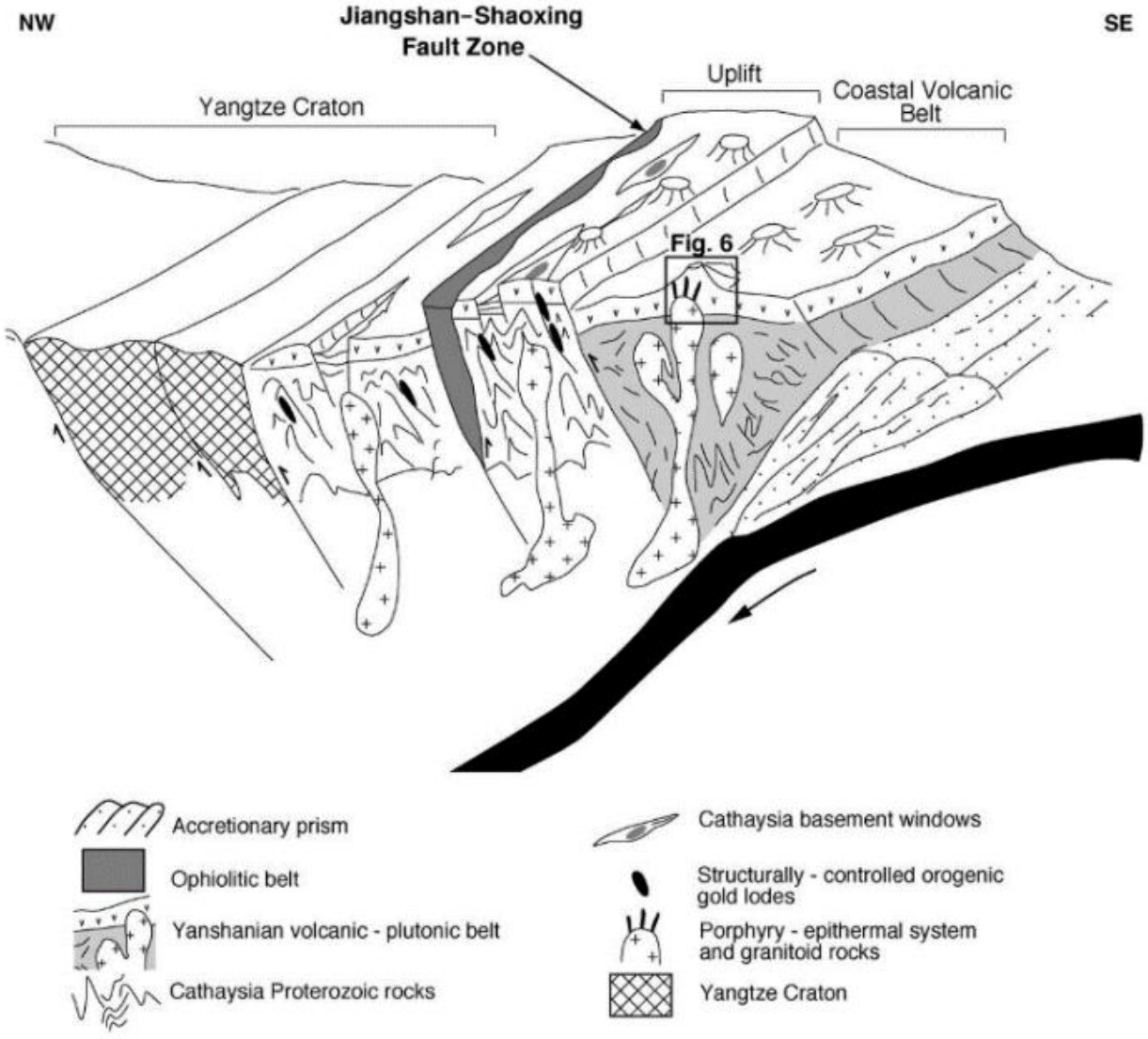


Рис. 1.6.3. Концептуальная модель формирования месторождения, связанная с активной континентальной окраиной, предложенная для металлогении Au-Ag Южно-Китайского складчатого пояса (Pirajno and Bagas, 2002).

Уникальность рудного поля Светлое заключается в том, что подобные типы месторождений вскрываются на относительно локальной площади, что даёт основание для прогноза медно-золото-полиметаллического порфирового оруденения (с Mo, W, Sn) на глубине. В геотектоническом отношении Южно-Китайский складчатый пояс (рис. 1.6.3), так же, как и Охотско-Чукотский вулкано-плутонический пояс, относится к активной континентальной окраине верхнемезозойского возраста.

Эпитермальная система рудного поля Светлое имеет ряд сходств с гигантскими месторождениями (Кочбулак, Кайрагач, Кызылалмасай, Актурпак, Чадак и др.) Кураминского рудного района (Срединный Тянь-Шань, Узбекистан) [Kovalenker et al., 2003a, 1997a; Plotinskaya et al., 2006b; Чернышев и др., 2011a]. Схожесть проявлена в однотипном составе вулканитов (андези-дацитового состава), минерализации, геотермическом режиме рудообразования и структурной позиции. Следует отметить, что дискретный характер рудной минерализации характерен как для месторождения Эмми (рудное поле Светлое), так и для высокосульфидного Кочбулак-Кайрагачского рудного поля [Kovalenker et al., 2003b, 1997b; Plotinskaya et al., 2006b]. То есть минералообразование происходило по схожей модели: формирование сульфидов и сульфосолей, после теллуридов и самородных форм. На рис. 1.6.4 показана схематическая геологическая карта с распространением основных рудных месторождений, где отражается структурный контроль размещения эпитермальных и порфировых месторождений Ангренским надвигом и глубинными разломами северо-восточного простирания.

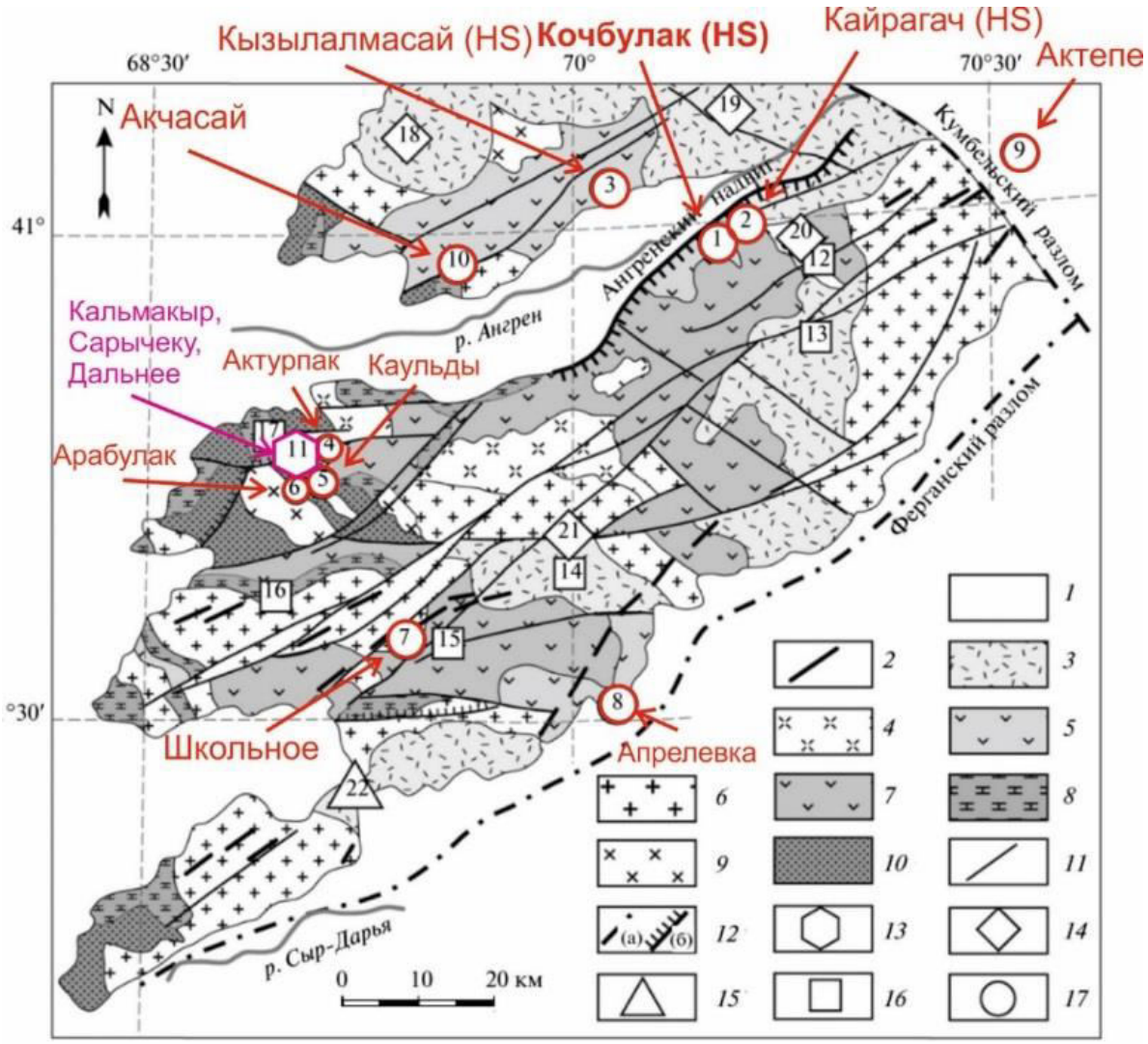


Рис. 1.6.4. Схематическая геологическая карта Кураминского рудного района [Kovalenker et al., 2003b, 1997b; Чернышев и др., 2011b]. 1 – четвертичные отложения; 2 – дайковые пояса (диабазовые порфириты, фельзит-порфиры); 3 – площади преимущественного распространения вулкано-плутонического комплекса C_3–P_1; 4 – гранит-, гранодиорит- и граносиенит- порфиры C_3; 5 – андезидациты, кварцевые порфиры, их туфы $C_{2–3}$; 6 – гранодиориты, граниты и диориты карамазарского типа; 7 – вулканические породы C_2; 8 – карбонатные породы D_3–C_1; 9 – гранодиорит- и гранит-порфиры O–S; 10 – сланцы, роговики, спилиты; 11 – региональные разломы; 12 – глубинные разломы (а) и надвиги (б); 13– 17– типы месторождений и их номера: 13 – Cu–Mo–Au; 14 – U(Mo); 15 – W, Mo; 16 – Ag–Pb–Zn, флюорит; 17 – Au– Ag. Месторождения: 1 – Кочбулак, 2 – Кайрагач, 3 – Кызылалмасай, 4 – Актурпак, 5 – Каульды, 6 – Арабулак, 7 – Школьное, 8 – Апрелевка, 9 – Актепе, 10 – Акчасай, 11 – Алмалыкский рудное поле (Кальмакыр, Сарычеку, Дальнее), 12 – Наугарзан, 13 – Лашкерек, 14 – Канимансур, 15 – Кансай, 16 – Алтын'Топкан, 17 – Кургашинкан, 18 –Чаули, 19 – Алатаньга, 20 – Майлитакан, 21 – Адрасман, 22 – Янгикан, Чорух-Дайрон.

Месторождение Перама Хилл (Perama Hill) представляет собой эпитермальную систему Au-Ag-Te-Se «high sulfidation») типа, размещенную в измененных кремниевых и аргиллитовых андезитовых породах и вышележащих песчаниках, которые приурочены к восточной окраине грабена Petrota на северо-востоке Греции. Месторождение включает несколько стадий формирования от кварц-пиритового раннего комплекса и аргиллизитов с последующим осаждением сульфидных, сульфосолевых и теллуросодержащих кварц-баритовых жил и штокверков. Раннее рудообразование характеризуется наличием энаргит-галенитового рудного комплекса «high sulfidation» типа, состоящего из энаргита, ватанабеита, безжелезистого сфалерита, ковеллина, касситерита, висмутина, кавацулита-тетрадимита, голдфилдита, самородного золота с последующим образованием теннантит-содержащего комплекса «intermediate sulfidation» типа, характеризующегося железо-цинковым теннантитом, теллуровисмутитом, тетрадимитом, мелонитом, самородным теллуром, Au-Ag-теллуридами (калаверитом, креннеритом, сильванитом), гесситом, петцитом, штютцитом, алтаитом и электрумом. Кварцевые, баритовые, каолинитовые, серицитовые и второстепенные алюминий-фосфатно-сульфатные минералы являются главными жильными минералами. Данные по включению флюидов показали, что рудная система развивалась из исходной высокотемпературной (до 330 °C) и низкой солености (до 4.9 мас.% в пересчете на NaCl) жидкости в направлении более холодной (200 °C) и очень низкой солености (0.7 мас.% NaCl экв.) гидротермальной жидкости, предполагающей постепенное охлаждение и разбавление рудной жидкости. Рудные минералы на холме Перама отражают переменные условия fS_2 и fTe_2 во время осаждения основного металла (Au). Наличие теллуридов, а также минералов, содержащих Bi и Sn, в рудной системе совместимо с прямым осаждением металлов из паровой фазы дегазационного магматического (порфирового) тела [Voudouris et al., 2011].

На участке Эмми развита, согласно классификации [Sillitoe, R., Hedenquist, 2003], теллуридная минеральная ассоциация IS-типа: блеклые руды теннантит-тетраэдритового ряда, теллуриды ртути, сурьмы, золота и серебра, самородный теллур, что предполагает нахождение и проявление на больших глубинах более ранней избыточной по меди («Cu-exsess assemblage») минерализации high sulfidation типа с самородным золотом: Cu энаргита, люцонита, Bi-сульфосоли, ковеллина, халькопирита. Подобные последовательности минералообразований характерны для ряда месторождений Греции не только в пределах Перама Хилл [Voudouris et al., 2011], а также месторождения Пефка [Repstock et al., 2015] и Ресковского рудного поля (Венгрия) [Takács et al., 2017].

Месторождения Пефка (Pefka) и Перама Хилл (Perama Hill) локализованы в тектонической депрессии Родопского пояса. Восточный Родопский рудовмещающий массив, является частью альпийско-гималайского орогена и образовался, когда Апулия столкнулась с Европой во время поздней юры и до среднего мела, в пределах системы северного погружения. В позднемеловом-раннем третичном периоде, от син- до пост-орогенного коллапса, произошли эксгумация глубоких метаморфических пород вдоль разломов, образование позднеэоценового или олигоценового осадочных бассейнов и широкое распространение позднего эоцена и раннего миоцена, сформировавших основу для фельзитового магматизма. Палеогеновый магматизм центральных и восточных частей Родопского массива достиг кульминации около 30-35 млн лет и сопровождался обильной рудообразующей гидротермальной активностью. Магматические породы в северной Греции относятся к известково-щелочной, шошонитовой и ультра-калиевой ассоциациям и имеют геохимические и изотопные особенности субдукционных обстановок.

Ресковское рудное поле (Recsk Ore Complex) представляет собой не эродированую порфиро-скарново-эпитермальную систему (HS-тип). Магматическая активность в пределах палеогенового вулканического пояса

Венгрии началась в позднем эоцене, однако, радиогенное датирование указывает на возраст начала вулканизма и гидротермальной активности ~30 млн лет назад. Рудное поле является частью стратовулканического комплекса с родственными субвулканическими интрузиями. В пределах рудного поля выделяются три парагенетических рудных минеральных комплекса. Самая ранняя стадия (стадия I) состоит из пирита, блеклой руды, сфалерита, галенита и халькопирита с идиоморфными кристаллами кварца. Рудные минералы этого комплекса обычно встречаются в виде ксеноморфных или трещиноватых остатков после частичного замещения минералами более поздних стадий. В рудном минеральном комплексе второй стадии преобладают энаргит и люцонит со сложной текстурой. Осаждение энаргита и люцонита сопровождалось эмплектитом, виттихенитом, и второстепенными фаматинитом, борнитом, антимонитом, халькостибнитом, пиритом, и самородным золотом (с 0.19-0.27 мол % содержания Ag). Первая генерация Au и Ag-теллуридов, калаверита и гессита, также встречается на стадии II. Пирит этой стадии содержит примесь мышьяка. В рудном минеральном комплексе стадии III преобладают минералы блеклой руды (теннантит-голдфилдит), а не энаргит и люцонит, относящиеся ко второй стадии. Композиционная зональность кристаллов блеклой руды показывает постепенное изменение от теннантита к голдфилдиту. Тетраэдрит – конечный член группы блеклой руды встречается реже, чем теннантит–голдфилдит. Эмпрессит, креннерит-сильванит, петцит и самородный теллур обычно встречаются в виде небольших включений в зернах блеклой руды и пирита, содержащего примесь меди. Изменения в составе теллуридов Au-Ag во время их осаждения следуют той же тенденции обогащения Te, что и состав кристаллов блеклой руды, завершением которых является образование самородного теллура.

Геолого-генетическая модель эпитермальной системы рудного поля Светлое по структурной приуроченности к палекальдерам и разломам глубинного заложения, метасоматической зональности, минеральным комплексам и физико-химическим условиям минералообразования

соответствует известным эпитермально-порфировым системам. Это позволяет дать прогноз наличия на глубине рудно-порфировой системы.

Таблица 1.6.1.

Сопоставление с некоторыми месторождениями аналогами

Месторождение, Страна, регион	Геологическая характеристика, тектонические условия, состав литокапа, возраст, ресурсы	Минералогия		Tг, °C	Схожесть (С) и главные различия (Р) со Светлым	Литературные источники
		Жильные	Рудные			
1	2	3	4	5	6	7
Джилингтоу (Zhilingtou) Китай, Чжэцзян, Шуйшан **IS**	Южно-Китайский складчатый пояс, Chencai-Suichang uplift, прибрежный вулканический пояс. Au – 18.5 т, сод. Au – 12.1 г/т	Адуляр, родохрозит, родонит и коллоформный кварц, серицит, эпидот, хлорит и Mn-карбонаты	Электрум, самородное и сульфидное золото, акантит, гессит и калаверит, пирит, сфалерит, галенит, халькопирит, пирротин и теллуровисмутин	160-270 (400)	С: минеральная ассоциация с Эмми, палеокальдера и пр. Р: жильные мин-лы (LS)	(Pirajno and Bagas, 2002; So et al., 1998; Zhong et al., 2018)
Дзиньшань (Zijinshan) Китай, Фуцзянь, Шаньхан **HS**	Фуцзянь, Восточно-прибрежный складчатый пояс, Позднеюрские и раннемеловые магматические и вулканические породы (средне-кислого состава). Au – 50 т, сод. Au – 4.3 г/т	Кварц, алунит, диккит, серицит	Пирит, дигенит, ковеллит, борнит, энаргит, халькопирит, галенит, сфалерит	120-240	С: минеральные комплексы (кроме Эмми), метасоматиты и пр. Р: Эмми	(Mao et al., 2007; Pan et al., 2018; So et al., 1998; Zhong et al., 2018)
Кочбулак (Узбекистан), Чаткало-Кураминский регион, Узбекистан **HS**	Восточная часть протяженного Бельтау-Кураминского вулкано-плутонического пояса – основной структурной составляющей Срединного Тянь-Шаня. Активная континентальная окраина Палеоказахстана. Караташская кальдера. Верхний палеозой. Au – 125 т, сод. Au – 13.4 г/т	Кварц, пирофиллит, диаспор, каолинит и алунит	Эволюция теллуридной минерализации коррелирует со снижением температуры и увеличением pH. Три стадии по (Kovalenker et al., 1997a). Пирит, сам. золото, барит, теллуриды, сульфосоли, голдфилдит, висмутин, фаматинит-люцонит, халькопирит.	1 ст.: 100-400, 2я: 100-300, 3я: 100-320	С: минеральные комплексы, последов. минералообр., глубинные разломы, и пр. Р: возраст	(Kovalenker et al., 2003a, 1997a; Plotinskaya et al., 2006a; Некрасов, 2019; Чернышев et al., 2011a)

Продолжение таблицы 1.6.1

1	2	3	4	5	6	7
Кайрагач (Узбекистан), Чаткало-Кураминский регион, Узбекистан **HS**	Восточная часть протяженного Бельтау-Кураминского вулкано-плутонического пояса – основной структурной составляющей Срединного Тянь-Шаня. Активная континентальная окраина Палеоказахстана. Караташская кальдера. Верхний палеозой (карбон). Au – 63 т	Кварц, пирофиллит, диаспор, каолинит и алунит	Две рудные стадии. Пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, блеклые руды, сам. золото, голдфилдит, фаматинит-люцонит, сам. теллур и пр. фазы, гессит.	1я ст: 120-309, 2я: 150-240	С: минеральные комплексы. Р: возраст	(Kovalenker et al., 2003a; Plotinskaya et al., 2006a; Чернышев et al., 2011a)
Перама Хилл (Perama Hill), Пефка (Pefka) и др. СВ Греция, Балканы. **HS**	Месторождение локализовано в тектонической депрессии Родопского пояса (Альпийско-Гималайский ороген). Палеогеновый магматизм центральных и восточных частей Родопского массива достиг кульминации около 30-35 млн лет и сопровождался обильной рудообразующей гидротермальной активностью. Магматические породы в северной Греции относятся к известково-щелочной, шошонитовой и ультра-калиевой ассоциациям	Кварц, барит, каолинит, серицит, рутил	Пирит, марказит, сфалерит, галенит, висмутит, Se-висмутит, лиллианит, энаргит/люцонит, ковеллин, голдфилдит, ватанабеит, кавацулит, золото, Fe-теннантит, Zn-теннантит, тетрадимит, теллуровисмутит, самородный теллур, калаверит, креннерит, сильванит, мелонит, гессит, петцит, штютцит, алтаит, электрум	300-200	С: идентичная минералогия с участком Эмми поздней стадии	(Repstock et al., 2015; Voudouris et al., 2011)

Продолжение таблицы 1.6.1

1	2	3	4	5	6	7
Ресковское рудное поле (Recsk Ore Complex), Венгрия. Альпийско-Карпатская область **HS**	Рудное поле представляет собой не эродированую порфиро-скарново-эпитермальную систему. Рудное поле являются частью стратовулканического комплекса с родственными субвулканическими интрузиями	Кварц, барит, кальцит, адуляр (мало)	Блеклые руды (теннантит-тетраэдрит), сфалерит, галенит, бурнонит, пирит, марказит, халькопирит, станноидит, кавацулит, эмплекит, люцонит, калаверит, сильванит, креннерит, стибнит, пираргирит, акантит, гессит, самородное золото	270-170	С: идентичная минералогия с участком Эмми поздней стадии. Р: возраст.	(Takács et al., 2017)

ГЛАВА 2. МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Определение основных факторов локализации эпитермального кислотно-сульфатного оруденения с разработкой комплекса критериев и признаков на обнаружения этого типа месторождений в пределах Уенминского рудного узла и аналогичных ему территориях на примере рудного поля Светлое производилось путем изучения, обработки, интерпретации и обобщения геологических, геохимических, аэро- и наземных геофизических материалов и данных дешифрирования спектрозональных снимков.

Исследования выполнялись последовательно в четыре этапа:

1. Предварительный анализ геологической изученности юго-западной части Ульинской вулкано-тектонической структуры (ВТС), Уенминского рудного узла и Светлинского рудного поля.
2. Определение геолого-структурных факторов, определяющих пространственное распределение золотого кислотно-сульфатного оруденения, их подтверждение и/или отражение в материалах интерпретации геофизический полей, спектрозональных снимков.
3. Установление особенностей проявления золотого эпитермального кислотно-сульфатного оруденения во вторичном и первичном геохимических полях.
4. Разработка главных разноранговых критериев прогноза и поисков эпитермального кислотно-сульфатного золотого оруденения и их апробация на объекте-аналоге.

Вмещающие рудное поле Светлое вулканоструктуры – Ульинская ВТС и Секченская депрессия являются объектом исследований специалистов с первой половины прошлого века, а само рудное поле, как самостоятельное образование, активно изучается с начала 2000-х годов, что выражается в множестве публикаций им посвященных. Анализ опубликованных, фондовых и тематических материалов позволил подготовиться к решению поставленных задач.

Геологическая характеристика, приведённая в предыдущей главе, свидетельствует, что объект исследования представляет собой типичное эпитермальное золото-серебряное месторождение кислотно-сульфатного типа, для которых в грубо обобщённом виде характерно расположение в вулканических поясах, приуроченность к кальдерным комплексам, контроль разрывными нарушениями/узлами их сопряжения различного уровня заложения. Закономерности пространственного положения оруденения и его внутреннего строения могут быть выявлены дистанционными, аэрогеофизическими методами и дополнены наземными геохимическими данными. Использование комплекса этих аналитических данных позволяет сформировать разномасштабные критерии прогнозирования и поиска месторождений кислотно-сульфатного типа для Уенминского рудного узла и для подобных геологических обстановок.

2.1. Методика обработки космоматериалов

Обработка и дешифрирование космоматериалов выполнялись для построения структурно-геологических схем уровней рудного района, рудного узла, рудного поля с целью выявления закономерностей проявления разгноранговых вулканоструктур, разрывных нарушений, субвулканических тел, интрузий, метасоматитов в различных элементах дешифрирования. Общая методика дистанционных работ соответствует [Ананьев, 2019] и включала в себя:

- подбор исходных космических данных ASTER, Landsat ETM+ и SRTM;
- улучшение, классификация растровых изображений и их дешифрирование;
- создание спектрозональных изображений из моноканальных растров и их обработка;
- дешифрирование всего комплекса синтезированных изображений с выделением линейных и кольцевых (дуговых) структур и других особенностей геологического строения;

- расчет спектральных индексов по материалам ASTER. Рассчитывались каолинитовый индекс (KLI = (band4 / band5) × (band8 / band6); указывает на участки развития глинистых и гидрослюдистых минералов [Hewson, 2005]) и мафический индекс (MI_3 = (band12 × band14 × band14 × band14) / (band13 × band13 × band13 × band13); значение индекса менее 0,87 указывает на возможное наличие вторичных кварцитов [Ананьев, 2019]);

- корреляционный анализ SWIR диапазона ASTER методом главных компонент;

- спектральный анализ SWIR диапазона материалов ASTER;

- интерпретация полученных материалов с привлечением геологической, геофизической и геохимической информации и составление геолого-структурных схем. Определение уровней заложения разрывных нарушений проведено с учетом данных, опубликованных в [Иволга и др., 2016; 2017].

В работе использованы космоматериалы Landsat ETM+, Landsat 8, Aster, Sentinel, цифровые модели рельефа SRTM и AsterGDEM. Все космоматериалы получены с сервера американского геологического общества (https://earthexplorer.usgs.gov).

Космический снимок Landsat ETM+ выполнен 16 июля 2001 года.

Космический снимок Landsat 8 выполнен 15 июля 2015 года.

Космические снимки Aster выполнены в период с 8 октября 2000 года по 16 августа 2004 года. В ходе выполнения работ получено и обработано 5 сцен Aster.

Космические снимки Sentinel. Съемки выполнены 24 июля 2019 года.

Все космические снимки подобраны с учетом отсутствия снежного покрова и с минимальной облачностью.

Цифровая модель рельефа (ЦМР) SRTM покрывает всю площадь работ масштаба 1:500000, а ЦМР AsterGDEM площадь работ масштабов 1:100000 и 1:25000.

Обработка снимков Landsat включала:

– создание спектрозонального изображения из моноканальных растров;

– корреляционный анализ методом главных компонент;

– расчет спектральных индексов (табл. 2.1.1.);

– интерпретацию и дешифрирование полученных материалов.

Расчет главных компонент. Это метод анализа многоспектральных коррелированных данных. Коррелированные данные означает, что при возрастании значения яркости пикселов в одном спектральном канале изменяются значения яркости и в других спектральных каналах. Подобная корреляция может возникать по ряду причин, например, при относительно низкой отражательной способности растительного покрова в видимой части спектра, что приводит к схожести спектральных образов объектов во всех диапазонах регистрации видимого излучения. Топографические особенности рельефа также могут вызывать корреляции между диапазонами. Уровень затенения при съемках в гористой местности, или при съемке на закате или восходе солнца, можно считать одинаковым во всех диапазонах регистрации отраженного солнечного излучения. Такая корреляция приводит к избыточности информации, из-за чего анализ данных в исходных спектральных диапазонах становится неэффективным. Для преодоления этой избыточности и применяют метод главных компонент.

Результатом преобразования снимков методом главных компонент является устранение корреляционной зависимости между исходными многомерными данными при одновременном сжатии большей части дисперсии полного изображения. Другими словами, в результате получаем многослойное некоррелированное изображение, в котором каждый последующий слой описывает все меньшую дисперсию. При этом последние «главные компоненты», как правило, обусловлены различными шумовыми помехами, исключая которые можно уменьшить объем данных без существенной потери информации.

Расчет спектральных индексов. Для получения индексного изображения, значение каждого пиксела вычисляется путем применения алгебраических операций над значениями пикселов из разных спектральных диапазонов

снимка. Прямые и косвенные признаки геологических образований традиционно выявляют по ряду минеральных, а иногда и вегетационных индексов. При вычислении спектральных индексов обычно используют отношение полос экстремального отражения или поглощения минерала, или группы минералов. При интерпретации некоторых минеральных индексов необходимо учитывать только их значимые величины.

Таблица 2.1.1.

Формулы для вычисления спектральных индексов по материалам Landsat ETM+

Название индекса	Формула вычисления
Индексы растительности	
Нормализованный вегетационный индекс	(band 4 – band 3)/(band 4 + band 3)
Инфракрасный на красный	band 4/band 3
Вегетационный индекс	band 4 – band 3
Минеральные индексы	
Оксиды железа	band 3/band 1
Глинистые минералы	band 5/band 7
Железистые минералы	band5/band4
Минеральные композиции	(band5/band7), (band5/band4), (band3/band1)
Гидротермальные композиции	(band5/band7), (band3/band1), (band4/band3)

Обработка снимков Aster включала:

– радиометрическую калибровку (табл. 2.1.2);
– расчет главных компонент;
– расчет спектральных индексов (табл. 2.1.3);
– спектральный анализ;
– интерпретацию и дешифрирование полученных материалов.

Радиометрическая калибровка снимков выполняется для преобразования значений пикселов полученного спектрозонального изображения в значения на датчике (на съемочной аппаратуре на спутнике). Для снимков Aster эта процедура осуществляется по формуле:

$$V_n=(DN_n-1)*coef$$

где V_n – рассчитанное калиброванное значение пиксела, DN_n – значения пиксела в спектральном диапазоне, coef – калибровочный коэффициент. Значения калибровочных коэффициентов приведены в таблице 2.1.2.

Таблица 2.1.2.

Значения калибровочных коэффициентов для снимков ASTER

Канал (датчик)	Значение коэффициента	Канал (датчик)	Значение коэффициента
1 (VNIR)	0.676	8 (SWIR)	0.0417
2 (VNIR)	0.708	9 (SWIR)	0.0318
3 (VNIR)	0.862	10 (TIR)	0.006882
4 (SWIR)	0.2174	11 (TIR)	0.006780
5 (SWIR)	0.0696	12 (TIR)	0.006590
6 (SWIR)	0.0625	13 (TIR)	0.005693
7 (SWIR)	0.0597	14 (TIR)	0.005225

Расчет спектральных индексов. Спектральные характеристики снимков Aster позволяют вычислить более 30 различных минеральных индексов (табл. 2.1.3). Большинство из приведенных в таблице индексов давно апробированы и используются в практике поисковых и геологосъемочных работ. В работе были вычислены и проанализированы все спектральные индексы, приведенные в таблице 2.1.3. Однако наиболее интересную информацию дают только два – каолинитовый (KLI) и мафический (MI_3). Значимые величины каолинитового индекса, применительно к поставленной задаче, фиксируют участки развития кварц-гидрослюдистых аргиллизитов, а мафический индекс – указывает на возможные площади проявления «суперкислых» пород (в нашем случае на проявления вторичных кварцитов). Однако, сложность прямого использования спектральных индексов определяется пространственным разрешением снимков Aster. Так, для расчета KLI используются данные SWIR диапазона с пространственным разрешение 30 м (пиксел на «земле» покрывает участок 30 на 30 м), а для расчета MI_3 используются данные TIR диапазона с разрешением 90 м.

Таблица 2.1.3.

Формулы для вычисления минеральных индексов по материалам ASTER

Индекс	Формула вычисления	Интерпретация
Fe^{3+}	band2 / band1	Трехвалентное железо
Fe^{2+}	(band5 / band3) + (band1 / band2)	Двухвалентное железо
4_5	band4 / band5	Латериты
Gossan	band4 / band2	Железная шляпа
5_4	band5 / band4	Железистые силикаты (биотит, хлорит, амфибол)
4_3	band4 / band3	Оксиды трехвалентного железа
RBD8	(band7 + band9) / band8	Карбонат/хлорит/эпидот
Ep_Chl_Amf	(band6 + band9) / (band7 + band8)	Карбонат/хлорит/амфибол
Amf_MgOH	(band6 + band9) / band8	Амфибол/ MgOH
Amf	band6 / band8	Амфибол
DOL	(band6 + band8) / band7	Доломит
CI	band13 / band14	Карбонатный индекс
CLI	(band6 / band8) * (band9 / band8)	Кальцитовый индекс
Fillit	(band5 + band7) / band6	Филлитовый индекс
OHI	(band7 / band6) * (band4 / band6)	Индекс OH-содержащих минералов (гидрослюд)
KLI	(band4 / band5) * (band8 / band6)	Каолинитовый индекс
ALI	(band7 / band5) * (band7 / band8)	Алунитовый индекс
RBD5	(band4 + band6) / band5	Алунит/каолинит/пирофиллит
5_6	band5 / band6	Фенгит
7_6	band7 / band6	Мусковит
7_5	band7 / band5	Каолинит
Clay	(band5 * band7) / (band6 * band6)	Глина
Alteration	band4 / band5	Измененные породы
Host	band5 / band6	Вмещающие породы
Si_1	band14 / band12	Породы богатые кварцем
Si_2	(band11 * band11) / (band10 / band12)	Кремнезем
Si_3	band12 / band13	«Основность» пород

Продолжение таблицы 2.1.3

Индекс	Формула вычисления	Интерпретация
MI_3	(band12 * band14 * band14 * band14) / (band13 * band13 * band13 * band13)	Мафический индекс
Si_4	(band11 * band11) / (band10 * band12)	Кварцевый индекс
Si_5	band11 / band10	Кремнезем
Si_6	band11 / band12	Кремнезем
Si_7	band13 / band10	Кварцевый индекс
VEGI	band3 / band2	Вегетационный индекс
NDVI	(band3 - band2) / (band3 + band2)	Нормализованный вегетационный индекс
MgOH	Band7 / band8	MgOH

Спектральный анализ методом спектрального угла или его разновидностей. Наиболее популярным способом спектрального анализа спектрозональных космических снимков является метод спектрального угла и его разновидности – метод спектральной корреляции. Однако следует отметить, что метод «в чистом виде» применим на участках с высокой степенью обнаженности. В данном случае спектральный анализ применялся для выделения тел метасоматитов. Сначала процедурой расчета главных компонент выявлялась неоднородность, а затем в выделенных неоднородностях определялись наиболее вероятные минеральные ассоциации с использованием спектральных библиотек Aster.

Обработка снимков Sentinel включала:

– создание спектрозонального снимка из моноканальных растров;

– интерпретацию и дешифрирование полученных материалов.

Обработка цифровых моделей рельефа заключалась в их рельефной визуализации и создании препаратов (анаглифических изображений) для трехмерного дешифрирования.

Для построения структурно-геологической схемы Среднеульинского рудного района масштаба 1:500000 использованы космические снимки Landsat и ЦМР SRTM.

Для построения структурно-тектонической схемы Уенминского рудного узла и рудного поля Светлое масштабов 1:100000 и 1:25000 использованы космические снимки Aster и Sentinel, а также ЦМР AsterGDEM.

Кроме перечисленных космоматериалов, для построения структурно-геологических схем использованы результаты геолого-съемочных работ масштаба 1:200000 по листам O-54-VIII, O-54-IX, O-54-XIV, O-54-XV, XVI, XXI, результаты обработки аэрогеофизических данных по Охотской площади [Юрчук, 2018], а также результаты обработки литохимических съемок по вторичным ореолам рассеяния, выполненной автором работы.

2.2. Методика работы с геофизическими материалами

Интерпретация геофизических исследований проводилась с целью выявления глубинных неоднородностей, установления и подтверждения положения разрывных нарушений, элементов разномасштабных вулканоструктур, секущих интрузивных и субвулканических образований и тел метасоматически измененных пород. Конечным результатом этих исследований стало создание схем интерпретации аэрогеофизических данных уровня рудное поле и уточнение физико-геологической модели рудного поля «Светлинского типа». В исследованиях использованы результаты аэрогеофизических работ разных лет съёмки (1978-1985 гг.), увязанные в ходе ранее выполнявшихся тематических работ [Юрчук, 2018].

При создании геолого-структурных схем была использована физико-геологическая модель месторождения кислотно-сульфатного типа с его типичными чертами, когда объект располагается во вторичных кварцитах, явно тяготеет к вулканическим постройкам и находится в пределах сравнительно молодых мезо-кайнозойских вулканических поясов. Модель в 2011 году была предложена сотрудниками ФГУП «Дальгеофизика» [Копылов и др., 2011]. Ими была охарактеризована важнейшая роль естественных радиоактивных элементов как индикаторов гидротермальных процессов, в том числе характерных для месторождений золота кислотно-сульфатного типа.

При этом преобладание в ряде случаев тория над калием объясняется сильным натровым уклоном магматических пород Нижне-Амурской серии.

В настоящей работе предлагается по-другому интерпретировать преобладание Th над K – при суперкислом метасоматозе K и U весьма подвижны, тогда как Th инертен.

Таким образом основными типоморфными признаками выделения месторождения в физических полях нужно считать совпадение в пространстве областей пониженного магнитного поля и повышенных значений Th/K отношения.

В представленной работе использованы фондовые и неопубликованные материалы, включающие анализ и интерпретацию данных результатов аэрогеофизических работ разных лет съёмки (1978-1985 гг.), переобработанные и увязанные Юрчуком Ю.В. (2018 ф) и Ореховым А.Н. в ходе ранее выполнявшихся тематических работ.

2.3. Методика работы с литохимическими материалами

Обработка и интерпретация геохимических данных выполнялась с целью создания обобщённой модели аномального геохимического поля Светлого по полученным в ходе анализа данных закономерностям распределения элементов во вторичных и первичных ореолах рассеяния.

Фактический материал для обработки и интерпретации геохимических данных предоставлен ООО «Светлое», входящим в группу компаний АО «Полиметалл».

В основу исследования легли аналитические данные, полученные по результатам литохимических работ по вторичным ореолам рассеяния в масштабе 1:50 000 (сеть 500×100м) и 1:10 000 (сеть 100×40м), проведенных в разные годы на площади золоторудного поля Светлое (2001, 2003, 2004, 2006, 2007, 2009 гг.). Площадь работ составила 67 км^2 и 16,1 км^2 соответственно.

Отбор проб осуществлялся из представительного горизонта, расположенного на глубине 40–70 см. После просушивания и просеивания до

фракции 1 мм, пробы массой 100–150 г направлялись в лабораторию. Определение содержаний химических элементов проводилось в следующих лабораториях: Chemex (Канада), Центральной лаборатории ФГУГП «Дальгеофизика» (г. Хабаровск) и «Иргиредмет» (г. Иркутск). Анализ проб осуществлялся эммиссионным спектральным полуколичественным методом и ICP-MS на 11–69 элементов. Золото анализировалось химико-спектральным или атомно-абсорбционным методами.

При обработке данных использованы методы многомерной статистики: ранговая корреляция, факторный и кластерный анализы. Построены схемы распределения элементов и комплексных показателей (КП). Выполнены: расчет фоновых и минимально-аномальных содержаний элементов; моделирование геохимических полей методами многомерной статистики; расшифровка структуры аномального геохимического поля.

ГЛАВА 3. ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНАЯ ПОЗИЦИЯ РУДНОГО РАЙОНА, РУДНОГО УЗЛА, РУДНОГО ПОЛЯ

3.1. Геолого-структурная позиция Среднеульинского рудного района

На основе дешифрирования данных космических съемок Landsat с привлечением результатов интерпретации и переинтерпретации аэрогеофизических съемок и обобщения результатов геологосъемочных работ построена структурно-геологическая схема Среднеульинского рудного района.

Основными элементами этой схемы являются вулканотектонические структуры, секущие тела изверженных горных пород, разрывные нарушения.

Вулканотектонические структуры. На схеме (рис.3.1.1) показаны вулканотектонические депрессии, вулканотектонические структуры оседания и остатки частных вулканических построек.

В пределах изученной площади показаны Секчинская, Девокшинская и Средне-Ульинская вулканотектонические депрессии. Признаками их выделения послужили хорошо дешифрируемые системы кольцевых структур первого порядка диаметром 45-60 км. Эпицентры этих структур пространственно тяготеют к узлам сопряжения продольных северо-восточных и северо-западных разрывных нарушений. При этом, дешифрируемые структуры повторяют контуры Секчинской и Девокшинской депрессий, закартированных по результатам геологосъемочных работ. Средне-Ульинская депрессия не нашла подтверждения в ранее проведенных работах и выделена по аналогии с выше приведенными структурами.

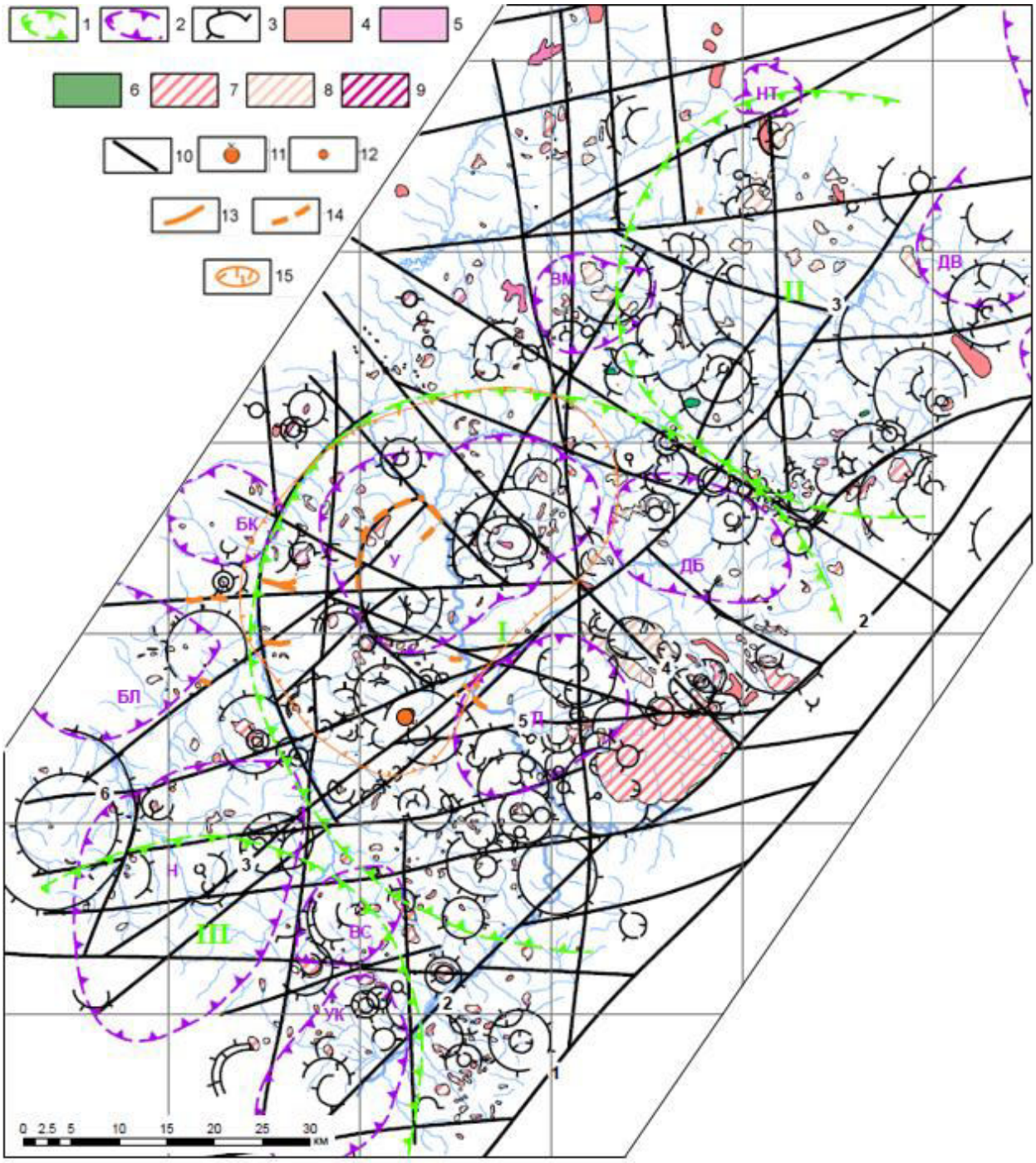


Рис. 3.1.1. Фрагмент геолого-структурной схемы Среднеульинского рудного района по результатам дешифрирования: 1 – вулкано-тектонические депрессии: I – Секченская, II – Девокшинская, III – Средне-Ульинская; 2 – структуры оседания: НТ – Нютская, ДВ – Девокшинская, ВМ – Верзнематийская, ДБ – Дюльбакинская, У – Уенминская, БК – Бэрекчанская, УД – Усть-Дюльбакинская, БЛ – Буралкитская, Н – Нудымийская, УК - Укунджийская; 3 – остатки палеовулканических построек центрального типа; 4 – 6 – тела интрузивных горных пород различного состава: 4 – кислого, 5 – среднего, 6 – основного; 7 – 9 – жерловая фация изверженных пород: 7 – дациты, риолиты, 8 – трахириолиты, трахиты, 9 – андезиты, андезибазальты; 10 – главные разрывные нарушения: 1 – Право-Ульинский, 2 – Ульинский, 3 –

Дюльбакинский, 4 – Мати-Уенминский, 5 – Онёмнинский, 6 – Алалиндийский; 11 – рудное поле Светлое; 12 – рудопроявления; 13 – россыпи промышленные; 14 – россыпи непромышленные; 15 –Уенминский рудный узел.

Контуры вулканотектонических структур оседания показаны по результатам обобщения геологосъемочных работ. На схеме приведено положение Нютской, Девокшинской, Верхнематийской, Дюльбакинской, Уенминской, Бэрекчанской, Усть-Дюльбакинской, Буралкитской, Нудымийской и Укунджийской структур. Следует отметить, что авторы отчетов по геологосъемочным работам приводили несколько различные границы для отдельных структур оседания (Уенминской). При этом был использован «стратиграфический» подход – в контуры структур оседания попадали площади с развитием вулканогенных образований уракской свиты.

Остатки вулканических построек выделены по результатам дешифрирования. Признаком их выделения послужили системы вложенных кольцевых структур второго порядка диаметром от 1 до 14 км. Для ряда построек отмечаются также системы радиальных разломов. Следует отметить, что частные вулканические постройки пространственно тяготеют к вулканотектоническим депрессиям, а точнее к их краевым частям.

Секущие тела изверженных горных пород, показанных на схеме, разделены на два класса – интрузивные и субвулканические (субвулканические и жерловые). Основой для их выделения послужили результаты геологосъемочных и аэрогеофизических работ. Контуры отдельных тел уточнялись дешифрированием.

Разрывные нарушения выделялись по комплексу признаков – по линейным формам различных неоднородностей и уступам в материалах дистанционных съемок, линейным контрастным аномалиям аэрогеофизических полей. Все проявленные разрывные нарушения по простираниям можно разделить на четыре группы: северо-восточные, северо-западные, субмеридиональные и субширотные.

Самыми крупными разрывными нарушениями на площади являются продольные (по отношению к простиранию Охотско-Чукотского вулканического пояса) северо-восточные. Устанавливается их правосдвиговый характер с амплитудами в первые километры. Непосредственно на площади проявлены Ульинский и Дюльбакинский разломы.

Сопряженными с северо-восточными структурами являются северо-западные. На площади работ проявлен Мати-Уенминский разлом. Кинематику этой системы разломов установить не удалось.

Субмеридиональные и сопряженные с ними субширотные разломы образуют достаточно плотную сеть и, вероятно, являются наиболее молодыми структурами [Иволга и др., 2016, 2017].

При создании геолого-структурной схемы были использованы результаты интерпретации и переинтерпретации аэрогеофизических съемок и физико-геологическая модель месторождения кислотно-сульфатного типа, отражённая в разделе 2.2. Результаты интерпретации геофизических исследований подтверждают результаты дешифрирования космоснимков.

Результаты сопоставления структурной схемы с физическими полями и их трансформантами, обосновывающие корректность выделения отдельных элементов по геофизическим данным, показаны в текстовых приложениях 1-11.

На приведённых материалах хорошо видно, что основным элементом, который выделяется в физических полях, полученных по результатам аэрогеофизических работ и их трансформантах, являются кольцевидные (иногда в форме эллипса) структуры, эпицентры которых явно контролируются разнонаправленными тектоническими нарушениями.

Самым крупным из таких элементов является кольцеобразная структура, расположенная в центре приведённой площади. Предположительно, она имеет два эпицентра (фокуса), которые разделены достаточно широкой зоной близмеридионального простирания, характеризующейся несколько иным

сочетанием физических полей и явно имеющую тектонические контакты. Именно к этой зоне приурочена кольцевая структура, в пределах которой расположено рудное поле Светлое.

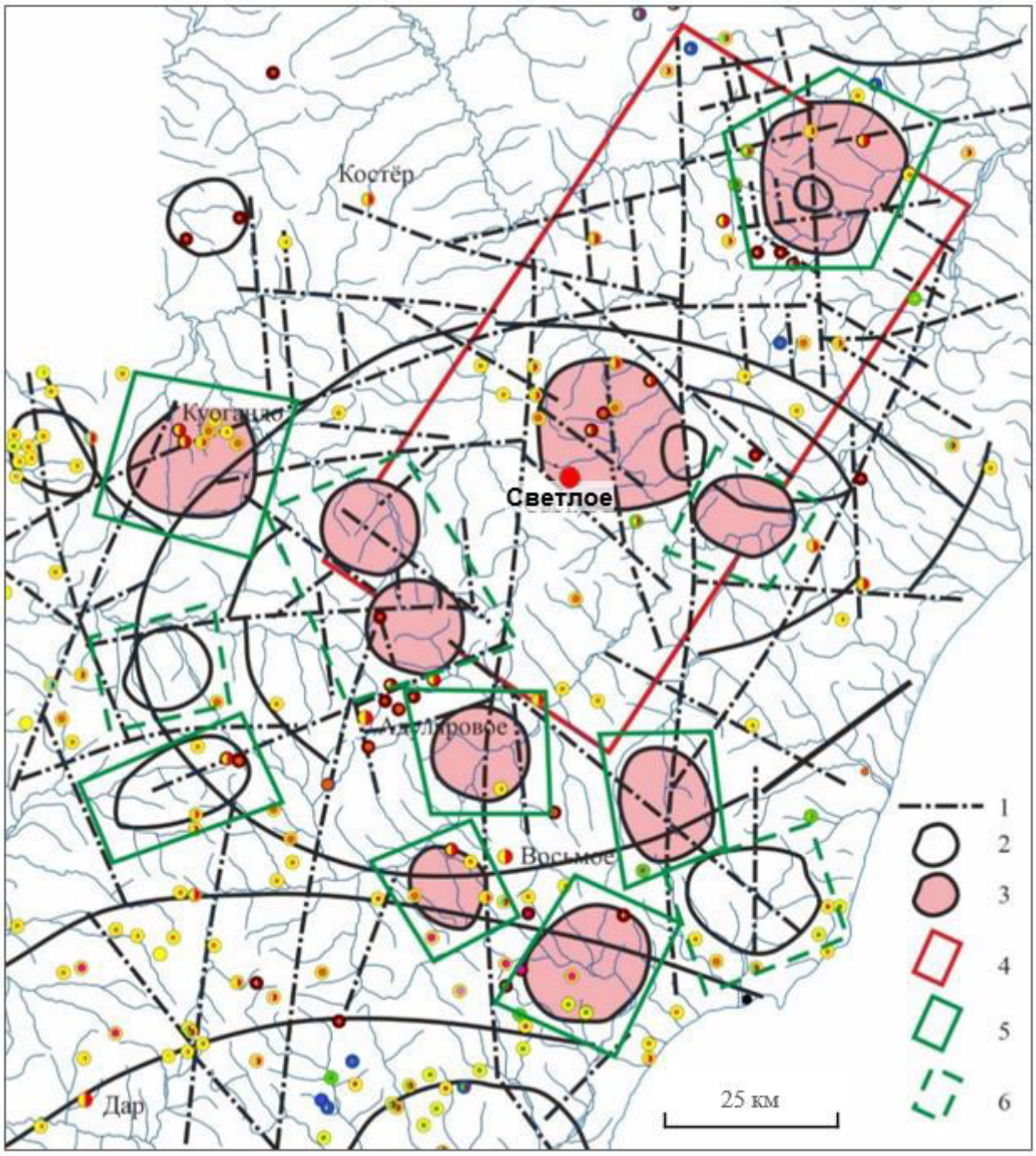


Рис. 3.1.2. Фрагмент структурной схемы Среднеульинского рудного района и сопредельных площадей по геофизическим данным. 1 – тектонические нарушения, предполагаемые по геофизическим данным; 2 – границы кольцевых структур, предполагаемые по геофизическим данным; 3 – кольцевые структуры, сопровождающиеся преобладанием тория над калием; 4 – граница участка для составления структурно-геологической схемы; 5 – перспективные участки 1 очереди; 6-перспективные участки 2 очереди;

Проявления и месторождения золота приведены по материалам реестра (Мартынюк, 2017)

Кроме кольцевых структур, которые скорее всего обусловлены вулканическими постройками, в магнитном поле достаточно контрастно проявляются нарушения субмеридионального, субширотного и северо-западного простирания.

Нарушения северо-восточного простирания в магнитном поле отображаются слабо и, как правило, только в виде отдельных линеаментов, что может быть объяснено их древним возрастом и поэтому эти разломы в значительной мере заретушированы проявлением последующих наложенных процессов. Из этих же соображений не должны были проявляться нарушения северо-западного простирания, ортогональные первым. Однако именно с ними связаны процессы перераспределения естественных радиоактивных элементов, что хорошо видно в текстовых приложениях 1-11. Видимо это говорит о том, что они переживали период активизации и в силу этого проявлены в физических полях более контрастно.

В пределах площади в физических полях выделяется значительное количество кольцевых структур более высоких порядков, которые так или иначе связаны с описанной выше крупной структурой. Часть из них характеризуется теми же особенностями (как магнитными, так и радиогеохимическими), что и структура, к которой приурочено месторождение Светлое. Причём часть этих структур по геологическим данным рудоносны, а для ряда из них данные по рудоносности отсутствуют, что делает их перспективными для постановки поисковых работ. В пределах приведенной схемы (юго-запад и северо-запад) выделение структур не выполнялось по причине предполагаемой недостоверности и низкого качества данных.

Региональные факторы рудоконтроля. Полученные схемы показывают, что положение Уенминского золоторудного узла полностью контролируется Секчинской вулканотектонической депрессией, а рудное поле

Светлое и проявления золота на изученной площади контролируются остатками палеовулканических построек. В свою очередь, палеовулканические постройки тяготеют к краевым частям вулканотектонических депрессий.

Для рудоносных и потенциально рудоносных структур характерно спокойное выположенное или слабо дифференцированное аэромагнитное поле с невысокой дисперсией. В полях распределения естественных радиоактивных элементов потенциально рудоносные структуры выделяются аномальным поведением K/Th отношения. Если вмещающий субстрат имел преимущественно натровый состав, то отношение будет смещаться в сторону тория (непосредственно тип Светлого), в противном случае – в сторону калия.

3.2. Геолого-структурная позиция Уенминского рудного узла

Дешифрирование комических снимков Aster совместно с цифровой моделью рельефа AsterGDEM, результаты интерпретации и переинтерпретации аэрогеофизических съемок, результаты геолого-съемочных работ позволили построить структурно-геологическую схему Уенминского рудного узла.

Основными элементами этой схемы являются разрывные нарушения, остатки палеовулканических построек, тела секущих изверженных горных пород, площадные метасоматиты.

Разрывные нарушения площади Уенминского рудного узла в целом унаследуют основные направления разрывных нарушений Среднеульинского рудного района: здесь проявлены северо-восточные, северо-западные, субмеридиональные и субширотные структуры. По общей значимости разрывные нарушения разделены на «главные» и «прочие». Среди главных структур выделяются два «кольцевых» разлома, расположенные в центральной части площади.

Палеовулканические постройки фиксируются системами телескопированных кольцевых структур диаметром от 1 до 14 км. Остатки палеовулканических построек разделены по наличию кальдеры проседания, присутствие которой достаточно отчетливо проявляется в цифровой модели рельефа AsterGDEM.

Секущие тела изверженных горных пород разделены на интрузивные, субвулканические и жерловые. Жерловая фация выделена по пространственной ассоциации выделенных тел с остатками вулканических построек.

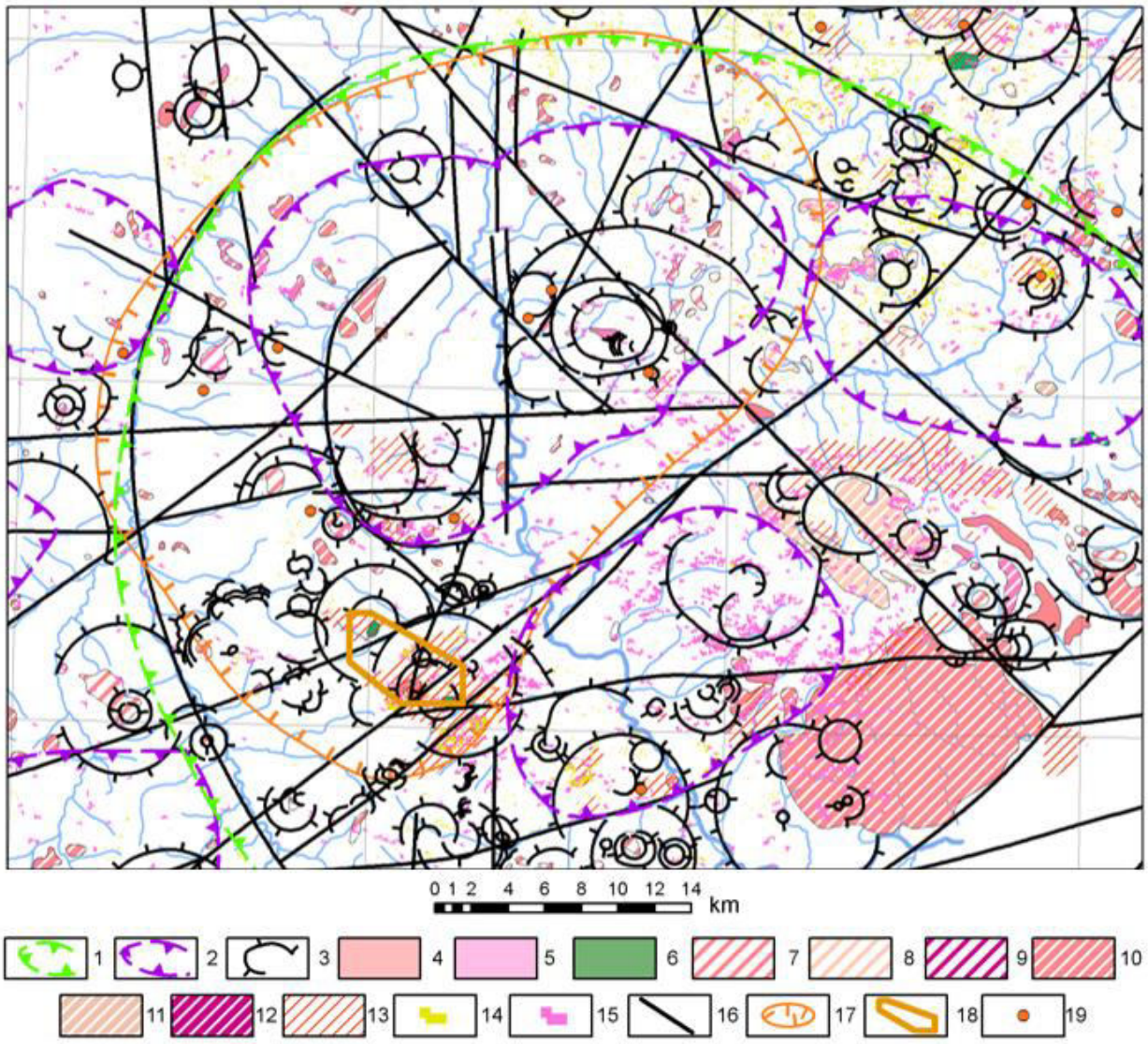


Рис. 3.2.1. Фрагмент геолого-структурной схемы Уенминского рудного узла по результатам дешифрирования: 1 – Секчинская вулкано-тектоническая депрессия I порядка; 2 – вулкано-тектонические структуры оседания II порядка; 3 – остатки палеовулканических построек центрального типа; 4 – 6 –

тела интрузивных горных пород различного состава: 4 – кислого, 5 – среднего, 6 – основного; 7 – 9 – жерловая фация изверженных пород: 7 – дациты, риолиты, 8 – трахириолиты, трахиты, 9 – андезиты, андезибазальты; 10 – 12 – субвулканические тела изверженных пород: 10 – дациты, риолиты, 11 – трахириолиты, трахиты, 12 – андезиты, андезибазальты; 13 – тела метасоматитов; 14 – значимые величины каолинитового индекса; 15 – значимые величины мафического индекса; 16 – главные разрывные нарушения; 17 – контур Уенминского рудного узла; 18 – контур рудного поля Светлое; 19 – рудопроявления

Тела метасоматически измененных пород выделялись на основе специфических спектральных характеристик космических снимков. По характеру проявления тела метасоматитов разделены на полнопроявленные и неполнопроявленные. К полнопроявленным разностям отнесены тела метасоматитов выделенные по космическим снимкам и показанные на геологических картах предшественников. К неполнопроявленным отнесены тела, выделенные только по спектральным характеристикам космических снимков. По составу метасоматиты разделены на кварц-гидрослюдистые аргиллизиты, вторичные кварциты и нерасчлененные.

Так же к метасоматическим изменениям можно отнести показанные на схеме значимые величины каолинитового индекса (KLI). Проявления этого спектрального индекса можно рассматривать в качестве наиболее информативного показателя кислотно-сульфатного (High Sulfidation) типа оруденения. В пределах рудного поля Светлое индекс проявляется в виде локальных площадных аномалий, тогда как за пределами рудного поля – в виде одиночных пиксельных выделений.

Другим информативным можно считать мафический минеральный индекс (MI_3). Низкие (менее 0,87) величины этого показателя обычно подчеркивают монокварцевые тела значительных размеров. В целом, рудное поле Светлое отчетливо проявлено в этом показателе в виде кольцевой структуры (рис. 3.2.2).

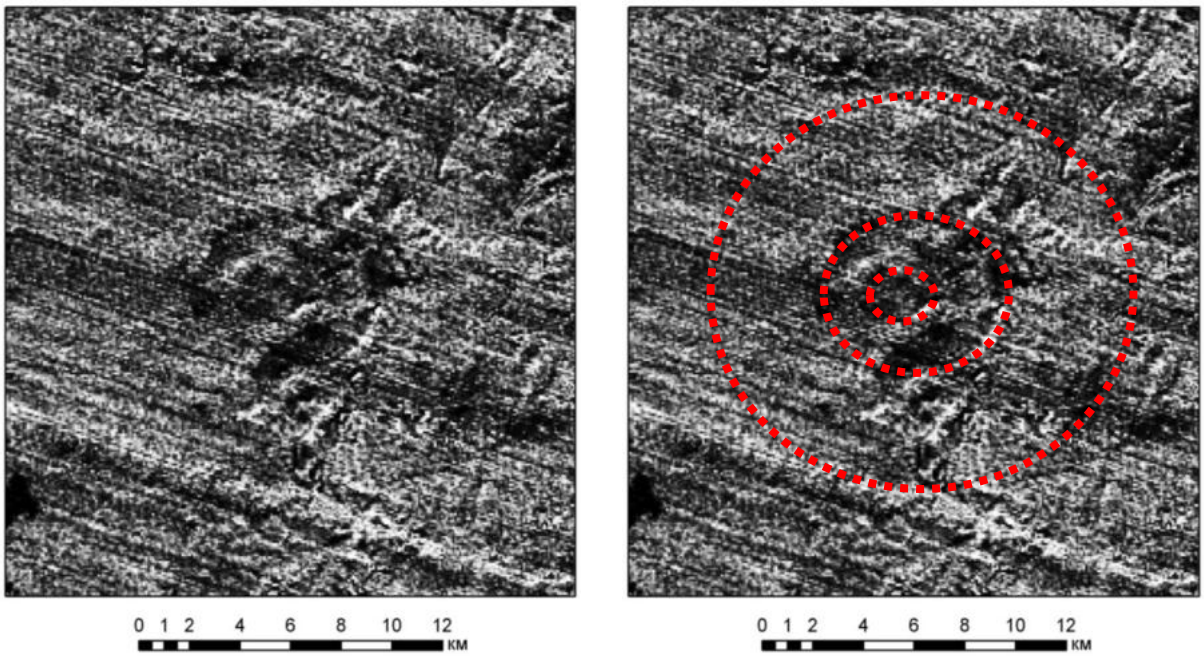


Рис. 3.2.2. Рудное поле Светлое в мафическом индексе (по данным обработки снимков Aster)

Результаты сопоставления структурной схемы с физическими полями и их трансформантами, обосновывающие корректность выделения отдельных элементов по геофизическим данным приведены в текстовых приложениях 12-21. Геофизическая основа для характеристики геолого-структурной позиции рудного поля является той же, что и для рудного узла. Однако за счёт масштаба детальность схемы стала выше.

На основании аэрогеофизических данных определяются следующие факторы.

Рудное поле Светлое приурочено к южному краю кольцевой структуры среднего порядка в области повышения плотности разнонаправленных тектонических нарушений, среди которых хорошо проявлены нарушения субмеридионального и северо-западного простирания, а система нарушений северо-восточного простирания представлена отдельными линеаментами (рис.3.2.3). В окрестностях рудного поля кольцевые нарушения «размыты» и южная граница кольцевой структуры не видна. Возможно, она «срезана» нарушениями субмеридионального и северо-западного простирания, расположенными западнее и южнее соответственно.

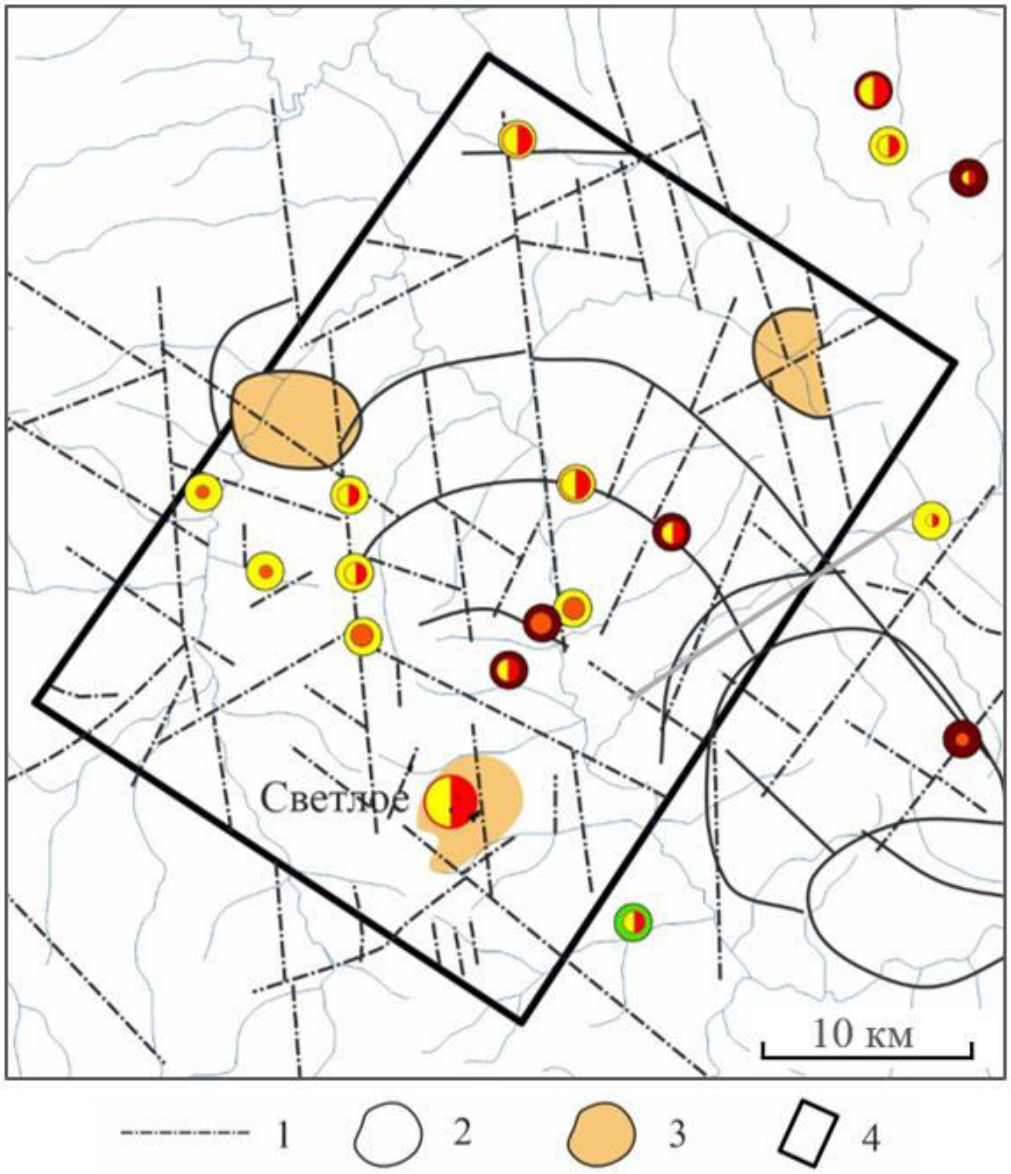


Рис. 3.2.3. Фрагмент структурной схемы Уенминского рудного узла по геофизическим данным: 1 – тектонические нарушения, предполагаемые по геофизическим данным; 2 – границы кольцевых структур, предполагаемые по геофизическим данным; 3 – кольцевые структуры, сопровождающиеся преобладанием тория над калием; 4 – граница участка для составления структурно-геологической схемы; Проявления и месторождения золота приведены по материалам реестра (Мартынюк, 2017)

В полях распределения естественных радиоактивных элементов потенциально рудоносные структуры должны картироваться аномальным поведением K/Th отношения. Если субстрат имел преимущественно натровый состав, то отношение будет смещаться в сторону тория –непосредственно кислотно-сульфатный тип метасоматоза, в противном случае – в сторону

калия. Снижают перспективы фоновые значения этого отношения. Кроме этого, показатель KU/ThTh. еще лучше фиксирует площади развития вторичных кварцитов, так как K и U в суперкислых гидротермальных растворах весьма подвижны, тогда как Th – относительно устойчив (рис.3.2.4).

Севернее основной кольцевой структуры в физических полях выделяется ещё две структуры более высокого порядка, с тем же набором признаков, что и рудное поле.

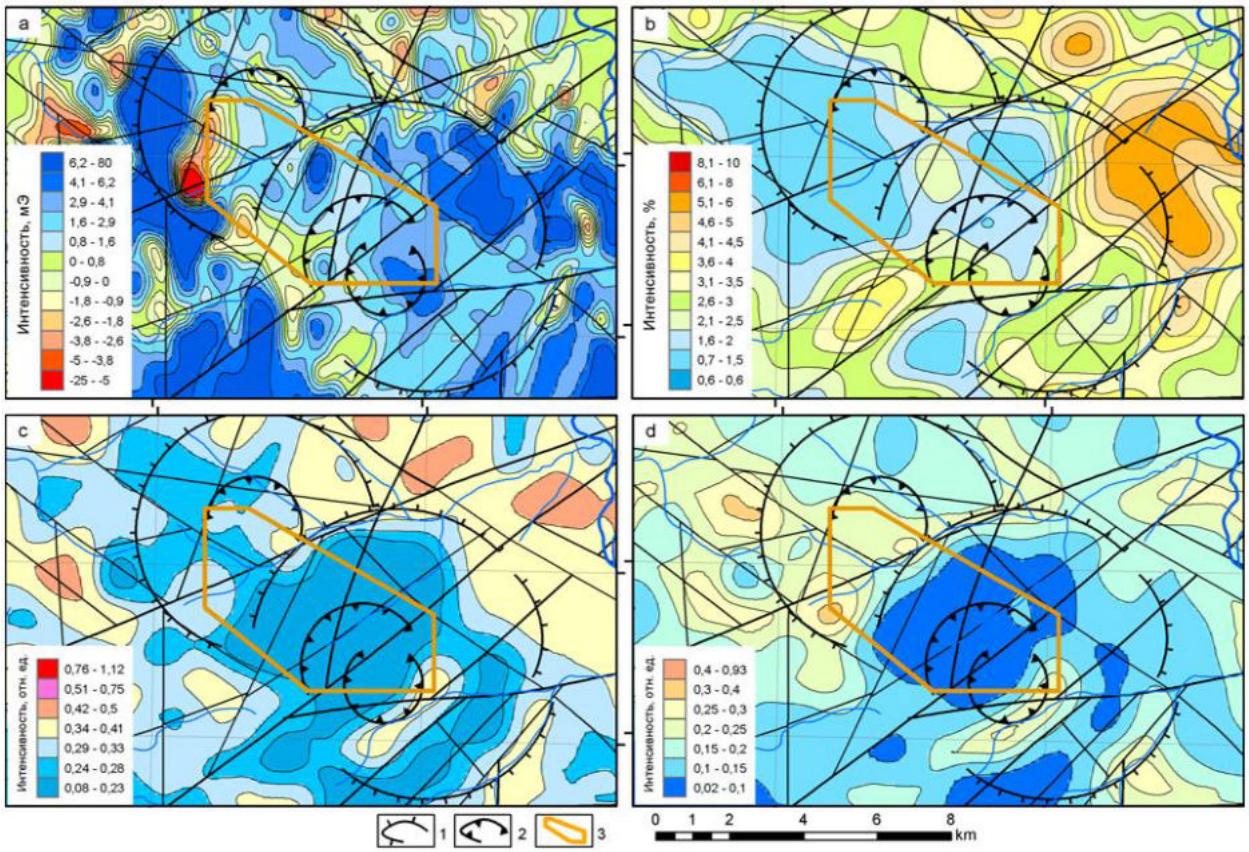


Рис. 3.2.4. Положение рудного поля в физических полях: а) магнитное поле; б) поле K; в) Th/K отношение; г) KU/ThTh отношение; 1, 2 – полеовулканические аппараты центрального типа: 1 – конус, 2 – кальдеры проседания; 3 – контур рудного поля Светлое.

Локальные факторы рудоконтроля. Полученные схемы демонстрирует, что в пределах Уенминского рудного узла рудное поле Светлое контролируется остатком палеовулканической постройки с кальдерой проседания. Положение самой палеовулканической постройки

контролируется узлом сопряжения Дюльбакинского разлома северо-восточного простирания с разломами северо-западного простирания. Метасоматический ореол, который сопровождает рудные тела имеет значительную площадь – более 30 км^2.

Для рудного поля характерно спокойное выположенное, или слабо дифференцированное аэромагнитное поле с невысокой дисперсией. Области резко дифференцированного аэромагнитного поля могут находиться как в эпицентре этих структур (жерловая фация), так и на их периферии.

В полях распределения естественных радиоактивных элементов потенциально рудоносные структуры выделяются аномальным поведением K/Th отношения [Копылов и др., 2011].

3.4. Геолого-структурная позиция рудного поля Светлое

Дешифрирование космических снимков Aster и Sentinel совместно с цифровой моделью рельефа AsterGDEM, наблюденные поля, результаты интерпретации и переинтерпретации аэрогеофизических съемок, результаты обработки площадной литохимической съемки по ореолам рассеяния позволили получить структурно-геологическую схему рудного поля Светлое (рис.3.4.1).

Основными элементами схемы являются палеовулканические постройки, разрывные нарушения, ореолы метасоматически измененных горных пород, другие элементы геологического строения поля.

В целом, в материалах дистанционных съемок строение рудного поля проявлено достаточно отчетливо. Рудное поле приурочено к двум палеовулканическим постройкам. В северо-западной постройке (более ранней), диаметром 6,5 км, расположен участок Эмми, в юго-восточной (диаметром 8,3 км) – участки Елена, Тамара, Людмила, Лариса. Обе вулканические постройки с явно проявленными кальдерами проседания.

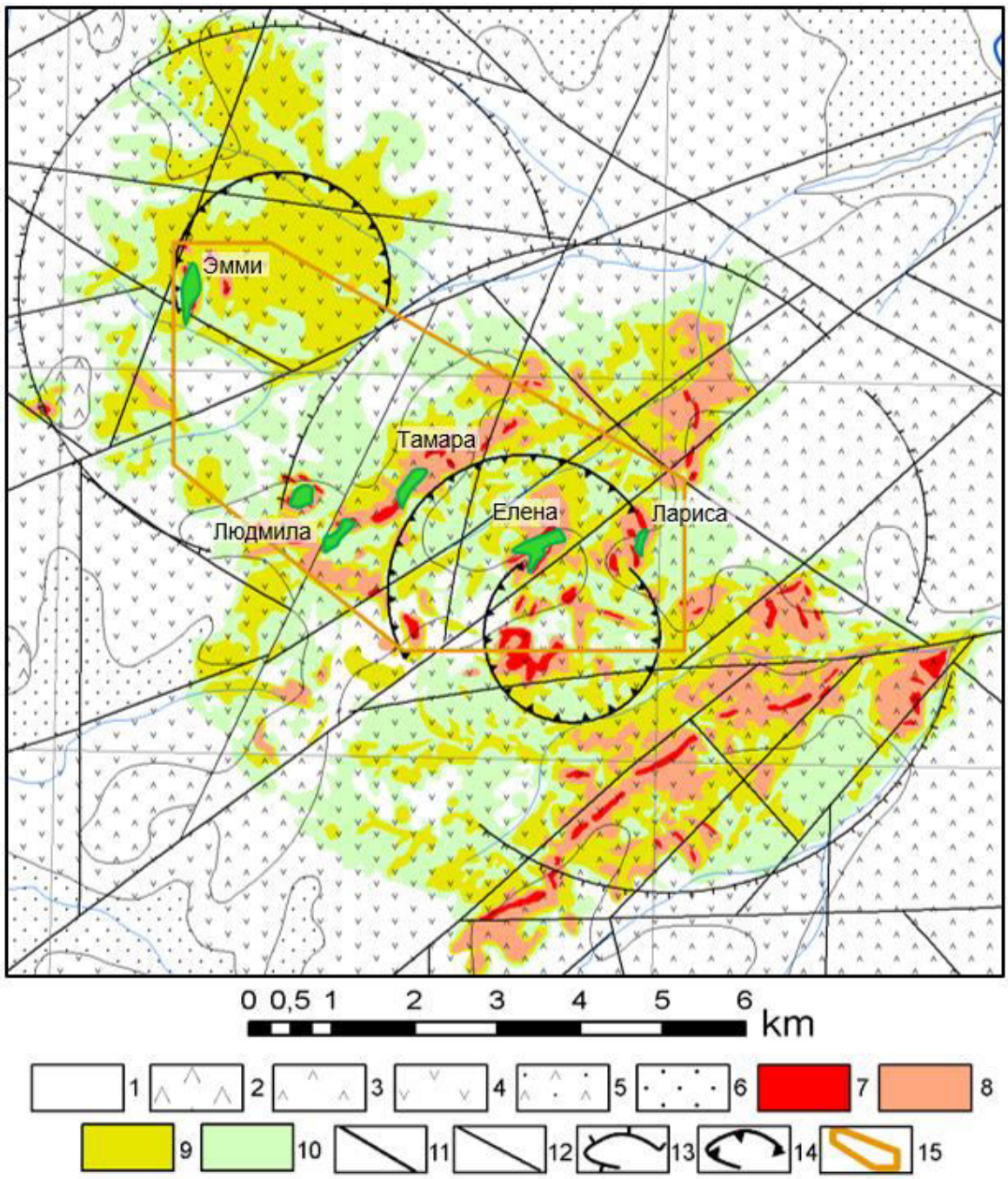


Рис. 3.4.1. Космоструктурная схема рудного поля Светлое. 1 – современные аллювиальные отложения; 2 – штоки и дайки уракского дацит-риолитового комплекса; 3 – лавы, туфы, игнимбриты дацитов уракской свиты; 4 – лавы андезитов и андезибазальтов, туфы андезитов хетанинской свиты; 5 – туфопесчаники, туфоалевролиты, туфы дацитов амкинской свиты; 6 – дациты и их туфы, игнимбриты, андезиты и их туфы магейской свиты; 7 – 9 – вторичные кварциты: 7 – монокварцевые, 8 – кварц-алунитовые, 9 – кварц-гидрослюдистые; 10 – хлоритовые пропилиты; 11 – 12 – разрывные нарушения: 11 – главные, 12 – прочие; 13 – 14 – палеовулканические аппараты

центрального типа: 13 – конус, 14 – кальдеры проседания; 15 – контур рудного поля Светлое

Общий план развития разрывных нарушений повторяет выявленные региональные закономерности – среди разрывных нарушений преобладают северо-восточные (параллельные осевой части Охотско-Чукотского вулканического пояса) и северо-западные. Субмеридиональные и субширотные структуры проявлены в значительно меньшей степени.

Спектральный анализ многозональных космических снимков ASTER позволил выделить и закартировать в пределах рудного поля тела метасоматитов – вторичных кварцитов и пропилитов. Среди вторичных кварцитов различаются монокварцевые, преимущественно кварц-алунитовые и существенно кварц-гидрослюдистые разности. Рудные тела участков Елена, Эмми, Тамара тяготеют к монокварцевым метасоматитам. В составе пропилитов выделяются хлоритовые разновидности.

Для построения структурной схемы уровня месторождений на основании геофизических полей использована только наземная магниторазведка (2005 г.). Результаты её сопоставления с некоторыми ранее рассчитанными в 2005 году трансформантами приведены в текстовых приложениях 22-26.

На севере площади уверенно выделяется южная часть кольцевой аномалии высокого порядка, центральной части которой соответствует интенсивная аномалия магнитного поля (вероятно жерловая фация). Такая же структура намечается на востоке и крайне фрагментарно, ввиду непосредственной близости к краю участка, – на западе. Минерализованные зоны (рудные тела) месторождения Елена и рудной зоны Лариса относятся к восточной кольцевой структуре, Эмми – к западной, а остальные – к центральной. Хотя в материалах дешифрирования определяется только две вулканоструктуры.

Все месторождения, за исключением Эмми, приурочены к области спокойного слабо повышенного магнитного поля. Это может быть вызвано не

выходящими на поверхность повышено магнитными породами (гранодиорит-порфирами уракского комплекса(?)).

Месторождение Эмми находится в области более существенно пониженного магнитного поля, но в непосредственной близости от контакта структуры и, судя по мозаичному характеру магнитного поля, зоны гидротермальной проработки.

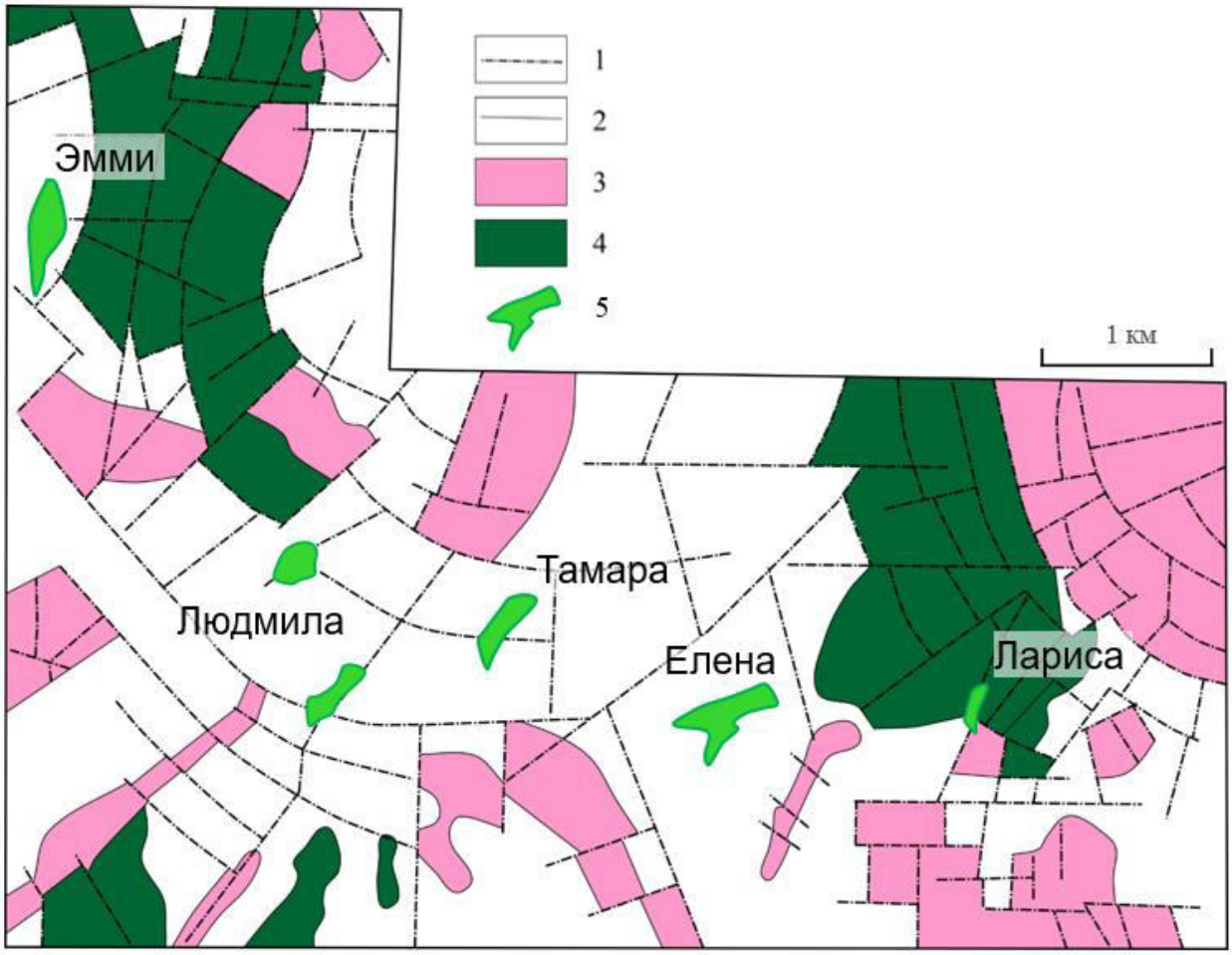


Рис. 3.4.2. Структурная схема рудного поля Светлое по геофизическим данным: 1 – тектонические нарушения, предполагаемые по геофизическим данным; 2 – геологические границы, предполагаемые по геофизическим данным; 3 – интрузивные образования (гранодиорит-порфиры и др.) уракского комплекса; 4 – андезибазальты хакаринского комплекса; 5 – минерализованные зоны.

Сами рудные тела (минерализованные зоны) ни в наблюдённом магнитном поле, ни в его трансформантах никак не выделяются, потому что вторичные кварциты не несут ферромагнетики и магнитоактивными не

являются. Таким образом, результаты магнитной съёмки можно использовать только для картирования структуры, интрузивных (в том числе «слепых») массивов, а также выявления областей с морфологией магнитного поля в принципе благоприятной для поисков оруденения.

Детальные факторы рудоконтроля. Полученные схемы указывают, что рудоносные участки размещаются в кальдерах проседания вулканических аппаратов. Рудоносные участки (месторождения) размещаются на площадях с проявленными монокварцевыми, кварц-алунитовыми и кварц-гидрослюдистыми метасоматитами.

Месторождения расположены в пределах спокойного выположенного магнитного поля на периферии кольцевых структур сравнительно высокого порядка. Интенсивность магнитного поля в этих областях может быть разной. Однако, чем выше интенсивность поля, тем хуже перспективы. Причина этого заключается в эффекте «просвечивания» магнитоактивных подстилающих образований через кварциты. Чем ближе к поверхности подстилающие образования, тем поле сильнее, но и мощность потенциально вмещающей рудные тела толщи меньше.

Месторождениям должны соответствовать области аномального изменения калий-ториевого отношения с формированием зональности распределения естественных радиоактивных элементов относительно рудных тел [Копылов и др., 2011].

3.5. Геолого-структурные факторы рудоконтроля

Проведённый анализ позволяет определить основные геолого-структурные факторы рудоконтроля на трех иерархических уровнях: рудный район, рудный узел, рудное поле.

Рудные узлы размещаются в пределах вулканотектонических депрессий, развитых над внутрикоровыми магматическими камерами, вулкано-

плутоническими комплексами и ареалами их влияния. Положение Уенминского золоторудного узла полностью контролируется Секчинской вулканотектонической депрессией. Положение самих вулкано-тектонических депрессий контролируется участками сопряжения продольных и поперечных разрывных нарушений мантийного уровня заложения. Проявления золота контролируются остатками палеовулканических построек. В свою очередь, палеовулканические постройки тяготеют к краевым частям вулканотектонических депрессий.

Рудные поля тяготеют к краевым частям вулканотектонических депрессий в областях размещения частных вулканических построек. Положение вулканических построек контролируется узлом сопряжения северо-восточных (мантийного заложения) и северо-западных разрывных (коровых) нарушений, которые отчётливо проявлены в аэромагнитном поле.

В потенциально рудоносных с кислотно-сульфатным типом оруденения вулканических постройках должна быть проявлена кальдера проседания и метасоматический ореол значительной площади. Для них характерно спокойное выположенное, или слабо дифференцированное аэромагнитное поле с невысокой дисперсией. Области резко дифференцированного аэромагнитного поля могут находиться как в эпицентре этих структур (жерловая фация), так и на их периферии. В полях распределения естественных радиоактивных элементов потенциально рудоносные структуры выделяются аномальным поведением K/Th отношения. Если вмещающий субстрат имел преимущественно натровый состав, то отношение будет смещаться в сторону тория (непосредственно тип Светлого), в противном случае – в сторону калия.

Рудное поле Светлое контролируется остатком палеовулканической постройки с кальдерой проседания. Положение самой палеовулканической постройки контролируется узлом сопряжения Дюльбакинского разлома северо-восточного простирания с разломами северо-западного простирания.

Метасоматический ореол, который сопровождает рудные тела имеет значительную площадь – более 30 км^2.

Рудоносные участки (месторождения) размещаются в пределах спокойного выположенного магнитного поля на периферии кольцевых структур в кальдерах проседания, тяготеют к узлам сопряжения коровых разрывных нарушений северо-восточного и северо-западного простирания, на площадях с проявленными монокварцевыми, кварц-алунитовыми и кварц-гидрослюдистыми метасоматитами. Месторождениям должны соответствовать области аномального изменения калий-ториевого отношения с формированием зональности распределения естественных радиоактивных элементов относительно рудных тел.

Таким образом, проведенный анализ позволяет сформулировать **первое защищаемое положение: основными элементами структурно-геологического строения при выделении потенциальных золоторудных объектов являются: вулканотектонические депрессии I и II порядка, остатки палеовулканических построек центрального типа, в том числе с проявленной кальдерой проседания, разрывные нарушения, тела секущих интрузивных, субвулканических и жерловых образований, вторичные кварциты и аргиллизиты, – которые могут быть выявлены дистанционными методами.**

ГЛАВА 4. ГЕОХИМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РУДНОГО ПОЛЯ СВЕТЛОЕ

Выявление прямых признаков золотого оруденения и определение парагенетических геохимических ассоциаций во вторичном поле рассеяния является достоверным индикатором рудного процесса.

Золоторудное поле Светлое характеризуется разнообразием гидротермально-метасоматических образований, развивающихся по вулканогенным породам преимущественно кислого состава уракской свиты и, реже, среднего и основного состава хетанинской свиты. Выделяются следующие типы метасоматитов: вторичные кварциты (монокварциты, алунитовые, диккитовые, алунит-диккитовые, серицитовые), иллит-хлоритовые и гидрослюдистые кварциты. Вмещающие породы в разной степени аргиллитизированы (Yakich et al., 2021).

Золотая минерализация Елены, Людмилы, Тамары представлена кварц-пиритовым минеральным комплексом с единичными полиметаллическими сульфидами. Для участка Эмми золоторудная минерализация связана с теллуридным комплексом. В обоих случаях золото частично переотложено в гипергенную стадию. Преобладающим сульфидом гепогенной гидротермальной стадии является пирит, а также сульфиды полиметаллов – галенит, сфалирит и халькопирит. На Эмми широкое распространение получили блеклые руды ряда теннантит-тетраэдрит и теллуриды, такие как голдфилдит, хемусит, меллонит, алтаит, теллуровесмутин и др., включая теллурид ртути – колорадоит (Yakich et al., 2021).

Представленная характеристика позволяет здесь выделять два типа эпитермального золотого оруденения: собственно золото-серебряный и золото-серебряно-теллуридный. Петрографическая и минералогическая характеристика рудного поля Светлое определяет его геохимический профиль.

4.1. Геохимическая модель уровня рудного поля Светлое

4.1.1. Расчет фоновых и минимально-аномальных концентраций элементов

Аналитическая база данных литохимической съемки представлена 1602 пробами, проанализированными на 20 элементов. Представительными содержаниями характеризуются 8 элементов: *золото*, *серебро, медь, молибден, фосфор, свинец, ванадий* и *цинк*, которые и были использованы при статистических расчетах.

Висмут, сурьма, теллур, мышьяк, кобальт, никель, марганец, хром, сера, олово, титан, *бериллий* в пробах 2003 года (что составляет 80 % изучаемой совокупности), либо определены в крайне ограниченном количестве, либо определённые содержания элемента представлены одним или двумя значениями (*As, Bi, Cr, Sb*). Таким образом, результаты анализов данных элементов невозможно использовать при статистических расчётах.

Для всех проанализированных элементов были построены карты распределения содержаний (текст. прил. 1–20).

На основе критерия Пирсона установлено, что распределение содержаний элементов не отвечает нормальному закону. В связи с этим обработка геохимических данных проводилась методами многомерной статистики, а расчёты минимально-аномальных концентраций с использованием выражений для логнормального закона распределения.

Расчет фоновых и аномальных значений проведен согласно Инструкции по геохимическим методам поисков, 1983 (табл. 4.1.1.1). Выборка для определения фоновых концентраций элементов составлена из проб (n=1237), расположенных за пределами явных аномалий. За основу расчёта минимально-аномальных значений была взята формула:

$$X_{\text{аном.}} > \widetilde{X} * \varepsilon^{3/\sqrt{m}},$$

где $\widetilde{X}$ – фоновое значение концентрации элемента, ε – стандартный множитель, m – количество рядом расположенных (коррелирующихся) аномальных точек.

Таблица 4.1.1.1

Фоновые и минимально-аномальные значения содержаний для 1–9 коррелирующихся точек

Эле-мент	Фон, $\widetilde{X}$	Станд. множ., ε	Минимально-аномальное содержание для m коррелирующихся точек, в n×10^{-4} % (Au, мг/т)								
			m=1	m=2	m=3	m=4	m=5	m=6	m=7	m=8	m=9
Au	7,7	2,4	106	49	35	29	25	22	21	19	18
Ag	0,07	2,7	1,5	0,60	0,41	0,32	0,28	0,25	0,22	0,21	0,20
Cu	33	1,4	102	73	63	58	55	53	51	49	48
Mo	3,0	2,4	44	20	14	11	9,9	8,9	8,2	7,7	7,3
P	323	1,8	1878	1120	891	778	709	661	627	601	580
Pb	17,0	1,7	88	54	44	39	35	33	32	30	29
V	95	1,9	654	372	290	250	226	209	198	188	181
Zn	34	2,2	359	179	132	110	97	89	82	78	74

4.1.2. Геохимическая зональность вторичного ореола рассеяния

С целью оценки уровня взаимосвязи между элементами был проведен *ранговый корреляционный анализ* (табл. 4.1.2.1). В результате установлено, что золото имеет значимую положительную связь с *серебром, молибденом, фосфором, свинцом*. Значимую отрицательную связь с *ванадием* и *цинком*. Практически все рудные элементы характеризуются значимой связью между собой. Исключение составляют пары *золото-медь*, *серебро-ванадий*, *фосфор-ванадий* и *фосфор-цинк*, между распределением содержаний которых связь не установлена.

Таблица 4.1.2.1

Ранговые коэффициенты корреляции между элементами по результатам литохимического опробования (n=1237, p=0,05, $r_{крит}$=0,06)

Элементы	Au	Ag	Cu	Mo	P	Pb	V	Zn
Au	1							
Ag	**0,34**	1						
Cu	-0,04	**0,19**	1					
Mo	**0,22**	**0,23**	**-0,12**	1				
P	**0,16**	**0,38**	**0,36**	**0,26**	1			
Pb	**0,07**	**0,28**	**0,06**	**0,28**	**0,27**	1		
V	**-0,26**	-0,03	**0,47**	**-0,21**	0,00	**-0,06**	1	
Zn	**-0,27**	**0,11**	**0,42**	**-0,31**	0,06	**0,25**	**0,51**	1

* – жирным шрифтом выделены значимые корреляционные коэффициенты

С целью установления групп элементов, ведущих себя синхронно в процессе гидротермально-метасоматического рудообразования, был проведен *факторный анализ* (табл. 4.1.2.2). Выделены ассоциации элементов, оказывающие нагрузки на соответствующие факторы: **Фактор 1** – *Au, Mo и Zn, V; Фактор* **2** – *Au*, *Ag, Pb*; **Фактор 3** – *P*, *Cu*.

Таблица 4.1.2.2

Матрица факторных нагрузок

Элемент	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
Au	**0,60**	**0,31**	0,28
Ag	0,08	**0,83**	0,13
Cu	-0,19	0,11	**0,76**
Mo	**0,42**	0,04	0,13
P	0,12	-0,10	**0,59**
Pb	-0,10	**0,85**	-0,06
V	**-0,72**	-0,11	0,24
Zn	**-0,75**	0,29	0,09
Вклад в %	*21*	*20*	*14*

* – жирным шрифтом выделены факторные нагрузки элементов, вносящие основной вклад в соответствующий фактор

Вклад *первого фактора* в общую дисперсию составляет 21 %. Положительные значения фактора, связанные с *Au-Mo* ассоциацией, приурочены ко всем ранее выявленным участкам, что, очевидно, обусловлено

участием данных элементов в процессе рудообразования (рис.4.1.2.1). Отрицательные значения фактора образуют ореол, окаймляющий зоны минерализации. Очевидно, *Zn-V* ассоциация связана с процессом ее выноса за пределы минерализованных зон на их периферию.

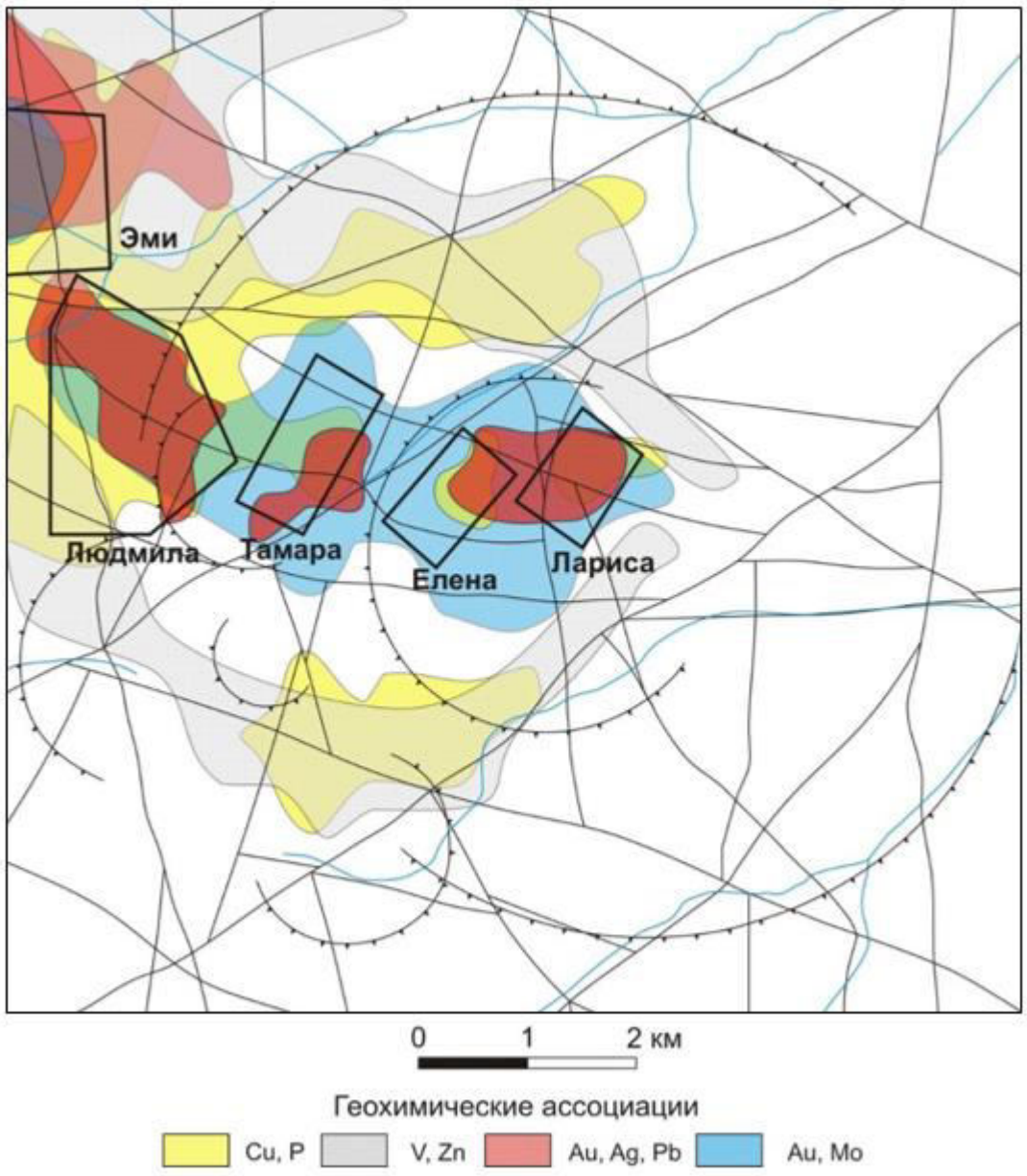


Рис. 4.1.2.1. Карта распределения геохимических ассоциаций по результатам факторного анализа (масштаб 1:50 000)

Значения *второго фактора*, с дисперсией 20 %, тяготеют к аномалиям золота. Ореол повышенных значений фактора создает ядерную часть

геохимической зональности на участках Людмила, Тамара, Елена и Лариса. На участке Эмми значения фактора образуют высококонтрастный ореол. Таким образом, *Au-Ag-Pb* ассоциация, вероятно, характеризует одну из стадий процесса рудообразования – первую рудную стадию кварц-пирит-полиметаллического комплекса.

Третий фактор вносит 14 % вклад в общую дисперсию. Крупный ореол с повышенными значениями фактора приурочен к известным участкам Эмми, Людмила и Тамара. Площадные ореолы различных размеров и интенсивности эпизодически встречаются на всей изучаемой территории, в том числе и на участках Елена и Лариса. Фактор 3 может быть связан как с перераспределением *P* и *Cu* в процессе гидротермально-метасоматического рудообразования, так и с отличием в концентрации элементов в породах хетанинской и уракской свит.

Анализируя распределение геохимических ассоциаций, выделенных на основе факторного анализа, можно сделать вывод о привносе рудных элементов к центру рудоносных зон *Au-Mo* и *Au-Ag-Pb* ассоциации и выносе на периферию *V-Zn* ассоциации.

Дендрограмма корреляционных взаимосвязей химических элементов была построена с использованием *кластер-анализа* (рис. 4.1.2.2). Установлено три геохимические ассоциации: **1.** *Zn-V-Cu;* **2.** *Pb-Ag;* **3.** *Au-Mo-P*.

Разделение геохимических проб на группы проведено методом К-средних (табл. 4.1.2.3). Предварительно содержания 8-ми элементов нормировались на их фоновые значения. Выборка из 1602 проб была разбита на 6 кластеров.

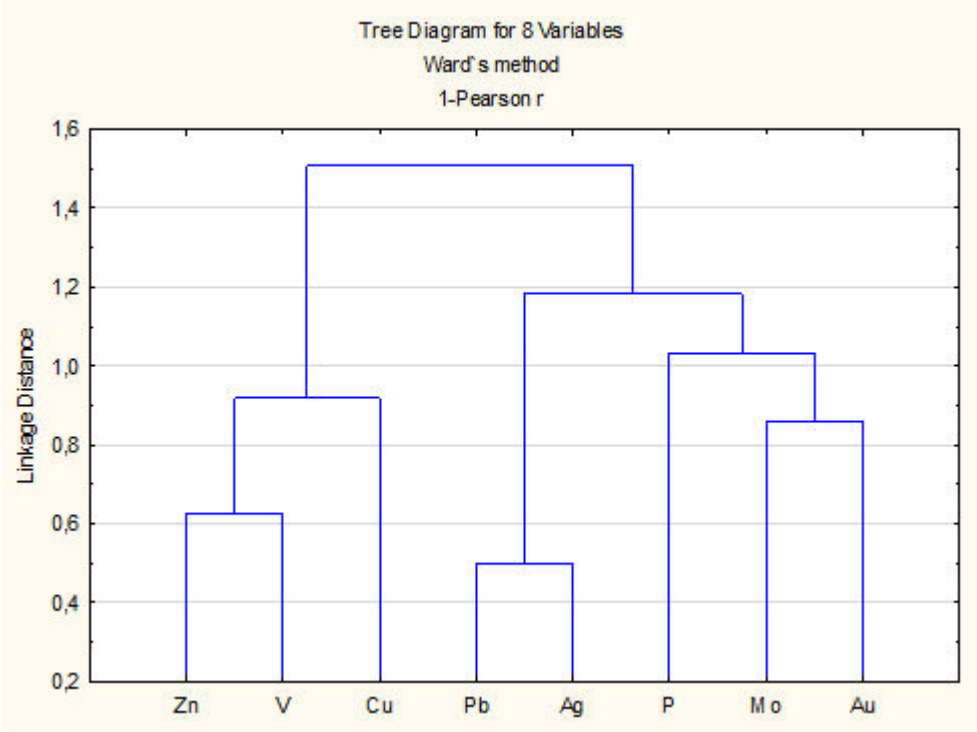


Рис. 4.1.2.2. Результаты кластер-анализа переменных

Таблица 4.1.2.3

Геохимические спектры кластеров

Элемент	Кластер № 1	Кластер № 2	Кластер № 3	Кластер № 4	Кластер № 5	Кластер № 6
Au	**1046**	**45**	**105**	**15**	**12**	1,3
Ag	**42**	**13**	**19**	**97**	**8,6**	1,0
Cu	0,6	1,1	1,2	1,9	1,4	0,8
Mo	**9,7**	**4,1**	**5,4**	1,0	**6,5**	1,1
P	1,6	1,6	1,5	2,0	2,9	1,0
Pb	1,8	1,2	1,4	**6,5**	2,0	0,9
V	0,4	0,6	0,8	1,1	0,7	1,0
Zn	0,4	0,5	0,7	1,8	0,9	1,0

* – жирным шрифтом выделены содержания элементов, вносящие основной вклад в кластеры

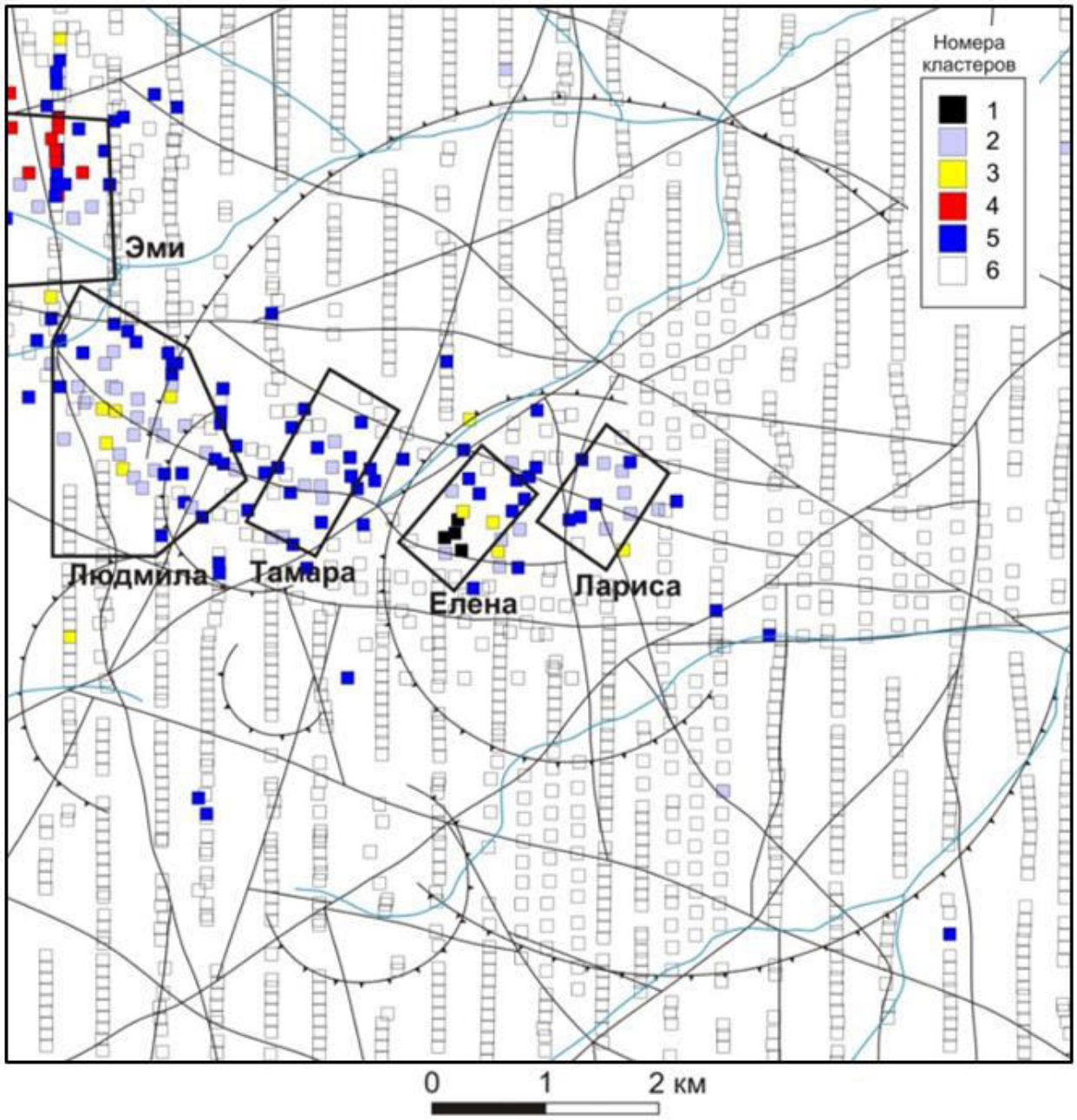


Рис. 4.1.2.3. Карта распределения кластеров (масштаб 1:50 000)

Доминирующее положение в 1 кластере занимает *Au* (**1046**), *Ag* (**42**), *Mo* (**9,7**). Все четыре пробы данного кластера расположены на участке Елена (рис. 4.1.2.3). 8 из 10 проб 3-го кластера, приурочены к золоторудным участкам Людмила и Елена, которые характеризуются тем же набором элементов с высокими концентрациями – *Au* (**105**), *Ag* (**19**), *Mo* (**5,4**), но отличаются уровнем их накопления. Кластеры 2 и 5 характеризуются следующими геохимическими параметрами: *Au* (**45**), *Ag* (**13**), *Mo* (**4,1**) и *Au* (**12**), *Ag* (**8,6**), *Mo*

(**6,5**), соответственно и приурочены к известным рудным участкам и их периферии. В кластер 4 основной вклад вносят *Ag* (**97**), *Au* (**15**), *Pb* (**6,5**) соответственно, а его пробы приурочены исключительно к участку Эмми. Субфоновые содержания проб из 6 кластера присутствуют за пределами минерализованных зон, занимая около 90 % площади рудного поля.Таким образом, методом К-средних проведено разделение проб на «рудные» – 1–5 кластеры и «породные» – 6 кластер.

На основании обработки и интерпретации данных литохимической съемки 1:50 000 масштаба установлено, что золото и его элементы-спутники, а также комплексные показатели, рассчитанные с использованием методов многомерной статистики, в пределах золоторудного поля Светлое являются надежными прогнозно-поисковыми критериями и признаками оруденения и подтверждают перспективы выделенных ранее золоторудных объектов.

4.2. Геохимическая модель уровня месторождений в рудном поле Светлое

4.2.1. Расчет фоновых и минимально-аномальных концентраций элементов

Геохимическая база данных с результатами опробования представлена 3572 пробами. Из 69 проанализированных элементов были выбраны четырнадцать с максимальным количеством определений, превышающих порог чувствительности анализа: *золото, серебро, мышьяк, барий, кобальт, хром, медь, марганец, молибден, фосфор, цинк, ванадий, сурьма, свинец* (текст. прил. 21–34). По элементам, представляющим интерес для прогнозно-поисковых целей (*висмут, никель, теллур)* были построены только схемы распределения содержаний (текст. прил. 35–37) без расчета фоновых и минимально-аномальных концентраций.

Расчет минимально-аномальных содержаний элементов, так же как и при обработке результатов крупномасштабной литохимической съемки,

проводился на основе формулы, применяемой при логнормальном законе распределения.

За основу при расчете фоновых и аномальных значений были взяты значения из таблицы 4.2.1.1, которые были дополнены статистическими параметрами элементов, не проанализированных качественно или вовсе не определявшихся при крупномасштабной литохимической съемке – мышьяка, хрома, сурьмы, бария, кобальта и марганца (табл. 4.2.1.1).

Таблица 4.2.1.1

Фоновые и минимально-аномальные значения для 1–9 коррелирующихся точек

Эле-мент	Фон, $\tilde{X}$	Станд. множ., ε	Минимально-аномальное содержание для m коррелирующихся точек, в $n\times10^{-4}$ % (Au, мг/т)								
			m=1	m=2	m=3	m=4	m=5	m=6	m=7	m=8	m=9
Au	7,7	2,4	106	49	35	29	25	22	21	19	18
Ag	0,07	2,7	1,5	0,60	0,41	0,32	0,28	0,25	0,22	0,21	0,20
As	22	1,4	993	265	148	104	82	69	60	54	49
Ba	216	2,2	2428	1195	873	724	637	579	539	508	484
Co	1,9	2,8	42	17	11	8,9	7,6	6,7	6,1	5,7	5,3
Cr	6,1	1,4	18	13	11	10	9,8	9,4	9,1	8,9	8,7
Cu	33	1,4	102	73	63	58	55	53	51	49	48
Mn	68	3,3	2444	856	538	407	337	293	263	241	224
Mo	3,0	2,4	44	20	14	11	9,9	8,9	8,2	7,7	7,3
P	323	1,8	1878	1120	891	778	709	661	627	601	580
Zn	34	2,2	359	179	132	110	97	89	82	78	74
V	95	1,9	654	372	290	250	226	209	198	188	181
Sb	4,9	1,6	22	14	12	10	9,5	9,0	8,6	8,3	8,0
Pb	17,0	1,7	88	54	44	39	35	33	32	30	29

4.2.2. Структура аномального геохимического поля

Оценка уровня взаимосвязи между распределением содержаний элементов проведена с помощью рангового корреляционного анализа. Значимой положительной корреляционной связью с *золотом* характеризуются *серебро, мышьяк, свинец, молибден, сурьма, медь, барий, хром*, отрицательной – *марганец, фосфор, цинк, кобальт* (табл. 4.2.2.1).

Распределение концентраций *ванадия* не проявляет взаимосвязи с концентрациями золота.

Таблица 4.2.2.1

Ранговые коэффициенты корреляции между элементами по результатам литохимического опробования (n=3752, p=0,05, $r_{крит}$=0,03)

Элемент	***Au***	***Ag***	***As***	***Ba***	***Co***	***Cr***	***Cu***	***Mn***	***Mo***	***P***	***Zn***	***V***	***Sb***	***Pb***
Au	1													
Ag	**0,42***	1												
As	**0,31**	**0,03**	1											
Ba	**0,07**	**0,10**	**0,03**	1										
Co	**-0,06**	**0,09**	**-0,10**	**-0,07**	1									
Cr	**0,06**	**0,14**	**0,10**	**-0,14**	**0,77**	1								
Cu	**0,07**	**0,12**	**0,26**	0,00	**0,61**	**0,70**	1							
Mn	**-0,18**	0,01	**-0,21**	**-0,06**	**0,84**	**0,70**	**0,47**	1						
Mo	**0,20**	**-0,20**	**0,56**	0,00	**-0,37**	**-0,24**	**-0,17**	**-0,43**	1					
P	**-0,07**	0,03	**-0,14**	**0,13**	**0,54**	**0,43**	**0,40**	**0,66**	**-0,36**	1				
Zn	**-0,06**	**0,17**	**-0,21**	**-0,06**	**0,69**	**0,57**	**0,38**	**0,72**	**-0,36**	**0,36**	1			
V	-0,02	**0,14**	**0,11**	**-0,04**	**0,75**	**0,83**	**0,77**	**0,72**	**-0,35**	**0,57**	**0,47**	1		
Sb	**0,18**	**0,20**	**0,40**	**-0,08**	**0,09**	**0,31**	**0,31**	**0,03**	**0,13**	**-0,05**	**0,16**	**0,26**	1	
Pb	**0,21**	**0,12**	**0,47**	**0,13**	**0,13**	**0,20**	**0,22**	**0,13**	**0,35**	**0,18**	**0,17**	**0,17**	**0,34**	1

* – жирным шрифтом выделены значимые корреляционные коэффициенты

Для установления геохимических ассоциаций элементов по близости поведения в процессе рудообразования был проведен факторный анализ (табл. 4.2.2.2). В результате выделено четыре ассоциации элементов: фактор 1 – *Co, Cr, Mn, V, Zn, P*; фактор 2 – *Pb, Sb, Ag*; фактор 3 – *As, Mo, Ba*; фактор 4 – *Au, Ag*.

Таблица 4.2.2.2

Матрица факторных нагрузок

Элемент	**Фактор 1**	**Фактор 2**	**Фактор 3**	**Фактор 4**
Au	-0,03	-0,03	0,13	**0,84**
Ag	0,04	**0,29**	-0,10	**0,76**
As	0,00	0,16	**0,77**	0,03
Ba	-0,09	-0,04	**0,46**	0,02
Co	**0,91**	-0,02	-0,09	-0,02
Cr	**0,85**	0,04	0,14	0,03
Cu	0,22	-0,04	0,10	0,10
Mn	**0,84**	0,00	-0,13	-0,03
Mo	-0,12	0,04	**0,72**	0,04
P	**0,34**	0,01	-0,17	-0,07
Pb	0,03	**0,93**	0,04	0,09
Sb	0,06	**0,92**	0,07	0,03
V	**0,84**	0,08	0,04	0,02
Zn	**0,83**	0,10	-0,12	0,01
Вклад в %	*27*	*13*	*10*	*9*

Наибольшую нагрузку на первый фактор, с вкладом в общую дисперсию 30 %, оказывают *Co, Cr, Mn, V, Zn, P.* Значения фактора образуют ограниченные по площади ореолы, тяготеющие преимущественно к периферии рудных зон (рис. 4.2.2.1). Данная ассоциация элементов, с возможными вариациями, является типичной для фронтальной зоны гидротермально-метасоматического ореола и более отчетливо наблюдается в мелком масштабе (ранг рудного поля).

Ассоциация элементов *Ag, Pb, Sb* вносит наибольший вклад во 2 фактор. Ореолы повышенных значений фактора приурочены к известным рудным участкам, а за их пределами связаны с зонами гидротермально-метасоматического преобразования пород. Вероятно, выявленная ассоциация элементов связана со второй, кварц-золото-висмутовой с теллуридами и сульфидами меди стадией рудообразования.

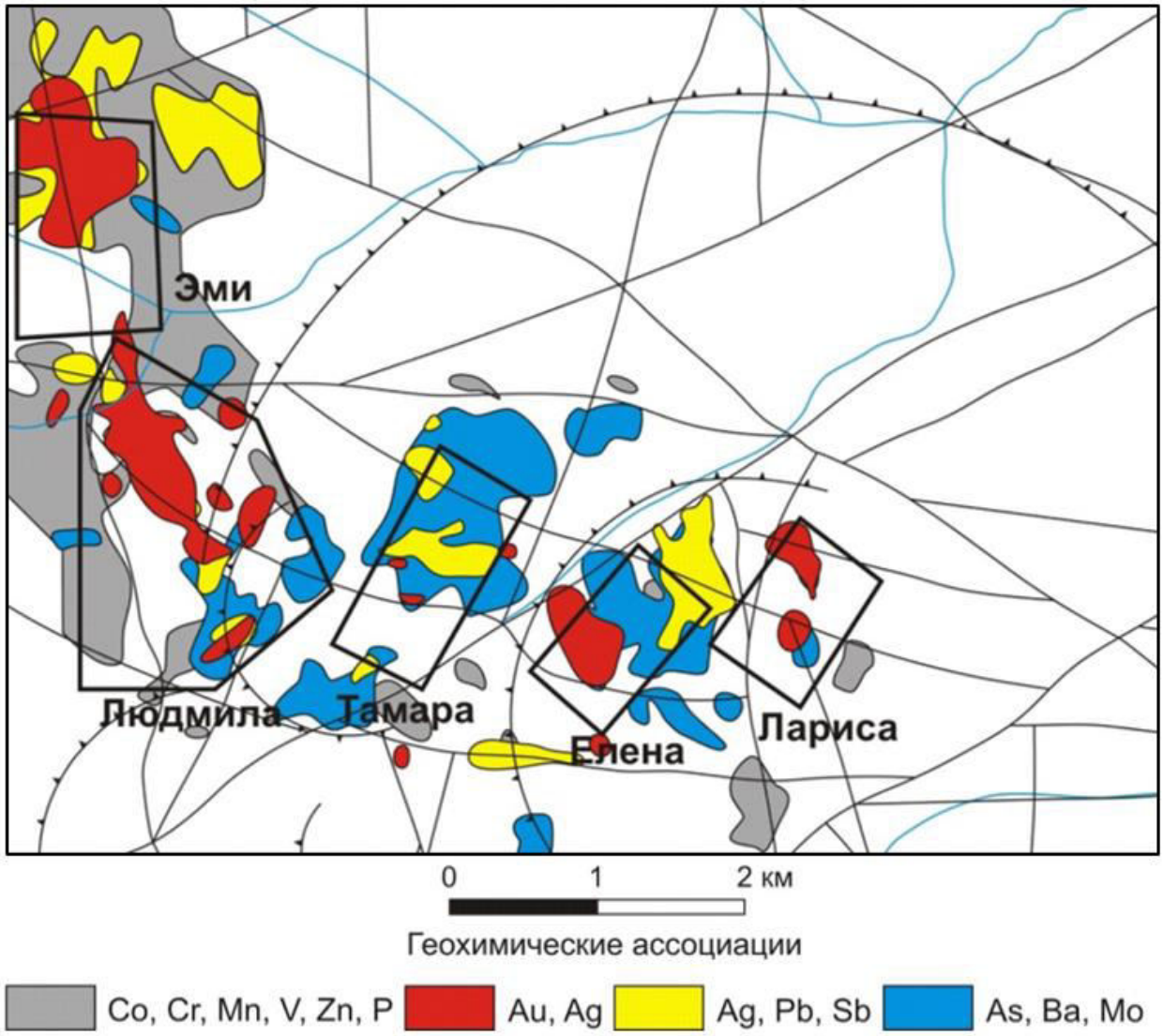


Рис. 4.2.2.1. Карта распределения геохимических ассоциаций по результатам факторного анализа (масштаб 1:10 000)

As, Mo, Ba формируют третий фактор с вкладом в общую дисперсию 9,9 %. Повышенные значения фактора в пределах изучаемой площади распределены неравномерно, образуют крупные площадные ореолы, приуроченные к центральным и периферийным частям участков Тамара и Елена. Незначительные ореолы наблюдаются на участках Эмми, Людмила и Лариса. Данная ассоциация может быть связана как с третьей, кварц-прожилковой с убогой золотой минерализацией, пиритом и баритом стадией оруденения, так и обусловлена подвижностью *молибдена* и *мышьяка* в процессе гипергенеза.

Четвертый фактор характеризуется наименьшим вкладом в общую дисперсию в размере 8,6 %. Повышенные значения фактора образуют ореолы на всех ранее выявленных участках. Наиболее крупные площадные ореолы расположены в пределах участков Эмми и Людмила. Таким образом, *Au-Ag* ассоциация, вероятно, характеризует раннюю кварц-пирит с сульфидами серебра и мелким золотом стадию рудообразования.

В результате проведения факторного анализа с использованием минералого-петрографических данных [Литвинов, 2012ф] установлена геохимическая зональность гидротермально-метасоматического ореола, выразившаяся в смене ассоциаций элементов от периферии к ядерной зоне: *Co, Cr, Mn, V, Zn, P → Au-Ag → Ag, Pb, Sb → As, Mo, Ba.*

На основе кластерного анализа построена иерархическая структура корреляционных связей между химическими элементами (рис. 4.2.2.2). Установлены следующие пять групп элементов: **1.** *V, Cr, Zn, Mn, Co;* **2.** *Pb, Sb;* **3.** *Ba, Mo, As;* **4.** *Au, Ag;* **5.** *Cu, P.*

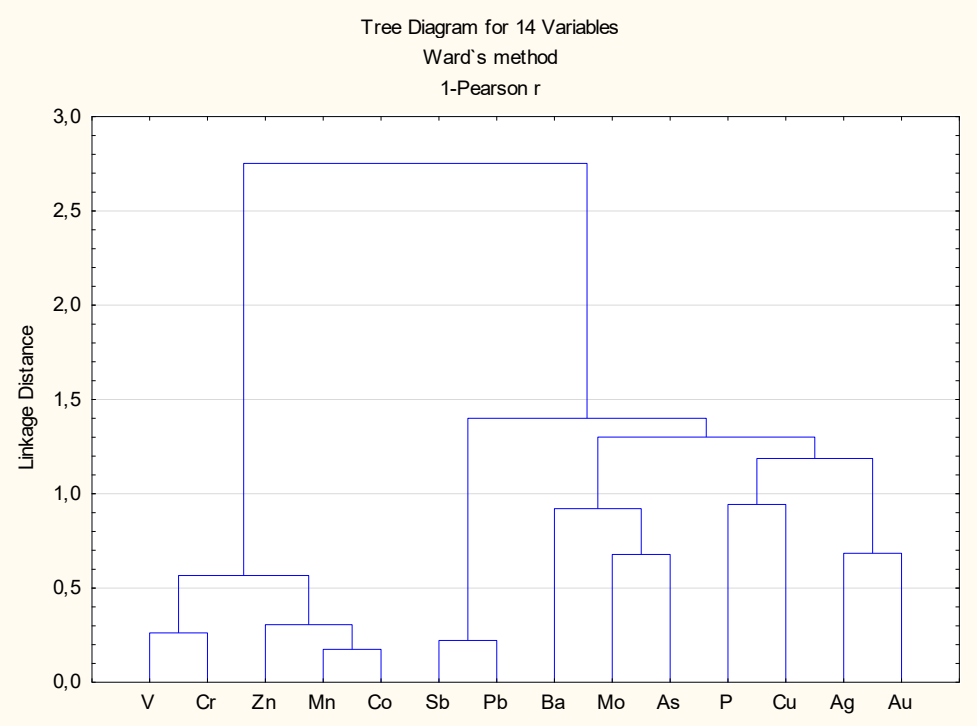


Рис. 4.2.2.2. Результаты кластер-анализа переменных

Методом К-средних проведено разделение массива проб на 8 кластеров. Предварительно истинные содержания элементов нормировались на их фоновые концентрации.

Таблица 4.2.2.3

Геохимические спектры кластеров

Элемент	Кластер № 1	Кластер № 2	Кластер № 3	Кластер № 4	Кластер № 5	Кластер № 6	Кластер № 7	Кластер № 8
Au	**5335**	**3205**	**30**	**1165**	**494**	**51**	4,4	**196**
Ag	**247**	**93**	**243**	**54**	**66**	**21**	3,9	**30**
As	**5,8**	2,2	2,0	2,4	3,4	2,4	1,4	**7,4**
Ba	2,6	1,3	1,3	**4,8**	1,2	1,5	1,4	1,6
Co	1,0	1,0	2,3	0,9	1,1	1,0	1,7	0,8
Cr	1,2	1,4	1,3	1,0	1,1	1,0	1,0	1,4
Cu	0,6	0,7	1,6	0,5	1,2	2,4	0,9	1,0
Mn	0,8	1,4	2,9	0,8	1,1	1,0	2,2	0,8
Mo	**24**	**15**	1,3	**11**	**6,4**	**5,7**	3,1	**16**
P	1,2	1,3	2,0	1,0	1,5	1,6	1,9	1,3
Pb	2,8	**5,2**	**6,8**	2,4	2,5	2,1	1,0	1,9
Sb	**12**	**12**	**7,6**	**4,9**	**9,6**	**5,1**	1,9	4,9
V	0,3	0,4	0,7	0,2	0,6	0,5	0,5	0,4
Zn	0,2	0,4	1,5	0,2	0,4	0,4	0,6	0,3

* – жирным шрифтом выделены содержания элементов, вносящие основной вклад в кластеры

1, 2 и 4 кластерам свойственны высококонтрастные содержания золота во вторичном геохимическом ореоле золоторудного поля Светлое (рис. 4.2.2.3). Кроме аномальных концентраций золота кластеры отличаются геохимическими спектрами с высоким уровнем накопления: *Au* (**5335**), *Ag* (**247**), *Mo* (**24**), *Sb* (**12**), *As* (**5,8**) – 1 кластер, *Au* (**3205**), *Ag* (**93**), *Mo* (**15**), *Sb* (**12**), *Pb* (**5,2**) – 2 кластер, *Au* (**1165**), *Ag* (**54**), *Mo* (**11**), *Sb* (**4,9**), *Ba* (**4,8**) – 4 кластер. В то же время, количество проб, входящих в данные кластеры – незначительно (n=15), все они, за исключением одной пробы, приурочены к участку Елена.

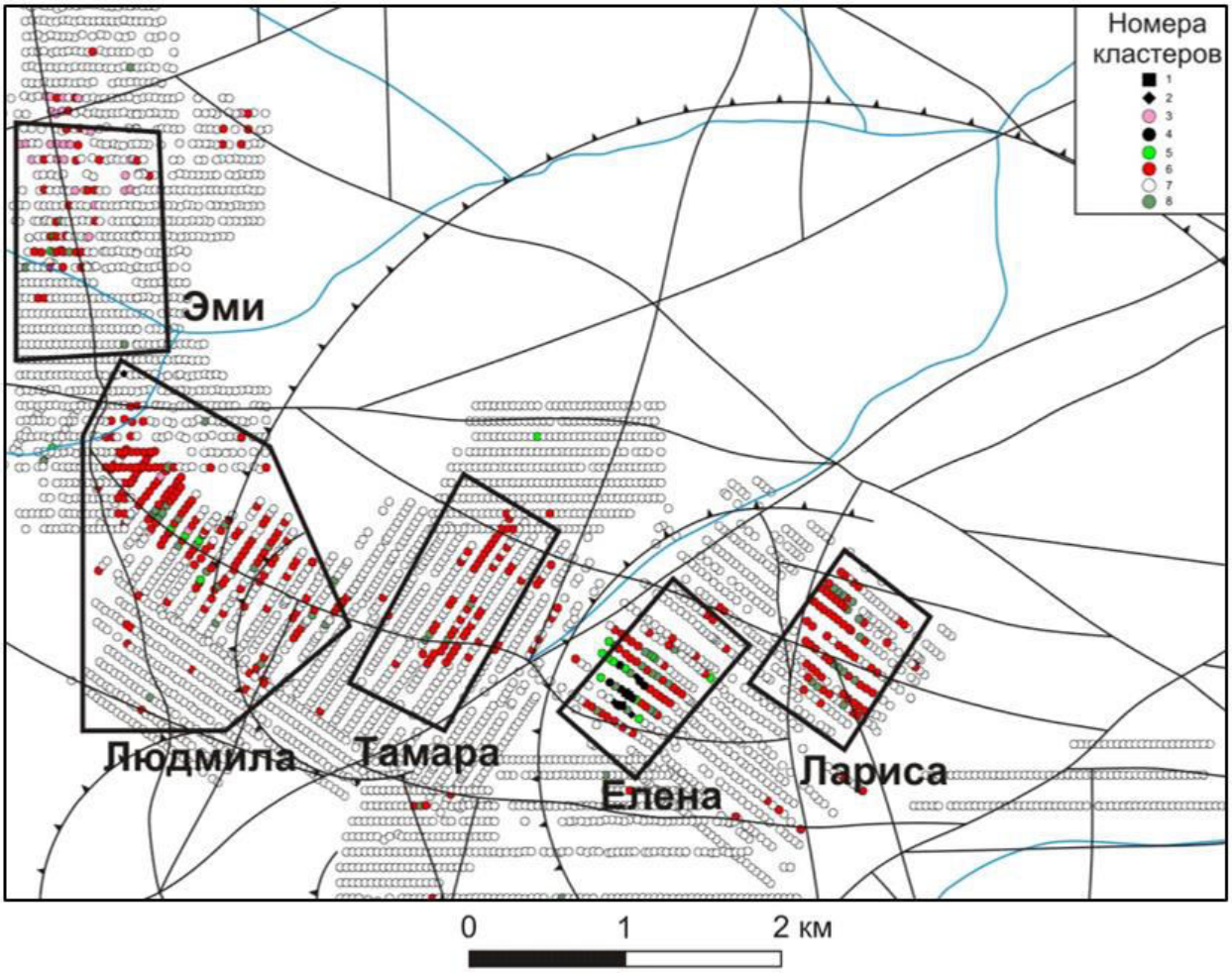


Рис. 4.2.2.3 Карта распределения кластеров (масштаб 1 : 10 000)

Пробы 5 кластера также немногочисленны (n=18), преимущественно расположены в пределах участков Елена, Людмила и Эмми и характеризуются высокими содержаниями *Au* (**494**), *Ag* (**66**), *Sb* (**9,6**), *Mo* (**6,4**).

Основной вклад в 8 кластер вносят *Au* (**196**), *Ag* (**30**), *Mo* (**16**), *As* (**7,4**), а в кластер 6 – *Au* (**51**), *Ag* (**21**), *Mo* (**5,7**), *Sb* (**5,1**). Пробы с данными геохимическими характеристиками присутствуют на всех ранее выделенных участках.

За исключением двух проб, к участку Эмми приурочены геохимические пробы 3 кластера, характеризующиеся следующей специализацией: *Ag* (**243**), *Au* (**30**), *Sb* (**7,6**), *Pb* (**6,8**).

Кластер 7 имеет повсеместное распространение в пределах изучаемых участков и характеризуется повышенными содержаниями *Au* (**4,4**) и *Ag* (**3,9**).

Очевидно, пробы данного кластера характеризуют наименее измененные в процессе гидротермально-метасоматического рудообразования породы.

Таким образом, на основе кластер-анализа установлена геохимическая специализация кластеров, характеризующих различные стадии процесса рудообразования, а также геометризованы области их распространения – «рудные» кластеры 1–6, 8, а также кластер 7, отражающий внешнюю зону гидротермально-метасоматического ореола – «породный» кластер.

В распределении геохимических ассоциаций факторного анализа, отображенного на рис.4.3.2.1, обращает на себя внимание разобщённость ассоциации Co, Cr, Mn, V, Zn, P и As, Ba, Mo, что может быть вызвано породным фактором: первая ассоциация сосредоточена на средних вулканических породах хетаны (участок Эмми и запад-северо-запад участка Людмила), вторая же – в кислых вулканитах уракской свиты (участки Елена, Тамара, Лариса, Юго-восток участка Людмила).

Факторный анализ (Табл. 5.2.2.4) участка Елена выделяет четыре ассоциации элементов: фактор 1 – P, La, Mg, Sc, Mn, Zn, Sr, Co, Si; фактор 2 – As, Sb, Hg, Pb, Cu, U, (Mo, W); фактор 3 – Ni, Cr, Co, Ti, V, Zn, Mn; фактор 4 – Ag, Au, Bi.

Ассоциация фактора 4 – Ag, Au, Bi – точно фиксирует положение промышленной рудной залежи участка. Ассоциация элементов фактора 3 – Ni, Cr, Co, Ti, V, Zn, Mn – образует фронтальную зону участка, вмещающего оруденение. Ассоциация Ф2 – As, Sb, Hg, Pb, Cu, U, (Mo, W) – приурочена к зонам максимального гидротермально-метасоматического преобразования пород и образуется совместно с так называемым литокапом, вмещающим оруденение. А геохимическая ассоциация фактора 1 – P, La, Mg, Sc, Mn, Zn, Sr, Co, Si – фиксирует в фронтальную зону концентрирования в наименее изменённых породах (рис. 4.2.2.4).

В результате обработки геохимических данных детальной литохимической съемки ранговым корреляционным анализом определена взаимосвязь в поведении элементов. На основе факторного анализа

установлены рудные ассоциации элементов. С помощью кластер-анализа также выделены ассоциации элементов и «рудные» пробы, характеризующиеся различной геохимической специализацией и, за редким исключением, приуроченные к известным рудным участкам.

Таблица 4.2.2.4

Матрица факторных нагрузок участка Елена

Элемент	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3	Фактор 4
Au	-0.05	0.02	0.14	**0.89**
Ag	-0.04	0.03	0.06	**0.91**
Al	0.33	0.02	0.00	0.18
As	-0.20	**0.84**	0.12	0.07
B	-0.18	-0.06	0.08	-0.05
Ba	0.00	0.14	-0.17	0.18
Bi	0.03	0.01	-0.05	**0.43**
Ca	0.04	-0.01	-0.11	-0.02
Cd	0.02	0.37	-0.04	-0.03
Co	**0.54**	0.08	**0.70**	-0.05
Cr	-0.09	0.11	**0.86**	0.05
Cu	0.13	**0.62**	0.24	-0.03
Fe	0.11	0.22	-0.05	-0.07
Hg	0.02	**0.82**	-0.04	0.00
K	-0.06	0.04	0.07	0.08
La	**0.69**	-0.11	0.05	-0.06
Mg	**0.68**	-0.07	0.34	-0.03
Mn	**0.66**	-0.09	**0.58**	-0.07
Mo	-0.28	0.39	0.26	0.08
Na	-0.08	0.06	0.01	0.06
Ni	-0.08	0.01	**0.87**	0.07
P	**0.75**	0.17	-0.03	-0.08
Pb	-0.02	**0.82**	-0.01	0.15
Sb	-0.11	**0.83**	0.01	0.30
Sc	**0.66**	-0.05	0.22	-0.04
Si	**0.41**	-0.02	-0.19	0.03
Sr	**0.57**	0.19	-0.29	-0.08
Ti	0.22	-0.08	**0.70**	0.03
U	0.26	**0.43**	0.13	-0.03
V	0.19	0.28	**0.69**	-0.05
W	-0.35	0.32	0.28	-0.03
Zn	**0.65**	-0.07	**0.60**	-0.11
Общ.дис.	4.18	3.98	4.28	2.08
Доля общ	*13%*	*12%*	*13%*	*7%*

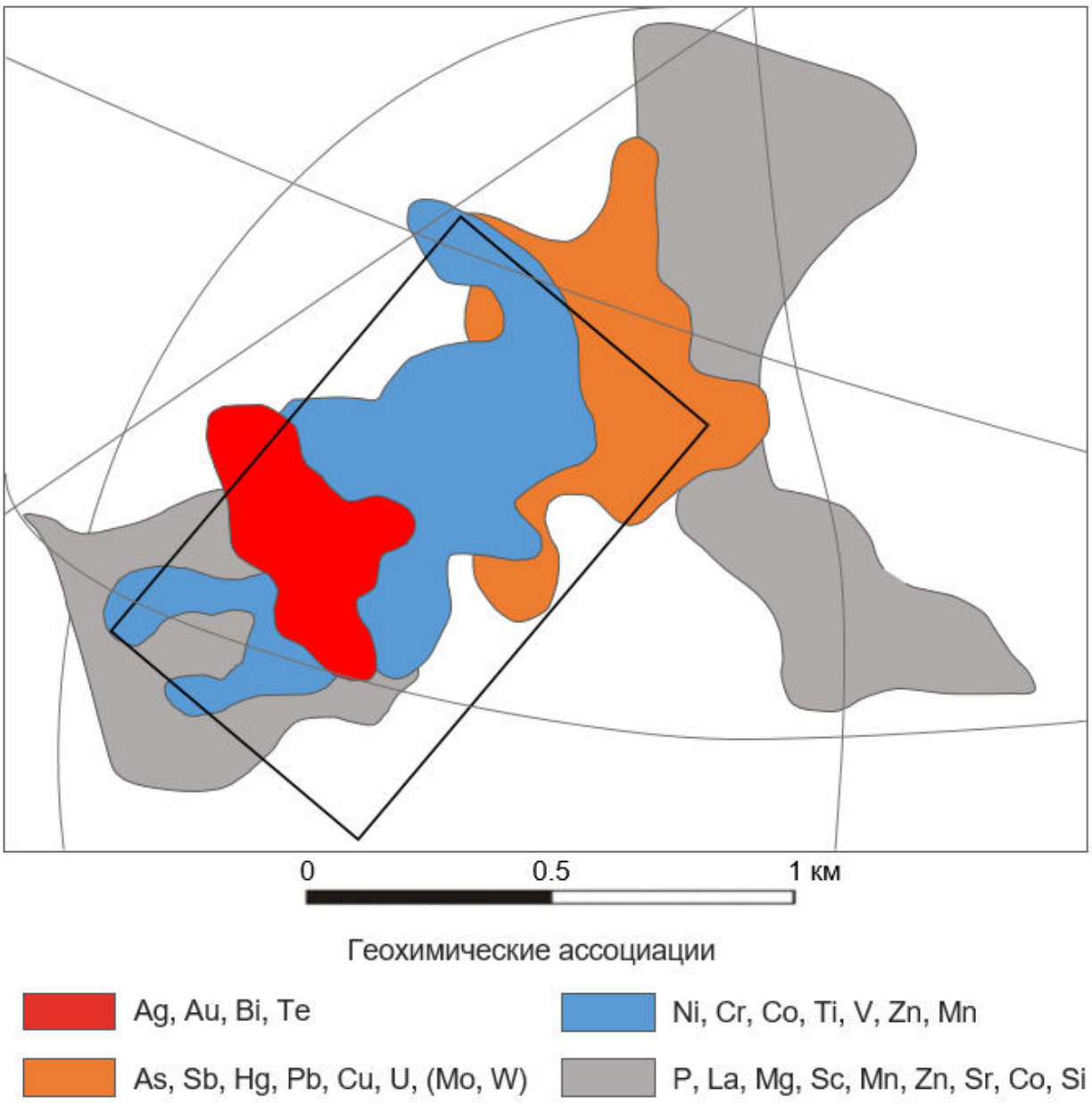


Рис. 4.2.2.4 Карта распределения геохимических ассоциаций по результатам факторного анализа участка Елена (масштаб 1 : 10 000)

4.3. Геохимическая модель уровня рудного тела

В качестве эталонного объекта для обработки геохимических данных по первичным ореолам рассеяния был выбран участок Елена. База данных насчитывает 2462 пробы по 37 скважинам. Методом ICP-MS в каждой пробе было проанализировано 69 элементов, из которых наиболее полно определены: *золото, серебро, сурьма, мышьяк, молибден, свинец, медь, селен, барий, кобальт, хром, никель, ванадий, цинк, стронций, железо, марганец,*

алюминий, калий, натрий, фосфор, сера. Кроме выше перечисленных элементов по *висмуту, теллуру, скандию и цирконию* также были построены карты распределения концентраций (текст. прил. 38–63).

Из 37 скважин, по которым проведено геохимическое опробование, 9 расположены на разведочном профиле 7500. Именно поэтому он был выбран для отображения результатов обработки геохимических данных методами математической статистики.

По результатам рангового корреляционного анализа (табл.4.3.1) установлено, что значимую положительную связь с распределением *золота* имеют *серебро, хром, никель, сурьма, марганец, барий, молибден, медь, селен, железо, кобальт*. Отрицательной взаимосвязью характеризуются *алюминий, цинк, калий, фосфор, натрий, сера, свинец.*

Для определения ассоциаций элементов, ведущих себя идентично в первичных ореолах рассеяния участка Елена, был проведен факторный анализ (табл. 4.3.2). Установлено 4 ассоциации элементов: 1) V, As, P, Fe, Mo, Pb, Sr, Sb, Cu; 2) Cr, Ni, Mn; 3) K, Na, Al, Co, Zn и Ba; 4) Au, Ag, Se, Sb, вносящих 49 % вклад в общую дисперсию факторов.

Таблица 4.3.1

Ранговые коэффициенты корреляции между элементами по результатам геохимического опробования скважин участка Елена (n=2462, p=0,05, $r_{крит}$=0,04)

Элемент	Au	Ag	Al	As	Ba	Co	Cr	Cu	Fe	K	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Sb	Se	Sr	V	Zn
Au	1,00																					
Ag	0,69	1,00																				
Al	-0,45	-0,30	1,00																			
As	0,01	0,08	0,11	1,00																		
Ba	0,27	0,18	-0,29	0,32	1,00																	
Co	0,05	0,12	0,14	-0,10	-0,32	1,00																
Cr	0,43	0,29	-0,30	-0,22	0,04	0,21	1,00															
Cu	0,20	0,25	0,02	0,35	0,03	0,36	0,16	1,00														
Fe	0,11	0,14	0,11	0,39	0,10	0,26	0,30	0,63	1,00													
K	-0,37	-0,23	0,54	-0,18	-0,59	0,31	-0,06	-0,19	-0,06	1,00												
Mn	0,29	0,20	-0,13	-0,22	-0,02	0,38	0,74	0,00	0,23	0,20	1,00											
Mo	0,24	0,17	-0,24	0,38	0,39	-0,11	0,45	0,33	0,47	-0,38	0,25	1,00										
Na	-0,17	-0,12	0,23	-0,18	-0,22	0,29	0,24	-0,02	0,08	0,49	0,28	0,00	1,00									
Ni	0,41	0,29	-0,23	-0,27	-0,05	0,30	0,90	0,10	0,26	0,04	0,81	0,35	0,29	1,00								
P	-0,26	-0,21	0,30	0,54	0,27	-0,16	-0,33	0,06	0,22	0,14	-0,22	0,12	0,06	-0,37	1,00							
Pb	-0,04	0,01	0,08	0,48	0,33	-0,10	-0,28	0,09	0,13	-0,03	-0,16	0,15	-0,08	-0,32	0,49	1,00						
S	-0,08	0,09	0,31	-0,11	-0,45	0,22	-0,21	-0,07	-0,04	0,43	-0,07	-0,29	0,20	-0,08	-0,14	-0,10	1,00					
Sb	0,37	0,40	-0,39	0,48	0,33	-0,05	0,03	0,32	0,23	-0,41	-0,08	0,38	-0,21	-0,04	0,16	0,33	-0,09	1,00				
Se	0,16	0,21	-0,12	0,28	0,16	-0,06	0,13	0,04	0,12	-0,15	0,02	0,25	0,17	0,11	0,04	0,13	0,24	0,33	1,00			
Sr	-0,01	-0,04	0,33	0,22	0,09	-0,10	0,02	0,16	0,24	0,19	-0,05	0,13	0,14	0,03	0,45	0,24	0,02	0,00	-0,12	1,00		
V	0,00	0,05	0,22	0,60	0,27	-0,15	-0,04	0,47	0,59	-0,12	-0,12	0,35	0,00	-0,10	0,54	0,29	-0,22	0,23	0,15	0,40	1,00	
Zn	-0,41	-0,32	0,39	0,31	-0,06	0,24	-0,42	0,21	0,16	0,15	-0,22	-0,10	-0,05	-0,47	0,32	0,34	-0,12	-0,02	-0,11	-0,11	0,19	1,00

Таблица 4.3.2

Матрица факторных нагрузок

Элемент	**Фактор 1**	**Фактор 2**	**Фактор 3**	**Фактор 4**
Au	0,02	0,03	-0,04	**0,83**
Ag	-0,04	0,12	0,02	**0,84**
Sb	**0,40**	-0,01	-0,21	**0,58**
As	**0,76**	-0,10	-0,13	0,18
Mo	**0,58**	0,12	-0,26	0,03
Pb	**0,58**	-0,13	-0,12	0,13
Cu	**0,36**	0,17	0,23	0,31
Se	0,24	0,00	-0,09	**0,60**
Ba	0,26	0,30	**-0,41**	0,01
Co	0,10	0,15	**0,46**	0,19
Cr	-0,05	**0,88**	-0,05	0,07
Ni	0,01	**0,87**	-0,11	0,05
V	**0,78**	0,01	0,01	0,00
Zn	0,17	-0,14	**0,43**	-0,02
Sr	**0,45**	-0,09	0,13	-0,07
Fe	**0,65**	0,35	0,13	0,13
Mn	0,01	**0,77**	0,18	0,02
Al	0,14	-0,04	**0,54**	0,00
K	-0,08	-0,10	**0,78**	-0,13
Na	-0,01	0,22	**0,60**	-0,06
P	**0,67**	-0,16	0,23	-0,10
S	-0,03	-0,02	0,19	0,03
Вклад в %	*16*	*12*	*10*	*11*

* – жирным шрифтом выделены факторные нагрузки элементов, вносящие основной вклад в соответствующий фактор

Ассоциация элементов 2 фактора ограниченно распространена по периферии минерализованной зоны (рис. 4.3.1). Она, очевидно, отражает наличие слабо измененных пород – породный фактор. Ассоциация элементов 3 фактора связана с процессами аргиллизации пород уракской свиты (K_2ur), а также, вероятно, с ее переотложением на периферии минерализованной зоны. Повышенные значения 1 фактора распространены в центральной и краевой части минерализованной зоны. Данная ассоциация характеризует наиболее раннюю рудную стадию гидротермально-метасоматического процесса. Наибольшей нагрузкой на 4 фактор характеризуются основные рудные

элементы – золото и серебро, а также селен и сурьма, отложившиеся в более позднюю стадию рудного процесса. Повышенные значения фактора приурочены к центральной зоне рудообразования и характеризуют наиболее богатые золотые руды.

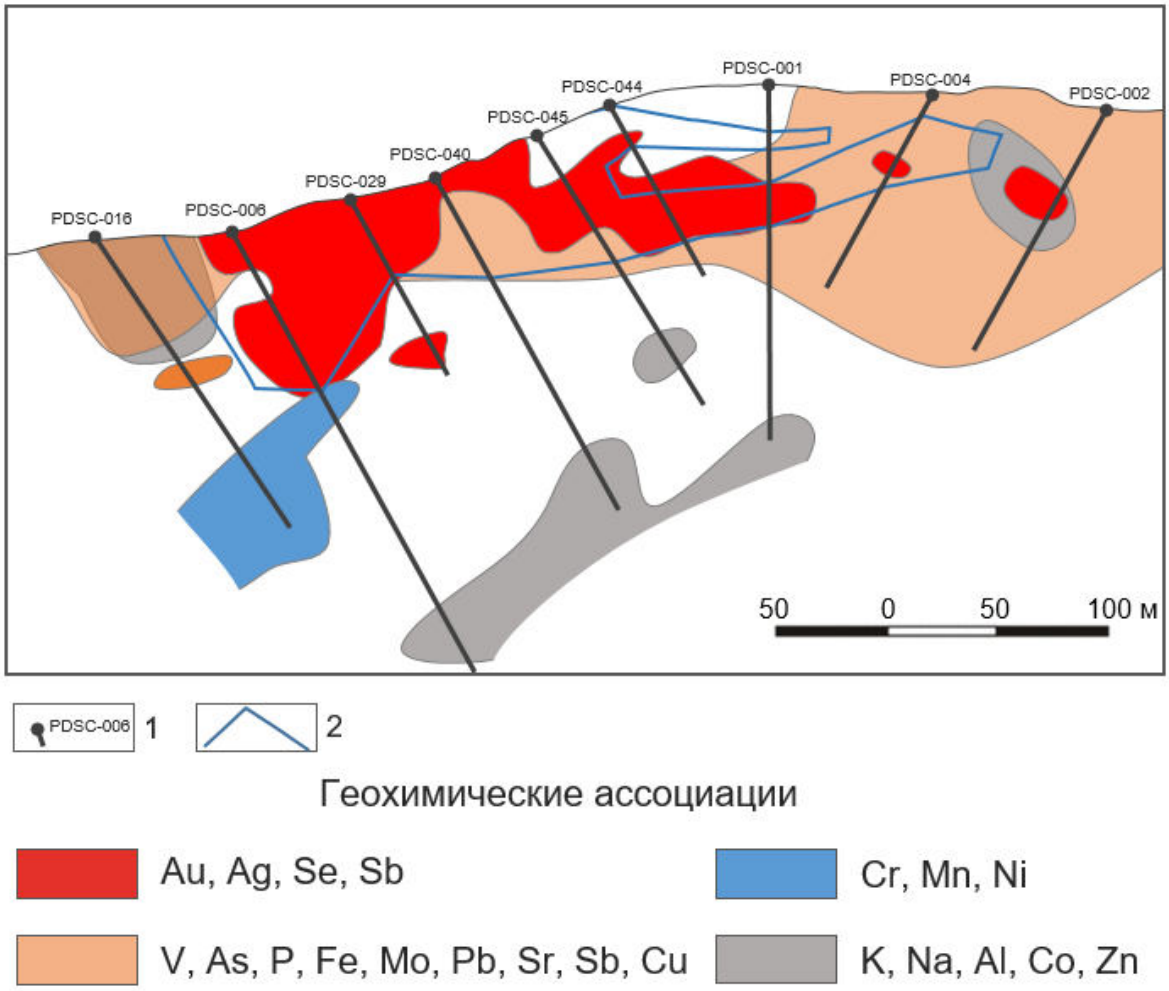


Рис. 4.3.1. Карта распределения геохимических ассоциаций по результатам факторного анализа по разведочной линии 7500 (масштаб 1:5 000). 1 – скважина и её номер; 2 – контур рудного блока по бортовому содержанию золота 0.5 г/т.

Кластер-анализ по переменным (элементам) был проведен по 22 элементам (рис. 4.3.2). Элементы образовали следующие ассоциации: 1. *Ni, Cr, Mn;* **2.** *Na, K, Zn, S;* **3.** *Cu, Co; Pb, As, Sb, Mo, Ba;* **4.** *V, Fe, P, Sr, Al;* **5.** *Au, Ag, Se*.

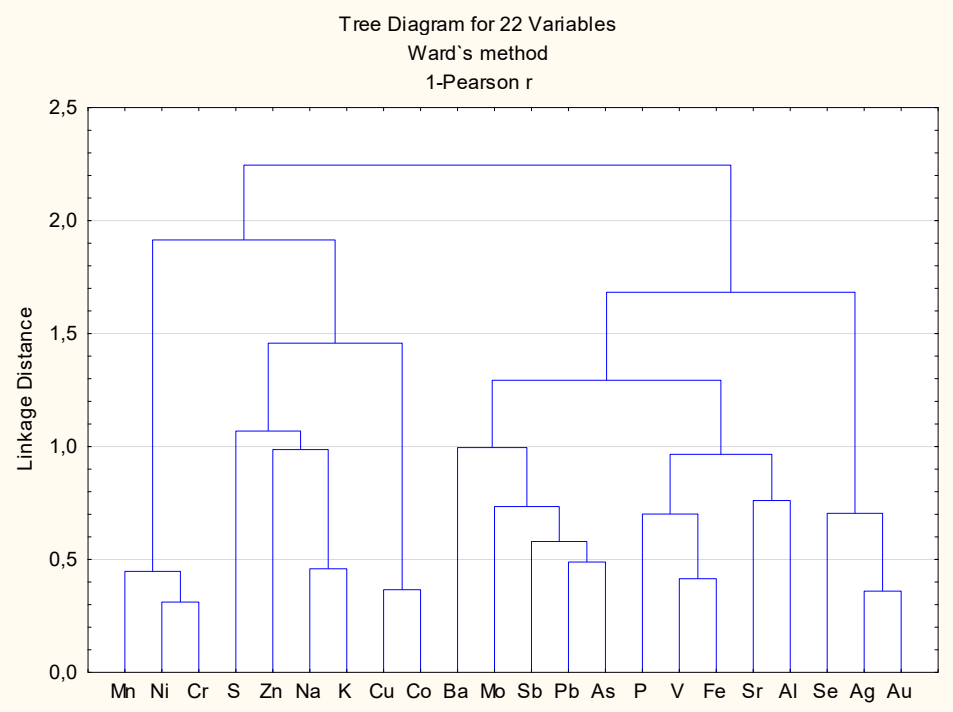


Рис. 4.3.2 Результаты кластер-анализа переменных по первичным ореолам рассеяния участка Елена (n=2462)

Методом К-средних наблюдения (пробы) были разбиты на 8 кластеров (табл. 4.3.3). Предварительно содержание каждого элемента нормировалось на среднее геометрическое, рассчитанное по участку Елена.

В разведочной линии 7500 кластер 1 пространственно совпадает с наиболее высокими содержаниями золота (Рис. 4.3.2). Он имеет следующую геохимическую специализацию: *Au* (**137**), *Ag* (**49**), *Sb* (**47**), *Ni* (**12**), *As* (**10**), *Se* (**8,1**), *Ba* (**5,7**), *Mo* (**5,4**).

Кластеры 2 и 8 характеризуются аномально высокими содержаниями *золота* и *серебра*, а кластер 3 – высоким содержанием *серы*. Все три кластера отсутствуют в пределах разведочной линии 7500, а количество проб в них входящих очень ограничено (n=20).

Пробы 4 кластера присутствуют в пределах участка Елена в ограниченном объеме (чуть более 5 %), а в разрезе 7500 установлено 3 пробы

в скважине PDSC-006. Кластер имеет специализацию на *Ni* (**60**), *Au* (**12**), *Ag* (**8,2**), *Mo* (**7,8**), *Cr* (**7,8**), *Mn* (**7,4**), *Sb* (**6,1**), *Ba* (**5,8**).

Пробы 5 кластера входят в контур рудного тела, т.е. являются типичными рудными пробами, и характеризуются следующими концентрациями элементов: *Ag* (**39**), *Au* (**37**), *Sb* (**23**), *Ni* (**9**), *Se* (**5,8**), *Ba* (**5,3**), *As* (**5,2**), *Mo* (**4,6**), *Cr* (**4,4**).

Пробы 7 кластера с субфоновыми содержаниями элементов имеют наибольшее распространение в зоне вторичных кварцитов за пределами промышленного оруденения.

Таблица 4.3.3

Геохимические спектры кластеров по первичным ореолам рассеяния участка Елена

Элемент	Кластер 1	Кластер 2	Кластер 3	Кластер 4	Кластер 5	Кластер 6	Кластер 7	Кластер 8
Au	**137**	**382**	2,2	**12**	**37**	0,6	**4,1**	**1129**
Ag	**49**	**234**	**4,7**	**8,2**	**39**	0,6	3,1	**1664**
Sb	**47**	**105**	2,7	**6,1**	**23**	0,9	**4,2**	**16**
As	**10**	**10**	2,3	1,4	**5,2**	1,9	2,0	**6,9**
Mo	**5,4**	**22**	0,9	**7,8**	**4,6**	0,7	3,0	**7,3**
Pb	2,6	2,9	0,9	1,1	2,1	1,4	1,1	2,8
Cu	1,2	**7,1**	0,8	0,8	1,3	0,9	1,0	3,9
Se	**8,1**	**12**	2,2	1,8	**5,8**	0,4	1,9	**76**
Ba	**5,7**	**4,2**	1,0	**5,8**	**5,3**	1,2	2,5	3,1
Co	1,7	3,0	2,5	1,6	2,0	**3,5**	1,6	**7,4**
Cr	2,3	**6,0**	0,7	**7,8**	**4,4**	0,8	1,6	**4,3**
Ni	**12**	**33**	**11,1**	**60**	**9,0**	1,3	3,5	**27**
V	2,0	4,0	2,0	1,7	2,0	1,5	1,6	2,3
Zn	1,5	1,8	1,1	0,2	1,3	**10**	1,5	0,2
Sr	0,8	1,0	1,4	0,6	0,9	0,8	0,8	1,0
Fe	2,1	**4,2**	1,3	2,0	2,0	1,3	1,3	2,0
Mn	2,8	**6,9**	2,0	**7,4**	3,1	3,2	1,5	3,4
Al	0,3	**4,4**	2,9	0,2	0,8	2,4	1,0	0,3
K	0,4	0,6	**6,4**	0,4	0,5	**5,8**	1,2	0,4
Na	1,3	1,7	3,5	2,8	1,5	**4,4**	1,6	3,0
P	1,2	1,0	2,1	0,4	1,0	2,8	1,1	0,4
S	2,8	0,9	**249**	0,4	1,2	2,5	1,4	0,5

* – жирным шрифтом выделены содержания элементов, вносящие основной вклад в кластеры

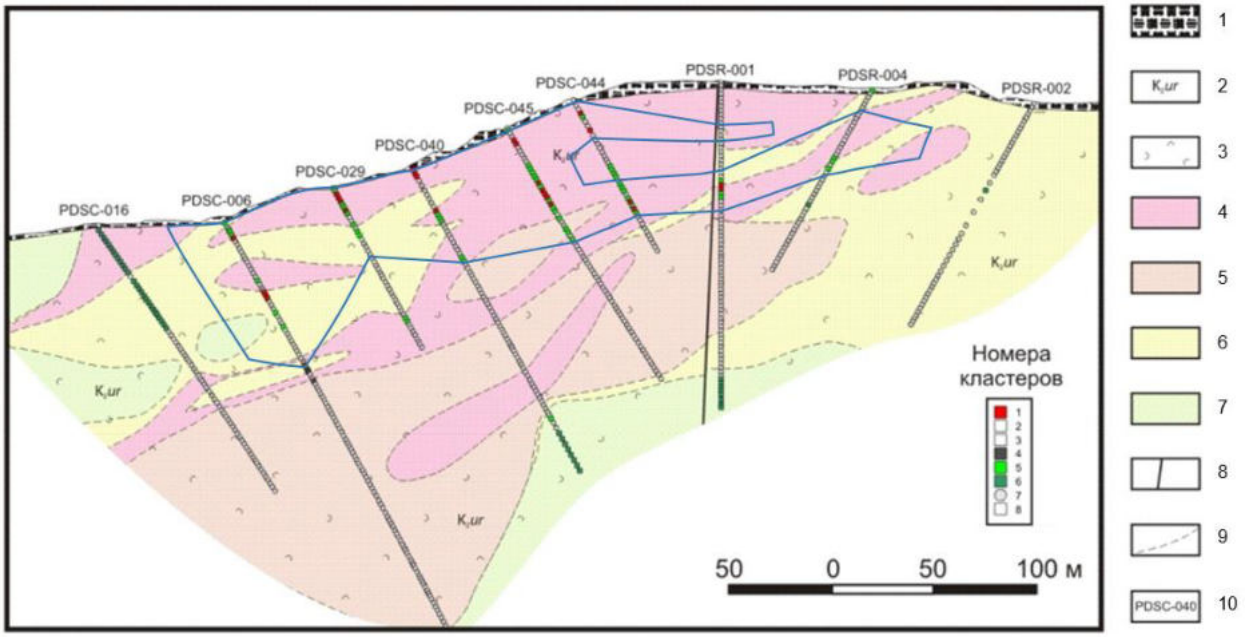


Рис. 4.3.2. Карта распределения кластеров по разведочной линии 7500 (масштаб 1:5 000). 1 – Четвертичная система. Делювиальные, пролювиальные, солифлюкционные отложения. Суглинки, пеки, щебень, глыбы; 2 – Уракская свита. Лавы, туфы, игнимбриты дацитов; 3 – Вулканические туфы; 4 – Монокварциты (кварца>90%); 5 – Кварциты алунитовые (кварца 50-90%); 6 – Дацит-каолинитовые, дацитовые кварциты (кварца от 50-90%); 7 – Иллитовые, пирит-иллитовые (кварца<50%); 8 – Разрывные нарушения; 9 – Геологические границы фаций метасоматитов; 10 – Наименование скважин.

Геохимический спектр кластера 6, представленный повышенными содержаниями *Zn* (**10**), *K* (**5,8**), *Na* (**4,4**), *Co* (**3,5**), отражает зону аргиллизации по породам уракской свиты.

Таким образом, кластер-анализом выделены ассоциации элементов, образовавшиеся в процессе гидротермально-метасоматического рудообразования.

Методом К-средних в пределах разведочной линии 7500 установлены группы проб, характеризующие рудную зону – кластеры 1 и 5, зону субфоновых концентраций элементов (вторичных кварцитов) – кластер 6, зону аргиллизации – кластер 7, а также пробы с высоким содержанием никеля и ряда других элементов – кластер 4.

На основании обработки геохимических данных по первичным ореолам рассеяния участка Елена ранговым корреляционным анализом оценена взаимосвязь между проанализированными элементами. По результатам факторного анализа выявлены ассоциации элементов, связанные с предрудной и рудной стадиями гидротермально-метасоматического процесса. Кластер-анализ переменных позволил выделить группы элементов, а метод К-средних – «рудные» пробы, а также пробы, относящиеся к различным фациям метасоматитов – аргиллизитам и вторичным кварцитам.

4.4. Обобщенная геохимическая модель золоторудного поля Светлое

В результате обработки данных крупномасштабной (1:50000) и детальной (1:10000) литохимических съемок построена *рабочая* модель аномального геохимического поля Светлое (рис. 4.4.1). Установлено, что во вторичном геохимическом поле ассоциации элементов образуют концентрически-зональную структуру с последовательной пространственно-временной сменой геохимических ассоциаций (от периферии к центральной зоне рудообразования): *Co, Cr, Mn, V, Zn, P → K, Na, Al → Au, Ag, Pb, Sb → Au, As, Mo, Ba.*

Наиболее ранняя предрудная *Co, Cr, Mn, V, Zn, P* геохимическая ассоциация образована в одну из ранних стадий метасоматического преобразования пород. Ассоциация макроэлементов *K, Na, Al* связана с процессом образования вторичных кварцитов и ее вытеснением на периферию зон рудообразования. С ранней стадией процесса рудообразования связана *Au, Ag, Pb, Sb* геохимическая ассоциация, контролирующая зоны рудной минерализации. *Au, As, Mo, Ba* ассоциация приурочена к рудным зонам и характеризуется крупными площадными ореолами, что, очевидно, обусловлено особенностью поведения элементов в зоне гипергенеза.

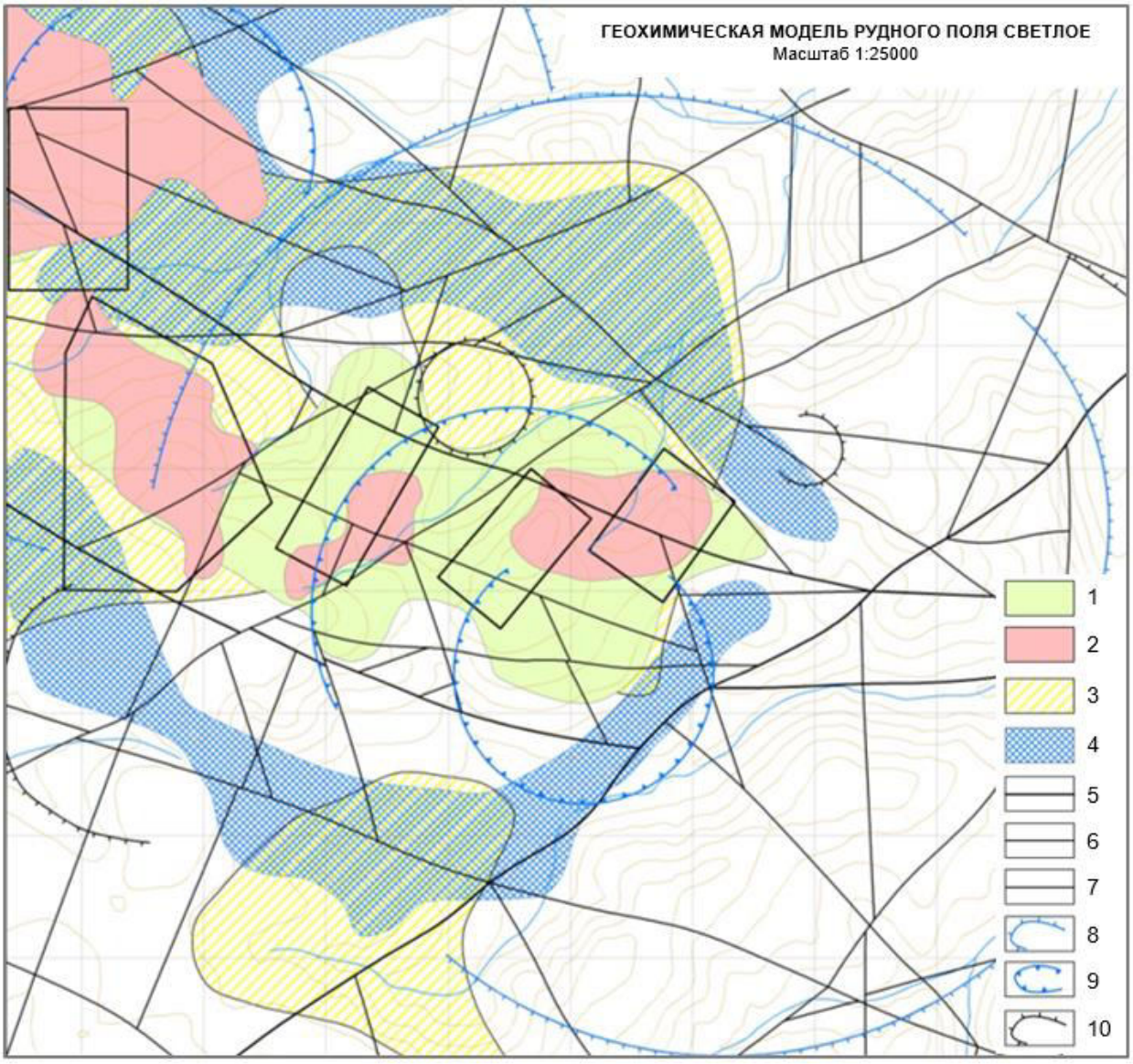


Рис. 4.4.1. Рабочая обобщенная модель аномального геохимического поля Светлое. 1 – 4 – Геохимические ассоциации: 1 – Au, As, Ba, Mo; 2 – Au, Ag, Pb, Sb; 3 – K, Al, Na (вынос); 4 – Co, Cr, Mn, V, Zn, P; 5 – 7 – Разрывные нарушения: 5 – Региональные; 6 – Крупные; 7 – Прочие; 8 – 9 – Палеовулканы: 8 – С выраженной кальдерой проседания; 9 – Положение кальдеры проседания; 10 – Прочие.

Таким образом, проведенные исследований позволяют сформулировать **второе защищаемое положение. В масштабах рудного тела распределение ассоциаций элементов первичного геохимического поля имеет концентрически-зональное строение, выражающееся в последовательной**

смене геохимических ассоциаций (от тыловой зоны к фронтальной): Au-Ag-Se-Sb → V-As-P-Fe-Mo-Pb-Sr-Sb-Cu → K-Na-Al-Co-Zn-Ba →Cr-Ni-Mn.

На уровне месторождений в кислых породах устанавливается последовательность формирования геохимических ассоциаций (от центральной части к периферии): Au, Ag, Bi, Te → Ni, Cr, Co, Ti, V, Zn, Mn → As, Sb, Hg, Pb, Cu (Mo, W) → P, La, Mg, Sc, Mn, Zn, Sr, Co, Si.

Рудное поле фиксируется концентрически-зональной структурой с пространственной сменой геохимических ассоциаций (от центральной зоны рудообразования к периферии): Au (Mo) → Au, Ag, Pb → K, Na, Al → V, Zn, (Co, Ni, Cr, Mn, P).

ГЛАВА 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНОГО И ГЕОХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА УЧАСТКОВ ДЮЛЬБАКИ, АЛЯДАКАН, БОЛЬШАЯ ХОЛИ.

Для формирования и закрепления прогнозно-поискового комплекса и геолого-поисковой модели была проведена работа по прогнозированию и поиску аналогичных объектов в окрестностях рудного поля Светлое, включающая геолого-структурный анализ на данных дистанционного зондирования и анализ геохимических данных, полученных при полевых рекогносцировочных и систематичных поисковых работах.

На основании геолого-структурного анализа по данным дистанционного зондирования можно заключить, что полного аналога рудного поля Светлое в пределах радиуса 100-150 км от рудного поля района нет.

Перспективными участками могут или могли (прошедшее время определено после полевых заверочных работ) выступать – Дюльбаки, Алядакан и Большая Холи (рис. 5.1). Ниже приведена характеристика перспективных участков. На всех выделенных участках проведены заверочные полевые работы различной детальности, среди которых Дюльбаки является самым изученным, а Большой Холи – наименее.

5.1. Участок Дюльбаки

Участок Дюльбаки находится в 40 км к северо-востоку от месторождения Светлое и приурочен к Дюльбакинскому разлому мантийного заложения и одноимённой структуре оседания. Стратифицированные отложения участка представлены вулканическими породами верхнемеловых амкинской, хетанинской, уракской свит. В центральной части участка установлена субвулканическая интрузия дацит-риолитового состава.

Породы участка представляет изометричный в плане массив средне-низкотемпературных метасоматитов, равновесных с кислыми растворами, – вторичными кварцитами, аргиллизитами. Наблюдается концентрически-зональное строение массива.

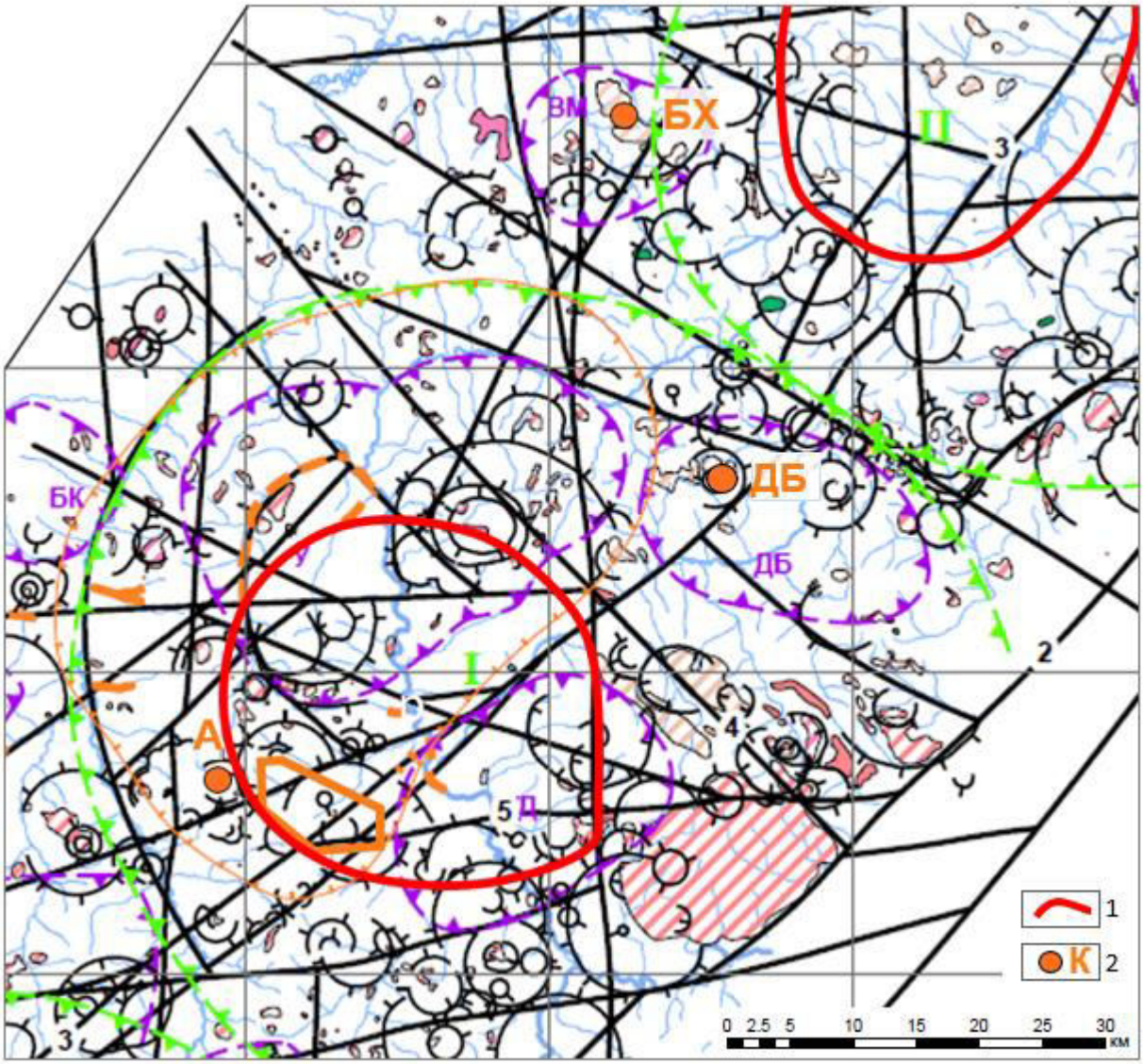


Рис. 5.1. Фрагмент геолого-структурной схемы Среднеульинского рудного района по результатам дешифрирования и геофизических данных: 1 – кольцевые структуры, сопровождающиеся преобладанием тория над калием; 2 – перспективные участки: А – Алядакан, БХ – Большая Холи, ДБ – Дюльбаки. Другие уловные обозначения приведены на рисунке 3.1.1..

Монокварциты развиты в наиболее эродированных участках, приуроченных к дизъюнктивам северо-западного и северо-восточного простирания и эрозионным окнам во врезах ручьев. Преобладают массивные разности, пористые встречаются значительно реже. Породы часто имеют тонкую неравномерную сульфидную вкрапленность, среди которой резко преобладает пирит (образует кристаллы пентагондодекаэдрического габитуса, иногда гнезда изометричной формы). По монокварцитам интенсивно развиты

гидроокислы железа (пятнами по массе и по трещинам отмечаются гематит, лимонит, гётит) вплоть до образования лимонитовых «сухарей». Кварциты алунитовые слагают основную часть массива. Количество сульфидной вкрапленности не превышает 2-3%. Широко развита лимонитизация как по массе, так и по трещинам. Дикит-каолинитовые кварциты развиты участками в центральной части участка, реже по его периферии. Аргиллизиты развиты в краевых частях и линзами в центральной части массива и представлены дикит-каолинитовыми метасоматитами (содержание вторичного кварца менее50%). Пропилиты хлоритовой фации отмечаются на периферии массива, развиты по андезитам, трахиандезитам и туфам хетанинской свиты верхнего мела.

По всему участку измененных пород установлена повышенная кислотность подземных вод, аналогичная месторождению Светлое.

5.1.1. Аэрогеофизические данные

Аэромагнитное поле. Оба участка приурочены к площадям слабо дифференцированного магнитного поля, образующего кольцевые структуры среднего порядка (рис. 5.1.1.1). При этом на Дюльбакинской площади проявлена субвулканическая жерловая интрузия, выражающаяся резко дифференцированным магнитным полем.

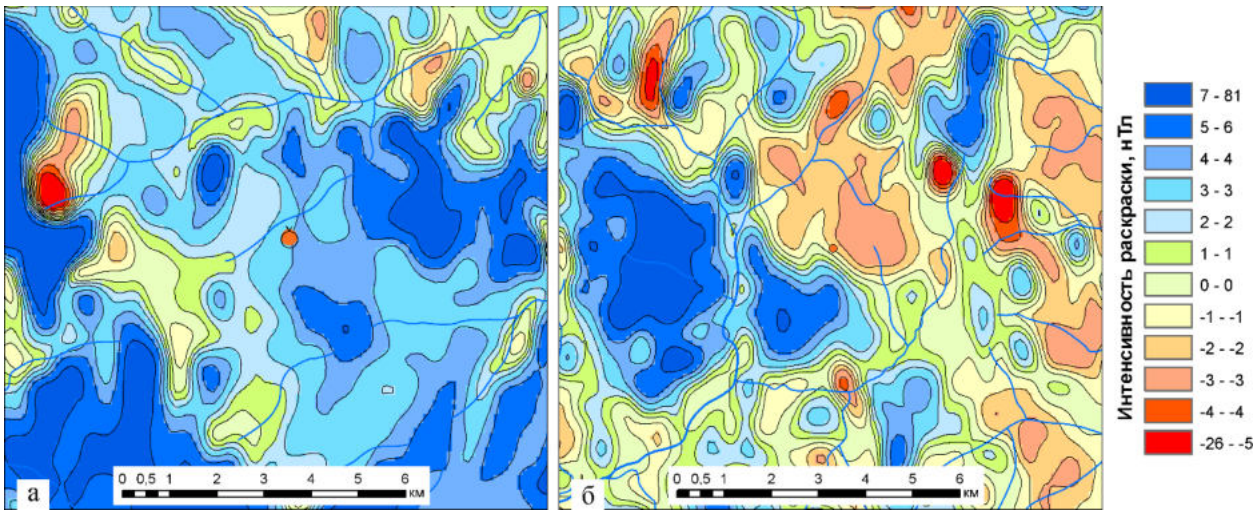


Рис. 5.1.1.1. Проявление рудного поля Светлое (а) и Дюльбакинской площади (б) в аэромагнитном поле

Естественные радиоактивные элементы и их отношения. Для площадей развития монокварцитов и алунитовых кварцитов характерны низкие значения поля K. Рудное поле Светлое лежит в области низких значений поля K (рис. 5.1.1.2). Участок Дюльбаки характеризуется низкими и средними значениями поля K.

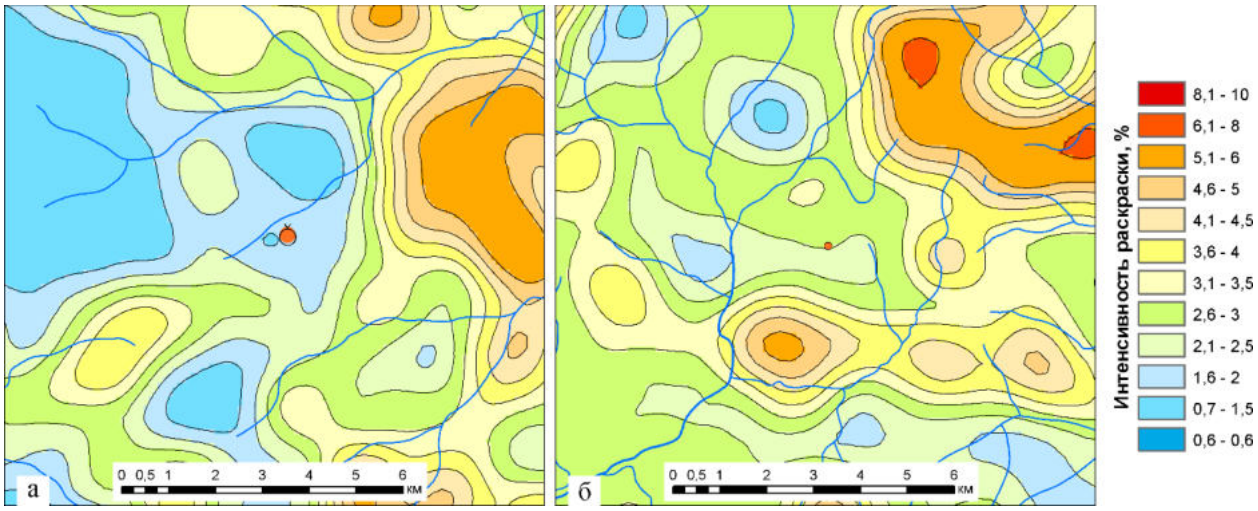


Рис. 5.1.1.2. Проявление рудного поля Светлое (а) и Дюльбакинской площади (б) в поле K

Закономерности положения рудного поля Светлое и Дюльбакинской площади в поле K/Th отношения показано на рисунке 5.1.1.3. Приуроченность рудоносных площадей к аномалиям естественных радиоактивных элементов, а именно K/Th отношения, может быть объяснено с двух позиций: 1) если вмещающий субстрат имел преимущественно натровый состав, то отношение будет смещаться в сторону тория (непосредственно тип Светлого), в противном случае – в сторону калия; 2) поведения K и Th в суперкислых гидротермальных растворах различны – K выносится из зон метасоматоза, Th, как инертный элемент, устойчив.

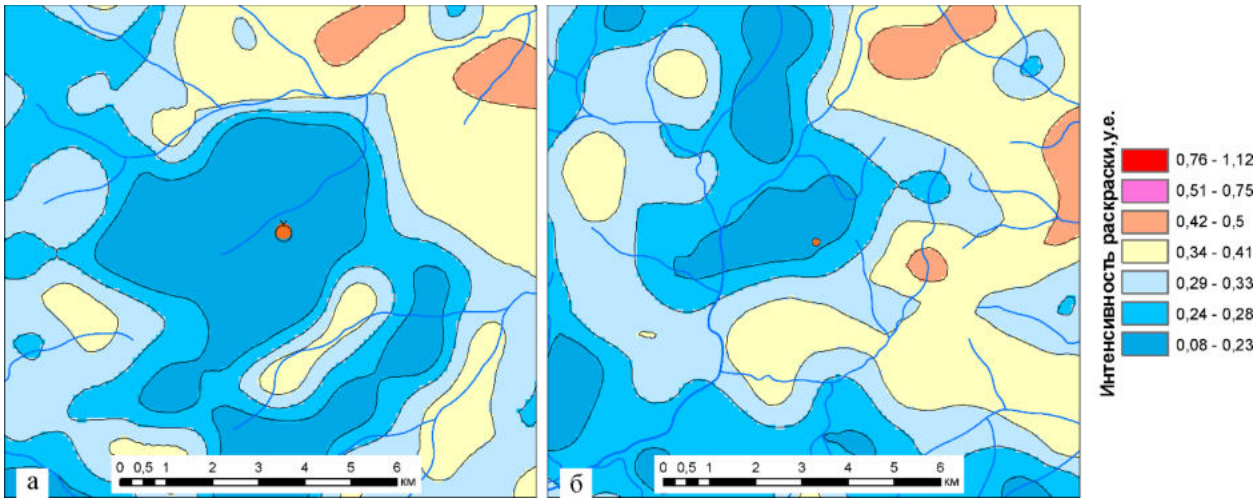


Рис. 5.1.1.3. Проявление рудного поля Светлое (а) и Дюльбакинской площади (б) в поле K/Th отношения

Показатель KU/ThTh еще лучше фиксирует площади развития вторичных кварцитов (рис. 5.1.1.4.). K и U в суперкислых гидротермальных растворах весьма подвижны, тогда как Th – относительно устойчив.

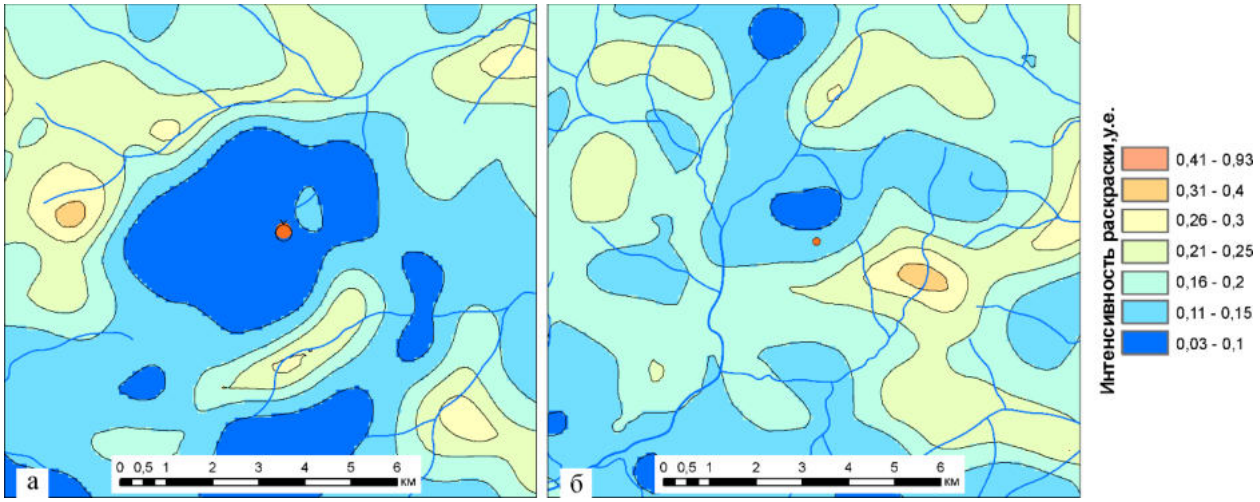


Рис. 5.1.1.4. Проявление рудного поля Светлое (а) и Дюльбакинской площади (б) в поле KU/ThTh отношения

5.1.2. Геолого-структурные особенности по результатам дешифрирования

Промышленные рудные объекты рудного поля Светлое тяготеют к краевым частям кальдер проседания диаметром 2.5-3.5 км. Метасоматиты участка Дюльбаки размещены в краевой части кальдеры проседания диаметром 1.7 км (рис. 5.1.2.1.).

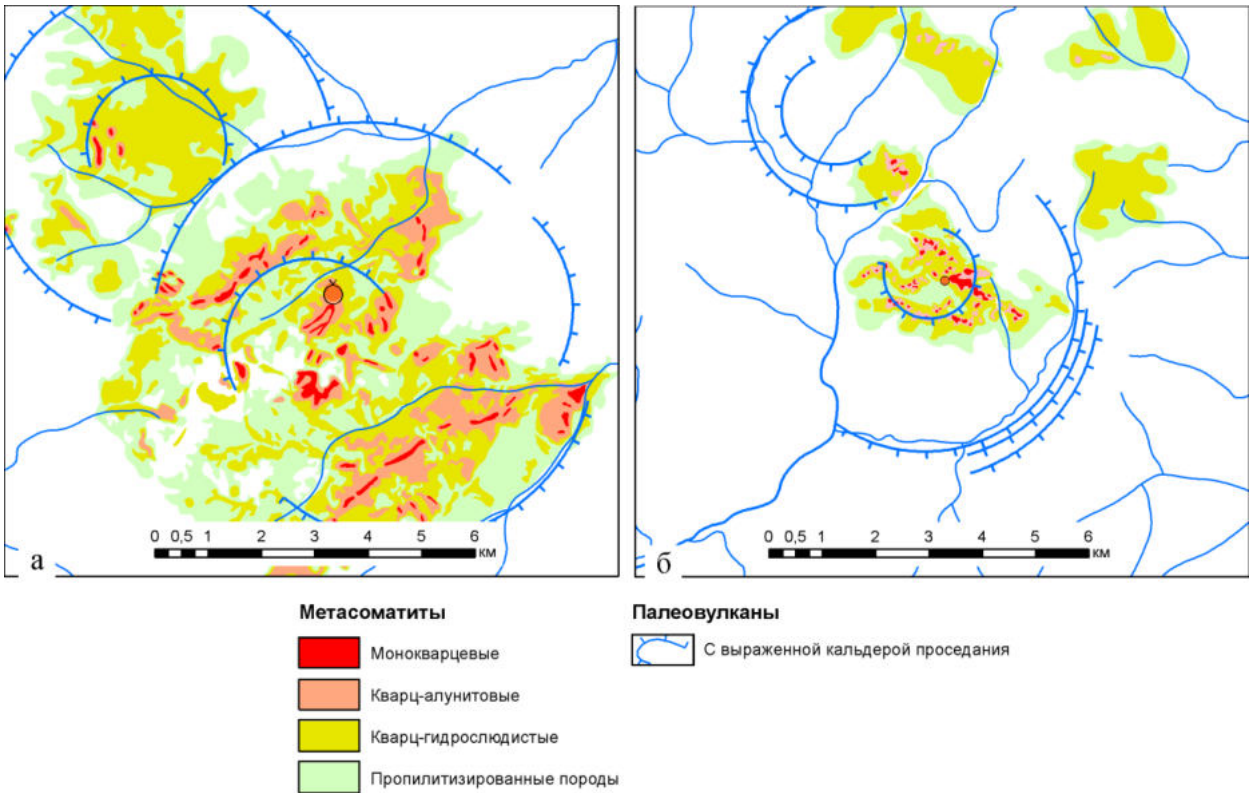


Рис. 5.1.2.1. Положение рудного поля Светлое (а) и Дюльбакинской площади (б) относительно кальдер проседания и дешифрируемых метасоматитов

На обеих площадях, по данным дешифрирования космических снимков ASTER, проявлены монокварцевые, алунитовые вторичные кварциты, кварц-гидрослюдистые аргиллизиты и пропилиты (рис. 5.1.2.2). Обе площади контролируются узлами сопряжения продольных северо-восточных и поперечных северо-западных разрывных нарушений.

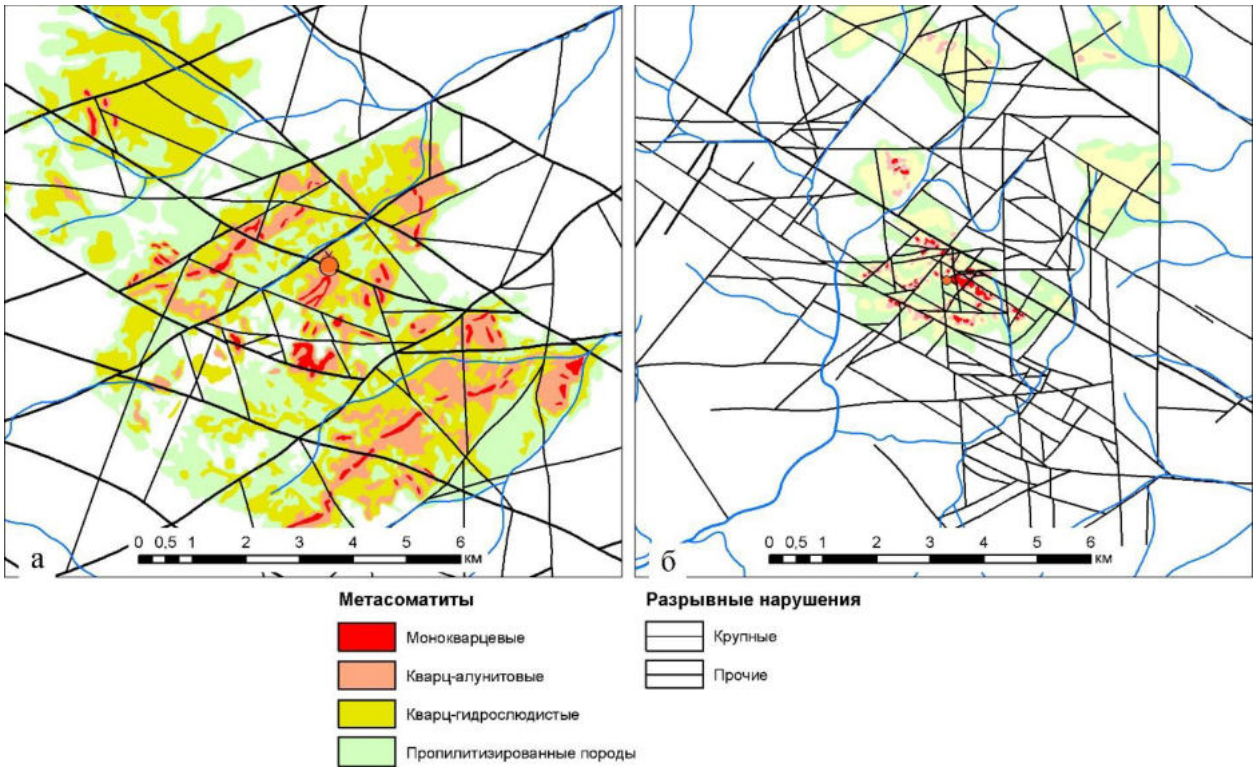


Рис. 5.1.2.2. Положение рудного поля Светлое (а) и Дюльбакинской площади (б) относительно разрывных нарушений и дешифрируемых метасоматитов

Таким образом, по качественным характеристикам Дюльбакинский участок максимально схож с рудным полем Светлое. Однако площади проявления (км^2) характерных аэрогеофизических и метасоматических признаков на Дюльбакинском участке значительно уступают таковым в пределах рудного поля Светлое.

Детальное дешифрирование космических снимков Aster и Sentinel на площадь участка Дюльбаки показало, что он располагается в узле сопряжения северо-восточных и северо-западных разрывных нарушений и приурочен к кальдере проседания палеовулканического аппарата. В кальдере проседания и за ее пределами проявлены вторичные кварциты и аргиллизиты различного состава.

На дешифрируемой площади проявлены продольные и поперечные (по отношению к осевой части Охотско-Чукотского вулканического пояса) разрывные нарушения. Наиболее крупной разрывной структурой является зона Дюльбакинского продольного разлома северо-восточного простирания.

Поперечные разрывные нарушения участка представлены северо-западными субвертикальными разрывами.

К узлам сопряжения продольных и поперечных разрывов приурочены палеовулканические постройки и субвулканические и жерловые интрузии кислого состава. Субвулканические и жерловые интрузии подчеркиваются кольцевыми структурами диаметрами от 0.4 до 3 км.

На площади закартировано две палеовулканические постройки – собственно Дюльбакинская и Тихая (названа по одноименному ручью в северо-восточной части площади), которые выражаются системами телескопированных кольцевых структур диаметрами 1.7-6 км. Обе постройки имеют кальдеры проседания. При этом, в слабо выраженной кальдере проседания палеовулканической постройки Тихая метасоматически измененные породы не фиксируются. Единичные тела слабо проявленных вторичных кварцитов и аргиллизитов вскрываются на склонах и у основания палеовулканической постройки. Как показывает мировой опыт, в метасоматитах склонов и оснований палеовулканических построек сколько-нибудь значимых золоторудных объектов не установлено – обычно это минерализованные точки и рудопроявления. Напротив, в Дюльбакинской палеовулканической структуре метасоматиты проявлены как на склонах, так и в кальдере проседания. Здесь, вторичные кварциты и аргиллизиты полно проявленные и контролируются поперечными разрывными нарушениями. При этом площадь метасоматического ореола на превышает 7 км^2.

5.1.3. Геохимические особенности Дюльбакинской площади

Фактический материал и методика обработки геохимических данных. Проведена обработка геохимических данных литохимической съёмки масштаба 1:10000 по сети 100×20 м, выполненной в 2018 году ООО «Светлое». Было отобрано 2564 пробы, не считая контрольных, которые были проанализированы методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмы (ICP-MS) на 69 элементов. Из геохимического спектра

проанализированных элементов было выбрано 15, характеризующихся наибольшей представительностью результатов определения содержаний: золото, серебро, молибден, висмут, олово, кобальт, вольфрам, медь, свинец, ванадий, мышьяк, сурьма, хром, цинк, фосфор. При обработке данных использованы методы многомерной статистики: факторный и кластерный анализы. Построены схемы распределения элементов и комплексных показателей (КП).

Расчет фоновых и минимально-аномальных концентраций элементов. На основе критерия Пирсона установлено, что распределение содержаний элементов не отвечает нормальному закону. В связи с этим обработка геохимических данных проводилась методами многомерной статистики, а расчёты минимально-аномальных концентраций с использованием выражения для логнормального закона распределения. Расчет фоновых и аномальных значений проведен согласно инструкции [Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений, 1983] (табл. 5.1.3.1). Для определения фоновых концентраций элементов по каждому из них была составлена отдельная выборка без учета явно «выпадающих» содержаний. Фоновые содержания элементов определялись как среднее геометрическое. За основу расчёта минимально-аномальных значений была взята формула:

$$X_{\text{аном.}} > \widetilde{X} * \varepsilon^{\sqrt[3]{m}},$$

где $\widetilde{X}$ – фоновое значение концентрации элемента, ε – стандартный множитель, m – количество рядом расположенных (коррелирующихся) аномальных точек. Максимальное значение m равно 9; если $m > 9$, принимаем $m = 9$.

Таблица 5.1.3.1

Фоновые и минимально-аномальные значения для 1-9 коррелирующихся точек

Элемент	Фон, $\widetilde{X}$	Станд. множ., ε	Минимально-аномальное содержание для m коррелирующихся точек, в n×10^{-4} % (Au, мг/т)								
			m=1	m=2	m=3	m=4	m=5	m=6	m=7	m=8	m=9
Au	3	2.3	37	18	13	10	9.2	8.3	7.7	7.3	6.9
Ag	0.1	1.6	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Mo	3.2	2.0	26	14	11	9.1	8.1	7.5	7.0	6.7	6.4
Bi	3.6	1.6	15	9.8	8.1	7.3	6.8	6.4	6.1	5.9	5.8
Sn	2.0	1.4	5.5	4.1	3.6	3.3	3.1	3.0	2.9	2.9	2.8
Co	3.5	1.7	17	11	8.8	7.8	7.1	6.7	6.4	6.1	6.0
W	1.8	1.9	12	7.0	5.5	4.7	4.3	4.0	3.7	3.6	3.4
Cu	15.6	1.9	107	61	47	41	37	34	32	31	30
Pb	13.8	1.5	47	33	28	25	24	23	22	21	21
V	84	1.5	284	199	170	154	145	138	133	129	126
As	21.7	1.5	73	51	44	40	37	36	34	33	33
Sb	12.3	1.4	34	25	22	20	19	19	18	18	17
Cr	13	1.6	53	35	29	26	24	23	22	21	21
Zn	89.6	1.6	367	243	202	181	168	159	153	148	143
P	731	1.8	3937	2349	1868	1630	1485	1387	1314	1259	1215

Для всех проанализированных элементов были построены карты распределения содержаний (текст. прил. 27-41).

Структура аномального геохимического поля. С целью расшифровки структуры геохимического поля и выделения групп элементов по схожести поведения в геологических процессах, был проведен *факторный анализ* (табл. 5.1.3.2). Установлены факторы, оказывающие значимые нагрузки на соответствующие ассоциации элементов: Фактор 1 – *Bi, Sb, V, Cu, Co, Zn*, *Sn, W;* Фактор 2 – *Mo*, *Ag, Pb, Sn*; Фактор 3 – *P*, *As* и *Co*.

Таблица 5.1.3.2

Матрица факторных нагрузок

Элемент	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
Au	-0.11	0.27	0.18
Ag	0.20	**0.61**	-0.08
Mo	-0.07	**0.69**	0.06
Bi	**0.80**	0.16	0.18
Sn	**0.54**	**0.50**	0.33
Co	**0.59**	-0.19	**-0.41**
W	**0.47**	0.39	-0.28
Cu	**0.63**	-0.14	-0.07
Pb	-0.21	**0.60**	0.28
V	**0.74**	-0.19	-0.05
As	0.36	0.03	**0.60**
Sb	**0.84**	0.05	0.03
Cr	0.36	0.10	-0.33
Zn	**0.57**	0.14	0.29
P	0.03	0.08	**0.82**
Вклад в %	25.5	12.3	11.6

* – жирным шрифтом выделены значимые коэффициенты корреляции

Наибольший вклад в общую дисперсию вносит *первый фактор* – 25.5 %. Он оказывает максимальные нагрузки на *Bi, Sb, V, Cu, Co, Zn*, *Sn, W.* Повышенные значения фактора расположены, преимущественно, за пределами кальдеры проседания (рис. 5.1.3.1). Данная геохимическая ассоциация вынесена из зоны активного гидротермально-метасоматического рудообразования и локализована на ее периферии.

Геохимическая ассоциация *Mo*, *Ag, Pb, Sn* проявляют наибольшую корреляцию со *вторым фактором*, вклад в общую дисперсию составляет 12.3 %. Аномальные концентрации золота, а также области распространения монокварцитов и алунитовых кварцитов, проявляют пространственную связь с повышенными значениями фактора и располагаются, преимущественно, по периферии кальдеры проседания и в ее центральной части. Данная геохимическая ассоциация связана с процессами отложения рудоносных растворов.

Третий фактор значимо влияет на *P*, *As* и *Co*. Доля фактора в общей дисперсии составляет 11.6 %. Положительные значения фактора (*P*, *As*), приуроченные к кальдере проседания и зоне интенсивных тектонических нарушений, образуют ореол, простирающийся в северо-западном направлении. Отрицательные значения фактора, связанные с распределением содержания *кобальта*, расположены по периферии кальдеры проседания, совпадая с геохимической ассоциацией первого фактора.

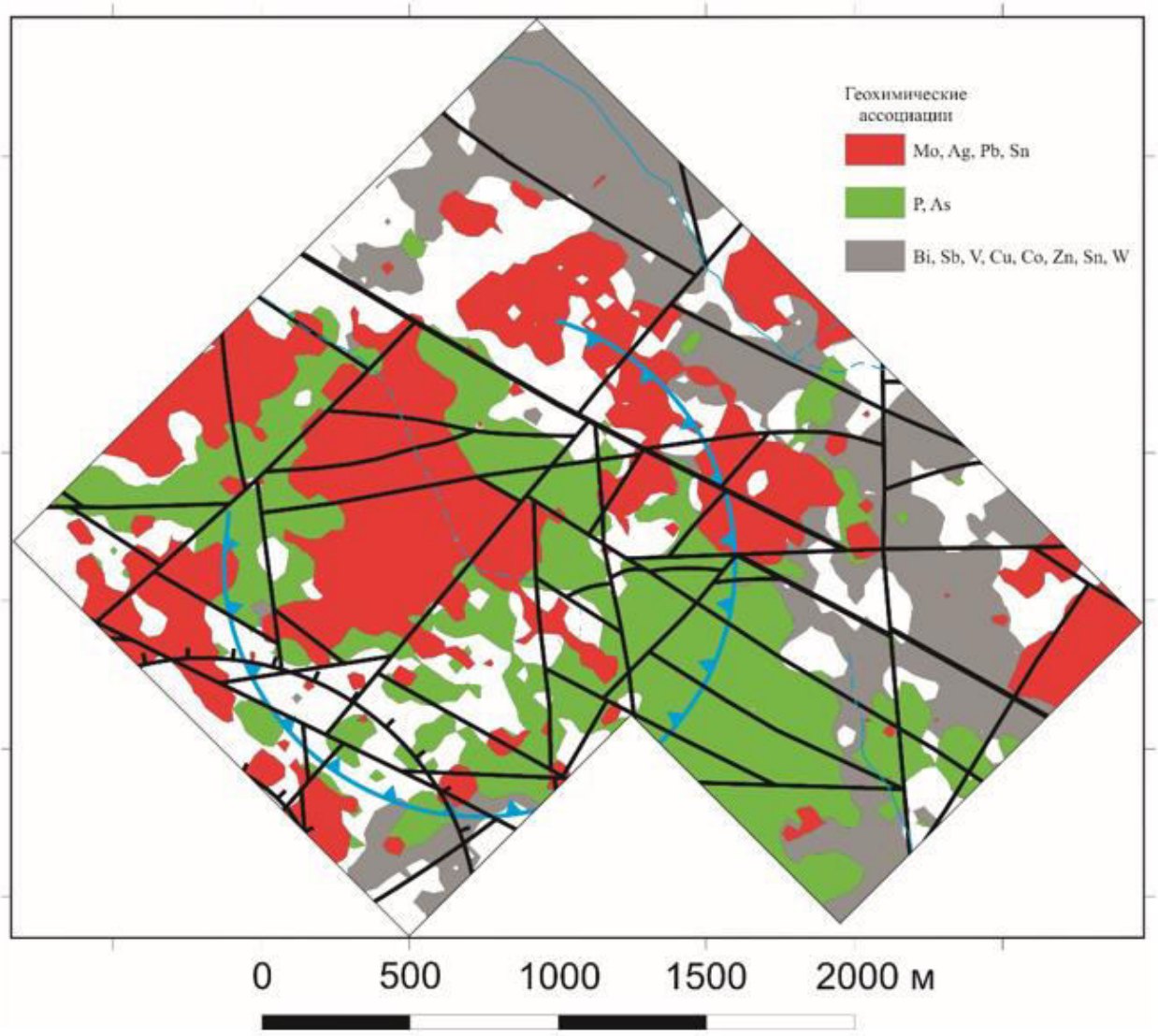


Рис. 5.1.3.1. Распределение геохимических ассоциаций на участке Дюльбаки по данным факторного анализа. Условные обозначения см. на рис. 5.1.2.1 и 5.1.2.2

В результате факторного анализа установлена последовательная смена геохимических ассоциаций от центральной части гидротермально-

метасоматической системы к периферии: *Mo, Ag, Pb, Sn → P, As → Bi, Sb, V, Cu, Co, Zn, Sn, W.*

На основе кластерного анализа построена иерархическая структура корреляционных связей между химическими элементами (рис. 5.1.3.2.). Установлено четыре группы элементов: **1.** *V, Cu, Co, Cr;* **2.** *Pb, Sb, Bi, Sn, Zn, W;* **3.** *Pb, Mo, Ag;* **4.** *P, As, Au*.

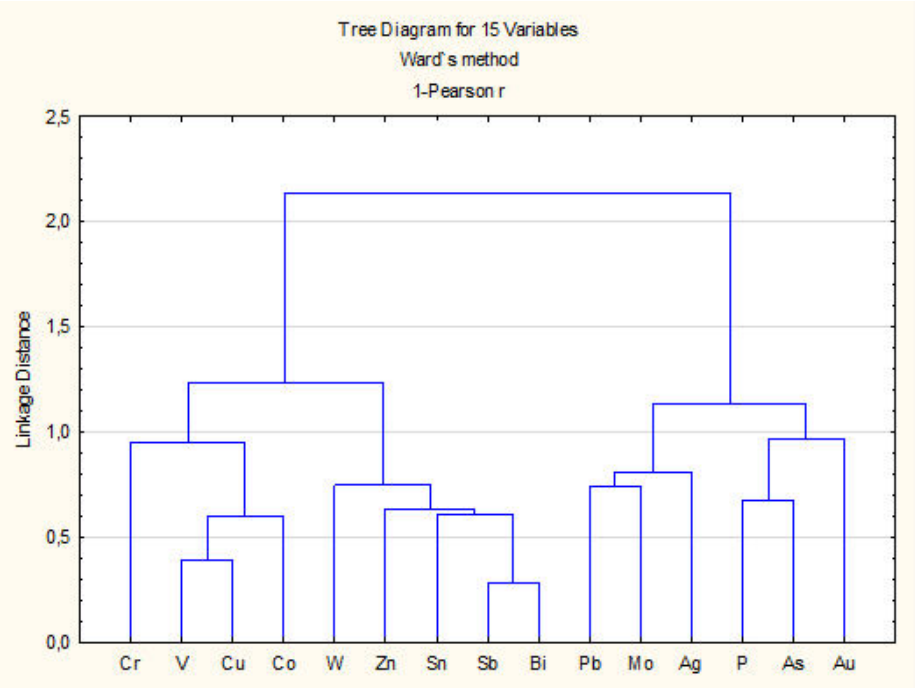


Рис. 5.1.3.2. Результаты кластер-анализа переменных

Для выделения групп проб, характеризующихся идентичным химическим составом, был проведен кластер-анализ – метод К-средних. Предварительно содержание каждого элемента нормировалось на его среднее геометрическое. Было выделено 8 классов проб со средними коэффициентами концентрации (КК) элементов, представленных в таблице 6.1.3.3.2.

Таблица 5.1.3.3.

Геохимические спектры кластеров

Элемент	Кластер № 1 (n=8)	Кластер № 2 (n=34)	Кластер № 3 (n=1457)	Кластер № 4 (n=705)	Кластер № 5 (n=112)	Кластер № 6 (n=19)	Кластер № 7 (n=227)	Кластер № 8 (n=2)
Au	**78***	**34**	1.1	0.9	**14**	**4.5**	**4.1**	**209**
Ag	1.1	1.2	1.1	1.4	1.2	2.7	1.6	0.6
Mo	**4.2**	**4.7**	1.3	0.9	**3.4**	**22.2**	**4.7**	2.1
Bi	1.1	1.0	0.9	1.4	1.1	1.0	1.1	1.2
Sn	1.2	1.1	1.0	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4
Co	0.7	0.8	0.8	2.2	0.7	1.3	0.8	0.7
W	**5.0**	1.9	1.0	2.0	1.3	2.6	1.4	0.6
Cu	1.2	1.0	0.9	1.9	1.0	1.2	1.2	0.8
Pb	0.9	1.3	1.2	0.8	2.1	1.4	2.0	1.4
V	1.1	0.8	0.9	1.5	0.9	1.1	1.0	0.8
As	1.5	1.2	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3	1.8
Sb	1.1	0.9	1.0	1.4	0.9	1.1	1.0	0.8
Cr	0.8	1.0	1.0	1.6	1.0	1.1	1.0	0.8
Zn	1.6	1.2	1.0	1.5	1.1	1.0	1.3	1.3
P	2.5	1.9	1.3	1.0	1.7	1.1	1.9	2.4

***** – жирным шрифтом выделены концентрации элементов, вносящие основной вклад в кластеры (КК>3 ед.)

Кластеры 1 и 2 характеризуются высокими содержаниями *Au*, *Mo* и *W*. Практически все пробы, принадлежащие данным кластерам, совпадают с аномальными концентрациями золота (рис. 5.1.3.3). Наибольшим количеством проб в группах характеризуются 3 и 4 кластеры. Кластер 3 тяготеет к центральной части участка, а кластер 4 – к его периферии. Также отмечается более повышенное содержание отдельных элементов в 4 кластере (*Co, W, Cu, Cr, Zn, V, Bi, Sb*), что, очевидно, обусловлено отгонкой данных элементов на периферию гидротермально-метасоматического ореола. Преимущественно к периферийным частям ореолов золота тяготеют пробы 5 и 7 кластеров. Их геохимические спектры не имеют существенных отличий, за исключением более высокой концентрации золота в 5 кластере (КК=14 ед.). Пробы 6 кластера немногочисленны (n=19) и распределены по площади достаточно хаотично. Кластер 8 представлен двумя пробами, основной характеристикой которых является ураганное содержание золота (КК=209 ед.).

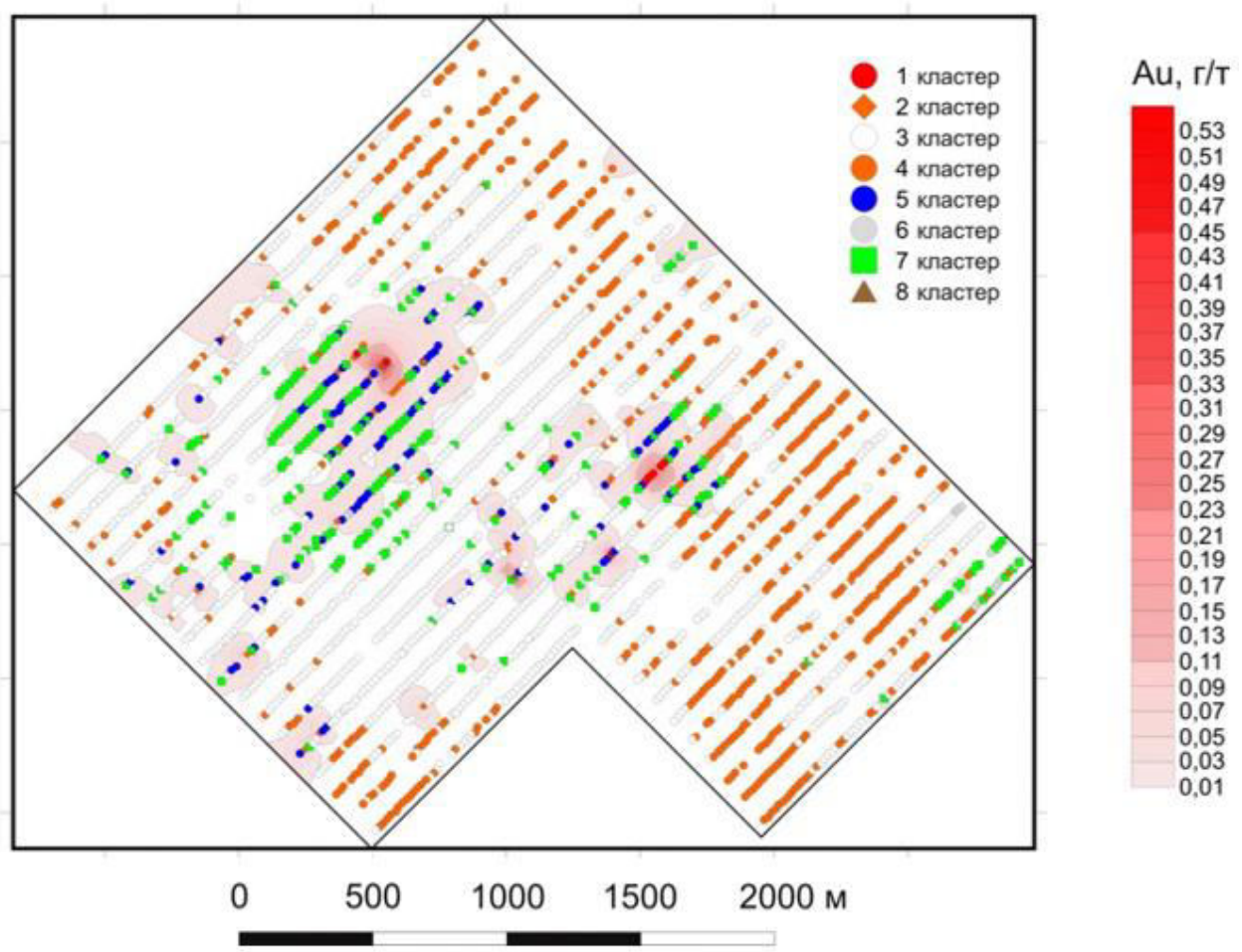


Рис. 5.1.3.3. Карта распределения кластеров

На основе результатов кластер-анализа установлено, что пробы с наиболее контрастным распределением химических элементов (кластеры 1 и 2) приурочены к немногочисленным площадным аномалиям золота. По их периферии расположены пробы с более низкими концентрациями золота – кластеры 5 и 7. Фоновые концентрации золота занимают основную часть площади участка и характеризуют гидротермально-метасоматические образования с субфоновыми (кластер 3) и более высокими (кластер 4) содержаниями большинства элементов. Пробы 2 и 8 кластеров характеризуются эпизодическим и незакономерным проявлением в пределах участка. Таким образом, в распределении кластеров в пределах участка прослеживается концентрически-зональная структура, выражающаяся в смене групп проб (от центра к периферии): кластер 1 (Au (**78**), W (**5**), Mo (**4,2**)) →

кластер 2 (Au (**34**), Mo (**4,7**)) → кластер 5 (Au (**14**), Mo (**3,4**)) → кластер 7 (Mo (**4,7**), (Au (**4,1**)) → кластер 3 (субфоновые концентрации элементов) → кластер 4 (КК элементов от 0.8 до 2.2).

В результате обработки геохимических данных на основе факторного анализа составлена модель аномальной структуры геохимического поля участка Дюльбаки (рис. 5.1.3.4).

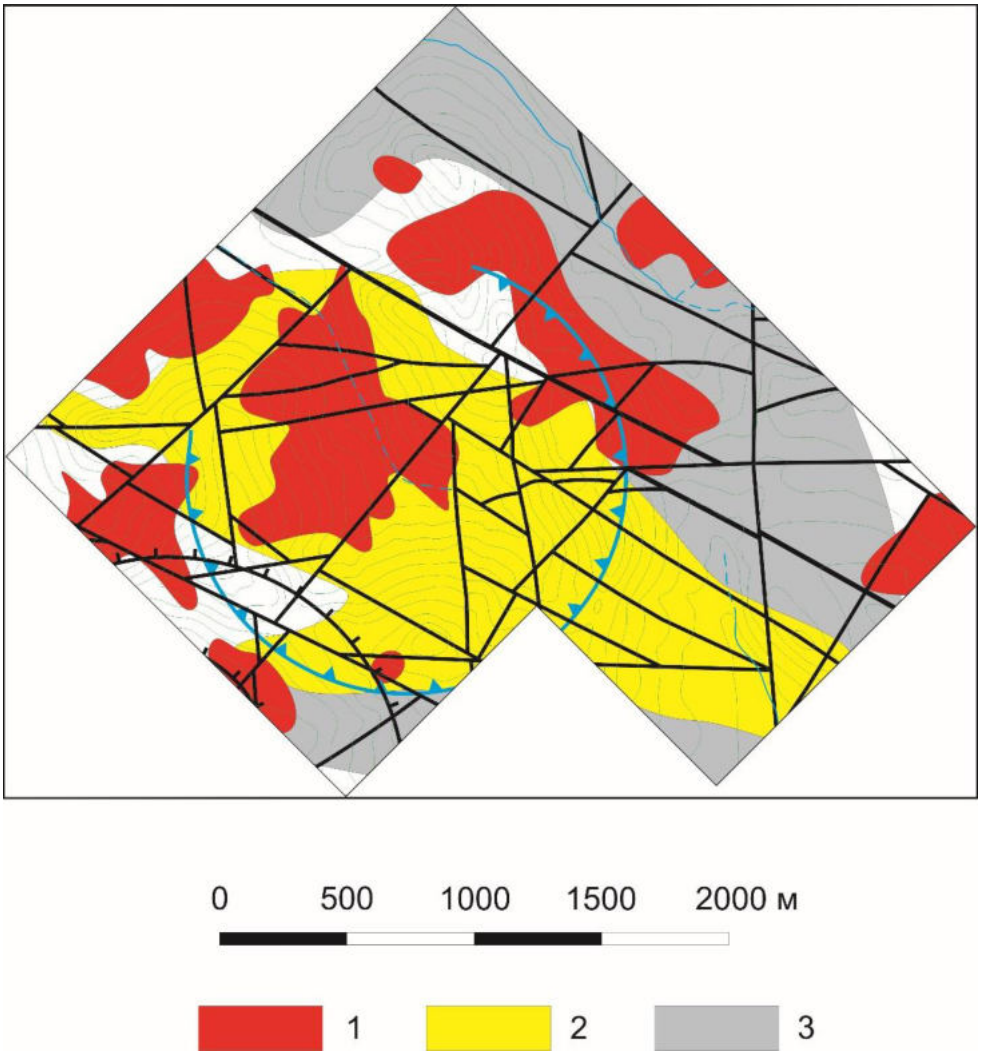


Рис. 5.1.3.4. Модель структуры аномального геохимического поля. 1–3 геохимические ассоциации: 1 – *Mo, Ag, Pb, (Au)*; 2 – *P*, *As*; 3 – *V, Cu, Co, Zn, W*. Условные обозначения см. на рис.5.1.2.1-5.1.2.2

Расшифровка строения аномального геохимического поля позволила установить концентрически-зональное строение вторичного ореола рассеяния, приуроченного к золото-серебряному оруденению. Зональность аномального геохимического поля проявлена в пространственной смене геохимических

ассоциаций (от тыловой зоны к фронтальной): *Mo, Ag, Pb, (Au)* → *P*, *As* → *V, Cu, Co, Zn*, *W*.

Оценка прогнозных ресурсов. Подсчеты линейной и площадной продуктивности в ореолах рассеяния проведены по формулам:

линейная продуктивность $\mathrm{M} = \sum_{i=1}^{n}((\frac{x_{i+1} - x_{i-1}}{2})(Cx_i - C_{фон}))$,

площадная продуктивность $\mathrm{P} = \sum_{j=1}^{m}(\frac{y_{j+1} - y_{j-1}}{2}) * M_j$,

где $\frac{x_{i+1} - x_{i-1}}{2}$ – расстояние влияния пробы с номером *i*, Cx_i – содержание элемента в аномальной точке *i*; $C_{фон}$ – фоновое содержание элемента; $\frac{y_{j+1} - y_{j-1}}{2}$ – расстояние влияния профиля с номером *j*.

Площадная продуктивность, рассчитанная по аномальным точкам, составила $P = 6851$ м^2×г/т.

Ресурсы металла в тоннах были определены по формуле:

$$Q = \frac{P * H * 2.5 * 10^{-6}}{k} \text{ (т)}$$

где *k* – коэффициент остаточной продуктивности вторичных ореолов относительно первичных (принят за 1); *H* – рациональная глубина подсчета ресурсов, которая определяется исходя из вида полезного ископаемого и геолого-экономической обстановки (принято – 100 м).

Геохимические ресурсы золота составили:

$Q = (6851 \times 2.5 \times 100)/(1000000 \times 1) = 1713$ кг.

Для оценки промышленно значимых ресурсов металла обычно используют коэффициент балансовых руд (α), который показывает, какая доля от всей суммы сверхфоновых геохимических ресурсов может иметь промышленный интерес. Значения коэффициента зависят от ранга и масштаба объекта и лежат в пределах для месторождений от 0.3 до 0.8; для рудных полей

– в пределах 0.2-0.4. Принимая значение коэффициента равным 0.3, получаем, что прогнозные ресурсы золота в пределах участка Дюльбаки составляют **514** кг.

5.1.4. Прогнозная оценка рудоносности участка Дюльбаки и результаты ее заверки

Выявленные закономерности геологического строения участка Дюльбаки в целом близки к таковым рудного поля Светлое. Однако, оцененная площадь метасоматического ореола составляет всего 7 км^2 (против 30 км^2 на рудном поле Светлое).

Установленные на участке Дюльбаки аномальные концентрации золота характеризуются низкой контрастностью и ограниченным площадным распространением. Модель аномального геохимического поля, составленная на основании результатов факторного анализа, характеризуется слабо проявленным концентрически зональным строением. Площадь распространения метасоматически измененных пород и их интенсивность значительно меньше, чем на месторождениях рудного поля Светлое. Оцененные прогнозные ресурсы по результатам поисковых работ 2018 года и работ предшественников [Федореев, 2010ф] составляют около 400–500 кг.

Тем не менее предприятием-недропользователем лицензионного участка Дюльбаки было выдвинуто предположение, что здесь возможно выявить слепое оруденение, на что указывали следующие критерии и признаки:

– установлен перспективный для дальнейшего изучения комплексный ореол, уровень эрозионного среза по которому оценен как надрудный;

– с понижением гипсометрического уровня в разрезах (по обнажению в рельефе) увеличивается количество монокварцитов аналогичных Светлому;

– повсеместно на проявлении отмечается повышенная кислотность вод аналогично Светлому;

– штуфные пробы со значимыми содержаниями золота обнаружены в нижних частях разреза.

На основании этого заключения на участке было выполнено около 2 км поискового колонкового бурения, по результатам которого участку дана отрицательная промышленная оценка.

В центре участка выделен концентрически-зональный изометричный в плане массив метасоматически измененных пород – вторичных кварцитов, аргиллизитов. В нижних частях разреза по буровому профилю отмечена фация иллит-пиритовых метасоматитов, характеризующие периферийную часть вторичных кварцитов.

Метасоматическая зональность аналогична зональности рудного поля Светлое, но изменения менее объёмны и проявлены значительно слабее. Уровень эрозионного среза оценен как нижний.

Промышленных рудных пересечений в скважинах получено не было. Оценка прогнозных ресурсов не производилась в связи с тем, что объекты с промышленными параметрами, удовлетворяющими целеполаганию, не были обнаружены. Дальнейшие работы было решено прекратить по причине отсутствия значимых результатов.

5.2. Участок Алядакан.

Располагается к западу в 3.5 км от месторождения Эмми и непосредственно граничит с рудным полем Светлое (рис. 5.2.1). Участок приурочен к кальдере проседания диаметром 2.8 км. Значение показателя K/Th по аэрогеофизическим данным резко дифференцированное, что может свидетельствовать о наличии как вторичных кварцитов, так и субвулканических и жерловых интрузий. Выделение метасоматитов по данным съемок Aster затруднено растительностью, тем не менее в контурах кальдеры проседания удалось закартировать тела полно- и неполнопроявленных тел аргиллизитов. На участке преобладают разрывные нарушения северо-западного и северо-восточного простираний. Литохимические работы 2003, 2007 и 2009 годов выявили месторождение Светлое. Но рудное поле с запада было долгое время не оконтурено

литохимической съемкой по вторичным ореолам рассеяния. Перспективный участок Алядакан площадью 36 км^2 с точки зрения геолого-структурной позиции мог послужить его продолжением.

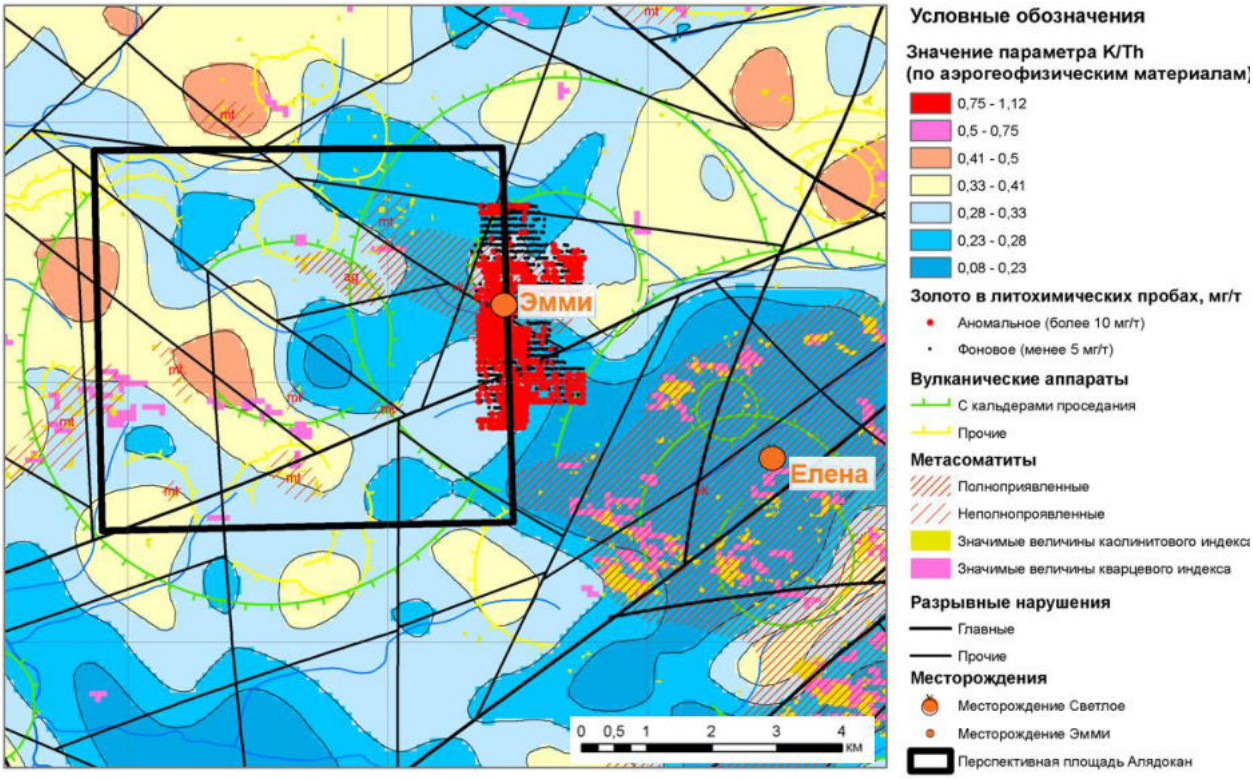


Рис. 5.2.1. Перспективный участок Алядакан

После выделения прогнозного участка в 2020 г. выполнена литохимическая съемка и геологические маршруты по сети 1000×40 м. Предусмотренное сгущение сети до 500×40 м не выполнялось, поскольку не были закартированы потенциально рудоносные породы.

В геологическом строении участка принимают участие вулканогенно-осадочные породы магейской (туфы и игнимбриты риолитового, дацитового состава, риолиты, дациты), хетанинской (андезиты, андезибазальты, базальты и их туфы) и уракской (игнимбриты и туфы риолитового, дацитового состава, туфопесчаники) свит верхнего мела. Стратифицированные образования прорваны дацитами, гранодиорит-порфирами уракского комплекса верхнего мела и штоками, дайками андезибазальтов, базальтов хакаринского комплекса верхнемелового- палеогенового возраста (рис. 5.2.2.).

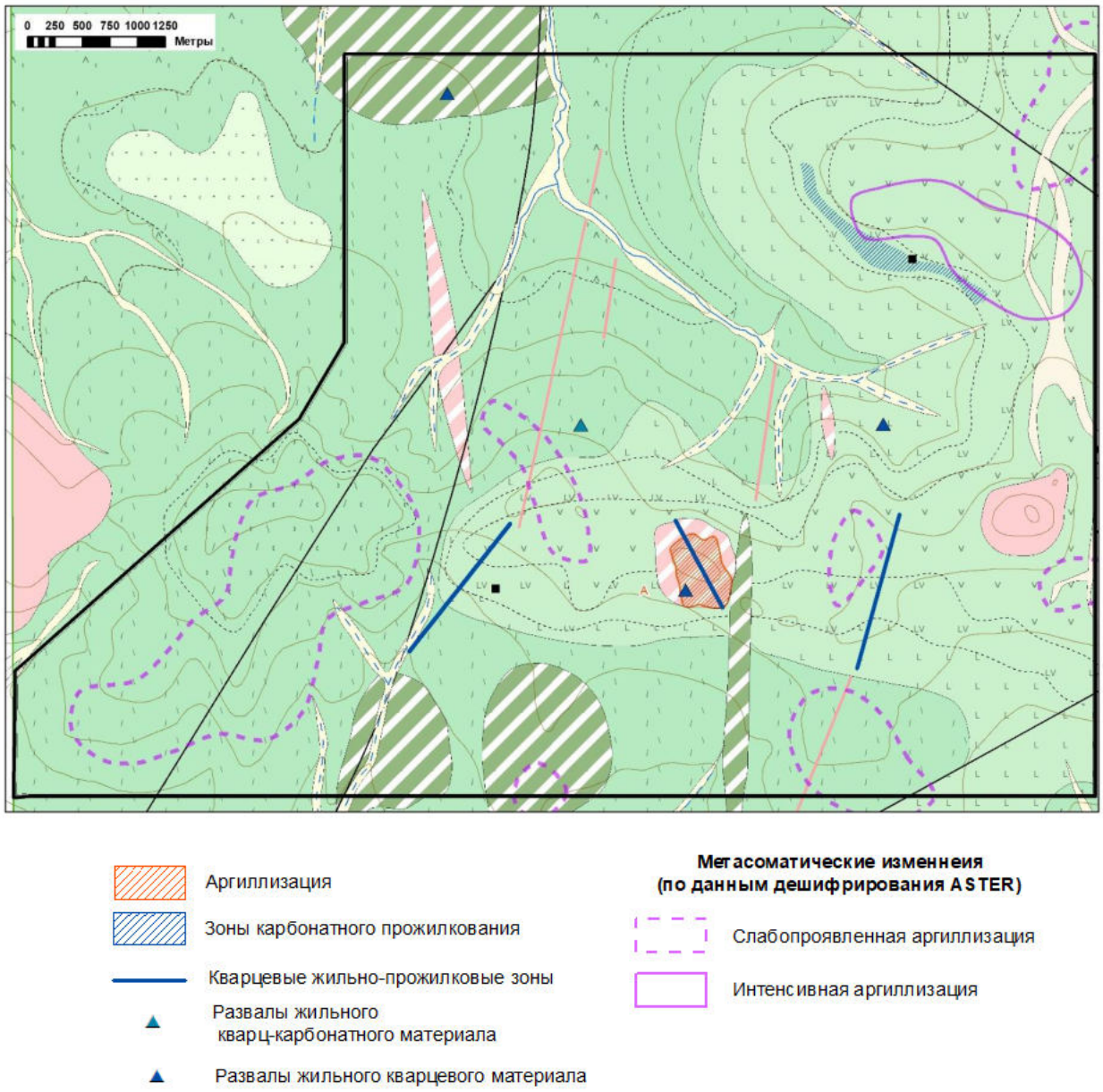


Рис.5.2.2. Схематическая геологическая карта участка Алядакан

Метасоматические образования в пределах закартированной площади представлены преимущественно пропилитами карбонат-хлоритовой фации, развитыми по породам хетанинской свиты. Аргиллизация кварц-серицитовой, кварц-каолинитой фаций развита локально по породам штока дацитов уракского комплекса, степень проработки пород умеренная (0.12 км^2).

В северо-восточной части площади закартирована штокверковая зона карбонатного прожилкования, азимут простирания СЗ 300˚.

Отмечаются единичные маломощные (не более 0.2 м) жилы кварцевого, кварц-карбонатного состава предположительно северо-восточного и северо-западного простирания.

Содержания золота в штуфных пробах не превышают 0.2 г/т.

По результатам литохимического опробования по вторичным ореолам рассеяния содержания золота выше порога обнаружения были установлены в 26 пробах (0.006–0.009 г/т) и в 1 пробе (0.013 г/т). Повышенные содержания золота приурочены к массиву аргиллизированных пород и разрозненным жильно-прожилковым зонам. Участку дана отрицательная оценка.

5.3. Участок Большая Холи

Расположен в правом борту р. Большая Холи (рис. 5.3.1). Площадь участка – 48 км^2. Значение показателя «K/Th отношение» смещен в сторону K. В кальдере палеовулканического аппарата диаметром 3.6 км фиксируются неполнопроявленные (гидрослюдистые фации) аргиллизиты. Все это может свидетельствовать о значительном эрозионном срезе палеовулканического аппарата и эпитермальной системы. В непосредственной близости расположено проявление золота Курикан, которое можно рассматривать как low-sulfidation минерализацию. Следует также отметить, что на площади проявлен прямой признак оруденения – знаковое золото в шлиховых пробах.

В 2020 г. единичными геологическими маршрутами произведено обследование участка в водораздельных частях. На местности были установлены области интенсивного окварцевания вплоть до монокварцитов и слабой аргиллизации, кварцевые жильно-прожилковые зоны. Гидротермально-метасоматические породы локализованы в краевых частях структуры с тенденцией к затуханию при удалении. Из отобранных штуфных проб в трёх выявлено золото содержанием 0,20-0,24 г/т. Литохимическое опробование не производилось. Площадь рекомендована к поисковым работам.

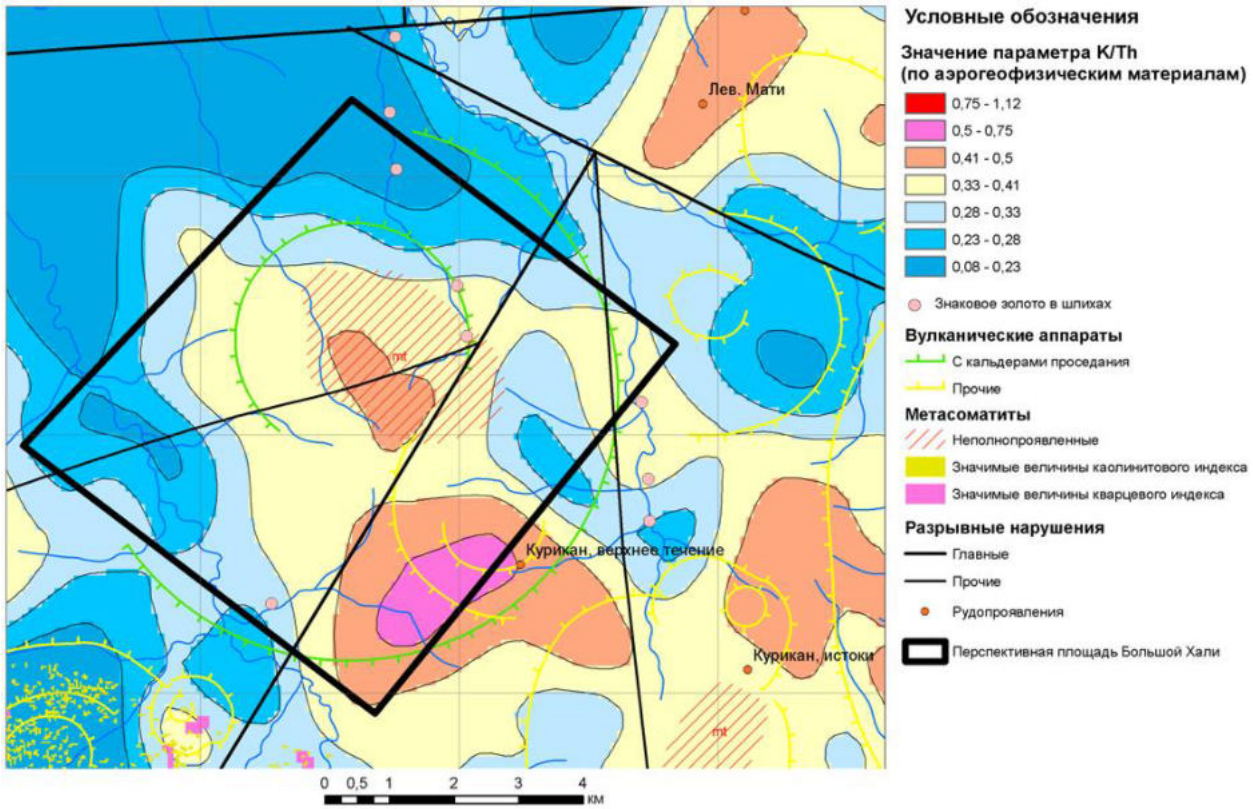


Рис. 5.3.1. Перспективный участок Большая Холи

ГЛАВА 6. КРИТЕРИИ И ПРИЗНАКИ ЭПИТЕРМАЛЬНОГО ОРУДЕНЕНИЯ. ГЕОЛОГО-ПОИСКОВАЯ МОДЕЛЬ

В результате обобщения полученных материалов выявлены закономерности проявления рудных таксонов в материалах дешифрирования спектрозональных космических снимков и интерпретации геофизических данных, во вторичном и первичном геохимическом поле. На основании этих закономерностей **в качестве третьего защищаемого положения** сформулированы прогнозно-поисковые критерии и признаки золотого эпитермального оруденения (табл.6.1.1.) и составлена геолого-поисковая модель рудного поля (табл.6.2.1.).

6.1. Критерии и признаки эпитермального оруденения

Основными геолого-структурными элементами рудоконтроля для масштаба Среднеульинского рудного района являются вулкано-тектонические депрессии как структуры I порядка, вулкано-тектонические структуры оседания – структуры II порядка, остатки палеовулканических построек центрального типа, тела секущих изверженных горных пород, разрывные нарушения.

Для масштаба Уенминского рудного узла рудоконтролирующими геолого-структурными элементами являются разрывные нарушения, остатки палеовулканических построек в том числе с проявленной кальдерой проседания, тела секущих интрузивных, субвулканических и жерловых образований, вторичные кварциты и аргиллизиты без разделения по фациям.

Для масштаба рудного поля Светлое – палеовулканические постройки с кальдерами проседания, разрывные нарушения, ореолы метасоматически измененных горных пород различного состава, стратифицированные образования и секущие интрузивные и субвулканические тела.

Известные золоторудные таксоны (рудные районы, узлы, поля) пространственно сопряжены с различными вулкано-тектоническими

структурами. Рудные узлы размещаются в ределах дешифрируемых в материалах дистанционного зондирования систем кольцевых структур диаметром 45-60 км. Эти структуры интерпретируются как вулкано-тектонические депрессии, развитые над внутрикоровыми магматическими камерами, вулкано-плутоническими комплексами и ареалами их влияния. Рудные поля тяготеют к краевым частям вулкано-тектонических депрессий. Дистанционными критериями для выделения потенциальных рудных полей являются системы кольцевых структур диаметром от 1 до 14 км. Такие структуры интерпретируются как частные вулканические постройки. Положение вулканических построек контролируется узлами сопряжения северо-восточных и северо-западных разрывных нарушений. В потенциально рудоносных с кислотно-сульфатным типом оруденения вулканических постройках должна быть проявлена кальдера проседания и метасоматический ореол значительной площади (в рудном поле Светлое его площадь более 30 км^2, однако, не следует привязываться к этой величине при формировании поисковой модели, потому что существуют крупные месторождения кислотно-сульфатного типа, в рудном поле которых метасоматический ореол проявлен на площади до 10 км^2 в виду наличия перекрывающих толщ либо более поздних осадочных комплексов, либо экранирующего слоя менее проницаемых вулканических пород [Gray et al., 1994; Sillitoe, 2015]). Другими признаками потенциальной рудоносности частных вулканических построек могут служить особенности проявления значимых величин каолинитового (KLI) и мафического (мафического (MI_3) спектральных индексов) спектральных индексов. На рудоносных площадях каолинитовый индекс проявлен в виде локальных площадных аномалий, а мафический индекс (значения менее 0,87) указывает на возможное присутствие монокварцевых тел значительных размеров. Месторождения кислотно-сульфатного типа размещаются в кальдерах проседания в участках развития монокварцевых, кварц-алунитовых и кварц-гидрослюдистых метасоматитов, которые могут быть закартированы по результатам спектрального анализа снимков ASTER.

Результаты интерпретации геофизических исследований подтверждают результаты дешифрирования космоснимков. Достаточно чётко определяются кольцевидные структуры, эпицентры которых контролируются разнонаправленными тектоническими нарушениями. Эти структуры и разрывные нарушения отчётливо проявлены в магнитном поле, кроме нарушений северо-восточного простирания, которые, по-видимому, являются наиболее древними и в значительной мере заретушированы наложенными процессами.

Потенциально рудоносные кольцевые структуры должны быть приурочены к кольцевой структуре среднего порядка, расположенной на периферии более крупной кольцевой структуры. Кольцевые структуры характеризуются спокойным выположенным магнитным полем. Знак поля значения не имеет, так как зависит от принятого уровня фона. Главным определяющим фактором является пониженная дисперсия. Области резко дифференцированного магнитного поля могут находиться как в эпицентре этих зон (жерловая фация), так и на их периферии.

В полях распределения естественных радиоактивных элементов потенциально рудоносные структуры должны картироваться аномальным поведением K/Th отношения. Если субстрат имел преимущественно натровый состав, то отношение будет смещаться в сторону тория (непосредственно тип Светлого), в противном случае – в сторону калия [Копылов М.И. и др., 2011]. Кроме этого, предлагается использовать отношение KU/ThTh.

Выявление прямых признаков золотого оруденения и определение парагенетических геохимических ассоциаций во вторичном поле рассеяния является достоверным индикатором рудного процесса. В результате обработки данных крупномасштабной (1:50000) и детальной (1:10000) литохимических съемок обоснованы следующие геохимические критерии и признаки.

1. Прямым признаком золотого оруденения, хорошо проявленным в пределах рудного поля, является наличие концентраций *Au* и *Ag* во вторичных ореолах рассеяния, превышающих минимально-аномальные значения.

2. На основе имеющейся аналитической информации элементами-спутниками эпитермального золотого оруденения, кроме *Au* и *Ag*, следует считать*: Sb, Bi, Te, Se, As, Mo, Cu*.

3. Аномально низкие концентрации *K, Al, Na* в масштабе рудного поля характеризуют зону выноса макроэлементов. В их пределах могут отлагаться рудные минеральные ассоциации. Геохимическая ассоциация V, Zn, Co, Ni, Cr, Mn, P на детальном уровне фиксируется во фронтальной зоне концентрирования. При этом она более отчетливо проявлена в метасоматитах, развитых по породам хетанинской свиты.

4. В масштабе рудного поля *V, Zn* и, вероятно, ряд других (сидерофильных) элементов выносятся из центральной зоны рудообразования и накапливаются на ее периферии, что может служить дополнительным критерием выделения перспективных (зоны выноса) и «пустых» (зоны фронтального концентрирования) участков.

5. С использованием кластер-анализа наблюдений возможна геометризация площадей с ярко выраженной неоднородностью геохимического спектра, характеризующих рудное и околорудное пространство, выделение областей с «породной» составляющей, а также установление геохимических специализаций выделенных участков с возможностью прогнозирования уровней эрозионного среза оруденения.

6. Установлено, что во вторичном геохимическом поле ассоциации элементов образуют концентрически-зональную структуру с последовательной пространственно-временной сменой геохимических ассоциаций (от центральной зоны рудообразования к периферии): *Au, Mo → Au, Ag, Pb → K, Na, Al → V, Zn, (Co, Ni, Cr, Mn, P).*

В пределах минерализованных зон (с учетом стадийности рудообразования) устанавливается следующая последовательность

формирования геохимических ассоциаций (от центральной части к периферии): *Au-Ag → Ag, Pb, Sb → As, Mo, Ba → Co, Cr, Mn, V, Zn, P*.

Обобщенная модель аномального геохимического поля Светлое отражается в следующих особенностях. Во вторичном геохимическом поле ассоциации элементов образуют концентрически-зональную структуру с последовательной пространственно-временной сменой геохимических ассоциаций (от центральной зоны рудообразования к периферии): *Au, Ag, Pb, Sb → Au, As, Mo, Ba → K, Na, Al → Co, Cr, Mn, V, Zn, P.*

Наиболее ранняя предрудная *Co, Cr, Mn, V, Zn, P* геохимическая ассоциация образована на начальной стадии метасоматического преобразования пород. Ассоциация макроэлементов – *K, Na, Al* связана с процессом образования вторичных кварцитов и ее вытеснением на периферию зон рудообразования. С ранней стадией процесса рудообразования связана *Au, Ag, Pb, Sb* геохимическая ассоциация, контролирующая зоны рудной минерализации. *Au, As, Mo, Ba* ассоциация приурочена к рудным зонам и характеризуется крупными площадными ореолами, что, очевидно, обусловлено особенностью поведения элементов в зоне гипергенеза.

Таблица 6.1.1.

Критерии и признаки эпитермального оруденения

Критерии и признаки	**Региональные**	**Локальные**
1	2	3
Структурные	Рудные узлы размещаются в пределах дешифрируемых систем кольцевых структур диаметром 45-60 км. Эти структуры интерпретируются как вулканотектонические депрессии, развитые над внутрикоровыми магматическими камерами, вулкано-плутоническими комплексами и ареалами их влияния. Положение самих вулкано-тектонических депрессий (на примере Секчинской) контролируется участками сопряжения продольных и поперечных разрывных нарушений мантийного уровня заложения.	Рудные поля тяготеют к краевым частям вулкано-тектонических депрессий. Структурными критериями для выделения потенциальных рудных полей являются системы кольцевых структур диаметром от 1 до 14 км, интерпретируемые как частные вулканические постройки. Положение таких построек контролируется узлами сопряжения продольных северо-восточных (мантийного заложения) и поперечных северо-западных (коровых) разрывных нарушений. В потенциально рудоносных с кислотно-сульфатным типом оруденения вулканических постройках должна быть проявлена кальдера проседания и метасоматический ореол значительной площади. На рудоносных площадях должны присутствовать локальные площадные аномалии каолинитового, мафического (значения менее 0,87) спектральных индексов и резко градиентные значения показателя оксидов железа. Месторождения кислотно-сульфатного типа размещаются в кальдерах проседания, тяготеют к узлам сопряжения коровых разрывных нарушений северо-восточного и северо-западного простирания, в участках развития монокварцевых, кварц-алунитовых и кварц-гидрослюдистых метасоматитов, которые могут быть закартированы по результатам специальной обработки снимков Aster.
Геофизические		Рудные поля приурочены к кольцевым структурам среднего порядка, находящимся на периферии крупных кольцевых структур первого порядка, которые отчётливо проявлены в аэромагнитном поле. Для потенциально рудоносных кольцевых структур характерно спокойное выположенное, или слабо дифференцированное аэромагнитное поле с невысокой дисперсией. Области резко дифференцированного аэромагнитного поля могут находиться как в эпицентре этих структур (жерловая фация), так и на их периферии.

Продолжение таблицы 6.1.1.

1	2	3
		В полях распределения естественных радиоактивных элементов потенциально рудоносные структуры выделяются аномальным поведением K/Th отношения. Если вмещающий субстрат имел преимущественно натровый состав, то отношение будет смещаться в сторону тория (непосредственно тип Светлого), в противном случае – в сторону калия. Месторождения располагаются в пределах спокойного выположенного магнитного поля на периферии кольцевых структур сравнительно высокого порядка. Месторождениям должны соответствовать области аномального изменения калий-ториевого отношения. Месторождениям должно соответствовать кажущееся удельное электрическое сопротивление, отличающееся от неизменённых кварцитов. Областям сульфидизации должен соответствовать ореол аномалий коэффициента частотной дисперсии.
Геохимические		Прямым признаком эпитермального кислотно-сульфатного оруденения ранга рудного поля является наличие аномальных концентраций Au и Ag во вторичных ореолах рассеяния. Также элементами-спутниками оруденения, на основании имеющейся аналитической базы, следует считать Sb, As, Bi, Cu. Рудные поля во вторичном геохимическом поле выделяются концентрически-зональным ореолом комплекса элементов – во фронтальной зоне проявлена ассоциация V-Zn, в тыловой зоне ассоциации Au-Ag-Pb и Au-Mo. Прямым признаком золотого оруденения ранга месторождения являются аномальные концентрации Au и Ag во вторичных ореолах рассеяния, а также их элементы-спутники Sb, Bi, Te, Se, As, Mo, Cu. Месторождения во вторичном геохимическом поле, на основании имеющейся аналитической информации, выделяются концентрически-зональным ореолом комплекса элементов – во фронтальной зоне проявлена ассоциация Co-Cr-Mn-V-Zn-P; в тыловой зоне – ассоциации Au-Ag, Ag-Pb-Sb, As-Mo-Ba. ***В первичном геохимическом поле*** месторождения и рудные зоны выделяются аномальными концентрациями Au, Ag, Sb, Se, а также периодически – Te, Bi, Mo.

Продолжение таблицы 6.1.1.

1	2	3
		Низким уровнем накопления характеризуются Al, K, Na, P и Zn. На эталонном участке Елена установлена геохимическая зональность, выражающаяся в смене ассоциаций элементов (от ядерной зоны к фронтальной): Au-Ag-Se-Sb → V-As-P-Fe-Mo-Pb-Sr-Sb-Cu → K-Na-Al-Co-Zn-Ba → Cr-Ni-Mn. Приведенная геохимическая зональность может послужить основой выявления слепого оруденения.
Метасоматические		Для месторождений свойственно проявление метасоматитов формации вторичных кварцитов – пропилитов. Подтверждено зональное строение метасоматического ореола (от тыловых зон к фронтальным): моноквацриты → алунитовые кварциты → диккитовые кварциты → кварц-гидрослюдистые аргиллизиты → пропилиты. Обнаружение фрагментов общей метасоматической колонки может служить критерием эпитермального оруденения.

6.2. Геолого-поисковая модель рудного поля

В основу геолого-поисковой модели (табл. 6.2.1) положены закономерности геологического строения рудного поля Светлое и его месторождений, разработанные критерии и признаки эпитермального оруденения (табл. 6.1.1). Модель не учитывает минералогические критерии и признаки, так как исследования минералов не входило в состав работы.

Таблица 6.2.1.

Геолого-поисковая модель

№	Элементы модели	Критерии и признаки
1	2	3
1. ОБЩИЕ		
1.1.	Металлы	Au
1.2.	Геолого-промышленный тип	Гидротермальные эпитермальные
2. ФОРМАЦИОННЫЕ		
2.1.	Рудоносная формация	Золото-серебряная
2.2.	Возраст	Мезозой (позднемеловой)
3. СТРУКТУРНЫЕ		
3.1.	Региональный	Вулканотектонические депрессии, развитые над внутрикоровыми магматическими камерами, вулкано-плутоническими комплексами и ареалами их влияния в вулканических поясах
3.2.	Локальный	Краевые части вулкано-тектонических депрессий, частные вулканические постройки с кальдерами проседания Внутренние части кальдер проседания в узлах сопряжения разноглубинных разрывных нарушений
4. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ		
4.1.	Локальный	Рудные поля приурочены к кольцевым структурам среднего порядка, находящимся на периферии крупных кольцевых структур первого порядка, которые отчётливо проявлены в аэромагнитном поле. Для потенциально рудоносных кольцевых структур характерно спокойное выположенное или слабо

Продолжение таблицы 6.2.1

1	2	3
		дифференцированное аэромагнитное поле с невысокой дисперсией. В полях распределения естественных радиоактивных элементов потенциально рудоносные структуры выделяются аномальным поведением K/Th отношения. Если вмещающий субстрат имел преимущественно натровый состав, то отношение будет смещаться в сторону тория (непосредственно тип Светлого), в противном случае – в сторону калия. Месторождения располагаются в пределах спокойного выположенного магнитного поля на периферии кольцевых структур сравнительно высокого порядка.
5. МАГМАТИЧЕСКИЕ		
5.1	Магматические образования	Присутствие среди магматических образований вулкано-плутонических комплексов кислого и кисло-среднего составов с преобладанием эффузивной и субвулканической фаций
6. МЕТАСОМАТИЧЕСКИЕ		
6.1.	Гидротермально-метасоматические изменения	Вторичные кварциты, аргиллизиты, пропилиты
6.2.	Рудовмещающие измененные породы	Монокварциты (массивные, пористые, брекчированные), алунитовые кварциты, алунит-диккитовые кварциты, диккитовые кварциты, кварц-кальцитовые метасоматиты, иллит-хлоритовые и кальцит-лептохлоритовые аргиллизиты
7. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ		
7.1.	Во вторичном геохимическом поле	Рудные поля выделяются концентрически-зональным ореолом комплекса элементов – во фронтальной зоне проявлена ассоциация V-Zn, в тыловой зоне ассоциации Au-Ag-Pb и Au-Mo. Прямым признаком оруденения ранга рудного поля является наличие аномальных концентраций золота и серебра. Элементы-спутники оруденения – Sb, As, Bi, Cu.

Продолжение таблицы 6.2.1

1	2	3
		Месторождения выделяются концентрически-зональным ореолом комплекса элементов – во фронтальной зоне проявлена ассоциация Co-Cr-Mn-V-Zn-P; в тыловой зоне ассоциации Au-Ag, Ag-Pb-Sb, As-Mo-Ba. Прямым признаком оруденения являются аномальные концентрации Au и Ag, а также элементы-спутники – Sb, Bi, Te, Se, As, Mo, Cu.
7.2.	В первичном геохимическом поле	Рудные зоны выделяются аномальными концентрациями Au, Ag, Sb, Se, а также периодически – Bi, Te, Mo и низким уровнем накопления Al, K, Na, P и Zn.
8. ПАРАМЕТРЫ РУДНЫХ ЗОН		
8.1.	Морфология рудных залежей	Субпластовые линейные залежи килевидной формы с грибовидными раздувами
8.2.	Параметры рудных залежей	Существенно изменчивые
8.2.1.	Длина, м	до 700
8.2.2.	Ширина, м	100-240
8.2.3.	Мощность, м	12-60 с раздувами в палеожерловинах до 110
8.2.4.	Вертикальный размах, м	300
8.3.	Условия залегания рудных зон	Падение рудных зон пологое, вблизи палеожерловин крутое с неравномерным или весьма неравномерным характером распределения полезного компонента
8.4.	Структура руд	Микро- и мелкозернистая, порфировидная, гипидиоморфнозернистая, колломорфная
8.5.	Текстура руд	Прожилковая (микропрожилковая), гнездовая, крустификационная, брекчиевидная, полосчатая
8.6.	Продуктивные минеральные ассоциации	Кварц-пиритовая с Au, теллуридная с Au и Ag

Продолжение таблицы 6.2.1

1	2	3
8.7.	Главные минералы руд	Самородное золото размером 1-50 мкм, калаверит, сильванит, гессит
8.8.	Второстепенные минералы руд	Пирит, блеклые руды переменного состава, теллуриды Hg, Au и Ag, Ni, Pb, Sb, Bi.
8.9.	Средние содержания главных элементов в рудах	Au 2.5 г/т

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования был выполнен комплекс работ: сравнение объекта исследования с описанными в отечественной и зарубежной литературе аналогами, обобщение полученных результатов, построение геолого-структурных и геохимических схем, разработка системы разноранговых прогнозно-поисковых критериев и факторов эпитермального оруденения, разработка геолого-поисковой модели.

Положение в крупных региональных и локальных тектонических и вулкано-плутонических структурах, геологическое строение, метасоматическая и геохимическая зональность, проявленность в геофизических полях подтверждает принадлежность рудного поля Светлое к эпитермальным золото-серебряным месторождениям кислотно-сульфатного типа.

В результате проведенных исследований и обобщения геолого-геофизических данных были выявлены закономерности проявления рудных таксонов в материалах дешифрирования спектрозональных космических снимков, аэрогеофизических полях, во вторичном геохимическом поле. На основании этих закономерностей сформулированы критерии и признаки золотого эпитермального оруденения:

Региональные

Структурные (по результатам дешифрирования космических снимков и анализа геофизических данных)

Рудные узлы размещаются в пределах систем кольцевых структур диаметром 45-60 км, дешифрируемых по космоснимкам и выделяемых в материалах аэрогеофизической съемки. Эти структуры интерпретируются как вулкано-тектонические депрессии, развитые над внутрикоровыми магматическими камерами, вулкано-плутоническими комплексами и ареалами их влияния. Положение самих вулкано-тектонических депрессий

контролируется участками сопряжения продольных и поперечных разрывных нарушений мантийного уровня заложения.

Локальные

Структурно-вещественные (по результатам дешифрирования космических снимков и анализа геофизических данных)

Рудные поля тяготеют к краевым частям вулкано-тектонических депрессий. Структурными критериями для выделения потенциальных рудных полей являются системы кольцевых структур диаметром от 1 до 14 км, интерпретируемые как частные вулканические постройки. Положение таких построек контролируется узлами сопряжения продольных северо-восточных (мантийного заложения) и поперечных северо-западных (коровых) разрывных нарушений. Месторождения кислотно-сульфатного типа тяготеют к узлам сопряжения коровых разрывных нарушений северо-восточного и северо-западного простирания, размещаются в кальдерах проседания, в участках развития монокварцевых, кварц-алунитовых и кварц-гидрослюдистых метасоматитов, которые могут быть закартированы по результатам специальной обработки снимков ASTER.

На рудоносных площадях должны присутствовать локальные площадные аномалии каолинитового, мафического (значения менее 0,87) спектральных индексов и резко градиентные значения показателя оксидов железа.

Потенциально рудоносные кольцевые структуры характеризуются спокойным выположенным магнитным полем. Знак поля значения не имеет, так как зависит от принятого уровня фона. Главное – пониженная дисперсия. Области резко дифференцированного магнитного поля могут находиться как в эпицентре этих зон (жерловая фация), так и на их периферии.

В полях распределения естественных радиоактивных элементов потенциально рудоносные структуры должны картироваться аномальными поведениями K/Th и KU/ThTh отношений. Если субстрат имел преимущественно натровый состав, то отношение будет смещаться в сторону

тория (непосредственно тип Светлого), в противном случае – в сторону калия. Но и в том, и в другом случае структуры могут быть потенциально рудоносны. Снижают перспективы фоновые значения этого отношения.

Месторождениям должны соответствовать области аномального изменения калий-ториевого отношения (необходима полевая заверка).

Геохимические

Прямым признаком эпитермального кислотно-сульфатного оруденения ранга рудного поля является наличие аномальных концентраций Au и Ag во вторичных ореолах рассеяния. Также элементами-спутниками оруденения, на основании имеющейся аналитической базы, следует считать Sb, As, Bi, Cu. Рудные поля во вторичном геохимическом поле выделяются концентрически-зональным ореолом комплекса элементов – во фронтальной зоне проявлена ассоциация V-Zn, в тыловой зоне ассоциации Au-Ag-Pb и Au-Mo.

Прямым признаком золотого оруденения ранга месторождения являются аномальные концентрации Au и Ag во вторичных ореолах рассеяния, а также их элементы-спутники Sb, Bi, Te, Se, As, Mo, Cu. Месторождения во вторичном геохимическом поле, на основании имеющейся аналитической информации, выделяются концентрически-зональным ореолом комплекса элементов – во фронтальной зоне проявлена ассоциация Co-Cr-Mn-V-Zn-P; в тыловой зоне – ассоциации Au-Ag, Ag-Pb-Sb, As-Mo-Ba

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Опубликованная

1. Аковецкий В.И. Дешифрирование снимков. Москва: Недра, 1983. 374 с.

2. Аэрокосмические методы геологических исследований / под ред. А.В. Перцов. СПб: Издательство СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2000. 316 с.

3. Ананьев Ю.С., Житков В.Г., Поцелуев А.А. Прогнозно-поисковая модель эпитермальных Au-Ag месторождений кислотно-сульфатного типа по данным дешифрирования современных космических снимков (на примере рудного поля Светлое, Хабаровский край) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330. – № 5. – С. 84–92.

4. Аэрометоды при геологической съемке и поисках полезных ископаемых / под ред. Г.Ф. Лунгерсгаузена. Москва: Недра, 1964. 465 с.

5. Белый В.Ф. Стратиграфия и структуры Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Наука. Москва. 1977.

6. Ваганов В.И., Иванкин П.Ф., Кропоткин П.Н. Взрывные кольцевые структуры щитов и платформ. Москва: Наука, 1985. 200 с.

7. Ворошилов В.Г. Аномальные структуры геохимических полей гидротермальных месторождений золота: механизм формирования, методика геометризации, типовые модели, прогноз масштабности оруденения // Геология рудных месторождений. 2009. Т. 51. № 1. С. 3–19.

8. Выборов С.Г., Быстров И.И. Опыт использования комплексного показателя нарушенности геохимического поля для прогнозирования оруденения // Известия ВУЗов. Геология и разведка. 1990. № 4. С. 102–110.

9. Иванов В.В., Полин В.Ф. и др. Порфировое золото-теллуридное оруденение high-sulphidation типа Северного Приохотья: минералогия, магматизм и геодинамика, материалы Всероссийской конференции, Владивосток, 2011.

10. Иволга Е.Г., Гурович В.Г., Романовский Н.П., Манилов Ю.Ф. Петрофизические особенности тектонических структур Охотоморской зоны перехода континентокеан // Тихоокеанская геология. – 2016. – Т. 35. – № 5. – С. 39–53.

11. Иволга Е.Г., Манилов Ю.Ф., Романовский Н.П., Гурович В.Г. Глубинные особенности размещения золоторудной минерализации Ульинской впадины // Тихоокеанская геология. – 2017. – Т. 17. – № 4. – С. 120–136.

12. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. – М.: Недра, 1983. – 191 с.

13. Кигай И.Н. Условия формирования метасоматитов и оруденение эпитермальных золото-серебряных месторождений // Геология рудных месторождений. – 2020. – Т. 62. – № 5. – С. 475–480.

14. Колесников А.Г., Брызгалов И.А., Рассказова Т.Л., Савва Н.Е., К условиям формирования редкометального рудопроявления Эмми (Ульинская структурно-металлогеническая зона) // Чтения памяти К.В. Симакова: Всероссийская научная конференция. Сборник материалов. – Магадан: СВКНИИ, 2007. – С. 90–91.

15. Копылов М. И., Пустовойтова И. В., Скрябин И.Н. Перспективы выявления золоторудных месторождений в алунитах на юге Дальневосточного региона // Известия Сибирского отделения РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. – 2011. – №2. – С. 84–98.

16. Корчуганова Н.И. Аэрокосмические методы в геологии. Москва: Геокарт: ГЕОС, 2006. 244 с.

17. Кутейников Е.С., Кутейникова Н.С., Рундквист И.К. Фотопортреты структурных ансамблей и их анализ для моделирования крупных месторождений. Москва: , 1995. 204 с.

18. Лебедев Е.Л. Стратиграфия и возраст Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Наука. Москва. 1987.

19. Левочская Д.В., Якич Т.Ю., Лесняк Д.В., Ананьев Ю.С. Гидротермально-метасоматическая зональность, флюидный режим и типы золотого оруденения участков Эмми и Елена эпитермального рудного поля Светлое (Хабаровский край) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 333. – № 10. – С. 17–34.

20. Мирошниченко В.П. Аэрогеолсъемка (применение аэрофотосъемки для геологических исследований). Москва-Ленинград: Госгеолиздат, 1946. 303 с.

21. Мишин Л.Ф. Гидротермально измененные породы и условия образования Au-Ag месторождений кислотно-сульфатного типа // Тектоника и металлогения северной Циркум-Пацифики и Восточной Азии. Хабаровск. 2007. С. 507-508

22. Мишин Л.Ф., Солдатов А.И. Гидротермально измененные породы и Au-Ag минерализация месторождения "Светлый" (Охотско-Чукотский вулканогенный пояс) // Тезисы докладов. Прогноз, поиски, оценка рудных и нерудных месторождений - достижения и перспективы. Москва. 2008. С. 135-136.

23. Мишин Л.Ф., Бердников Н.В. Индикаторная роль высокоглиноземистых вторичных кварцитов при поисках рудных месторождений // Руды и Металлы. – 2010. №3. – С. 14-24.

24. Мишин Л.Ф. Вторичные кварциты и их связь с золоторудной минерализацией месторождения Светлое (Россия) (Ульинский прогиб, Охотско-Чукотский вулканогенный пояс) // Тихоокеанская геология. – 2011. – Т.30. – № 4. – С. 32–48.

25. Наумова О.А., Алышева Э.И. Гидротермально измененные породы Озерновского золото-серебряного месторождения Камчатки // Отечественная геология. – 1995. – № 1. – С. 35–43.

26. Некрасов, Е.М., 2019. Поиски и разведка золоторудных месторождений на основе структурных предпосылок. Руды и металлы 1, 26–36.

27. О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2020 году. Государственный доклад. Министерство природных ресурсов и экологии РФ. Москва. 2021.

28. Петрусевич М.Н. Аэрометоды при геологических исследованиях. Москва: Госгеолтехиздат, 1962. 408 с.

29. Поцелуев А.А., Ананьев Ю.С., Житков В.Г. Дистанционные методы геологических исследований, прогноза и поиска МПИ (на примере Рудного Алтая). Томск: STT, 2007. 228 с.

30. Поцелуев А.А., Ананьев Ю.С., Житков В.Г. Дистанционный прогноз кимберлитового магматизма. Томск: 2019, 2019. 192 с.

31. Рябухин А.Г., Макарова Н.В., Макаров В.И. Космические методы в геологии. Москва: МГУ, 1988. 146 с.

32. Савва Н.Е. и др.. Генетические особенности золото-теллуридно-висмутовой минерализации рудопроявления Эмми (Хабаровский край, Россия) // Вестник СВНЦ ДВО РАН, 2013. №4. С. 54-62.

33. Сафронов Н.И. Основы геохимических методов поисков рудных месторождений. Ленинград: Недра, 1971.

34. Серокуров Ю.Н., Калмыков В.Д., Зуев В.М. Космические методы при прогнозе и поисках месторождений алмазов. Москва: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2001. 198 с.

35. Томсон И.Н. и др. Металлогения скрытых линеаментов и концентрических структур. Москва: Недра, 1984. 272 с.

36. Ханчук, А.И. (Ed.), 2006. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн. Дальнаука, Владивосток.

37. Чернышев, И.В., Коваленкер, В.А., Гольцман, Ю.В., Плотинская, О.Ю., Баирова, Э.Д., Олейникова, Т.И., 2011. Изохронное Rb-Sr датирование процессов позднепалеозойского эпитермального рудогенеза на примере месторождения золота Кайрагач (Кураминский рудный район, Срединный Тянь-Шань). Геохимия 2, 115–128.

38. Alderton D. H. M., Brameld F.C. Telluride mineralization at the Svetloe

gold prospect, Khabarovsk Krai, eastern Russia // Field Workshop of IGCP-486, Izmir, Turkey, 2006. P. 1–5.

39. Carrillo-Rosúa, J., Morales-Ruano, S., Esteban-Arispe, I., Hach-Alí, P.F., 2009. Significance of phyllosilicate mineralogy and mineral chemistry in an epithermal environment. Insights from the Palai-Islica Au-Cu deposit (Almería, SE Spain). Clays and Clay Minerals 57, 1–24.

40. Chang Zh. Hedenquist J.W. etc. Exploration Tools for Linked Porphyry and Epithermal Deposits: Example from the Mankayan Intrusion-Centered Cu-Au District, Luzon, Philippines // Economic Geology. – 2011. – V. 106. – P. 1365–1398.

41. Cooke, D.R., 2001. Epithermal Au-Ag-Te Mineralization, Acupan, Baguio District, Philippines: Numerical Simulations of Mineral Deposition. Economic Geology 96, 109–131.

42. Cooke, D.R., Hollings, P., Wilkinson, J.J., Tosdal, R.M., 2013. Geochemistry of Porphyry Deposits, second Ed, Treatise on Geochemistry: Second Edition. Elsevier Ltd.

43. Cook N.J. и др. Understanding gold-(silver)-telluride-(selenide) mineral deposits // Episodes. 2009. Т. 32. № 4. С. 249–263.

44. Coombs D.S. и др. Recommended nomenclature for zeolite minerals: report of the subcommittee on zeolites of the International Mineralogical Association, Commission on new Minerals and Mineral names // Canadian Mineralogist. 1997. Т. 35. № 6. С. 1571–1606.

45. Dill H.G. The geology of aluminium phosphates and sulphates of the alunite group minerals: a review // Earth-Science Reviews. 2001. Т. 53. № 1–2. С. 35–93.

46. Einaudi, M.T., Hedenquist, J.W., Esra Inan, E., 2003. Sulfidation State of Fluids in Active and Extinct Hydrothermal Systems: Transitions from Porphyry to Epithermal Environments, in: Volcanic, Geothermal, and Ore-Forming Fluids. Society of Economic Geologists, pp. 285–313.

47. Gray, J.E., Coolbaugh M.F. Geology and geochemistry of Summitville, Colorado: An Epitermal Acid Sulfate Deposit in a Volcanic Dome // Economic Geology – 1994. – V. 89. – P. 1906–1923.

48. Guggenheim S. и др. Summary of recommendations of nomenclature committees relevant to clay mineralogy: Report of the Association International pour l'Etude des Argiles (AIPEA) Nomenclature Committee for 2006 (Clays and Clay Minerals) // Clays and Clay Minerals. 2007. Т. 55. № 6. С. 761–772.

49. Haas, J.L., 1971. The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure. Economic Geology 66, 940–946.

50. Heald P., Foley N.K., Hayba D.O. Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: acid-sulfate and adularia-sericite types // Economic Geology. 1987. Т. 82. № 1. С. 1–26.

51. Hedenquist J.W., Arribas R.A., Gonzalez-Urien E. Exploration for epithermal gold deposits // Reviews in Economic Geology. 2000. Т. 13. С. 245–277.

52. Hedenquist J.W., Arribas R. A., Aoki M. Zonation of Sulfate and Sulfide Minerals and Isotopic Composition in the Far Southeast Porphyry and Lepanto Epithermal Cu-Au Deposits, Philippines // Resource Geology. 2017. Т. 67. № 2. С. 174–196.

53. Hedenquist J.W., Arribas A.R. Exploration Implications of Multiple Formation Environments of Advanced Argillic Minerals // Economic Geology. – 2022. – V. 117. – № 3. – P. 609–643.

54. Hedenquist J.W. и др. Epithermal Gold Deposits: Styles, Characteristics and Exploration // Published in SEG Newsletter. 1995a. Т. 1. № 23. С. 9–13.

55. Hedenquist J. Sulfidation state of hydrothermal fluids : The porphyry-epithermal transition and beyond // 2003. № November.

56. Hewson, R.D., Cudahy, T.J., Mizuhiko, S., Ueda, K., Mauger, A.J. Seamless geological map generation using ASTER in the Broken Hill–Curnamona

province of Australia // Remote Sensing of Environment. – 2005. – V. 99(1-2). – P. 159–172.

57. Hu, Y., Ye, L., Li, Z., Huang, Z., Zhang, J., 2018. Genesis of fahlore in the Tianbaoshan lead–zinc deposit, Sichuan Province, China: a scanning electron microscopy–energy dispersive spectroscopy study. Acta Geochimica 37, 842–853.

58. Izawa, E., 1986. Clay minerals in epithermal deposits. Journal of the Mineralogical Society of Japan 17, 17–24.

59. Keim, M.F., Walter, B.F., Neumann, U., Kreissl, S., Bayerl, R., Markl, G., 2019. Polyphase enrichment and redistribution processes in silver-rich mineral associations of the hydrothermal fluorite-barite-(Ag-Cu) Clara deposit, SW Germany. Mineralium Deposita 54, 155–174.

60. Kovalenker, V.A., Plotinskaya, O.Y., Prokof'ev, V.Y., Gertman, Y.L., Koneev, R.I., Pomortsev, V. V., 2003. Mineralogy, geochemistry, and genesis of gold-sulfide-selenide-telluride ores from the Kairagach deposit (Uzbekistan). Geology of Ore Deposits 45, 171–200.

61. Kovalenker, V.A., Safonov, Y.G., Naumov, V.B., Rusinov, V.L., 1997. The epithermal gold-telluride Kochbulak deposit (Uzbekistan). Geology of Ore Deposits 39, 107–128.

62. Lindgren W., Mineral deposits. McGraw-Hill Book Company, New York - London, 1933.

63. Lyubimtseva, N.G., Bortnikov, N.S., Borisovsky, S.E., Vikent'eva, O. V., Prokofiev, V.Y., 2019. Coupled Dissolution–Precipitation Reactions of Tennantite–Tetrahedrite Minerals in the Darasun Gold Deposit (Eastern Transbaikalia, Russia). Geology of Ore Deposits 61, 530–548.

64. Mao, J., Li, X., White, N.C., Zhao, C., Zhang, Z., Wang, Y., Hu, H., 2007. Types, characteristics, and geodynamic settings of Mesozoic epithermal gold deposits in Eastern China. Resource Geology 57, 435–454.

65. Mineralogy of the Svetloye epithermal district, Okhotsk-Chukotkavolcanic belt, and its insights for exploration / T.Yu. Yakich, Y.S.

Ananyev, A.S. Ruban, R.Y. Gavrilov, D.V. Lesnyak, D.V. Levochskaia, O.V. Savinova, M.A. Rudmin // Ore Geology Reviwes. – 2021. – V. 136. – 104257

66. Moncada, D., Mutchler, S., Nieto, A., Reynolds, T.J., Rimstidt, J.D., Bodnar, R.J., 2012. Mineral textures and fluid inclusion petrography of the epithermal Ag–Au deposits at Guanajuato, Mexico: Application to exploration. Journal of Geochemical Exploration 114, 20–35.

67. Moore D.M., Reynolds Jr. R.C. X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals. Oxford, UK: Oxford University Press, 1997. 278 c.

68. Mustard gold of the gaching ore deposit (Maletoyvayam ore field, Kamchatka, Russia) / N.D. Tolstykh, G.A. Palyanova, O.V. Bobrova, E.G. Sidorov // Minerals. – 2019. – V. 9. – P. 1–18.

69. Ninomiya Y., Fu B., Cudahy T.J. Detecting lithology with Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) multispectral thermal infrared «radiance-at-sensor» data // Remote Sensing of Environment. – 2005. – V. 99. – P. 127 – 139.

70. Pan, J.-Y., Ni, P., Chi, Z., Yang, Y.-L., Li, S.-N., Bao, T., Wang, W.-B., Zeng, W., Xue, K., 2018. Spatial distribution and variation of ore body, alteration and ore-forming fluid of the giant Zijinshan epithermal Cu-Au deposit, SE China: implication for mineral exploration. Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis 18, 279–293.

71. Pirajno F. Hydrothermal processes and mineral systems. : Springer/Geological Survey of Western Australia, 2009. 1250 c.

72. Pirajno, F., Bagas, L., 2002. Gold and silver metallogeny of the South China Fold Belt: A consequence of multiple mineralizing events? Ore Geology Reviews 20, 109–126.

73. Plotinskaya, O.Y., Kovalenker, V.A., Seltmann, R., Stanley, C.J., 2006. Te and Se mineralogy of the high-sulfidation Kochbulak and Kairagach epithermal gold telluride deposits (Kurama Ridge, Middle Tien Shan, Uzbekistan). Mineralogy and Petrology 87, 187–207.

74. Polymetal International Plc.Annual report & Accounts 2017.

75. Radmard, K., Zamanian, H., Hosseinzadeh, M.R., Khalaji, A.A., 2019. Constraints on ore formation conditions at the Mazra'eh Shadi epithermal deposit, NE Tabriz, Iran: Evidences from geochemistry, sulphur isotope, quartz textures and fluid inclusion studies. Geological Quarterly 63, 230–247.

76. Repstock, A., Voudouris, P., Kolitsch, U., 2015. New occurrences of watanabeite, colusite, "arsenosulvanite" and "Cu-excess" tetrahedrite-tennantite at the Pef ka high-sulfidation epithermal deposit, northeastern Greece. Neues Jahrbuch fur Mineralogie, Abhandlungen 192, 135–149.

77. Repstock, A., Voudouris, P., Zeug, M., Melfos, V., Zhai, M., Li, H., Kartal, T., Matuszczak, J., 2016. Chemical composition and varieties of fahlore-group minerals from Oligocene mineralization in the Rhodope area, Southern Bulgaria and Northern Greece. Mineralogy and Petrology 110, 103–123. https://doi.org/10.1007/s00710-015-0412-4

78. Roedder E. Fluid inclusions. : Mineralogical Society of America, 1984. 644 c.

79. Sillitoe R.H. Epithermal models, genetic types, geometrical controls and shallow features // Mineral Deposits Division, Special Paper. – Saint John's: Geological Association of Canada, 1993. – P. 403–417.

80. Silitoe R.H. Epithermal paleosurfaces – Mineralium Deposita // International Journal for Geology, Mineralogy and Geochemistry of Mineral Deposits. – 2015 – V. 50. – P. 767–793.

81. Sillitoe, R., Hedenquist, J., 2003. Linkages between Volcanotectonic Settings, Ore-Fluid Compositions, and Epithermal Precious Metal Deposits. Soc. Econ. Geol. Spec. Publ. 10, 315–343.

82. Sillitoe, R.H., Hedenquist, J.W., 2003. Linkages between Volcanotectonic Settings, Ore-Fluid Compositions, and Epithermal Precious Metal Deposits, in: Volcanic, Geothermal, and Ore-Forming Fluids. Society of Economic Geologists, pp. 315–343.

83. Sillitoe RH, 2010. Porphyry Copper Systems. Economic Geology 105, 3–41.

84. So, C.S., Zhang, D.Q., Yun, S.T., Li, D.X., 1998. Alteration-mineralization zoning and fluid inclusions of the high sulfidation epithermal Cu-Au mineralization at Zijinshan, Fujian Province, China. Economic Geology 93, 961–980.

85. Steele-MacInnis M., Lecumberri-Sanchez P., Bodnar R.J. HokieFlincs_H2O-NaCl: A Microsoft Excel spreadsheet for interpreting microthermometric data from fluid inclusions based on the PVTX properties of H 2O-NaCl // Computers and Geosciences. 2012. T. 49. C. 334–337.

86. Steele-MacInnis, M., Lecumberri-Sanchez, P., Bodnar, R.J., 2012. HokieFlincs_H2O-NaCl: A Microsoft Excel spreadsheet for interpreting microthermometric data from fluid inclusions based on the PVTX properties of H 2O-NaCl. Computers and Geosciences 49, 334–337. https://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.01.022

87. Stoffregen R.E., Alpers C.N. Woodhouseite and svanbergite in hydrothermal ore deposits: products of apatite destruction during advanced argillic alteration // Canadian Mineralogist. 1987. T. 25. C. 201–211.

88. Stoffregen R. Genesis of acid-sulfate alteration and Au-Cu-Ag mineralization at Summitville, Colorado // Economic Geology. – 1987. – V. 82. – P. 1575–1591.

89. Takács, Á. Molnár, F., Turi, J., Mogessie, A., Menzies, J.C., 2017. Ore mineralogy and fluid inclusion constraints on the temporal and spatial evolution of a high-sulfidation epithermal Cu-Au-Ag deposit in the recsk ore complex, Hungary. Economic Geology 112, 1461–1481.

90. Taylor B.E. Epithermal gold deposits // Mineral. Deposits of Canada: a synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods / Ed. by W.D. Goodfellow. Mineral Deposits Division, Special Publication. – Saint John's, NL, Canada: Geological Association of Canada, 2007. – V. five. – P. 113–139.

91. Tolstykh N.D., Palyanova G.A., Bobrova O.V., Sidorov E.G., Mustard gold of the gaching ore deposit (Maletoyvayam ore field, Kamchatka, Russia) // Minerals. – 2019. – V. nine. – P. 1–18.

92. Torres B., Melgarejo J.-C., Torró L., Camprubí A., Castillo-Oliver M., Artiaga D., Campeny M., Tauler E., Jiménez-Franco A., Alfonso P., Arce-Burgoa O.R. The Poopó Polymetallic Epithermal Deposit, Bolivia: Mineralogy, Genetic Constraints, and Distribution of Critical Elements // Minerals. – 2019. – V. 9(8). – P. 1–18.

93. Vila, T., Sillitoe, R.H., 1991. Gold-rich porphyry systems in the Maricunga belt, northern Chile. Economic Geology 86, 1238–1260.

94. Voudouris, P.C., Melfos, V., Spry, P.G., Moritz, R., Papavassiliou, C., Falalakis, G., 2011. Mineralogy and geochemical environment of formation of the Perama Hill high-sulfidation epithermal Au-Ag-Te-Se deposit, Petrota Graben, NE Greece. Mineralogy and Petrology 103, 79–100.

95. Wang L. и др. A review of intermediate sulfidation epithermal deposits and subclassification // Ore Geology Reviews. 2019. T. 107. C. 434–456.

96. White, N.C., Hedenquist, J.W., 1995. Epithermal Gold Deposits: Styles, Characteristics and Exploration. Published in SEG Newsletter 1, 9–13.

97. Zeng, N., Izawa, E., Watanabe, K., Motomura, Y., 2010. Hydrothermal Alteration Related to Silver Mineralization at the Iwami Silver Deposit, Shimane Prefecture, Japan. Resource Geology 60, 234–248.

98. Zhong, J., Chen, Y.-J., Chen, J., Qi, J.-P., Dai, M.-C., 2018. Geology and fluid inclusion geochemistry of the Zijinshan high-sulfidation epithermal Cu-Au deposit, Fujian Province, SE China: Implication for deep exploration targeting. Journal of Geochemical Exploration 184, 49–65.

Фондовая

99. Архипов Г.Г., Чуракова А.Г., Материалы оперативного изменения запасов полезных ископаемых по результатам разведки за 2021-2022 г. на участках Людмила, Елена, Эмми золоторудного месторождения Светлое по состоянию на 01.12.2022 г., Хабаровск, 2022.

100. Бутвин В. Н. Отчёт о поисковых работах в юго-западной части Охотского района (Ульинская площадь) за 1983-1987 гг., Хабаровск, ТФИ ДВФО, 1987, 167 с.

101. Ермилова И.О., Потоцкий Ю.П., Головко С.В. Отчёт о результатах работ Верхне-Ульинской аэрогеофизической партии за 1977-1980 гг. в Охотском золотоносном районе. Хабаровск, ТФИ ДВФО, 1980.

102. Иванов В.В., Минералого-геохимическая характеристика гидротермалитов золоторудного месторождения Светлое (Хабаровский край).

103. Ивлев А.Н., Сурикова А. С., Кутузов Л. И. и др. Отчёт по геологической съёмке масштаба 1:200000, лист О-54-VIII (партия № 9 1973-1977 гг.), Т.1, НПО «Аэрогеология», М., 1977, 355 с.

104. Ивлев А.Н., Кутузов Л. И., Ретлингер А. С. Геологическая карта СССР м-ба 1:200000. Серия приохотская. Лист О-54-VIII (Кадакчан). Объяснительная записка, 1986, 92 с.

105. Колесников А.Г., Ежеля А.М., Дмитренко Е.В. Промежуточный отчёт о проведении поисковых работ масштаба 1:200000 на Секча-Девокшинской перспективной площади за 2000 г. Хабаровск, 2001;

106. Колесников А.Г. Технико-экономическое обоснование временных кондиций и подсчета запасов по результатам поисковых и оценочных работ на рудное золото в бассейне ручьев Алалиньдя и Онемна (месторождение Светлое) по состоянию на 01.11.2005 г. в 2х книгах. ТФИ ДВФО, 2006.

107. Лашин В.И., Технический отчёт о результатах геофизических работ за 2005 г., выполненных на Светлом рудном поле, 2005. Фонды ЗАО «ХГРП»

108. Лесняк Д.В., Архипов Г.Г., Материалы оперативного изменения запасов полезных ископаемых по результатам эксплуатационной разведки за 2019 г. на участках Елена и Людмила золоторудного месторождения Светлое по состоянию на 01.12.2019 г (в 2-х книгах), Охотск, 2019.

109. Лесняк Д.В., Архипов Г.Г., Материалы оперативного изменения запасов полезных ископаемых по результатам эксплуатационной разведки за 2020 г. на участке Эмми золоторудного месторождения Светлое по состоянию на 01.12.2020 г., Охотск, 2020.

110. Литвинов В. В. и др. Отчет о результатах поисков и оценке месторождений золота бассейнов ручьев Алалиндя, Онемна в 2003-2011 гг. (Объект: Светлое рудное поле). Хабаровск, 2012, 192 с.

111. Мартынюк М.В., Васькин А.Ф. и др. Геологическая карта хабаровского края и Амурской области масштаба 1:500000. Объяснительная записка (отчёт по теме 249 за 1978-1983 гг.). ТФИ ДВФО, 1983.

112. Мартынюк М.В. и др. Отчет по теме: «Составление Минерагенической карты Хабаровского края масштаба 1:500 000» Хабаровск, 2000.

113. Минералого-геохимическая характеристика гидротермалитов золоторудного месторождения Светлое, Хабаровский край. ДВГИ ДВО РАН, Владивосток, 2009.

114. Протокол № 1262-ОП Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых (ГКЗ Роснедра) от 22 сентября 2006 г., Москва, 2006.

115. Протокол №3483 Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых (ГКЗ Роснедра) от 29.01.2014 г., Москва, 2014.

116. Протокол №1225 Территориальной комиссии по запасам полезных ископаемых (секция ТКЗ по Хабаровскому краю, Еврейской автономной области и Дальневосточному федеральному округу) от 27.08.2020 г., Хабаровск, 2020.

117. Протокол №1272 Территориальной комиссии по запасам полезных ископаемых (секция ТКЗ по Хабаровскому краю, Еврейской автономной

области и Дальневосточному федеральному округу) от 12.11.2020 г., Хабаровск, 2020.

118. Сахьянов Л.О. Оперативный подсчет запасов золота и серебра по Светлому золоторудному месторождению по состоянию на 01.05.2009 г. в 2х книгах. Хабаровск ТФИ ДВФО, 2010

119. Умитбаев Р. Б. Отчет о результатах работ Амкинской геолого-съемочной партии масштаба 1:200000 на территории листа О-54-IX (бассейн р. Ульи) за 1965-1966 гг. п. Хасын, 1967, 347 с.

120. Федореев А.Ф., Информационный отчет по незавершенному геологическому заданию на проведение поисковых и оценочных работ на рудное золото и серебро на участке Дюльбаки (левобережная часть бассейна р. Улья) в 2007-2012 гг. (объект Дюльбаки). ТФГИ ДВФО, 2010.

121. Федотов К.В., Отчёт по теме: «Изучение технологических свойств проб руды месторождения «Светлое», Иркутск, ООО «ТОМС», 2009.

122. Фролов В.Н., Карпузов А.Ф., Суриков И.С. и др. Отчёт по проведению поисковых работ на золото в Ульинском прогибе Охотско-Чукотского вулканического пояса (лист О-54-А) за 1974-1977 гг. Т. НПО «Аэрогеология», М., 1977.

123. Фролов Ф.С. Легенда Охотской серии листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:200000 (издание второе). ТФИ ДВФО, 1998.

124. Херувимова Е.Г. и др. Отчёт по аэромагнитным работам Алданской экспедиции в районе побережья Охотского моря за 1958 г. Листы О-54, южная часть Р-54, ТФИ ДВФО, 1959.

125. Шапочка И.И. Отчёт о результатах гравиметрической съёмки масштаба 1:1000000, проведённой Аянской партией на площади трапеций О-54, Р-54 в 1973-1976 гг., ТФИ ДВФО, 1976.

126. Шпак Н.С., Филичев И.И., Шлосберг М.А. и др. Отчёт по геологической съёмке масштаба 1:200000, лист О-54-XIV (партия № 9 1970-1973 гг.), Т. 1, НПО «Аэрогеология», М., 1974, 258 с.

127. Шпак Н. С., Филичев И. И., Шлосберг М. А. Геологическая карта СССР м-ба 1:200000. Серия Приохотская. Лист О-54-XIV. Объяснительная записка, 1979, 82 с

128. Юрчук Ю.В. Отчет о выполненных работах по обработке АГСМ-данных по Охотской площади, Хабаровск, ООО «Гепарт», 2018.

129. Peter Holbek, Graig Stiles, Thomas Bowens, James C. Ashleman, Report on the Svetloye gold property, Khabarovsky krai, Okhotsky rajon, Russia, Report on Resource Estimation (NI 43-101) Prepared for Fortress Minerals Corp. June 28, 2008

130. James C. Ashleman, Thomas Bowens, Dean D. Turner, Report on the Svetloye gold property, Khabarovsky krai, Okhotsky rajon, Russia, Report on Resource Update (NI 43-101) Prepared for Fortress Minerals Corp. June 1, 2009.

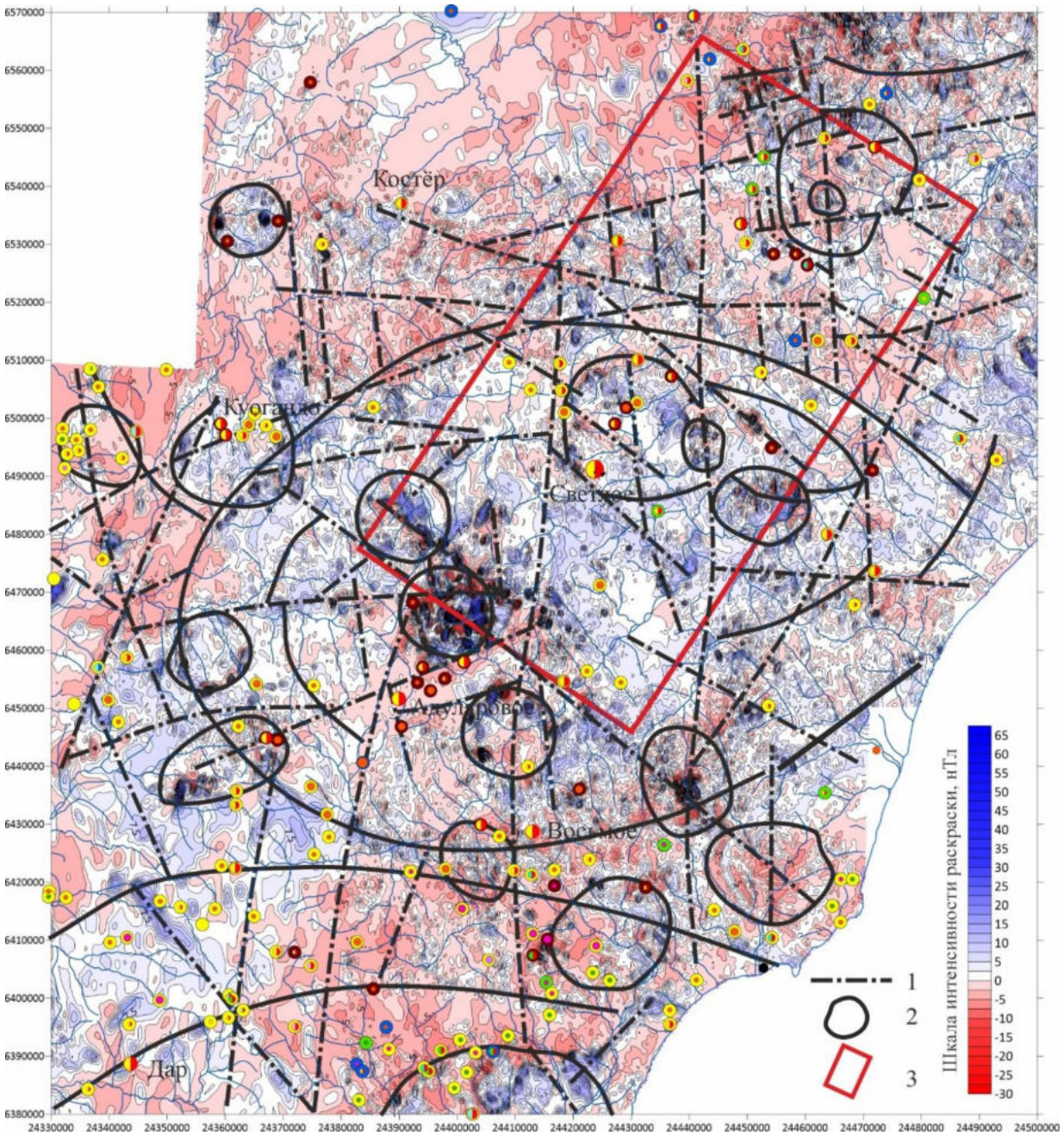
ПЕРЕЧЕНЬ ТЕКСТОВЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

№ п/п	№ приложения	Наименование
1	Текст. прил. 1	Результаты сопоставления структурной схемы Охотской площади масштаба 1:500 000 (по геофизическим данным) с планом изолиний приращения полного вектора индукции магнитного поля по аэрогеофизическим материалам
2	Текст. прил. 2	Результаты сопоставления структурной схемы Охотской площади масштаба 1:500 000 (по геофизическим данным) с планом изолиний осреднённых значений приращения полного вектора индукции магнитного поля по аэрогеофизическим материалам
3	Текст. прил. 3	Результаты сопоставления структурной схемы Охотской площади масштаба 1:500 000 (по геофизическим данным) с планом изолиний остаточных значений приращения полного вектора индукции магнитного поля по аэрогеофизическим материалам
4	Текст. прил. 4	Результаты сопоставления структурной схемы Охотской площади масштаба 1:500 000 (по геофизическим данным) с картой теневого рельефа приращения полного вектора индукции магнитного поля по аэрогеофизическим материалам. Вариант освещения 1
5	Текст. прил. 5	Результаты сопоставления структурной схемы Охотской площади масштаба 1:500 000 (по геофизическим данным) с картой теневого рельефа приращения полного вектора индукции магнитного поля по аэрогеофизическим материалам. Вариант освещения 2
6	Текст. прил. 6	Результаты сопоставления структурной схемы Охотской площади масштаба 1:500 000 (по геофизическим данным) с картой цветного рельефа приращения полного вектора индукции магнитного поля по аэрогеофизическим материалам
7	Текст. прил. 7	Результаты сопоставления структурной схемы Охотской площади масштаба 1:500 000 (по геофизическим данным) с картой изоконцентрат урана по аэрогеофизическим материалам
8	Текст. прил. 8	Результаты сопоставления структурной схемы Охотской площади масштаба 1:500 000 (по геофизическим данным) с картой изоконцентрат тория по аэрогеофизическим материалам

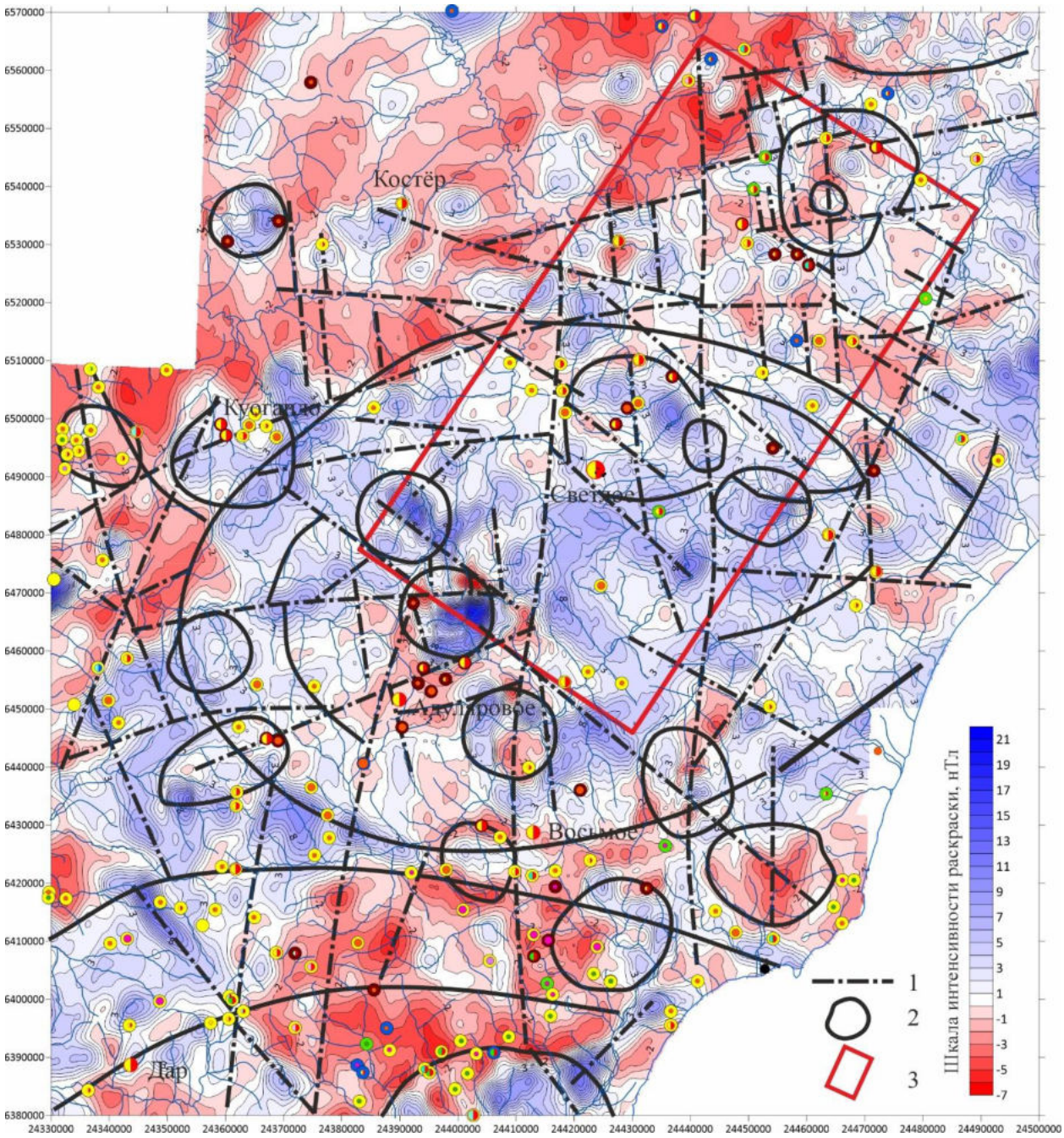
№ п/п	№ приложения	Наименование
9	Текст. прил. 9	Результаты сопоставления структурной схемы Охотской площади масштаба 1:500 000 (по геофизическим данным) с картой изоконцентрат калия по аэрогеофизическим материалам
10	Текст. прил. 10	Результаты сопоставления структурной схемы Охотской площади масштаба 1:500 000 (по геофизическим данным) с картой калий-ториевого отношения по аэрогеофизическим материалам
11	Текст. прил. 11	Результаты сопоставления структурной схемы Охотской площади масштаба 1:500 000 (по геофизическим данным) с картой параметра K/(U*Th) по аэрогеофизическим материалам
12	Текст. прил. 12	Результаты сопоставления структурной схемы Уенминского рудного узла масштаба 1:100 000 (по геофизическим данным) с планом изолиний приращения полного вектора индукции магнитного поля по аэрогеофизическим материалам
13	Текст. прил. 13	Результаты сопоставления структурной схемы Уенминского рудного узла масштаба 1:100 000 (по геофизическим данным) с планом изолиний осреднённых значений приращения полного вектора индукции магнитного поля по аэрогеофизическим материалам
14	Текст. прил. 14	Результаты сопоставления структурной схемы Уенминского рудного узла масштаба 1:100 000 (по геофизическим данным) с планом изолиний остаточных значений приращения полного вектора индукции магнитного поля по аэрогеофизическим материалам
15	Текст. прил. 15	Результаты сопоставления структурной схемы Уенминского рудного узла масштаба 1:100 000 (по геофизическим данным) с картой теневого рельефа приращения полного вектора индукции магнитного поля по аэрогеофизическим материалам. Вариант освещения 1
16	Текст. прил. 16	Результаты сопоставления структурной схемы Уенминского рудного узла масштаба 1:100 000 (по геофизическим данным) с картой теневого рельефа приращения полного вектора индукции магнитного поля по аэрогеофизическим материалам. Вариант освещения 2
17	Текст. прил. 17	Результаты сопоставления структурной схемы Уенминского рудного узла масштаба 1:100 000 (по геофизическим данным) с картой изоконцентрат урана по аэрогеофизическим материалам

№ п/п	№ приложения	Наименование
18	Текст. прил. 18	Результаты сопоставления структурной схемы Уенминского рудного узла масштаба 1:100 000 (по геофизическим данным) с картой изоконцентрат тория по аэрогеофизическим материалам
19	Текст. прил. 19	Результаты сопоставления структурной схемы Уенминского рудного узла масштаба 1:100 000 (по геофизическим данным) с картой изоконцентрат калия по аэрогеофизическим материалам
20	Текст. прил. 20	Результаты сопоставления структурной схемы Уенминского рудного узла масштаба 1:100 000 (по геофизическим данным) с картой калий-ториевого отношения по аэрогеофизическим материалам
21	Текст. прил. 21	Результаты сопоставления структурной схемы Уенминского рудного узла масштаба 1:100 000 (по геофизическим данным) с картой параметра K/(U*Th) по аэрогеофизическим материалам
22	Текст. прил. 22	Результаты сопоставления структурной схемы рудного поля Светлое масштаба 1:25 000 (по геофизическим данным) с планом изолиний приращения полного вектора индукции магнитного поля по материалам съёмки 2005 года
23	Текст. прил. 23	Результаты сопоставления структурной схемы рудного поля Светлое масштаба 1:25 000 (по геофизическим данным) с планом изолиний осреднённых значений приращения полного вектора индукции магнитного поля по материалам съёмки 2005 года
24	Текст. прил. 24	Результаты сопоставления структурной схемы рудного поля Светлое масштаба 1:25 000 (по геофизическим данным) с планом изолиний остаточных значений приращения полного вектора индукции магнитного поля по материалам съёмки 2005 года
25	Текст. прил. 25	Результаты сопоставления структурной схемы рудного поля Светлое масштаба 1:25 000 (по геофизическим данным) с планом изолиний трансформанты ThresholdAve магнитного поля по материалам съёмки 2005 года. Чёрным показаны тектонические нарушения, предполагаемые по геофизическим данным
26	Текст. прил. 26	Результаты сопоставления структурной схемы рудного поля Светлое масштаба 1:25 000 (по геофизическим данным) с планом изолиний трансформанты Robinson3 магнитного поля по материалам съёмки 2005 года

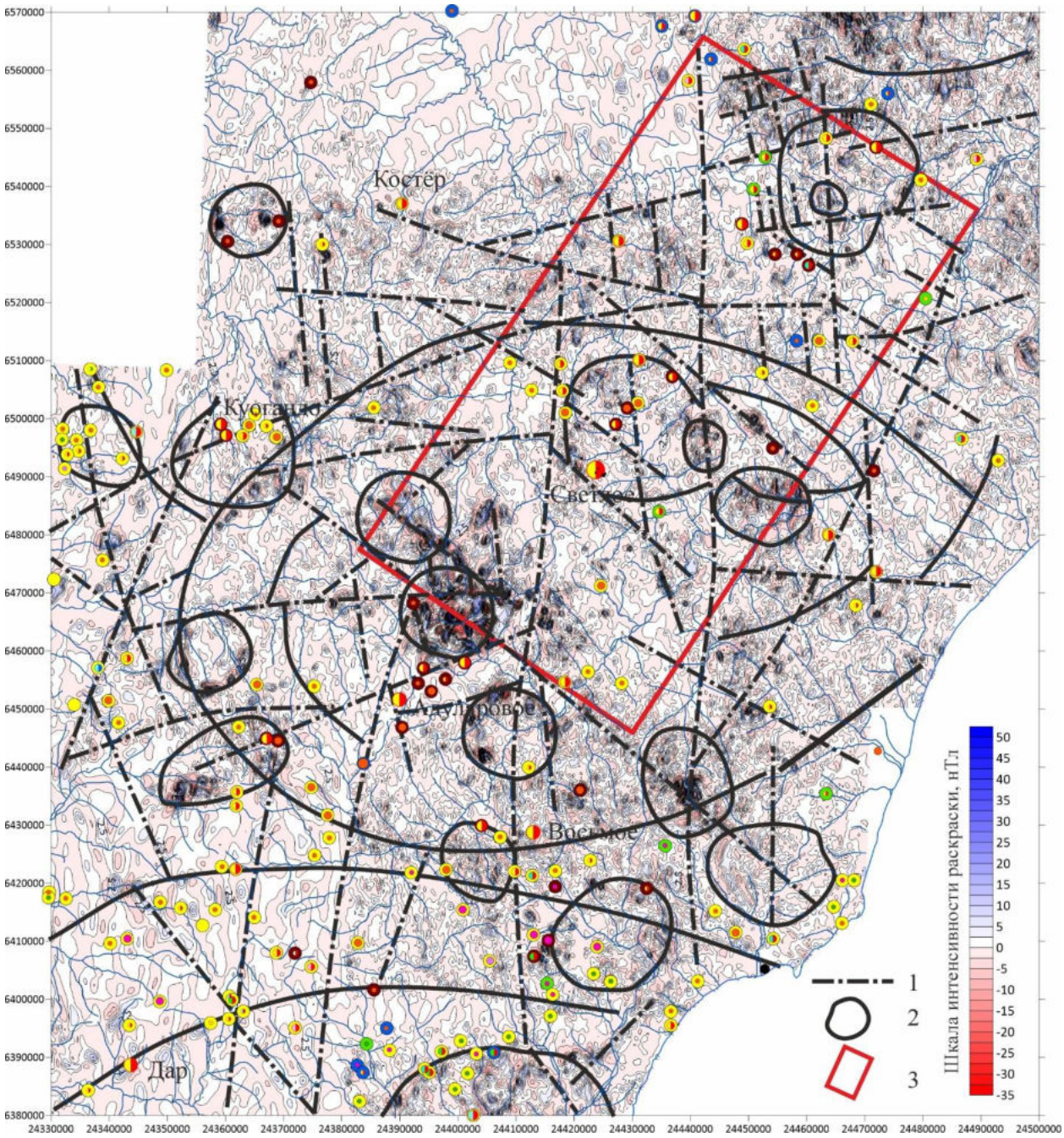
№ п/п	№ приложения	Наименование
27	Текст. прил. 27	Карта распределения золота. Участок Дюльбаки
28	Текст. прил. 28	Карта распределения серебра. Участок Дюльбаки
29	Текст. прил. 29	Карта распределения молибдена. Участок Дюльбаки
30	Текст. прил. 30	Карта распределения висмута. Участок Дюльбаки
31	Текст. прил. 31	Карта распределения олова. Участок Дюльбаки
32	Текст. прил. 32	Карта распределения кобальта. Участок Дюльбаки
33	Текст. прил. 33	Карта распределения вольфрама. Участок Дюльбаки
34	Текст. прил. 34	Карта распределения меди. Участок Дюльбаки
35	Текст. прил. 35	Карта распределения свинца. Участок Дюльбаки
36	Текст. прил. 36	Карта распределения ванадия. Участок Дюльбаки
37	Текст. прил. 37	Карта распределения мышьяка. Участок Дюльбаки
38	Текст. прил. 38	Карта распределения сурьмы. Участок Дюльбаки
39	Текст. прил. 39	Карта распределения хрома. Участок Дюльбаки
40	Текст. прил. 40	Карта распределения цинка. Участок Дюльбаки
41	Текст. прил. 41	Карта распределения фосфора. Участок Дюльбаки



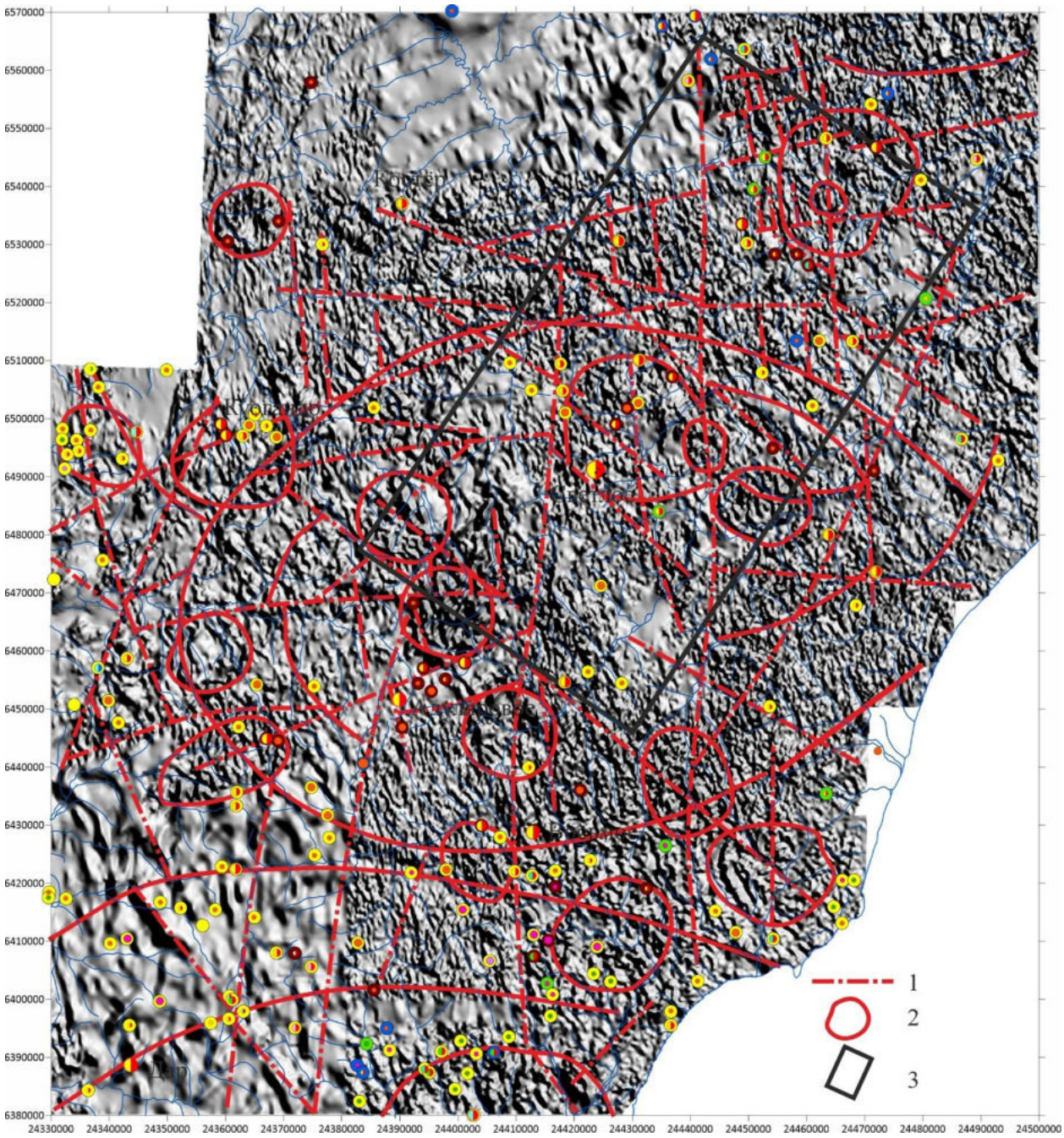
Текстовое приложение 1. Результаты сопоставления структурной схемы Охотской площади масштаба 1:500 000 (по геофизическим данным) с планом изолиний приращения полного вектора индукции магнитного поля по аэрогеофизическим материалам. 1–тектонические нарушения, предполагаемые по геофизическим данным; 2–границы кольцевых структур, предполагаемые по геофизическим данным; 3–граница участка для составления структурно-геологической схемы. Проявления и месторождения золота приведены по материалам реестра (Мартынюк, 2017)



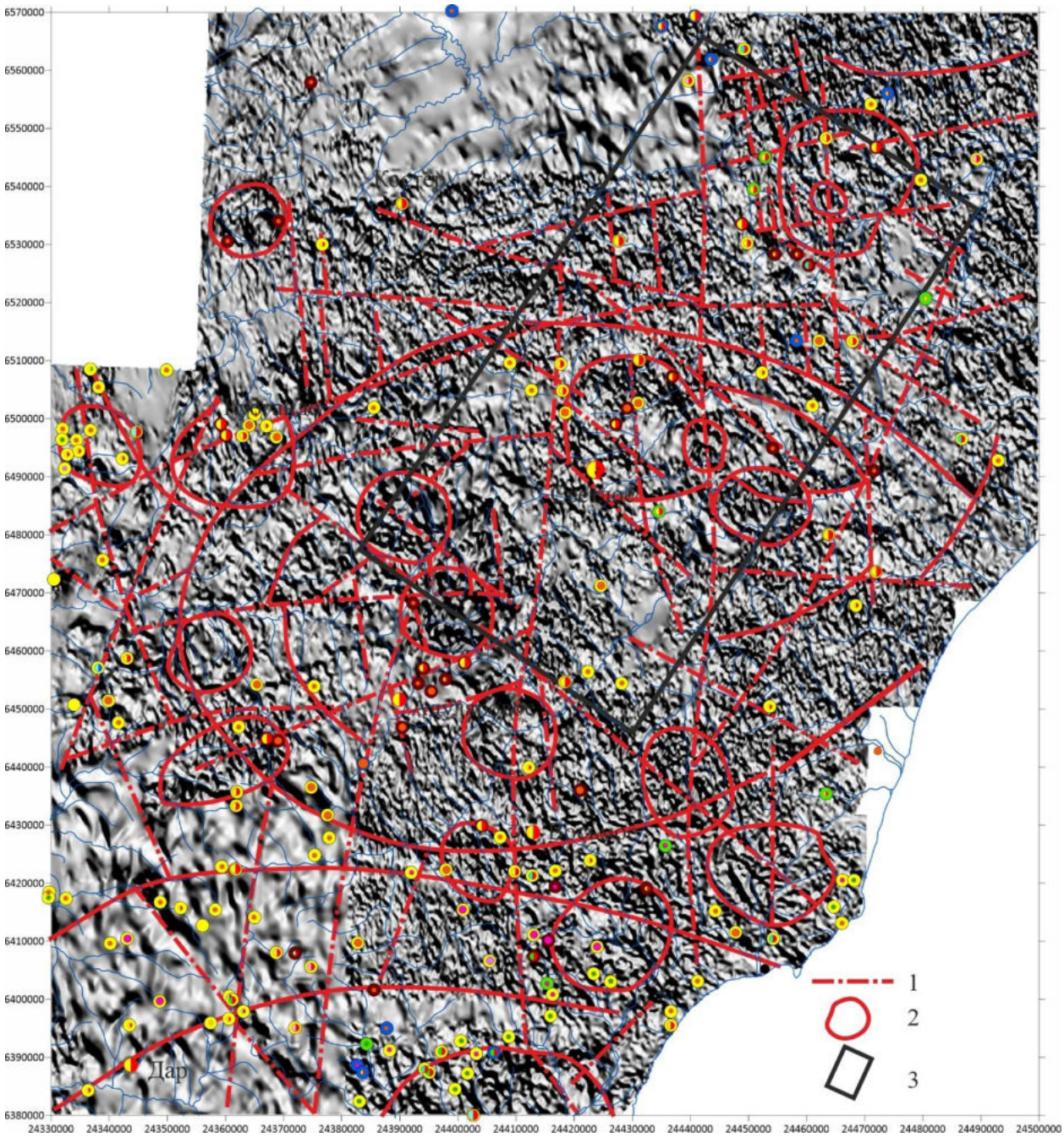
Текстовое приложение 2. Результаты сопоставления структурной схемы Охотской площади масштаба 1:500 000 (по геофизическим данным) с планом изолиний осреднённых значений приращения полного вектора индукции магнитного поля по аэрогеофизическим материалам. 1–тектонические нарушения, предполагаемые по геофизическим данным; 2–границы кольцевых структур, предполагаемые по геофизическим данным; 3–граница участка для составления структурно-геологической схемы. Проявления и месторождения золота приведены по материалам реестра (Мартынюк, 2017)



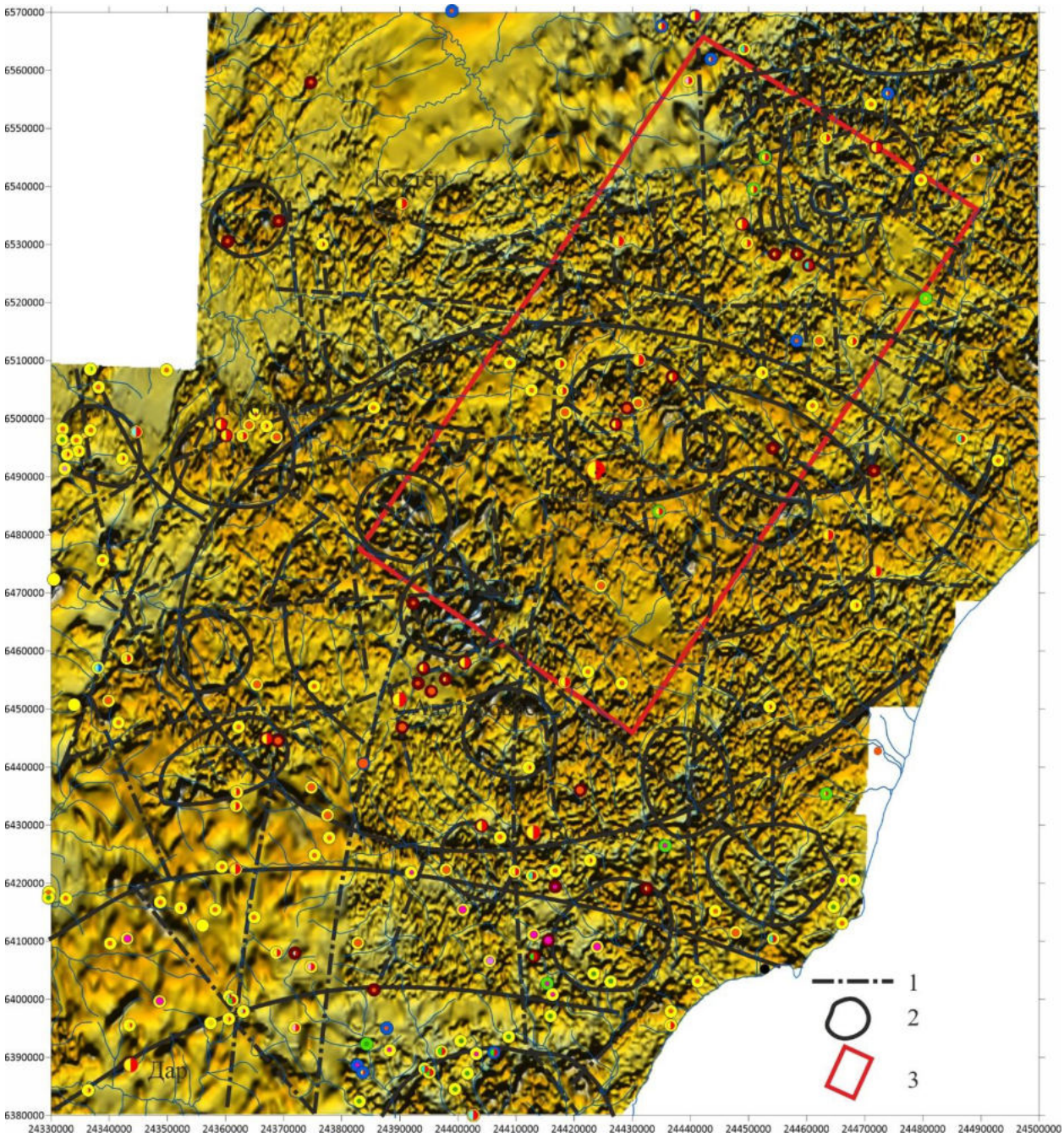
Текстовое приложение 3. Результаты сопоставления структурной схемы Охотской площади масштаба 1:500 000 (по геофизическим данным) с планом изолиний остаточных значений приращения полного вектора индукции магнитного поля по аэрогеофизическим материалам. 1–тектонические нарушения, предполагаемые по геофизическим данным; 2–границы кольцевых структур, предполагаемые по геофизическим данным; 3–граница участка для составления структурно-геологической схемы. Проявления и месторождения золота приведены по материалам реестра (Мартынюк, 2017)



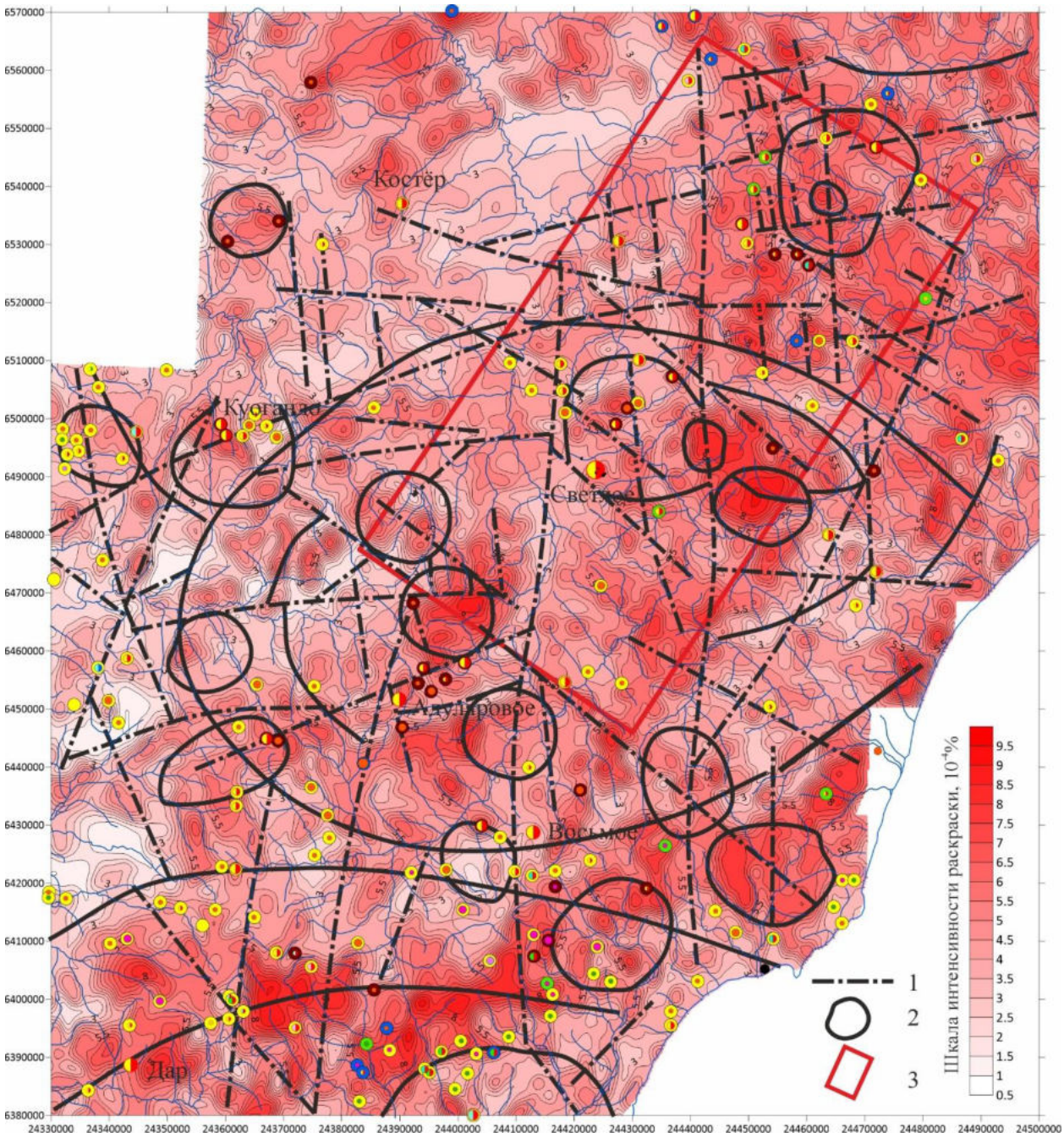
Текстовое приложение 4. Результаты сопоставления структурной схемы Охотской площади масштаба 1:500 000 (по геофизическим данным) с картой теневого рельефа приращения полного вектора индукции магнитного поля по аэрогеофизическим материалам. Вариант освещения 1. 1–тектонические нарушения, предполагаемые по геофизическим данным; 2–границы кольцевых структур, предполагаемые по геофизическим данным; 3–граница участка для составления структурно-геологической схемы. Проявления и месторождения золота приведены по материалам реестра (Мартынюк, 2017)



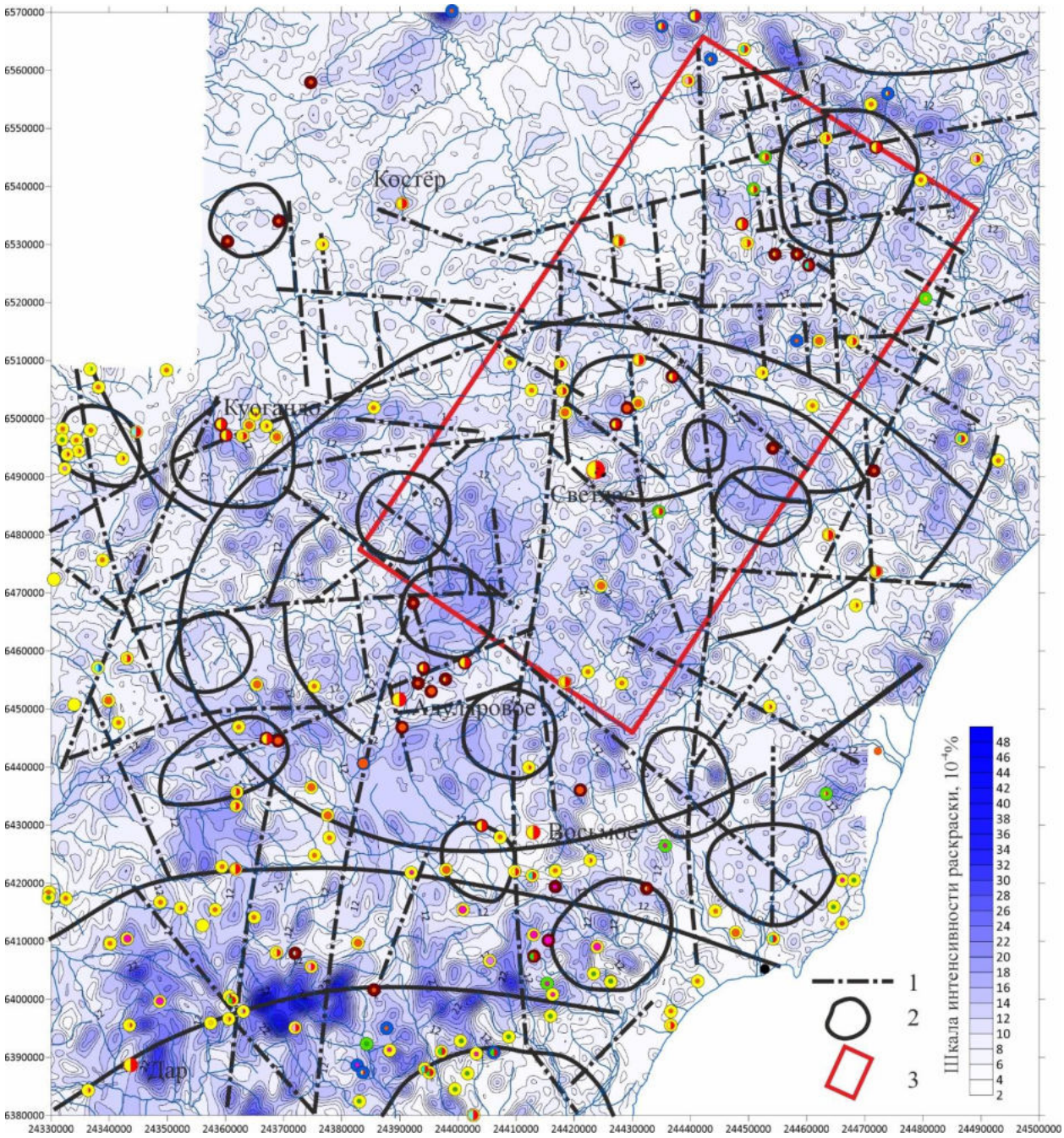
Текстовое приложение 5. Результаты сопоставления структурной схемы Охотской площади масштаба 1:500 000 (по геофизическим данным) с картой теневого рельефа приращения полного вектора индукции магнитного поля по аэрогеофизическим материалам. Вариант освещения 2. 1–тектонические нарушения, предполагаемые по геофизическим данным; 2–границы кольцевых структур, предполагаемые по геофизическим данным; 3–граница участка для составления структурно-геологической схемы. Проявления и месторождения золота приведены по материалам реестра (Мартынюк, 2017)



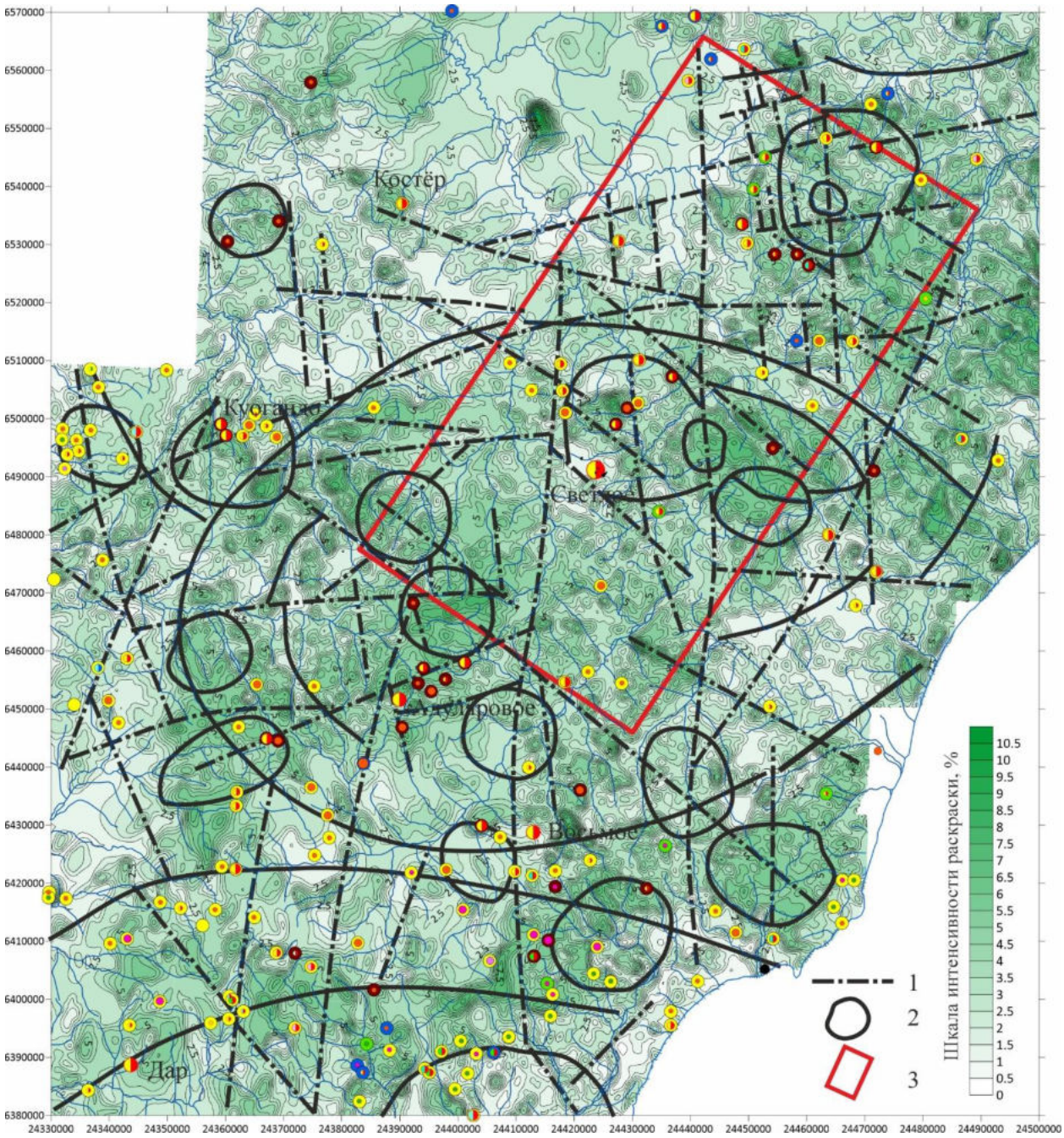
Текстовое приложение 6. Результаты сопоставления структурной схемы Охотской площади масштаба 1:500 000 (по геофизическим данным) с картой цветного рельефа приращения полного вектора индукции магнитного поля по аэрогеофизическим материалам. 1–тектонические нарушения, предполагаемые по геофизическим данным; 2–границы кольцевых структур, предполагаемые по геофизическим данным; 3–граница участка для составления структурно-геологической схемы. Проявления и месторождения золота приведены по материалам реестра (Мартынюк, 2017)



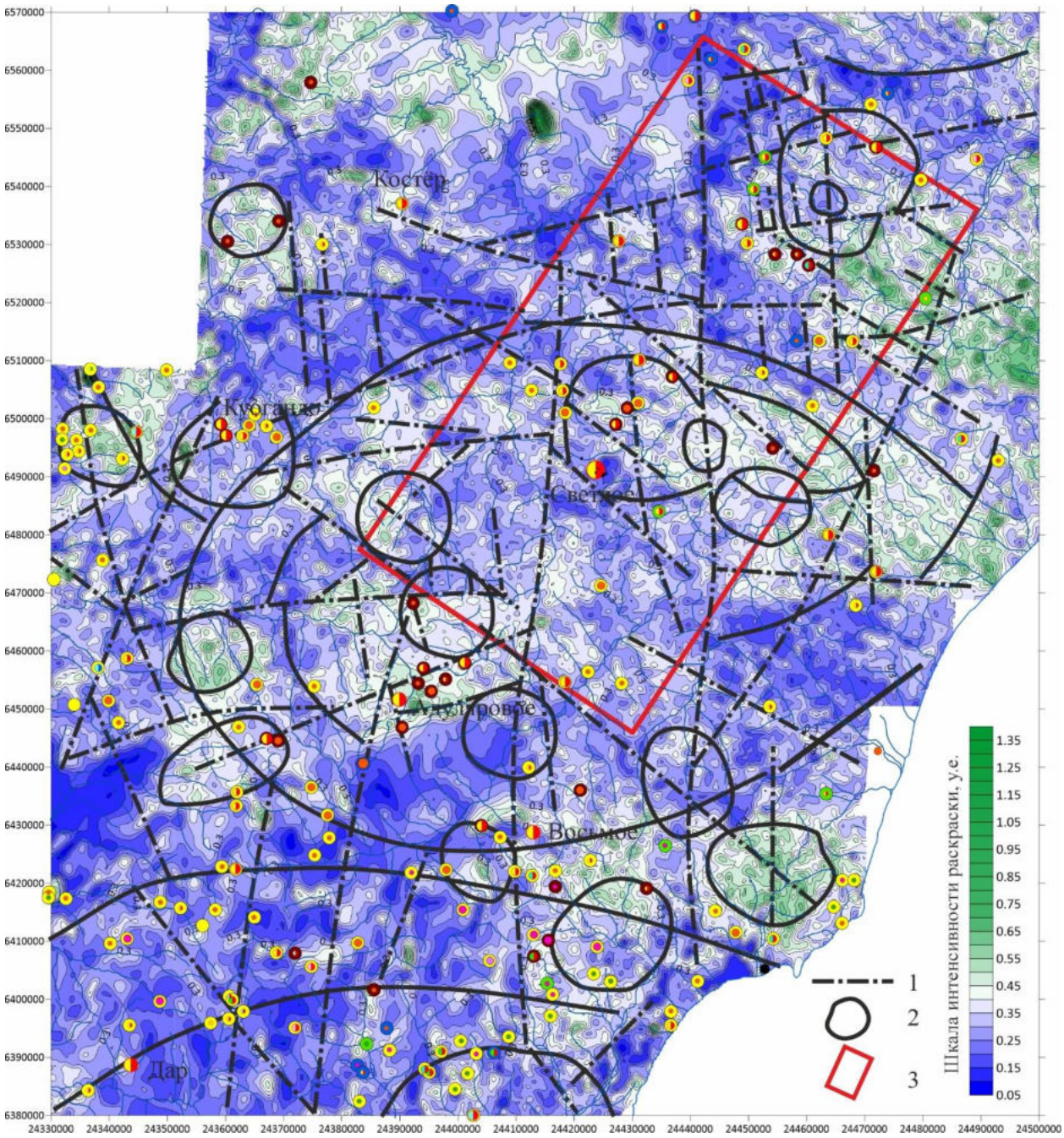
Текстовое приложение 7. Результаты сопоставления структурной схемы Охотской площади масштаба 1:500 000 (по геофизическим данным) с картой изоконцентрат урана по аэрогеофизическим материалам. 1–тектонические нарушения, предполагаемые по геофизическим данным; 2–границы кольцевых структур, предполагаемые по геофизическим данным; 3–граница участка для составления структурно-геологической схемы. Проявления и месторождения золота приведены по материалам реестра (Мартынюк, 2017)



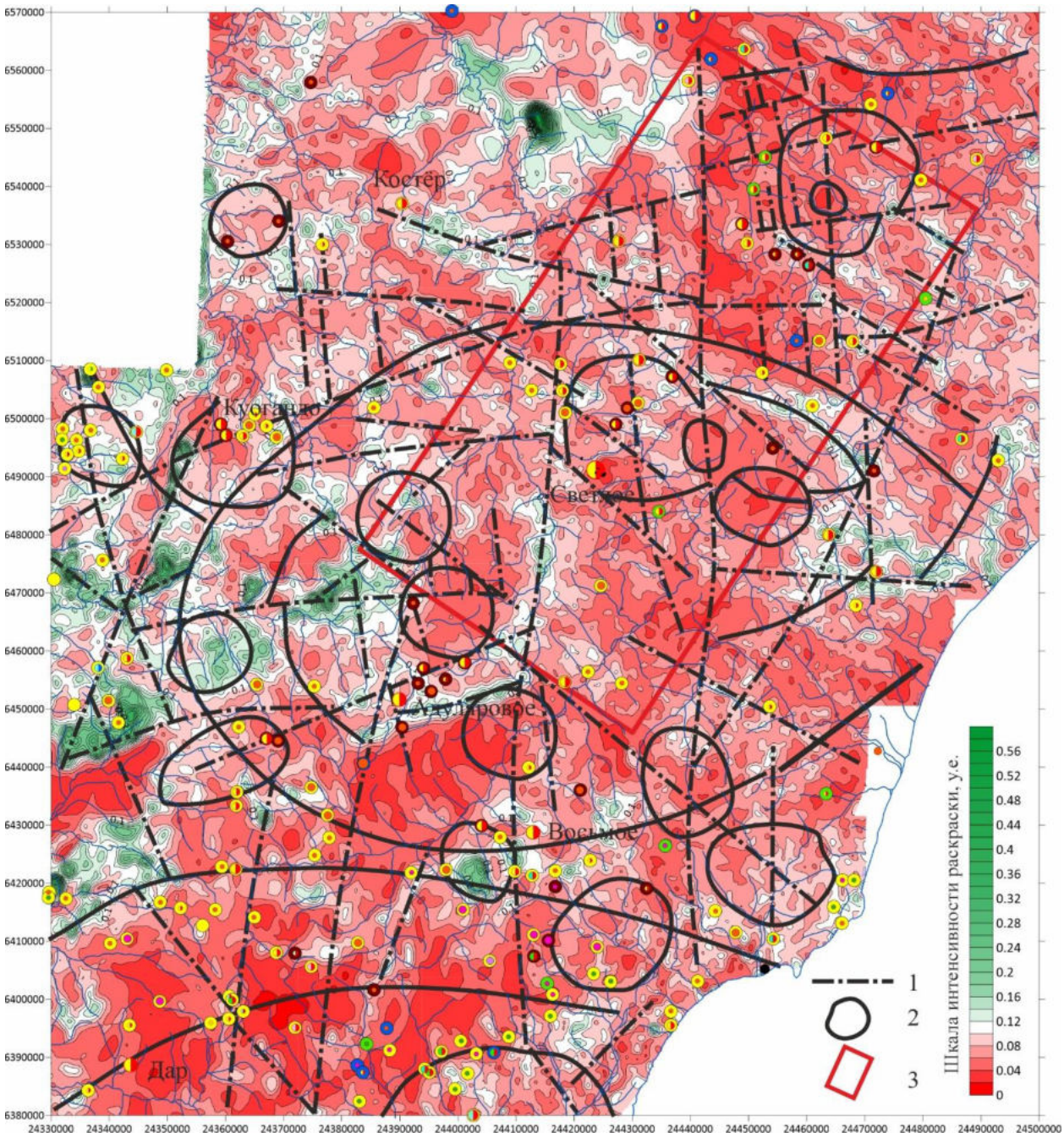
Текстовое приложение 8. Результаты сопоставления структурной схемы Охотской площади масштаба 1:500 000 (по геофизическим данным) с картой изоконцентрат тория по аэрогеофизическим материалам. 1–тектонические нарушения, предполагаемые по геофизическим данным; 2–границы кольцевых структур, предполагаемые по геофизическим данным; 3–граница участка для составления структурно-геологической схемы. Проявления и месторождения золота приведены по материалам реестра (Мартынюк, 2017)



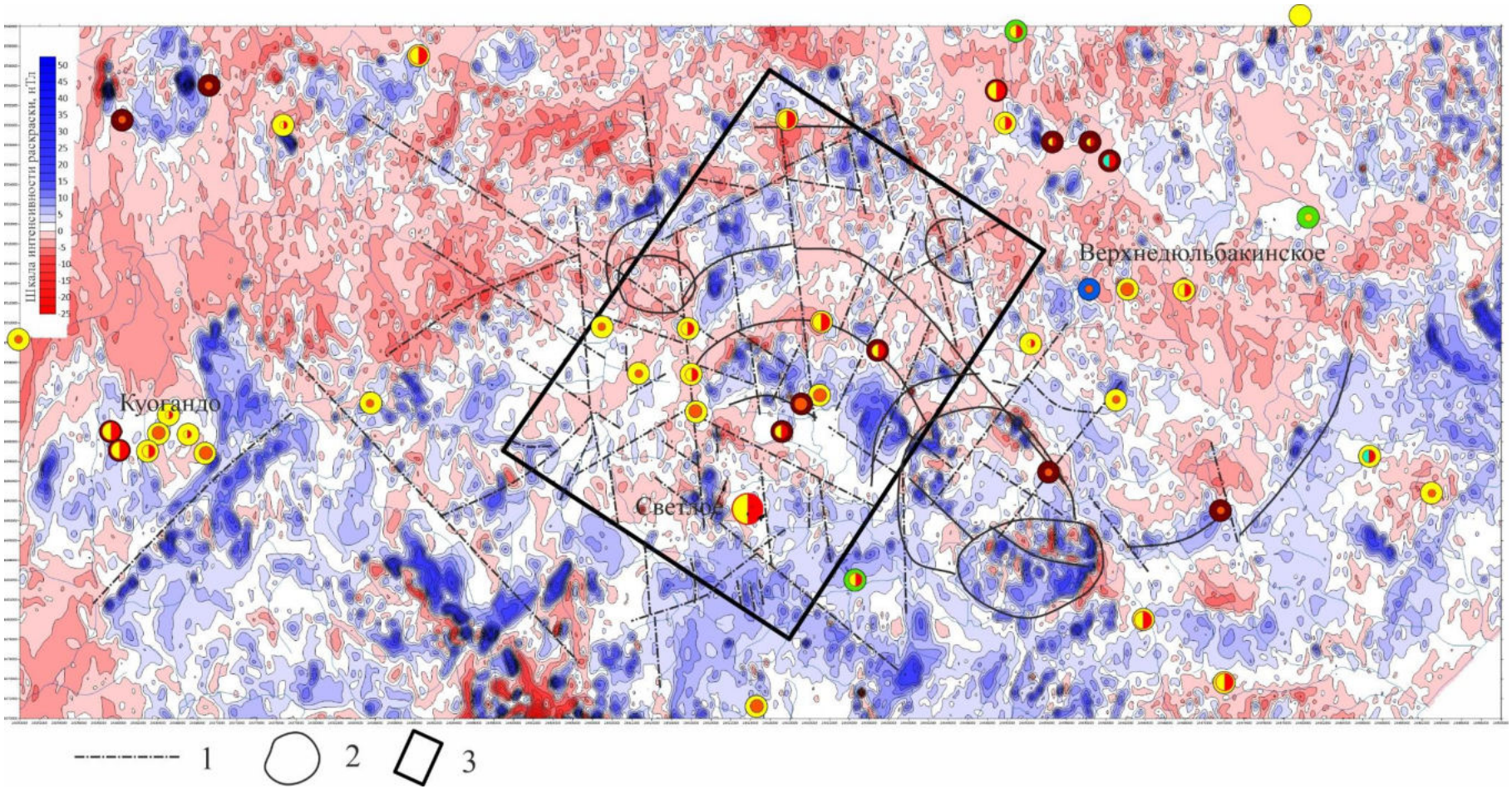
Текстовое приложение 9. Результаты сопоставления структурной схемы Охотской площади масштаба 1:500 000 (по геофизическим данным) с картой изоконцентрат калия по аэрогеофизическим материалам. 1–тектонические нарушения, предполагаемые по геофизическим данным; 2–границы кольцевых структур, предполагаемые по геофизическим данным; 3–граница участка для составления структурно-геологической схемы. Проявления и месторождения золота приведены по материалам реестра (Мартынюк, 2017)



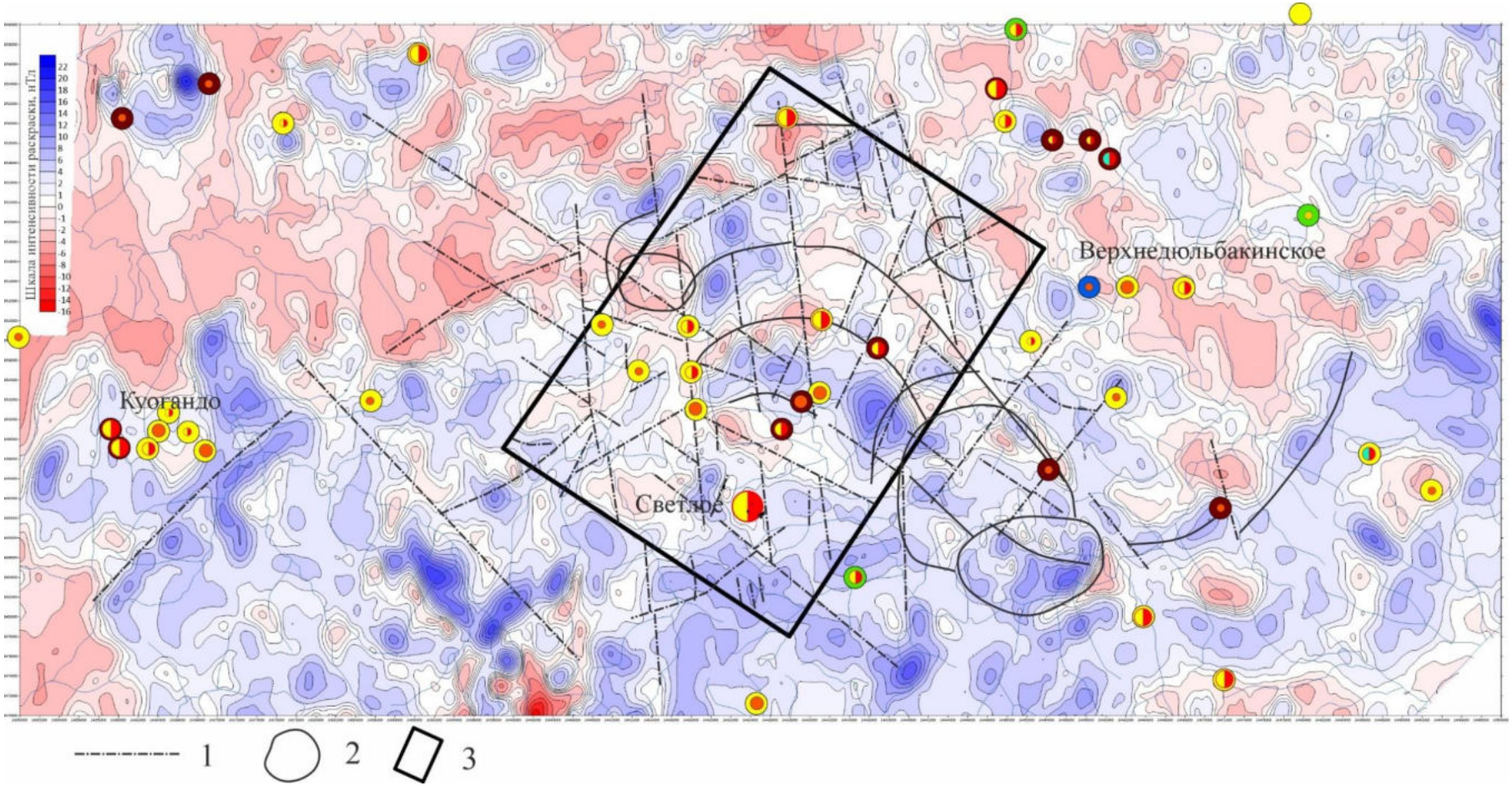
Текстовое приложение 10. Результаты сопоставления структурной схемы Охотской площади масштаба 1:500 000 (по геофизическим данным) с картой калий-ториевого отношения по аэрогеофизическим материалам. 1– тектонические нарушения, предполагаемые по геофизическим данным; 2– границы кольцевых структур, предполагаемые по геофизическим данным; 3– граница участка для составления структурно-геологической схемы. Проявления и месторождения золота приведены по материалам реестра (Мартынюк, 2017)



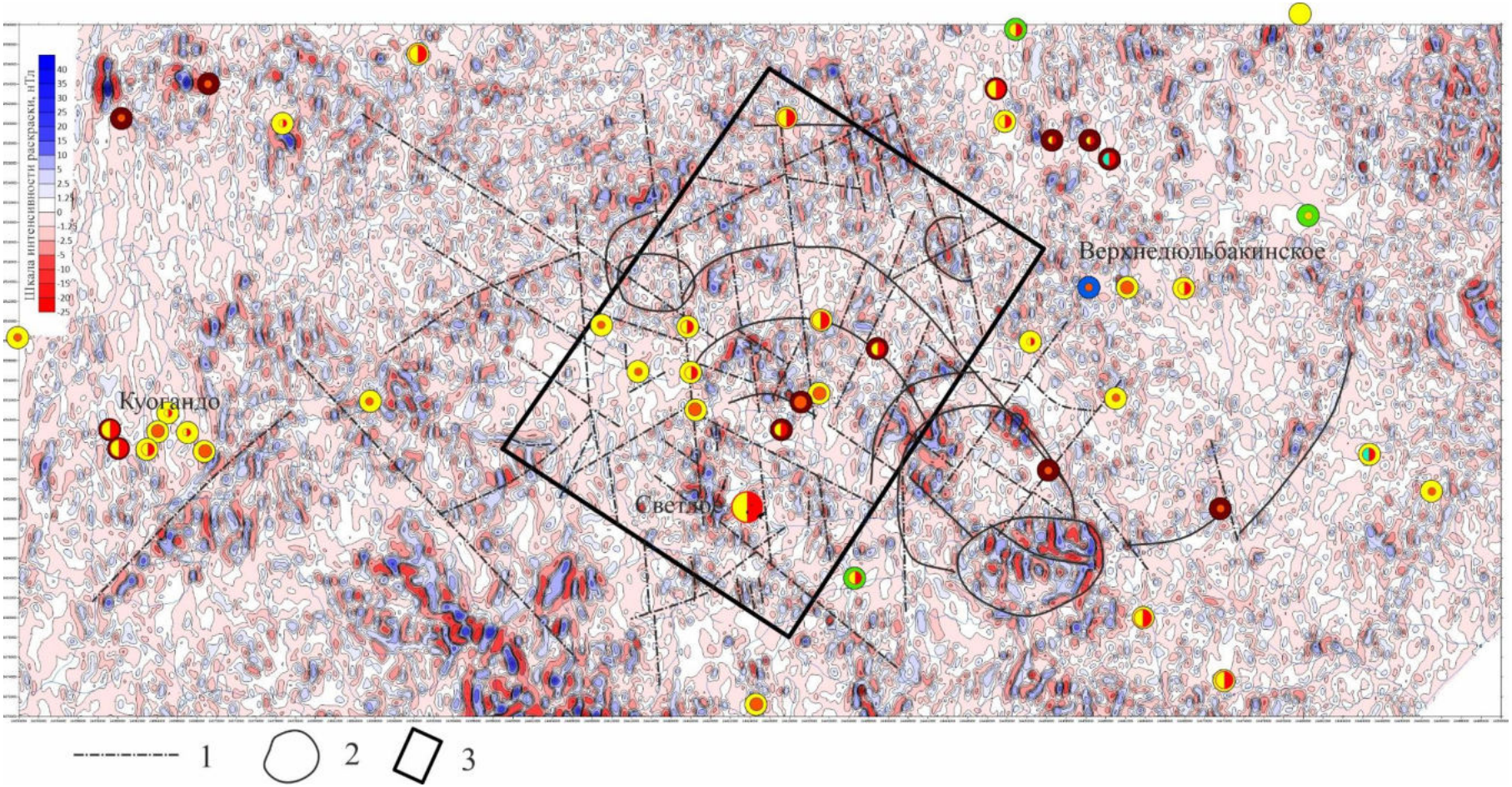
Текстовое приложение 11. Результаты сопоставления структурной схемы Охотской площади масштаба 1:500 000 (по геофизическим данным) с картой параметра K/(U*Th) по аэрогеофизическим материалам. 1–тектонические нарушения, предполагаемые по геофизическим данным; 2–границы кольцевых структур, предполагаемые по геофизическим данным; 3–граница участка для составления структурно-геологической схемы. Проявления и месторождения золота приведены по материалам реестра (Мартынюк, 2017)



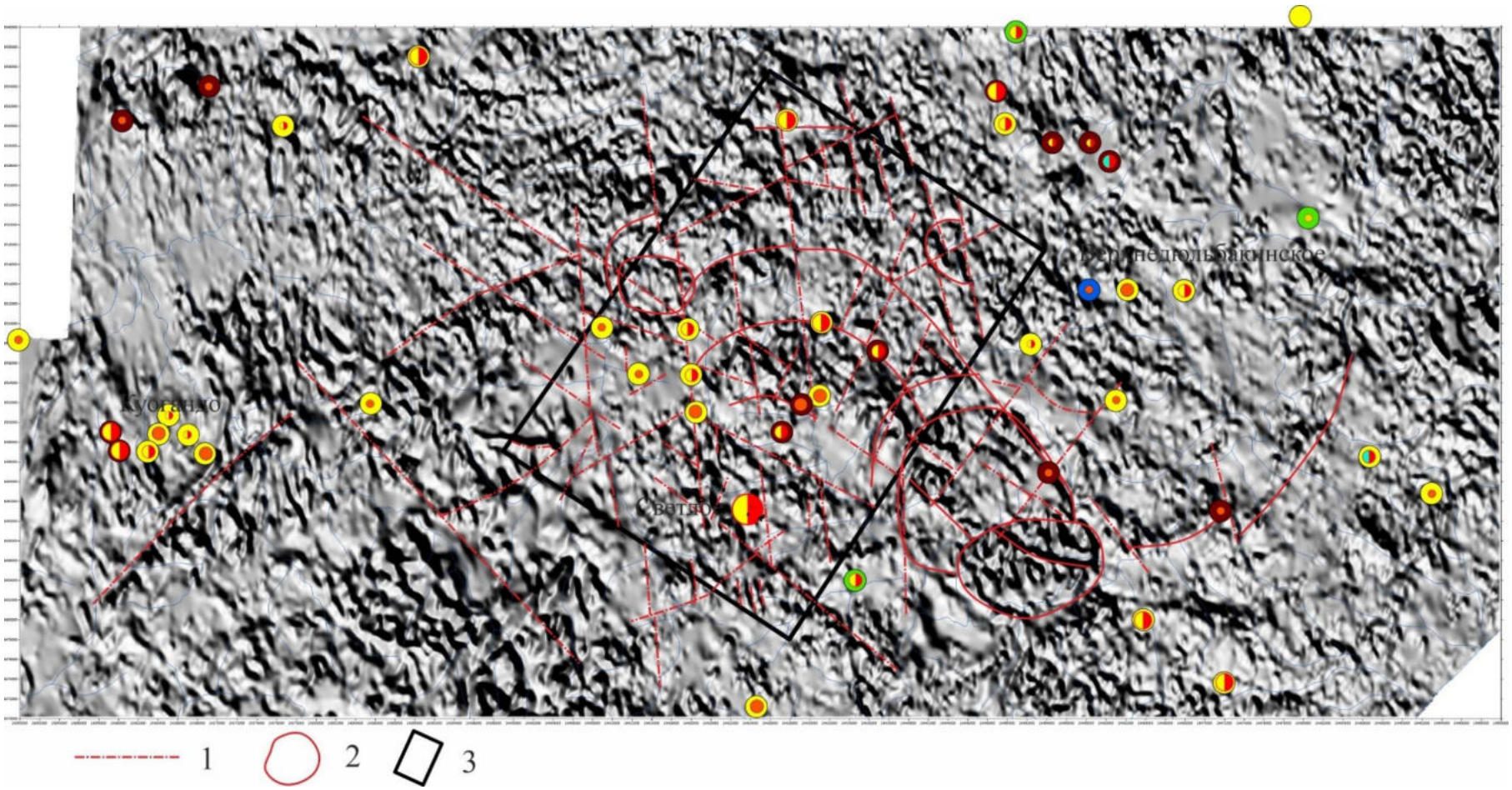
Текстовое приложение 12. Результаты сопоставления структурной схемы Уенминского рудного узла масштаба 1:100 000 (по геофизическим данным) с планом изолиний приращения полного вектора индукции магнитного поля по аэрогеофизическим материалам. 1–тектонические нарушения, предполагаемые по геофизическим данным; 2–границы кольцевых структур, предполагаемые по геофизическим данным; 3–граница участка для составления структурно-геологической схемы. Проявления и месторождения золота приведены по материалам реестра (Мартынюк, 2017)



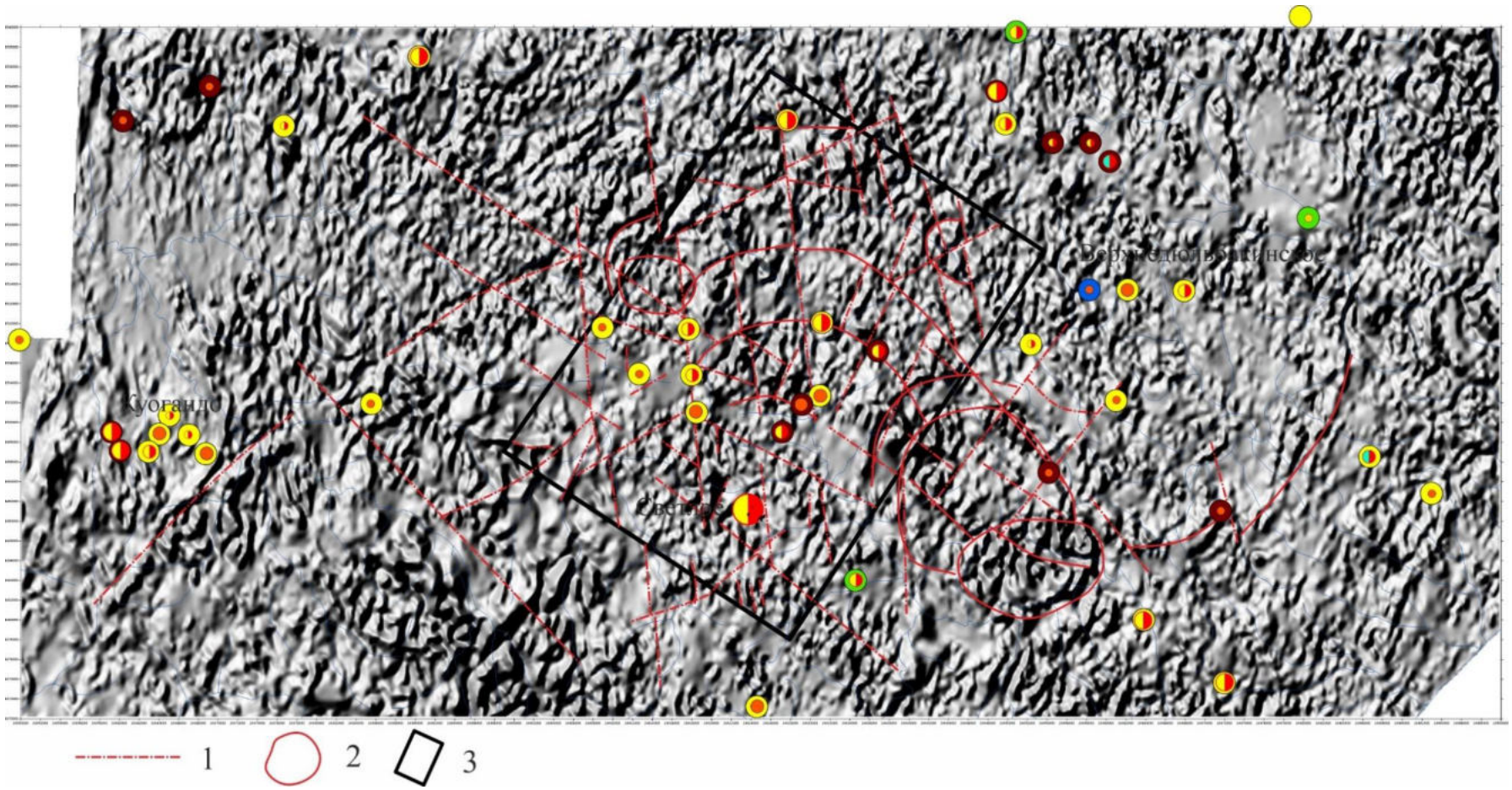
Текстовое приложение 13. Результаты сопоставления структурной схемы Уенминского рудного узла масштаба 1:100 000 (по геофизическим данным) с планом изолиний осреднённых значений приращения полного вектора индукции магнитного поля по аэрогеофизическим материалам. 1–тектонические нарушения, предполагаемые по геофизическим данным; 2–границы кольцевых структур, предполагаемые по геофизическим данным; 3–граница участка для составления структурно-геологической схемы. Проявления и месторождения золота приведены по материалам реестра (Мартынюк, 2017)



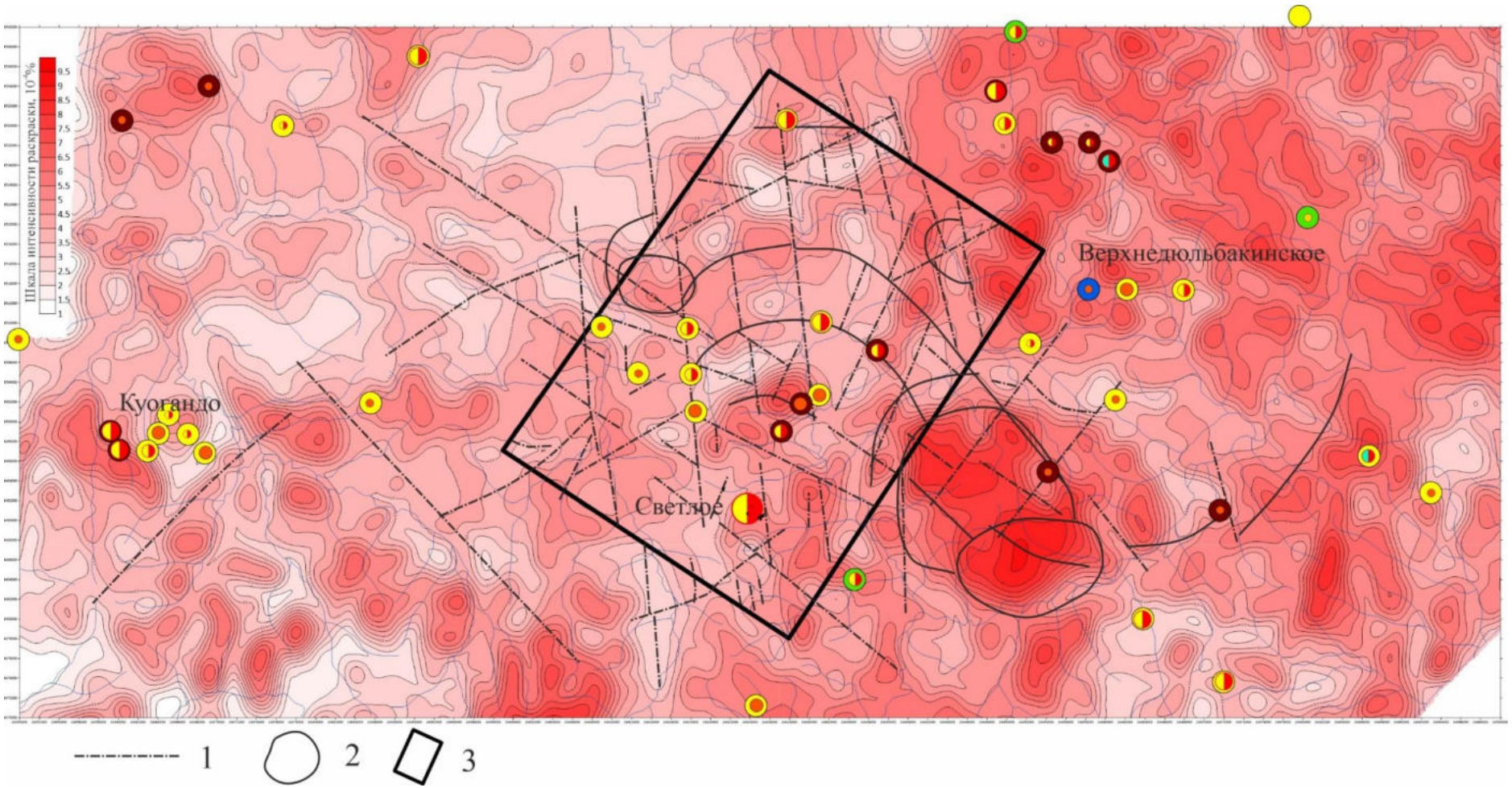
Текстовое приложение 14. Результаты сопоставления структурной схемы Уенминского рудного узла масштаба 1:100 000 (по геофизическим данным) с планом изолиний остаточных значений приращения полного вектора индукции магнитного поля по аэрогеофизическим материалам. 1–тектонические нарушения, предполагаемые по геофизическим данным; 2–границы кольцевых структур, предполагаемые по геофизическим данным; 3–граница участка для составления структурно-геологической схемы. Проявления и месторождения золота приведены по материалам реестра (Мартынюк, 2017)



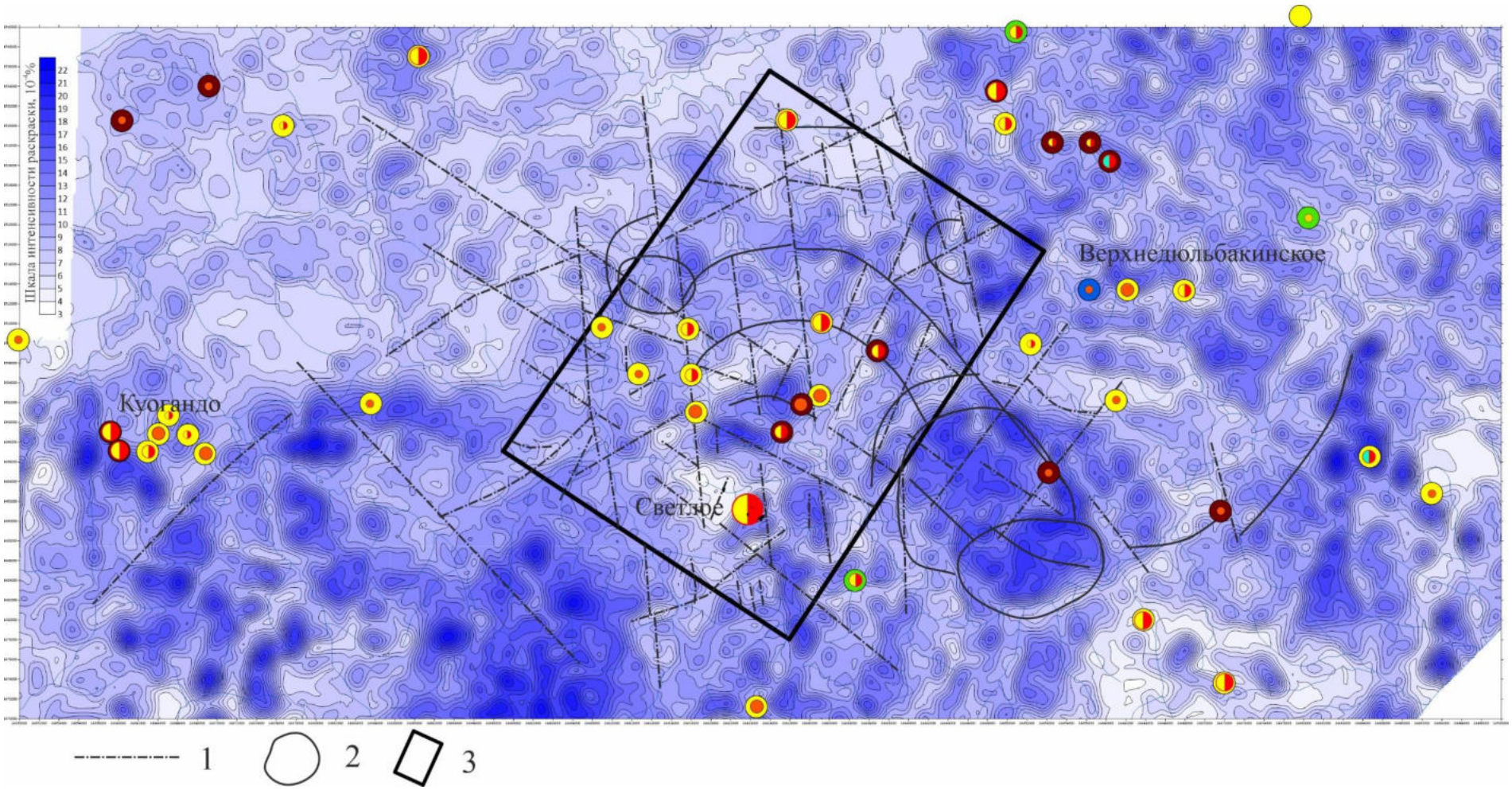
Текстовое приложение 15. Результаты сопоставления структурной схемы Уенминского рудного узла масштаба 1:100 000 (по геофизическим данным) с картой теневого рельефа приращения полного вектора индукции магнитного поля по аэрогеофизическим материалам. Вариант освещения 1. 1–тектонические нарушения, предполагаемые по геофизическим данным; 2–границы кольцевых структур, предполагаемые по геофизическим данным; 3–граница участка для составления структурно-геологической схемы. Проявления и месторождения золота приведены по материалам реестра (Мартынюк, 2017)



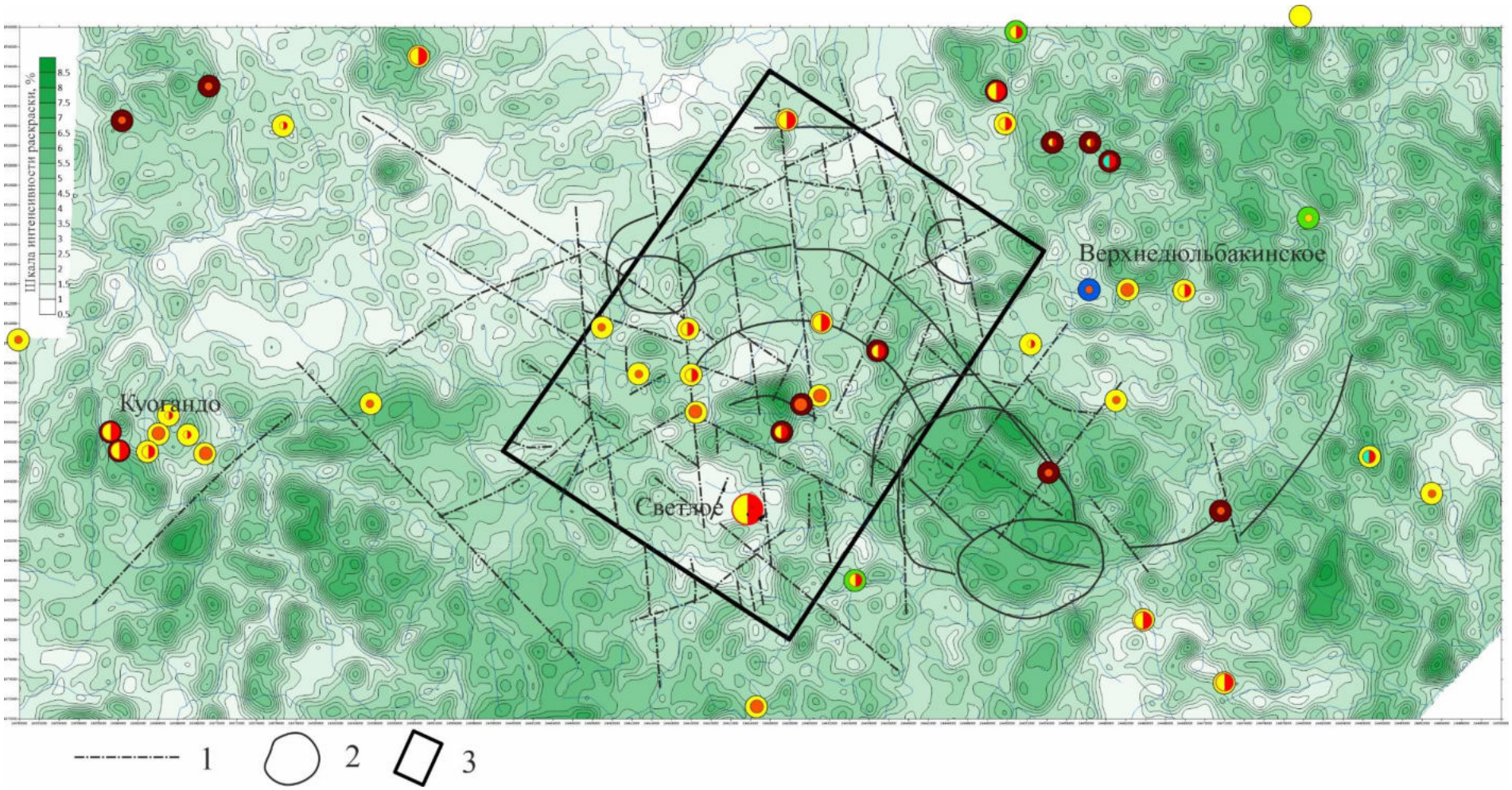
Текстовое приложение 16. Результаты сопоставления структурной схемы Уенминского рудного узла масштаба 1:100 000 (по геофизическим данным) с картой теневого рельефа приращения полного вектора индукции магнитного поля по аэрогеофизическим материалам. Вариант освещения 2. 1–тектонические нарушения, предполагаемые по геофизическим данным; 2–границы кольцевых структур, предполагаемые по геофизическим данным; 3–граница участка для составления структурно-геологической схемы. Проявления и месторождения золота приведены по материалам реестра (Мартынюк, 2017)



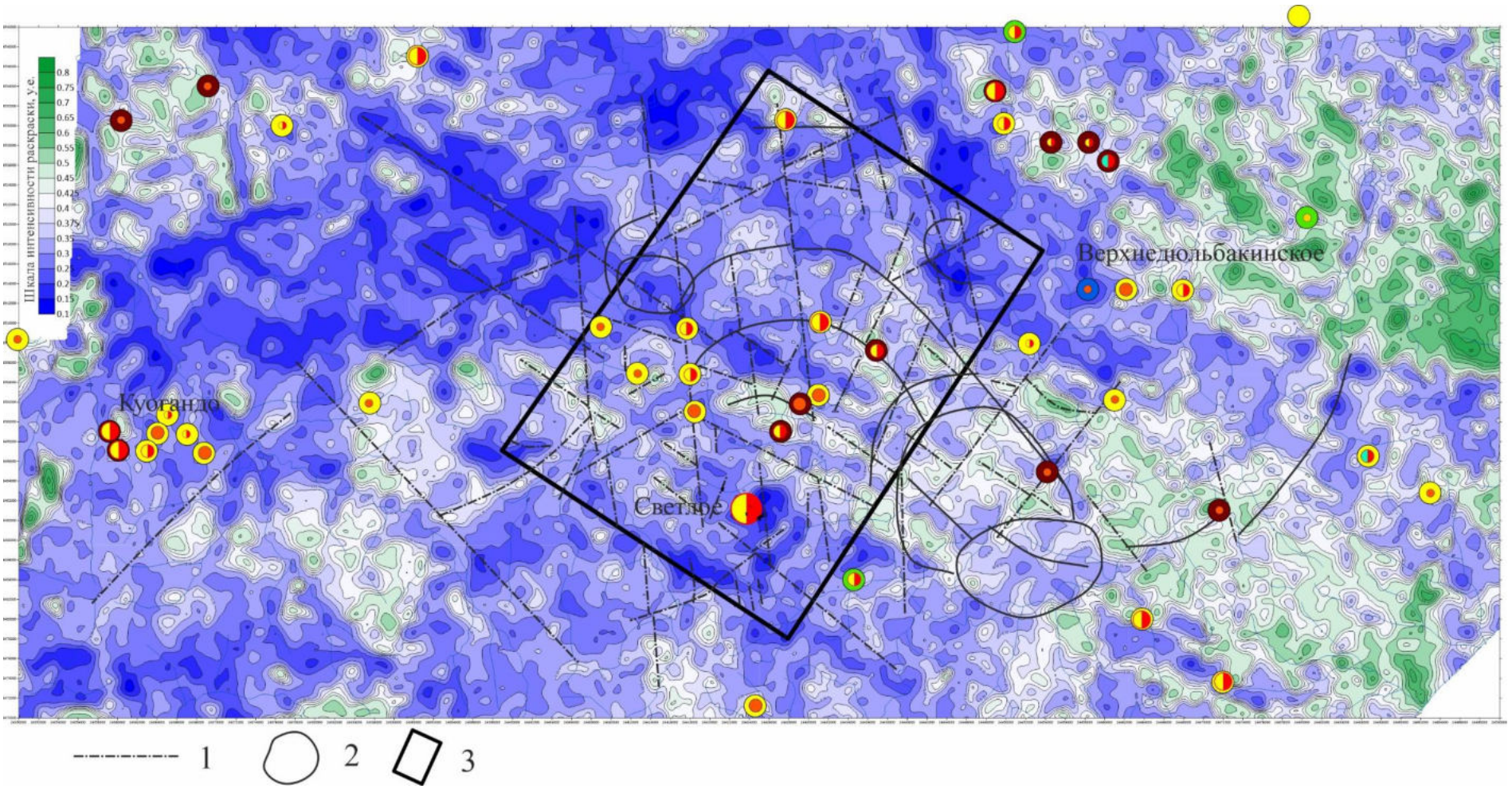
Текстовое приложение 17. Результаты сопоставления структурной схемы Уенминского рудного узла масштаба 1:100 000 (по геофизическим данным) с картой изоконцентрат урана по аэрогеофизическим материалам. 1–тектонические нарушения, предполагаемые по геофизическим данным; 2–границы кольцевых структур, предполагаемые по геофизическим данным; 3–граница участка для составления структурно-геологической схемы. Проявления и месторождения золота приведены по материалам реестра (Мартынюк, 2017)



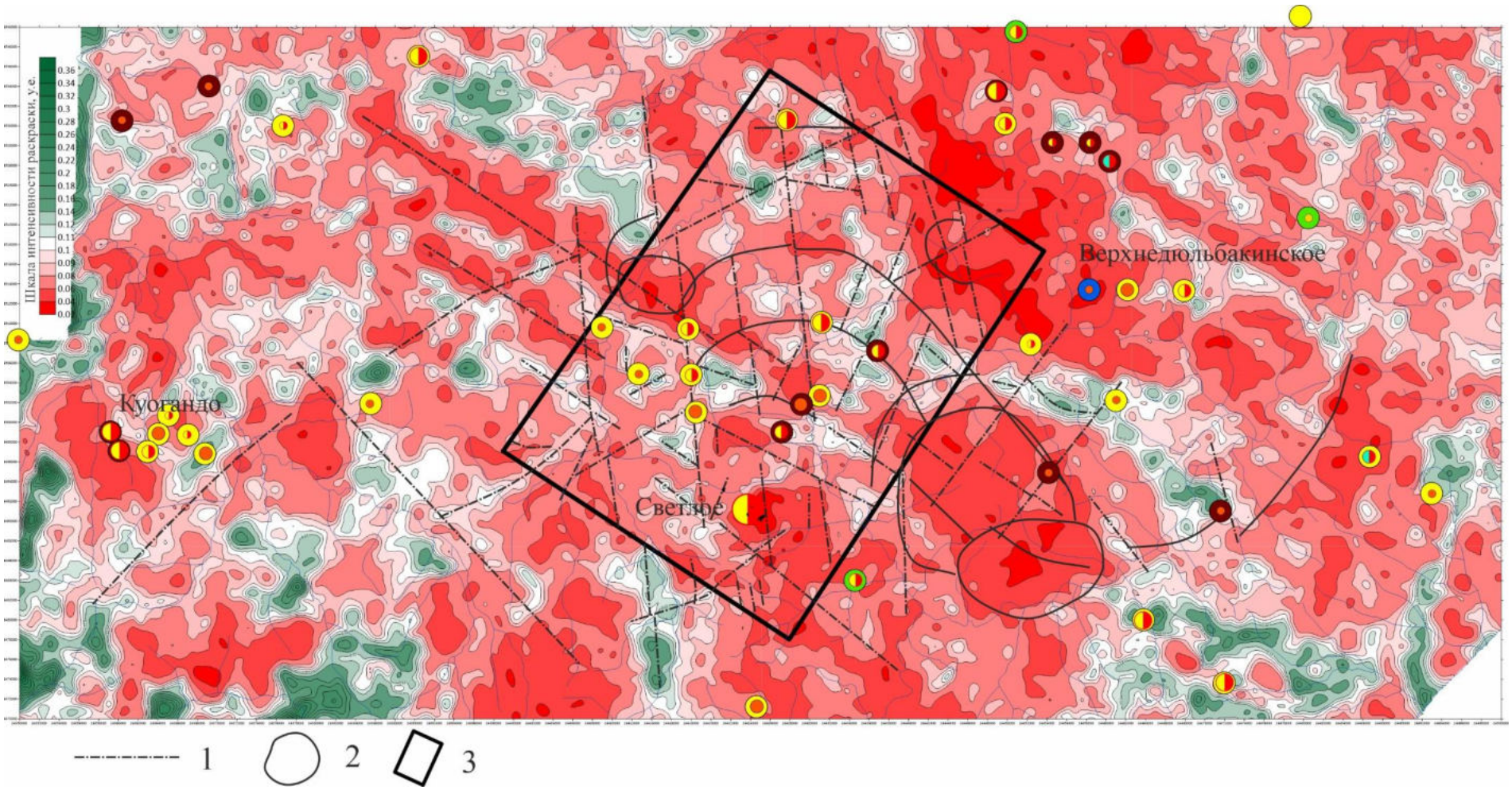
Текстовое приложение 18. Результаты сопоставления структурной схемы Уенминского рудного узла масштаба 1:100 000 (по геофизическим данным) с картой изоконцентрат тория по аэрогеофизическим материалам. 1–тектонические нарушения, предполагаемые по геофизическим данным; 2–границы кольцевых структур, предполагаемые по геофизическим данным; 3–граница участка для составления структурно-геологической схемы. Проявления и месторождения золота приведены по материалам реестра (Мартынюк, 2017)



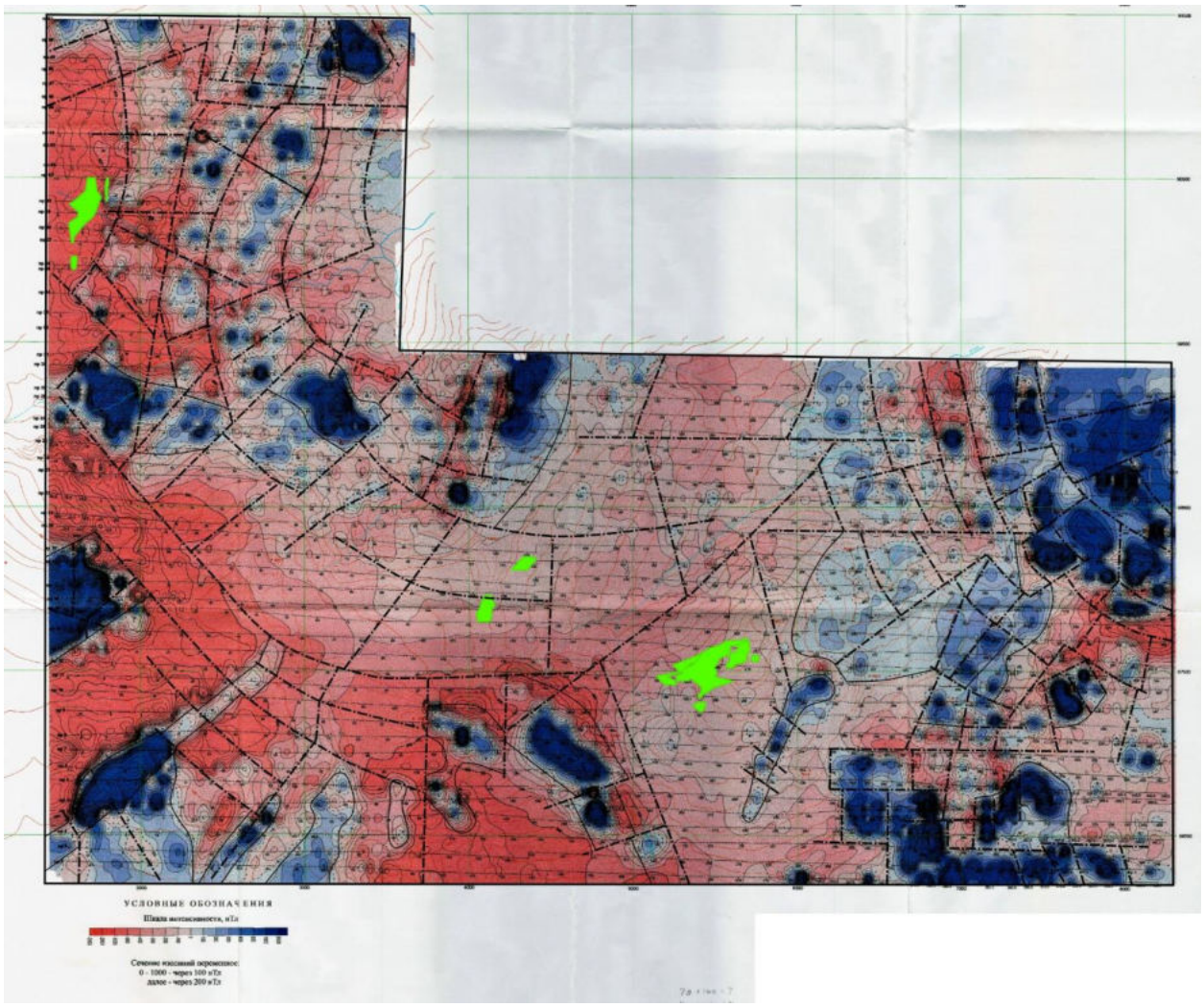
Текстовое приложение 19. Результаты сопоставления структурной схемы Уенминского рудного узла масштаба 1:100 000 (по геофизическим данным) с картой изоконцентрат калия по аэрогеофизическим материалам. 1–тектонические нарушения, предполагаемые по геофизическим данным; 2–границы кольцевых структур, предполагаемые по геофизическим данным; 3–граница участка для составления структурно-геологической схемы. Проявления и месторождения золота приведены по материалам реестра (Мартынюк, 2017)



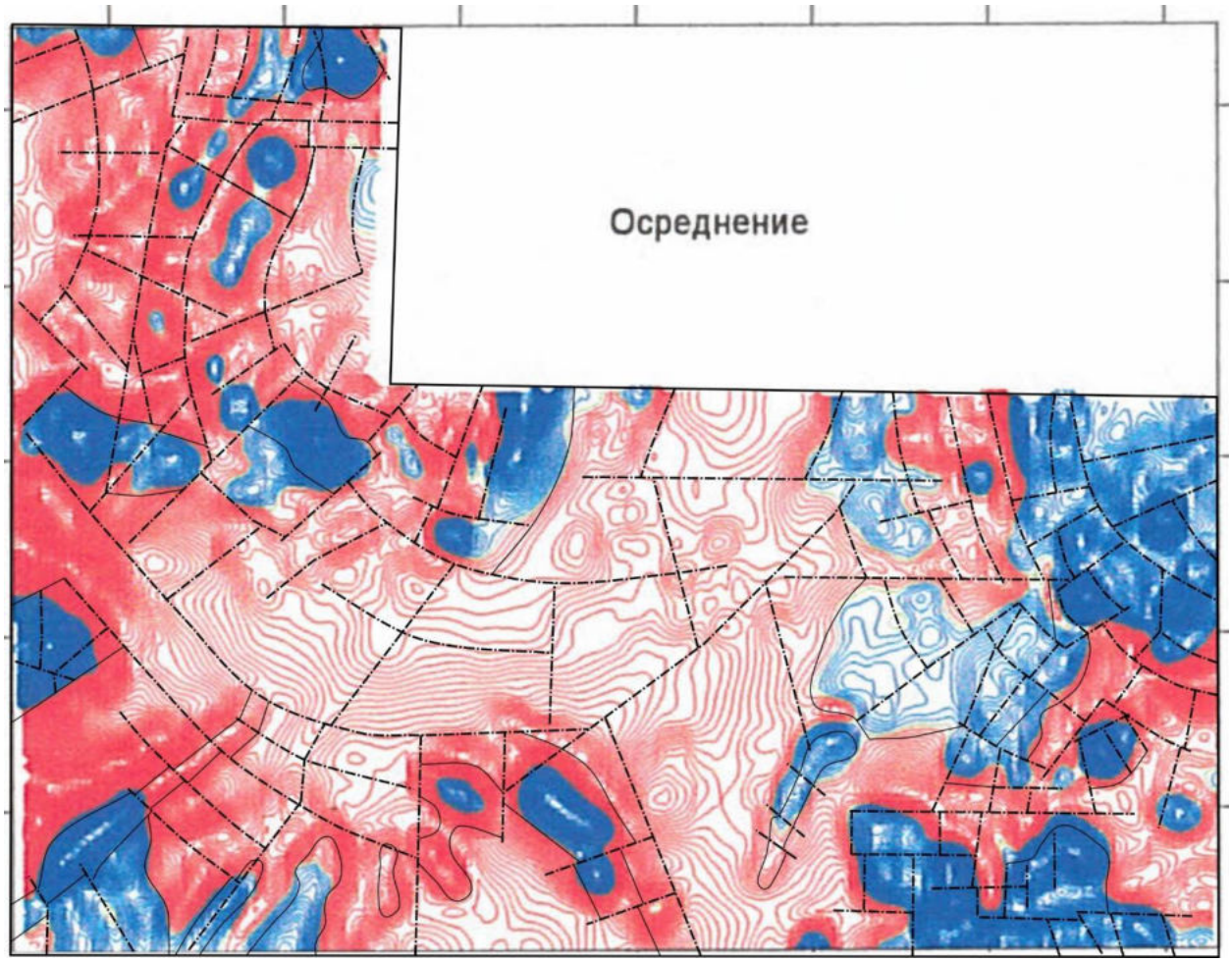
Текстовое приложение 20. Результаты сопоставления структурной схемы Уенминского рудного узла масштаба 1:100 000 (по геофизическим данным) с картой калий-ториевого отношения по аэрогеофизическим материалам. 1–тектонические нарушения, предполагаемые по геофизическим данным; 2–границы кольцевых структур, предполагаемые по геофизическим данным; 3–граница участка для составления структурно-геологической схемы. Проявления и месторождения золота приведены по материалам реестра (Мартынюк, 2017)



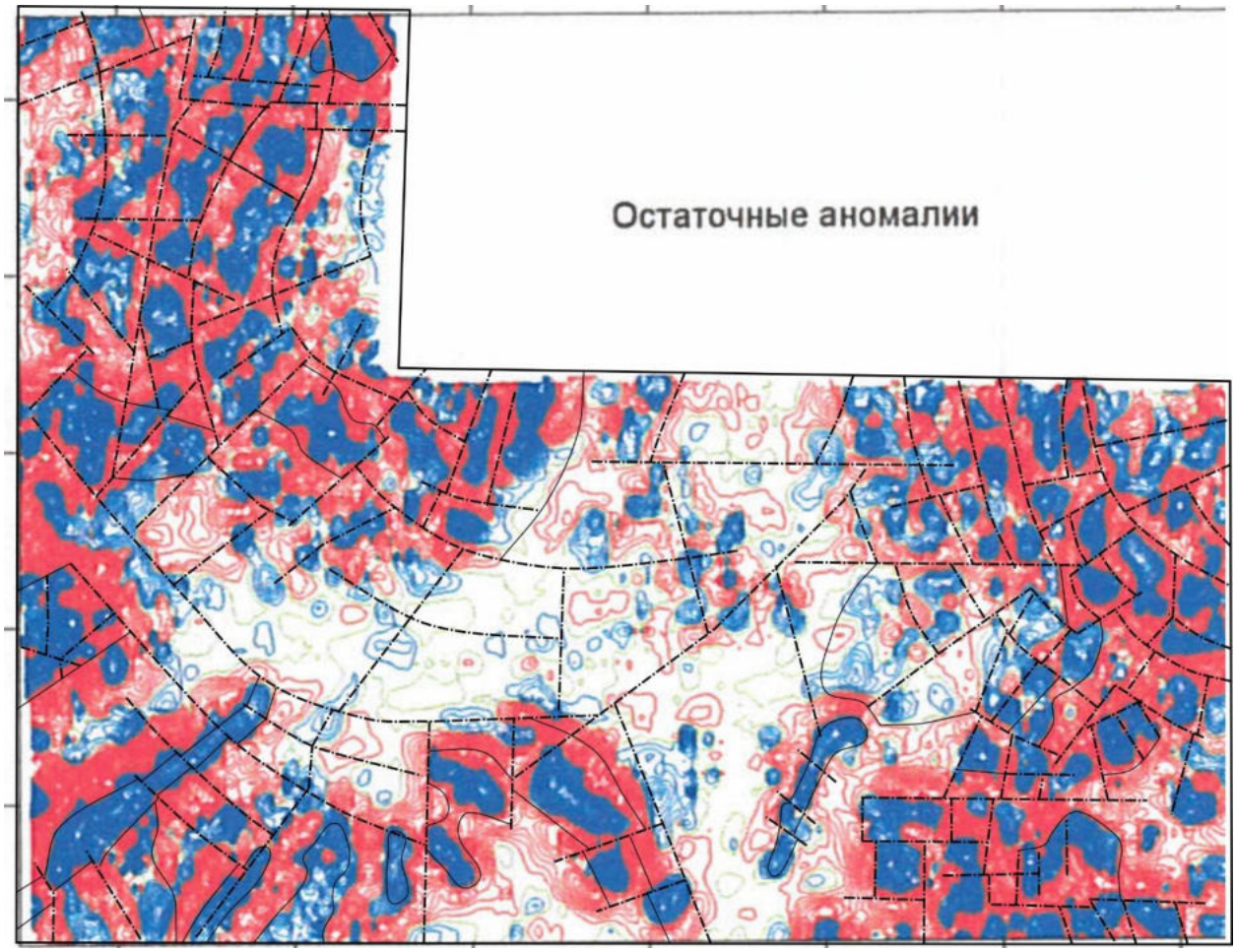
Текстовое приложение 21. Результаты сопоставления структурной схемы Уенминского рудного узла масштаба 1:100 000 (по геофизическим данным) с картой параметра K/(U*Th) по аэрогеофизическим материалам. 1–тектонические нарушения, предполагаемые по геофизическим данным; 2–границы кольцевых структур, предполагаемые по геофизическим данным; 3–граница участка для составления структурно-геологической схемы. Проявления и месторождения золота приведены по материалам реестра (Мартынюк, 2017)



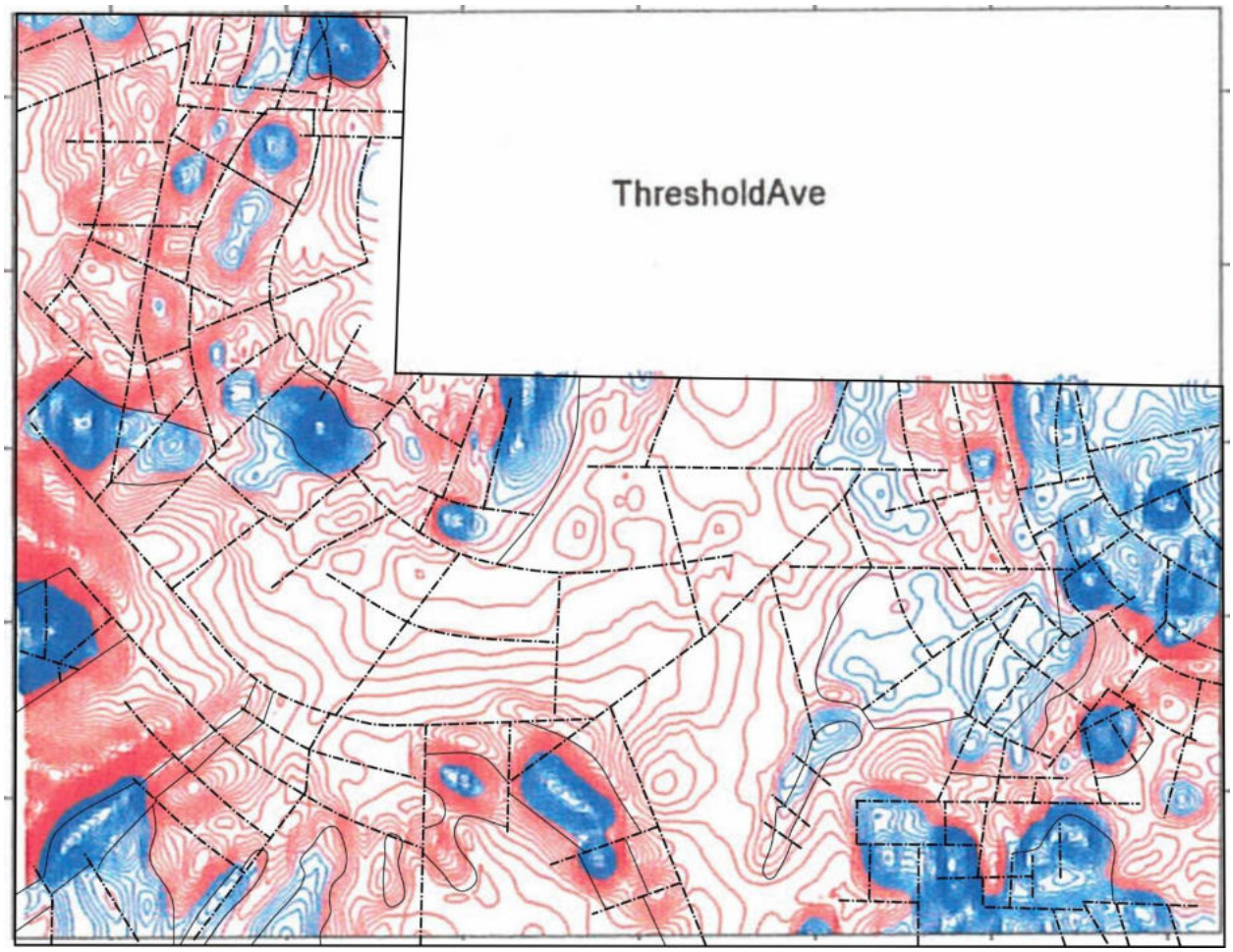
Текстовое приложение 22. Результаты сопоставления структурной схемы рудного поля Светлое масштаба 1:25 000 (по геофизическим данным) с планом изолиний приращения полного вектора индукции магнитного поля по материалам съёмки 2005 года. Чёрным показаны тектонические нарушения, предполагаемые по геофизическим данным, зелёным – рудные тела месторождения Светлое



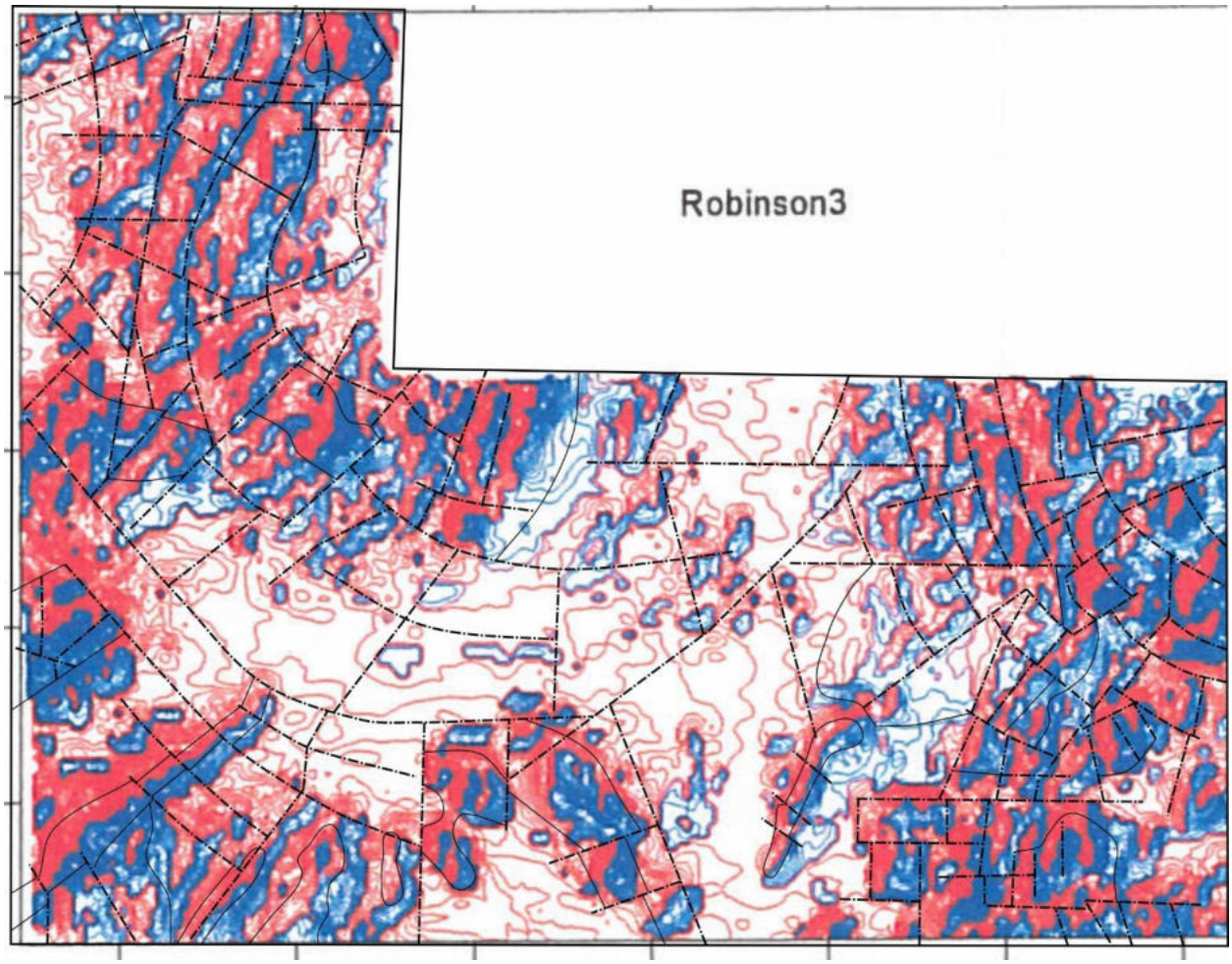
Текстовое приложение 23. Результаты сопоставления структурной схемы рудного поля Светлое масштаба 1:25 000 (по геофизическим данным) с планом изолиний осреднённых значений приращения полного вектора индукции магнитного поля по материалам съёмки 2005 года. Чёрным показаны тектонические нарушения, предполагаемые по геофизическим данным



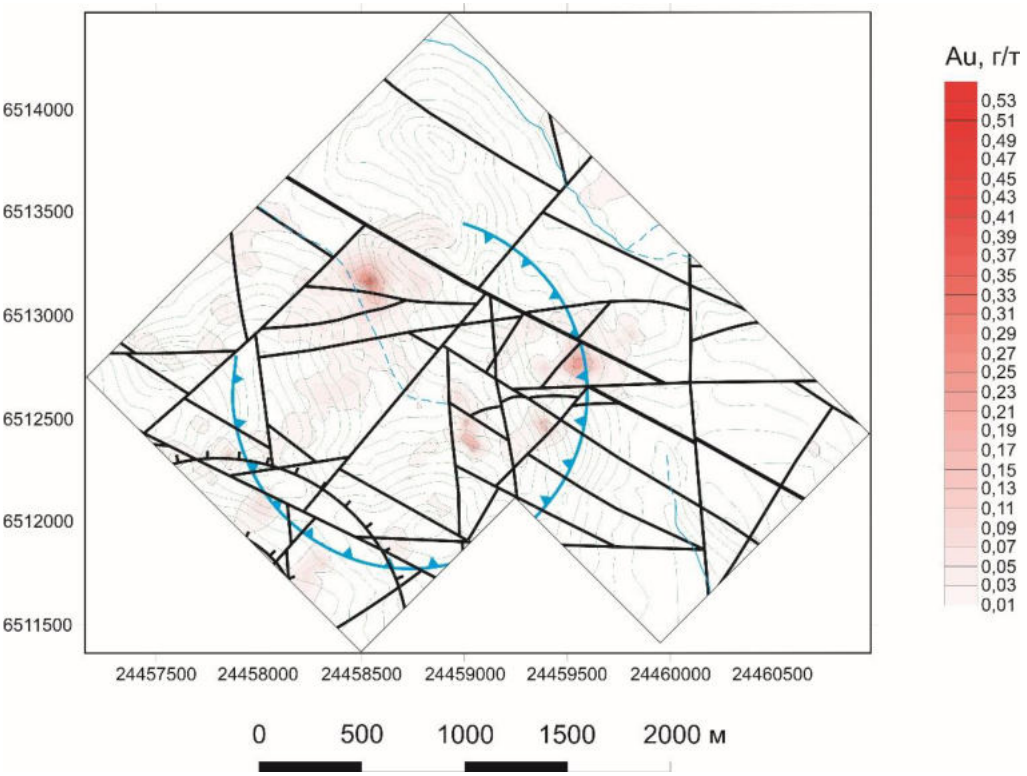
Текстовое приложение 24. Результаты сопоставления структурной схемы рудного поля Светлое масштаба 1:25 000 (по геофизическим данным) с планом изолиний остаточных значений приращения полного вектора индукции магнитного поля по материалам съёмки 2005 года. Чёрным показаны тектонические нарушения, предполагаемые по геофизическим данным



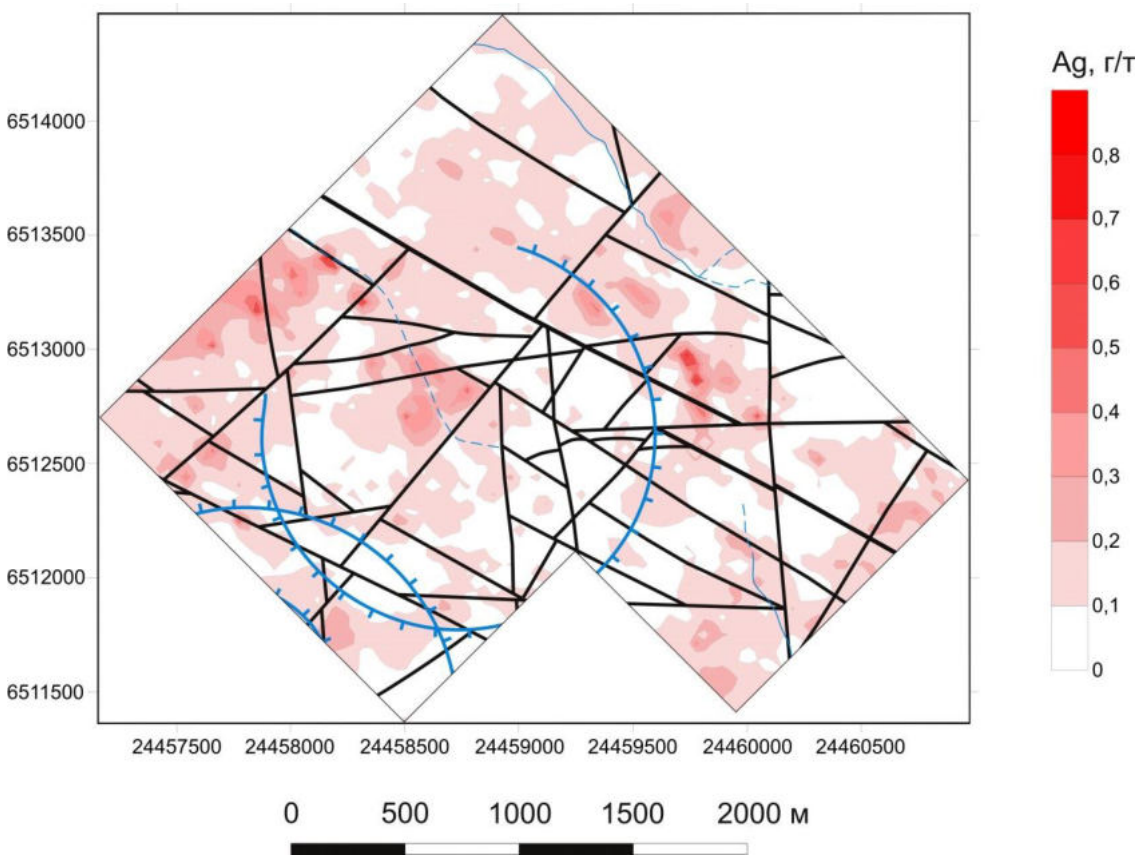
Текстовое приложение 25. Результаты сопоставления структурной схемы рудного поля Светлое масштаба 1:25 000 (по геофизическим данным) с планом изолиний трансформанты ThresholdAve магнитного поля по материалам съёмки 2005 года. Чёрным показаны тектонические нарушения, предполагаемые по геофизическим данным



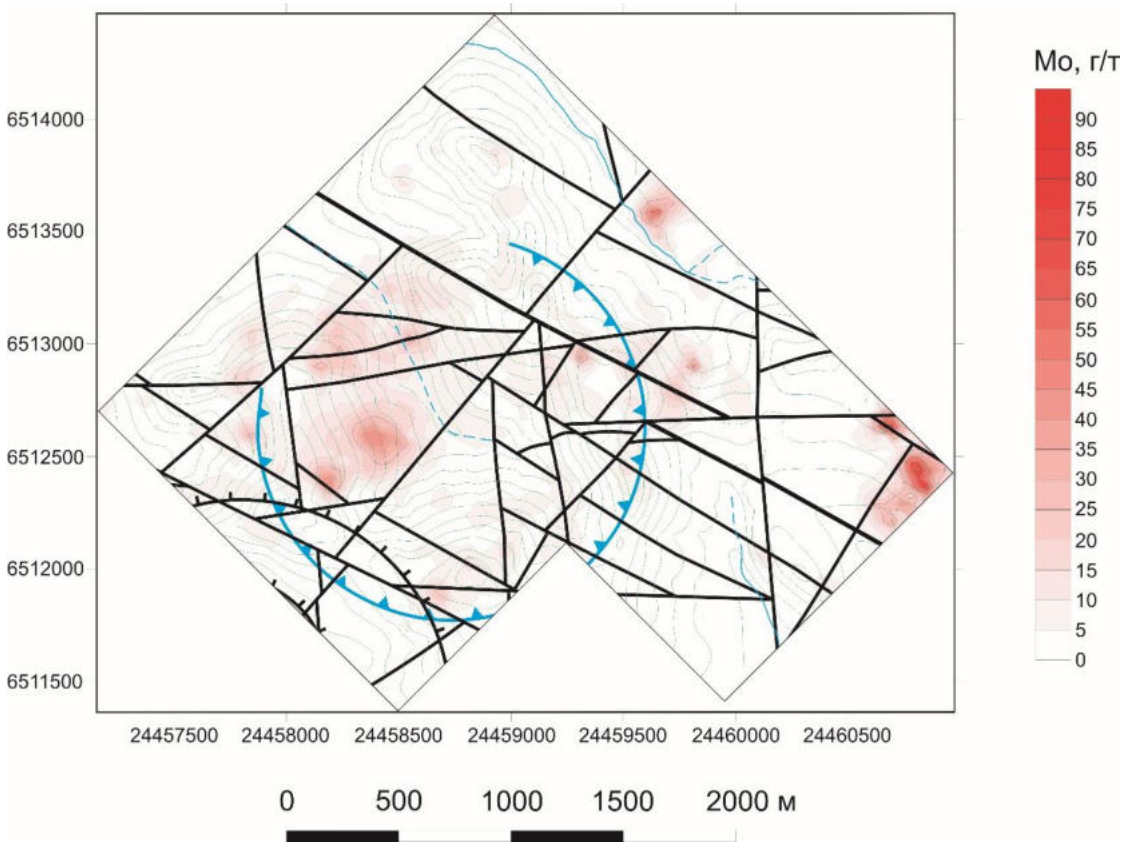
Текстовое приложение 26. Результаты сопоставления структурной схемы рудного поля Светлое масштаба 1:25 000 (по геофизическим данным) с планом изолиний трансформанты Robinson3 магнитного поля по материалам съёмки 2005 года. Чёрным показаны тектонические нарушения, предполагаемые по геофизическим данным



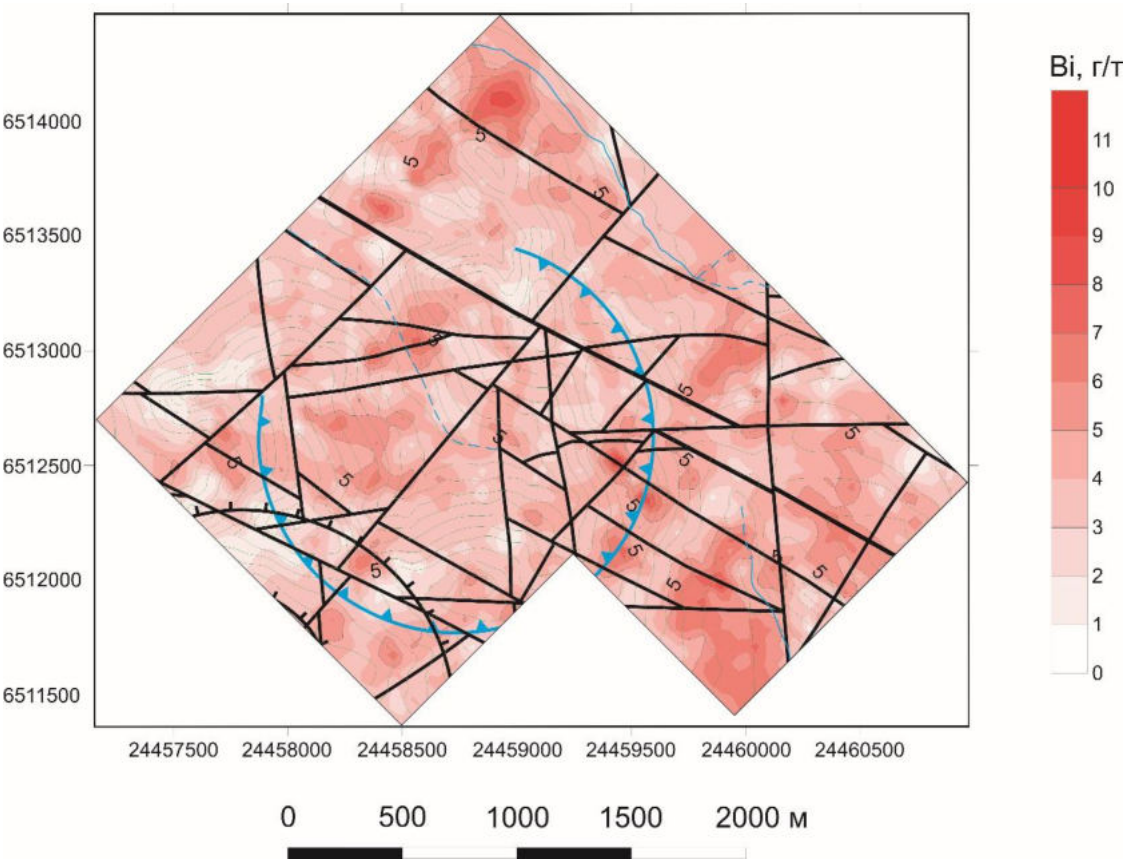
Текстовое приложение 27. Карта распределения золота. Участок Дюльбаки



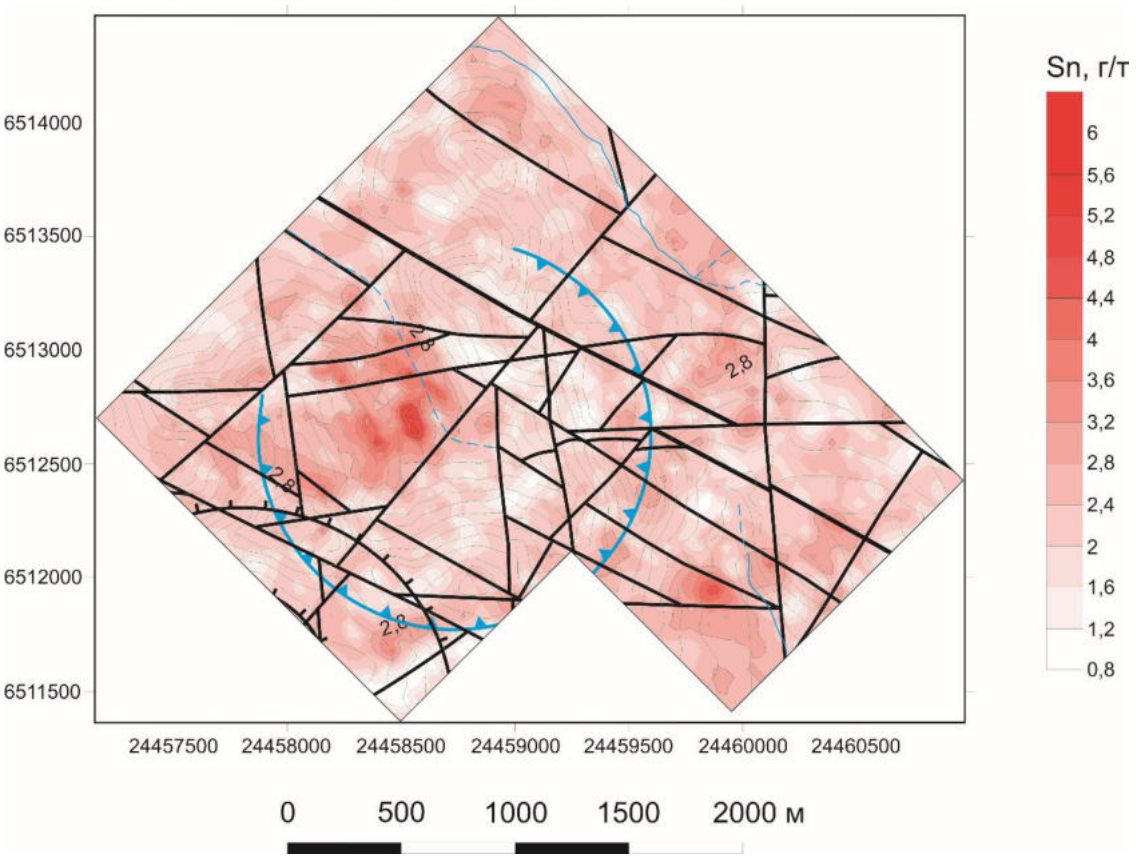
Текстовое приложение 28. Карта распределения серебра. Участок Дюльбаки



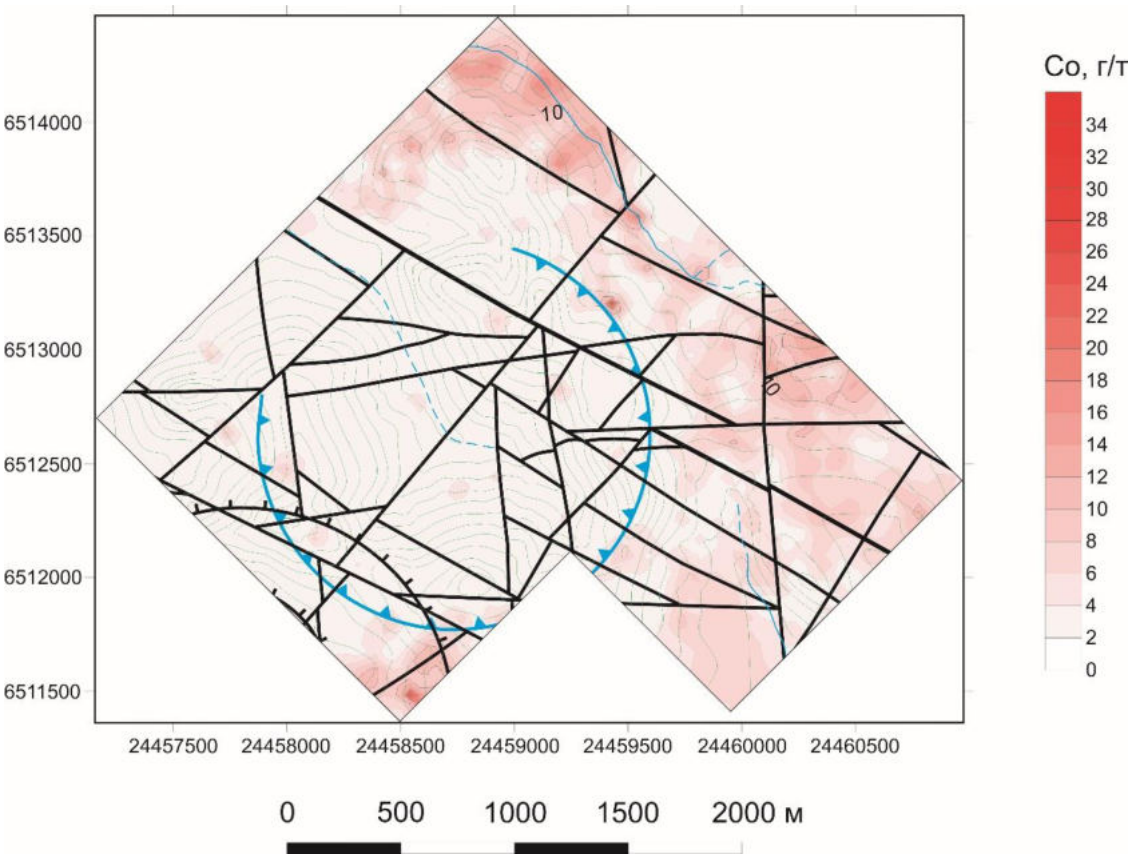
Текстовое приложение 29. Карта распределения молибдена. Участок Дюльбаки



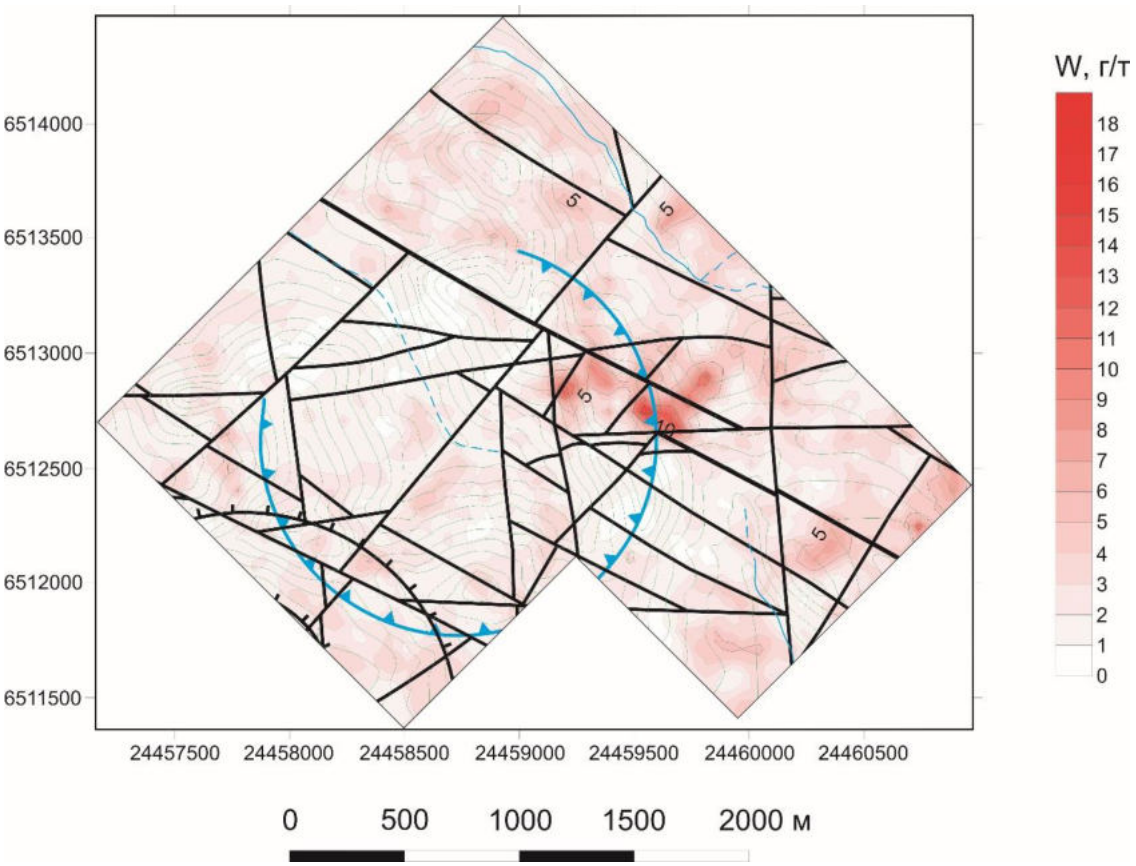
Текстовое приложение 30. Карта распределения висмута. Участок Дюльбаки



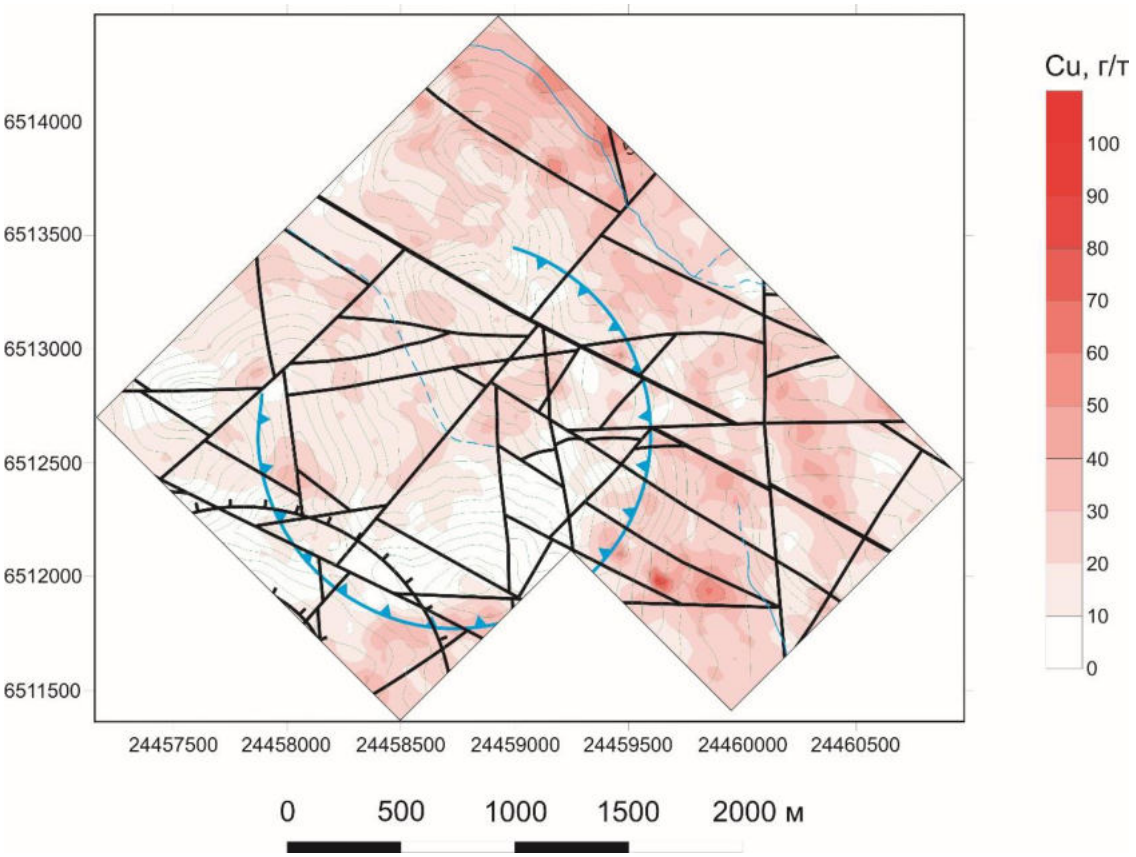
Текстовое приложение 31. Карта распределения олова. Участок Дюльбаки



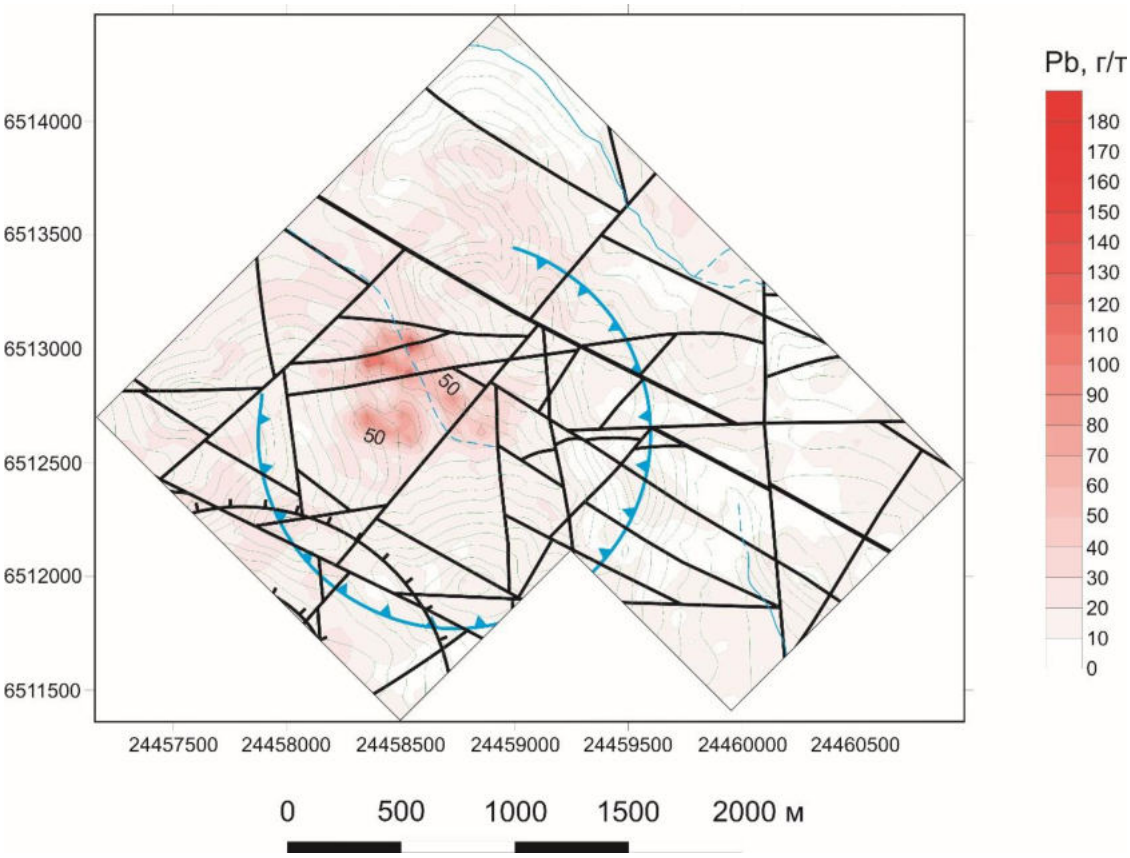
Текстовое приложение 32. Карта распределения кобальта. Участок Дюльбаки



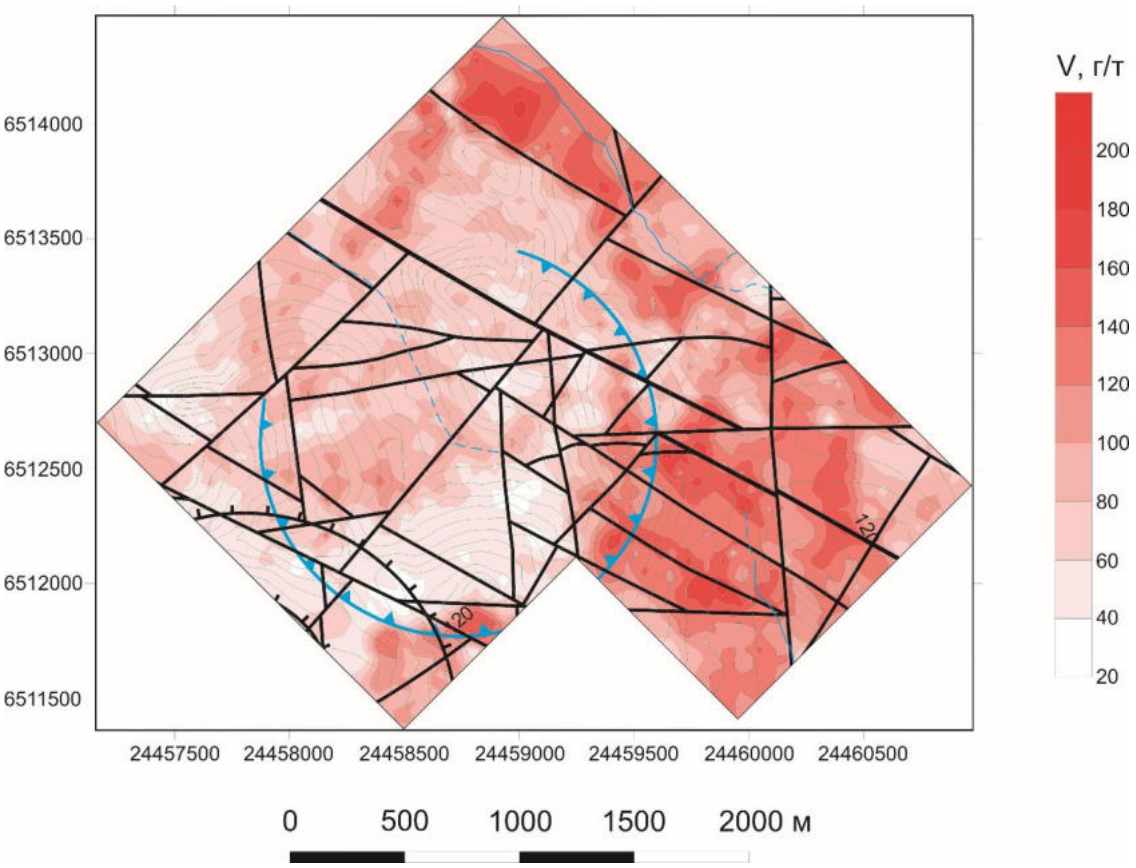
Текстовое приложение 33. Карта распределения вольфрама. Участок Дюльбаки



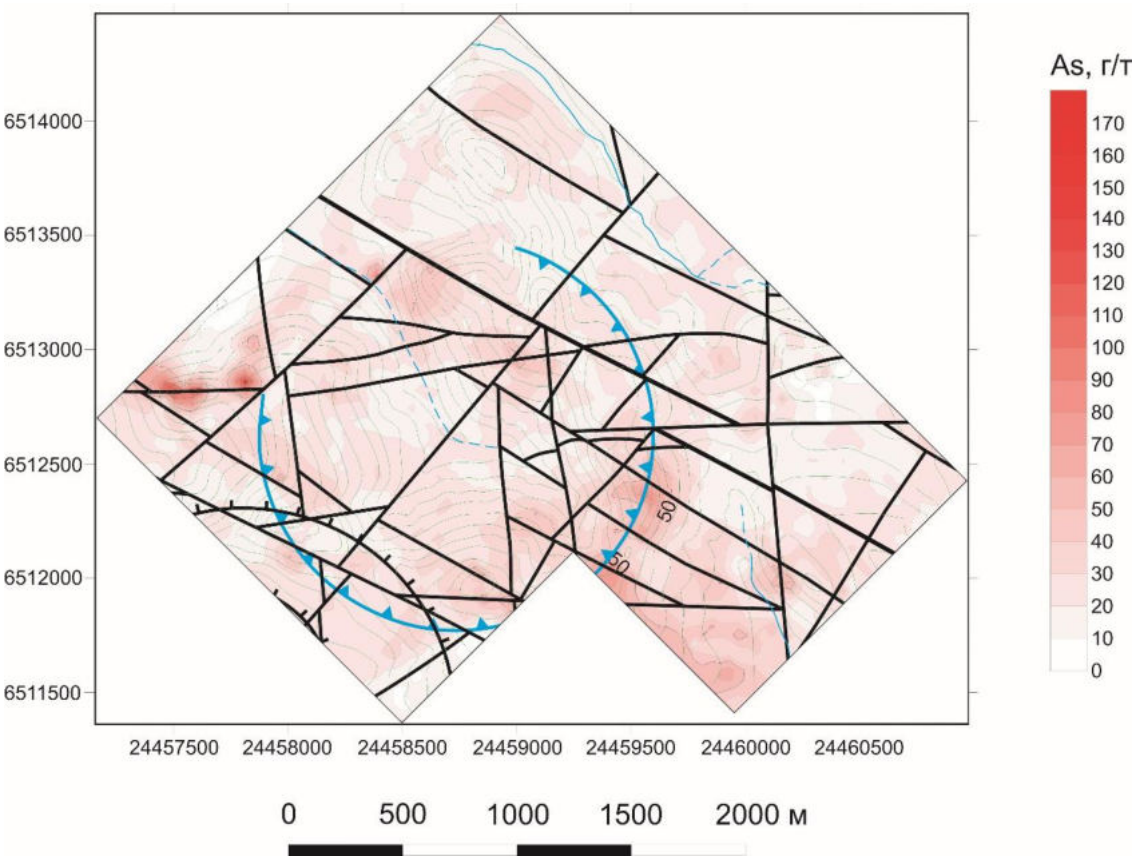
Текстовое приложение 34. Карта распределения меди. Участок Дюльбаки



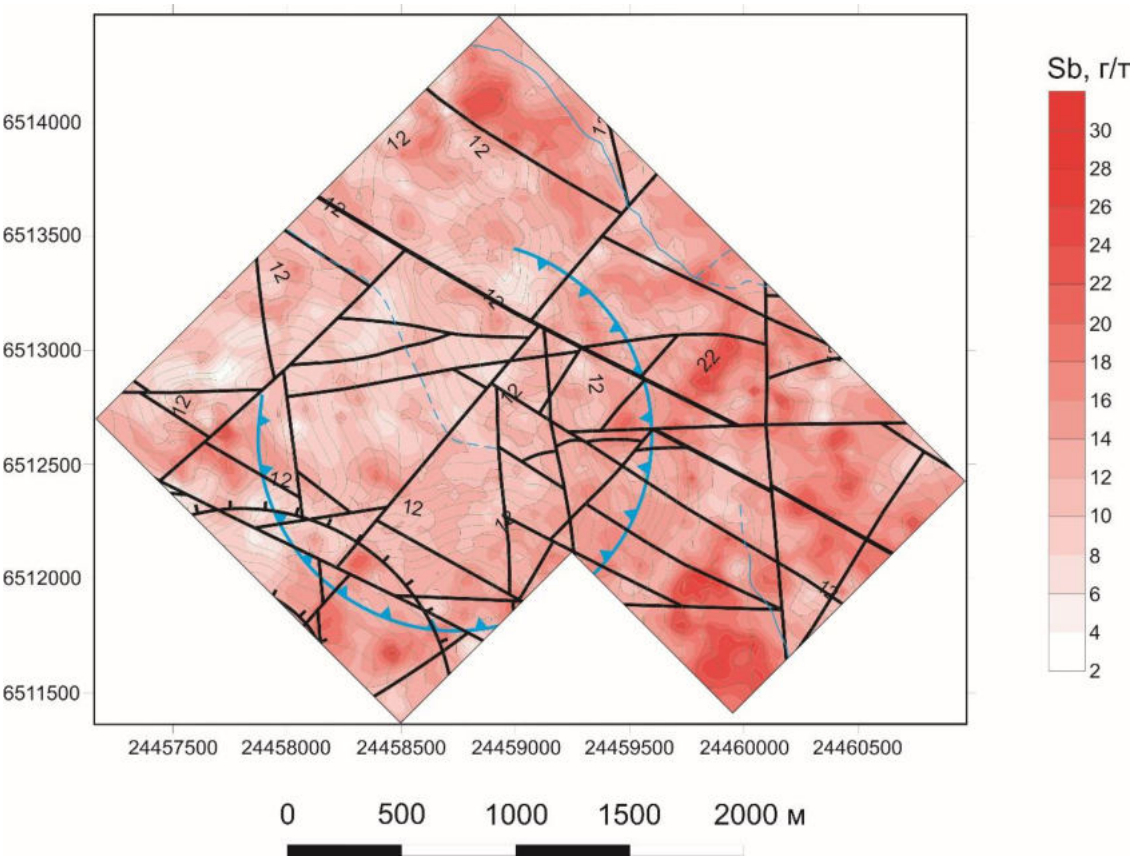
Текстовое приложение 35. Карта распределения свинца. Участок Дюльбаки



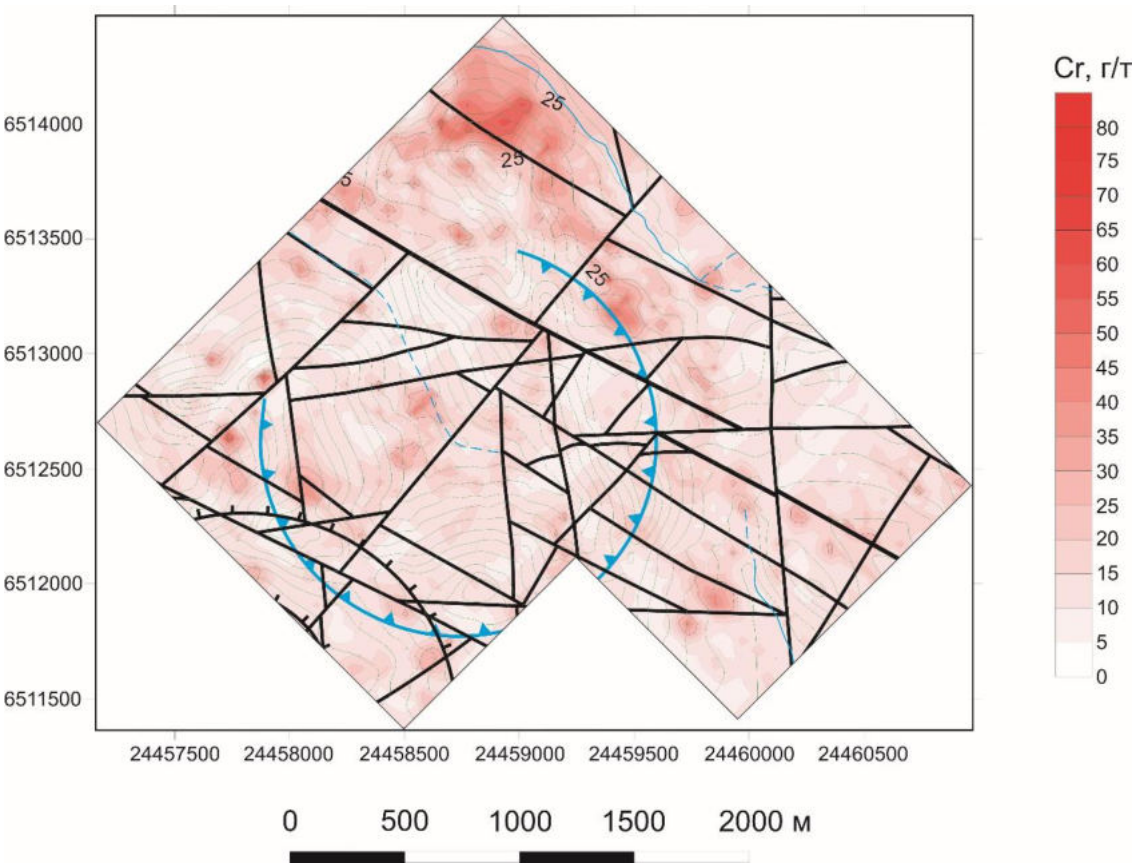
Текстовое приложение 36. Карта распределения ванадия. Участок Дюльбаки



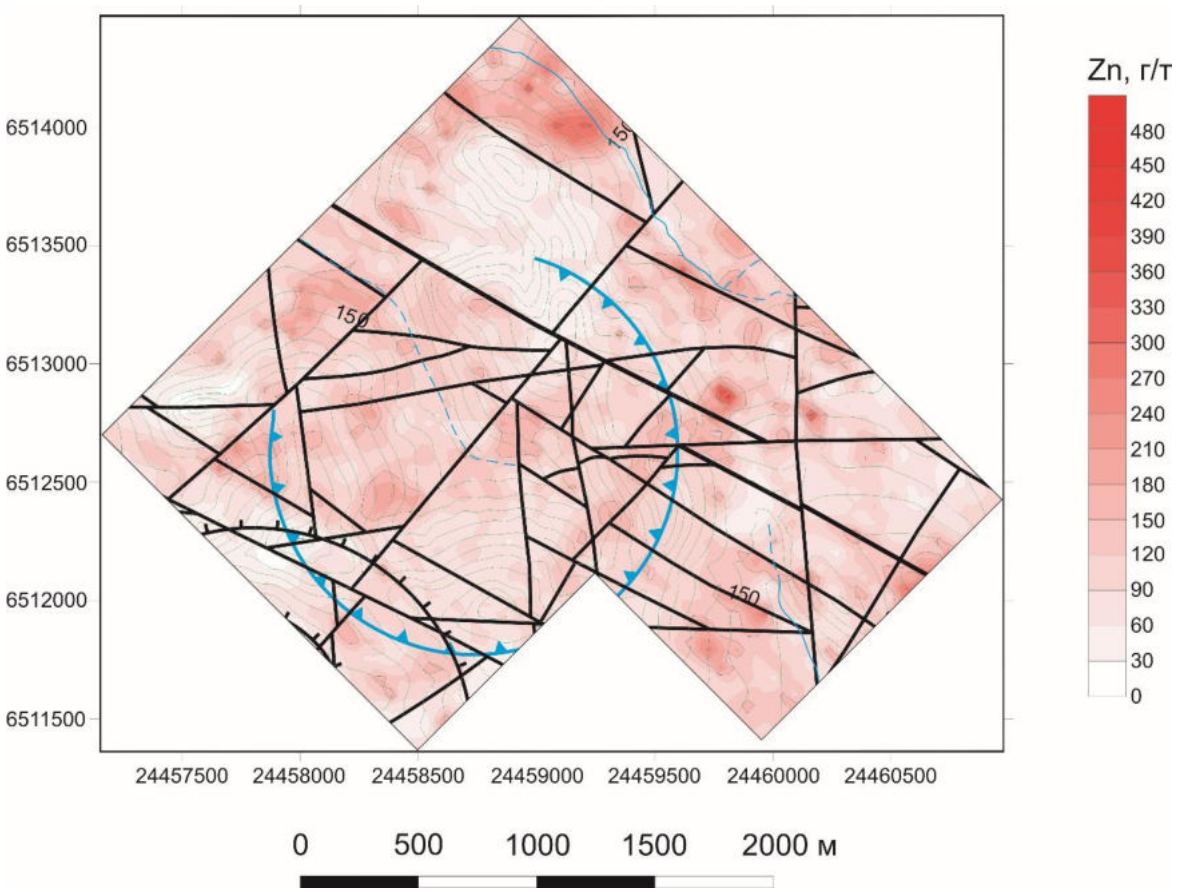
Текстовое приложение 37. Карта распределения мышьяка. Участок Дюльбаки



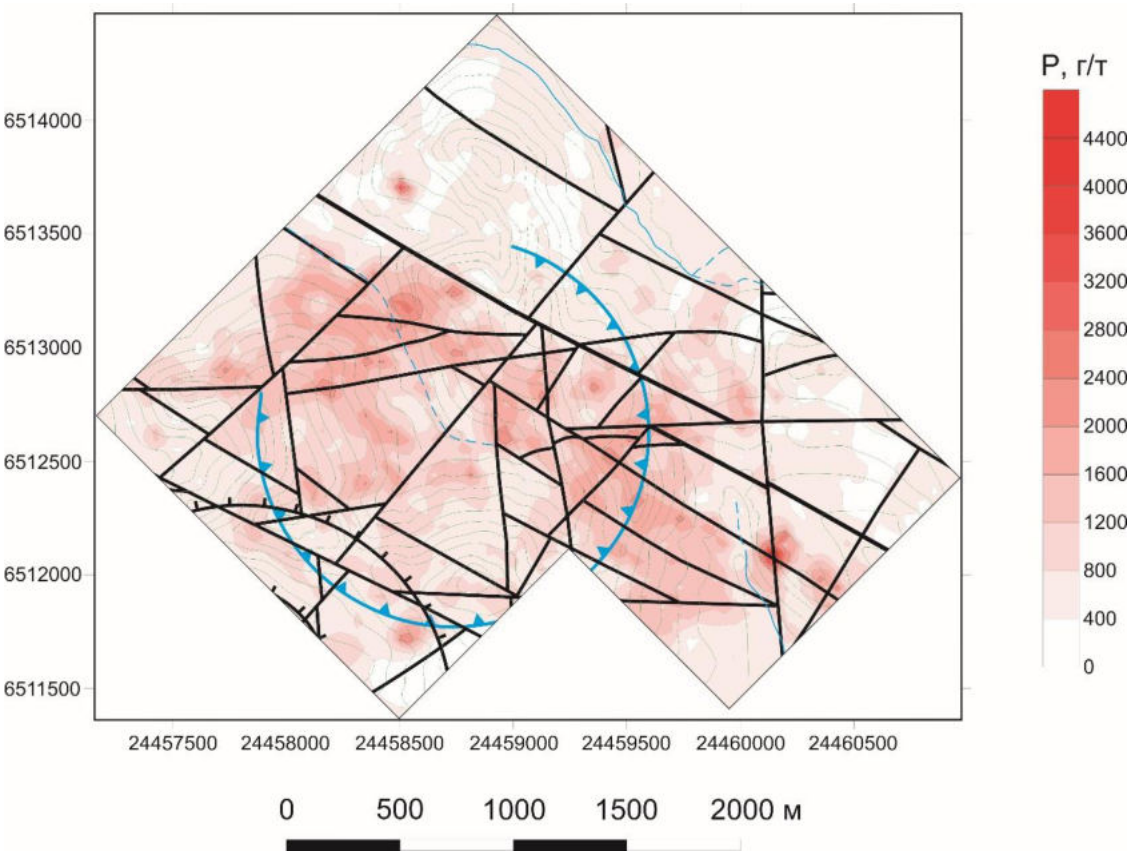
Текстовое приложение 38. Карта распределения сурьмы. Участок Дюльбаки



Текстовое приложение 39. Карта распределения хрома. Участок Дюльбаки



Текстовое приложение 40. Карта распределения цинка. Участок Дюльбаки



Текстовое приложение 41. Карта распределения фосфора. Участок Дюльбаки