

ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК: 553.4:550.38(571.65)

ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ РУДНЫХ СИСТЕМ В ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЯХ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ЧАЙ-ЮРЬИНСКОГО ГЛУБИННОГО РАЗЛОМА (Центрально-Колымский регион)

Хасанов И. М.^{ID}, Михалицына Т. И.^{ID}, Макарова Д. В.

*ФГБУН Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт
им. Н. А. Шило ДВО РАН, г. Магадан
E-mail: aumaglan@yandex.ru*

В статье приведены результаты геолого-геофизических исследований, выполненные в пределах Центрально-Колымского региона, в зоне влияния Чай-Юрьинского глубинного разлома Яно-Колымской металлогенической системы. Описан комплексный подход к оценке связи геофизических аномалий с геологическим строением территории. Использован аппарат статистического анализа геофизических данных. Установлено, что территория Урьинского рудного поля приурочена к экзоконтактовой части нескрытого массива и характеризуется зональным строением. Экзоконтактовая зона насыщена потенциально рудоносными дайковыми телами, которые фиксируются локальными низкоамплитудными положительными аномалиями магнитного поля интенсивностью от 2 до 30 нТл. Предложен комплекс глубинных геолого-геофизических прогнозных критериев золотого оруденения в иерархической последовательности: рудный район – рудный узел – рудное поле – месторождение.

Ключевые слова: Берелёхский рудный район, Чай-Юрьинский рудный узел, магнитное поле, гравитационное поле, геоэлектрика, статистические характеристики геофизических полей, граница Мохо, глубинные прогнозные критерии оруденения.

DOI: 10.34078/1814-0998-2025-2-3-18

ВВЕДЕНИЕ

Систематическое геологическое изучение территории Чай-Юрьинского рудного узла начато в 1930-е гг. Постоянный интерес к территории связан с наличием в долине р. Чай-Урья богатейшей россыпи золота, из которой добыто более 200 т металла, и надеждами на обнаружение ее коренных источников. В результате ранее проведенных (2017–2022) поисково-оценочных и разведочных работ, в центральной части Чай-Юрьинского рудного узла было разведано золоторудное месторождение Шахтное в рамках выделенного Урьинского рудного поля, что повышает вероятность выявления в пределах рас-

сматриваемой территории новых благороднометалльных объектов.

Актуальность геолого-геофизических исследований обусловлена необходимостью повышения эффективности поисково-разведочных работ при изучении месторождений золота, локализованных в малых интрузивных образованиях для наращивания минерально-сырьевой базы Магаданской области.

Целью исследований является обобщение имеющегося (опубликованного) и авторского геолого-геофизического материала и на его основе создание перечня критериев прогноза, характерных для золото-кварцевых месторождений дайкового морфогенетического типа Центрально-Колымского региона. Основной используемый метод – интерпретация сейсмических и геоэлектрических данных, магнитного и гравитационного полей с применением методологии трансформации геофизических полей.

© Хасанов И. М., Михалицына Т. И., Макарова Д. В., 2025

^{ID} <https://orcid.org/0009-0001-7590-144X>

^{ID} <https://orcid.org/0000-0002-8668-7805>

ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При подготовке статьи использованы фоновые материалы аэромагнитной и гравиметрической съемки (база ГРАВИМАГ); материалы по опорному геолого-геофизическому профилю 3 ДВ (Сальников, 2014); результаты комплексных геофизических данных (Гайдай и др., 2020); структурно-геофизические работы по созданию объемной физико-геологической модели глубинного строения Центрально-Колымского района (Хасанов и др., 2002); авторские материалы полевых геолого-геофизических исследований.

Геофизический комплекс наземных исследований состоял из электропрофилирования и магниторазведки. Для измерения геомагнитного поля использовались магнитометры ММРОС-2. Определение координат точек измерения осуществлялось с помощью приемника GPS, конструктивно связанного с магнитометром. Методикой работ предусматривалось введение вариаций геомагнитного поля. Учет вариации земного магнитного поля выполнялся с помощью программного обеспечения SURV. Работы методом электропрофилирования проводились с помощью аппаратного комплекса АИЭ-2, по методике срединного градиента, в модификации вызванной поляризации (СГ-ВП), на частоте 0.3 Гц. Питательная линия АВ = 800–900 м, приемная MN = 10 м.

Результаты геофизических наблюдений обработаны программным комплексом спектрально-корреляционного анализа данных (COSCAD 3D) с целью выделения и уточнения взаимной зависимости геофизических параметров в геологической среде (Никитин и др., 2010, 2011).

КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА РАБОТ

Площадь исследований охватывает юго-восточную часть Яно-Колымского орогенного пояса и расположена на границе сочленения двух региональных структур: Аян-Юрхского антиклинория (с юго-запада) и Иньяли-Дебинского синклинория (с северо-востока). Эти структуры разделены глубинным Чай-Юрьинским разломом северо-западного простирания и сопровождающегося в пределах Иньяли-Дебинского мегасинклинория одноименной зоной смятия, охватывающей большую часть бассейна р. Чай-Урья и далее на юго-восток, ниже ее устья, долину р. Берелёх (Петухов, 1999).

По металлогеническому районированию (рис. 1) объекты Чай-Юрьинского рудного узла относятся к Берелёхскому рудному району Иньяли-Дебинской рудной зоны Яно-Колымского металлогенического пояса (Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России, 2006).

В геологическом строении Чай-Юрьинского рудного узла принимают участие осадочные образования триасового и нижне-среднеюрского возраста. Триасовые отложения представлены тремя отделами: ухомытская толща (T_{1uh}) сложена переслаиванием черных глинистых алевролитов, светло-серых алевролитов и песчаников; хастахская толща (T_{2-3hs}) отличается грубозернистым составом – серыми песчанистыми алевролитами, темно-серыми алевролитами, реже развиты глинистые песчаники и сланцы; к контрандинской толще (T_{3kt}) относятся темно-серые до черных глинистые сланцы с равномерными маломощными (первые миллиметры) прослоями светло-серых алевролитов. Породы интенсивно рассланцованы, нередко раздроблены до листоватой щебенки. Отложения триасовой системы развиты в зоне интенсивных дислокаций вдоль Чай-Юрьинского разлома в придолинной части р. Чай-Урья, где они образуют локальные выходы, нередко выполняя тектонические окна в самой зоне разлома.

Нижнеюрские отложения распространены в северо-восточной части разлома, представлены породами кадыкчанской свиты (J_1kd), имеющей более широкое распространение, в ее состав входят аргиллиты, туфоаргиллиты, пепловые туфы, песчаники, туфопесчаники, прослои гравелитов. Аренская свита (J_{1-2ar}) на исследуемой территории распространена ограничено (левобережье р. Чай-Урья, руч. Утиный, Фролыч, Эпоха), представлена переслаивающимися темно-серыми глинистыми алевролитами, тонкослоистыми алевроглинистыми сланцами и песчаниками. Мяунджинская свита (J_2mn) развита незначительно, ее выходы отмечаются фрагментарно, в левом борту р. Чай-Урья (ниже устья руч. Фролыч). Свита (J_2mn) сложена переслаивающимися песчанистыми алевролитами, горизонтальнослоистыми песчаниками и аргиллитами.

Осадочные отложения прорваны дайками и мелкими интрузиями гранитов, гранит-порфиров, гранодиоритов, гранодиоритовых порфиров, диоритов и диоритовых порфиров, объединенных в нера-бохапчинский, басугуньинский и тас-кыстабытский комплексы поздней юры – раннего мела (рис. 1). Позднеюрский нера-бохапчинский комплекс (J_3nb) представлен преимущественно дайками диорит-порфиров, отличающимися интенсивными метасоматическими преобразованиями. Басугуньинский гранодиорит-гранитовый (J_3b) комплекс распространен по периферии Чай-Юрьинской зоны разлома и объединяет дайки и дайкоподобные тела гранит-порфиров и гранодиоритов. Тас-кыстабытский комплекс (K_1tk) распространен в юго-западном крыле Чай-Юрьинского разлома и представлен мелкими телами и дайками гранит-порфиров (верховья руч. Случайный).

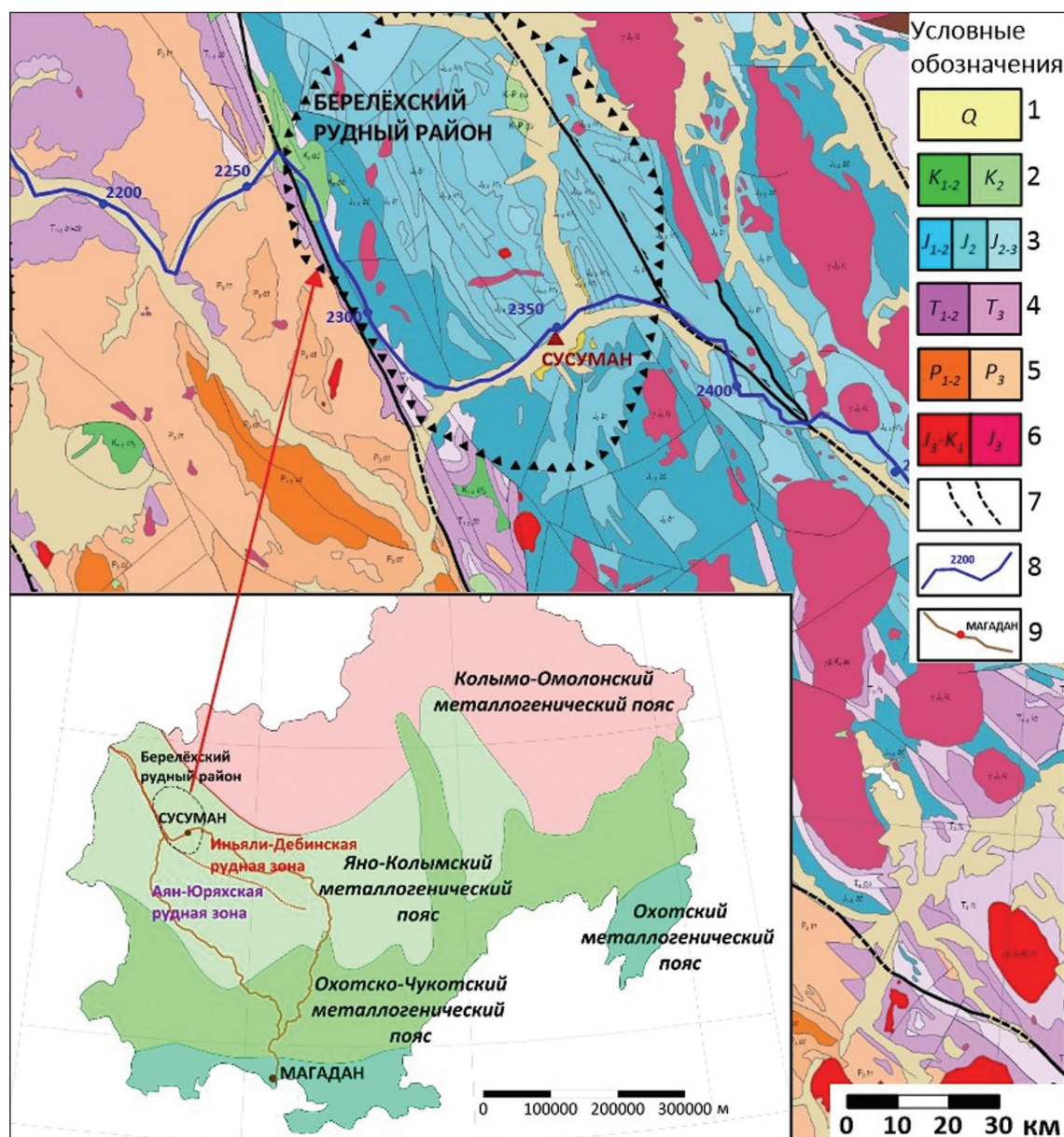


Рис. 1. Обзорная геологическая схема района исследований (по материалам Петухова, 1999).

Условные обозначения: 1 – голоцен–плейстоцен. Аллювиальные и техногенные галечники, пески, щебни.

2 – меловые отложения. Алевролиты, аргиллиты, песчаники. 3 – юрские отложения. Песчаные алевролиты, алевролиты, глинистые алевролиты; характерна туфогенная примесь. 4 – триасовые отложения. Переслаивание аргиллитов, глинистых алевролитов, песчаники, диамиктиты. 5 – пермские отложения. Переслаивание алевролитов и глинистых алевролитов, песчаники, диамиктиты. 6 – басугунинский и тас-кыстабытский диорит-гранит-гранодиоритовые комплексы. 7 – крупные разрывные на опорный геофизический профиль 3-ДВ. 9 – Федеральная автомобильная дорога Р-504 «Колыма».

Fig. 1. Geological Overview of the Study Area (adapted from Petukhov, 1999).

Legend: 1 – Holocene-Pleistocene. Alluvial and man-made pebbles, sands, rubble. 2 – Cretaceous deposits. Siltstones, mudstones, sandstones. 3 – Jurassic deposits. Sandy siltstones, siltstones, sandstones, clayey siltstones; a tuffaceous admixture is characteristic. 4 – Triassic deposits. Interbedded mudstones, siltstones, and rarely sandstones. 5 – Permian deposits. Interbedded siltstones and clayey siltstones, sandstones, diamictites. 6 – Basuguninsky and Tas-Kystabytsky diorite-granite-granodiorite complexes. 7 – large 3-DV fracturing on the reference geophysical profile. 9 – Federal highway R-504 Kolyma.

С метасоматически измененными (березитизированными) дайками нера-бохапчинского комплекса парагенетически связана золоторудная минерализация (месторождение Шахтное и др.). Как правило, первичный состав даек устанавливается по

реликтовым структурам, а сами дайки почти нацело сложены вторичными минералами. Дайки имеют северо-западное, реже субмеридиональное и близширотное простирание, выполняют субвертикальные трещины в тектонически ослабленных зонах.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

Анализ различных трансформаций магнитного (далее МП), гравитационного (далее ГП), сейсмического и геоэлектрического полей минарагенических зон позволяет сформулировать основные глубинные прогнозные критерии рудоносных площадей.

Региональные критерии на уровне рудного района (Берелёхский рудный район).

1. Главным тектоническим элементом территории является Чай-Юрьинский разлом глубинного заложения, который сопровождается зоной интенсивного смятия. Разлом имеет северо-западное простирание, северо-восточное генеральное падение. Прочие разрывные нарушения представлены синклюдчатыми, оперяющимися, субпараллельными разломами, сопровождающимися Чай-Юрьинский разлом, а также поперечными разломами северо-восточного и субширотного простирания. Эти разломы имеют определяющее значение при формировании тектонических структур, благоприятных для локализации оруденения. Чай-Юрьинский разлом уверенно отображается зонами значительных градиентов магнитного и гравитационного полей (рис. 2), подчеркивается линиями нарушения корреляции и сменой характера поля эксцесса и асимметрии гравитационного поля. Статистические характеристики магнитного поля: дисперсия, асимметрия и эксцесс – определяют зону (полосу) влияния Чай-Юрьинского разлома. Данный критерий прогноза золотого оруденения можно отнести как к формированию рудного района, так и рудных узлов, примыкающих к разлому.

2. Рудоконтролирующая роль погружений, поднятий и ступеней границы Мохо, выделяемых в разрезе по сейсмическим данным и интерпретируемых как зоны мантийных разломов, является возможными путями флюидных потоков в земную кору (рис. 3).

3. Разрывы сплошности поверхности Мохо (мантийные «окна») и широкие вертикальные мантийные осложнения, трактуемые как участки транзита мантийных магм в земную кору (см. рис. 3).

4. Деструкция земной коры, фиксирующаяся на сейсмическом разрезе областью повышенной однородности волнового поля, обусловлена проработкой коры мантийными магмами.

5. Электропроводные зоны по геоэлектрическим данным (МТЗ), уходящие корнями в мантию и отождествляемые с мощными разломами коромантийного заложения, которые в период тектономагматической активизации служили путями проникновения мантийных расплавов, флюидов и рудных компонентов из подкорового пространства. Транскоровые разломы, интер-

претируемые как источники транзита мантийных магм в земную кору (см. рис. 3).

6. Кольцевая региональная зона градиента гравитационного поля, связанная с зоной повышенной проницаемости земной коры, соответствует глубинным разломам коромантийного заложения, разграничивающих блоки с различным составом средней–верхней коры. Она подчеркивается линейными и дугообразными локальными аномалиями повышенной дисперсии и эксцесса ГП, уверенно прослеживается на плане региональной составляющей ГП, что указывает на глубинный и «глобальный» характер контакта различных по составу блоков (рис. 2, 3).

7. Положительные аномалии асимметрии (0.2–0.8 усл. ед.) и области минимальных значений градиента (менее 0.0004 усл. ед.) ГП, а также более глубокое заложение гравитирующих масс как наблюдаемого поля (16 км на фоне 10–11 км), так и его локальной составляющей (5.4 км на фоне 4.4 км).

8. В трансформантах МП рудный район характеризуется повышенными значениями дисперсии (5000–20 000 усл. ед.) и нулевым значением асимметрии.

9. По параметрам ГП и МП рудный район фиксируется «пестрым» составом классов, что указывает на его интенсивную проработку магматогенными процессами относительно окружающей геологической среды.

Каждый рудный район имеет свои уникальные критерии глубинного прогноза рудных территорий. Однако существуют и основные универсальные критерии, которые характерны не только для Берелёхского, но и, например, для соседнего Среднекано-Штурмовского рудного района (Гайдай и др., 2020).

Критерии глубинного прогноза рудных территорий:

- рудоконтролирующая роль погружений и поднятий, выделяемых в разрезе по сейсмическим данным и интерпретируемых как зоны мантийных разломов, является возможными путями флюидных потоков в земную кору;

- разрывы сплошности поверхности Мохо (мантийные «окна»), трактуемые как участки транзита мантийных магм в земную кору;

- деструкция земной коры, области повышенной однородности волнового поля, которая обусловлена проработкой коры мантийными магмами;

- наличие глубинных разломов коромантийного заложения, которые отчетливо фиксируются как в гравимагнитном поле зонами значительных градиентов, так и по геоэлектрическим данным (МТЗ) в виде электропроводных зон, уходящих корнями в мантию и отождествляемых с мощными разломами коромантийного заложения.

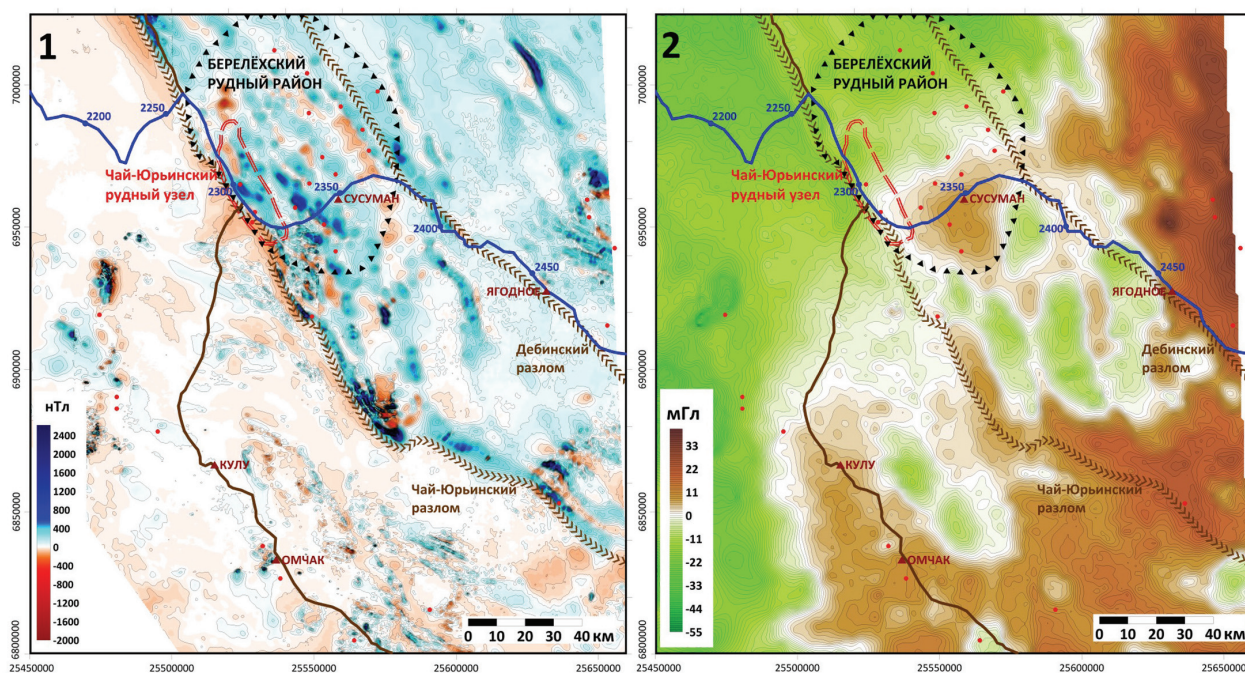


Рис. 2. Планы изолиний значительных градиентов Чай-Юрьинского разлома геомагнитного (1) и гравитационного (2) полей территории исследования.

Fig. 2. Plans of significant gradient isolines for the Chay-Yurya fault of the geomagnetic (1) and gravitational (2) fields within the study area.

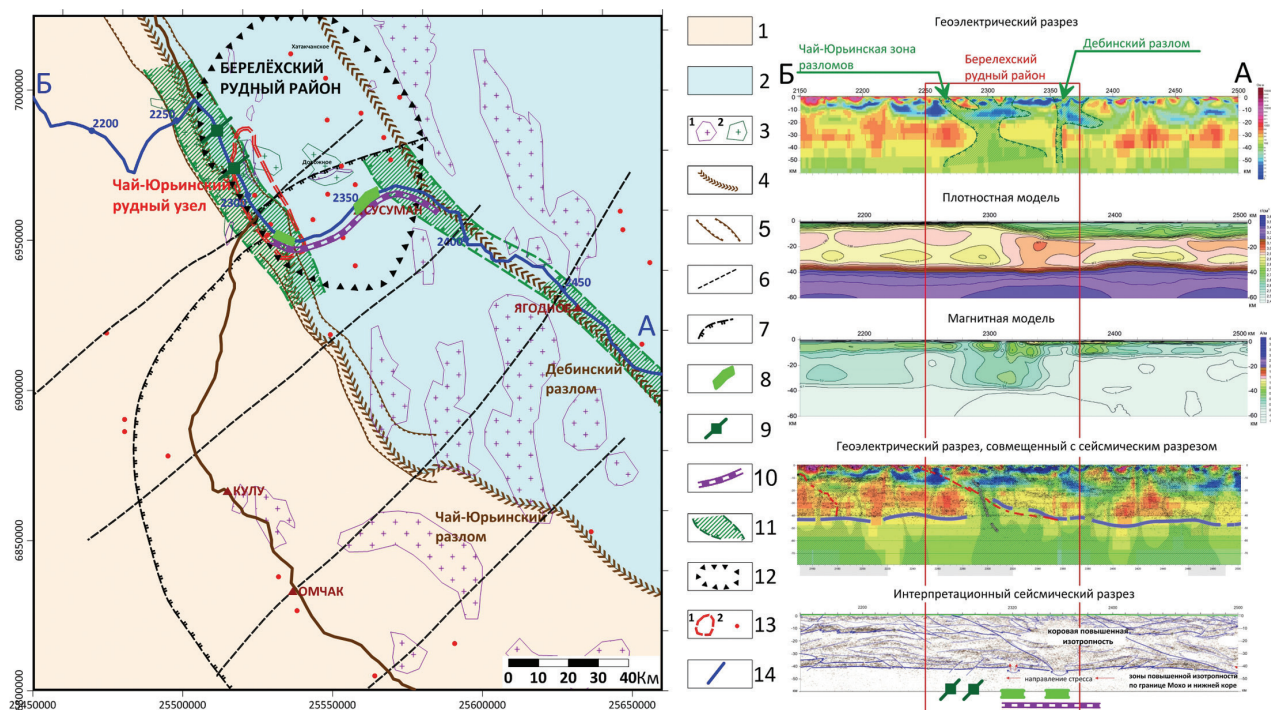


Рис. 3. Схема глубинных критериев прогноза территорий золоторудных месторождений и геофизические разрезы по фрагменту профиля 3 ДВ.

Условные обозначения: 1 – Аян-Юрьинский блок. 2 – Иньяли-Дебинский блок. 3 – гранитоиды: выходящие на поверхность (1), не вскрытые эрозией (2). Локальные отрицательные аномалии поля силы тяжести. 4 – разломы глубинного заложения (Чай-Юрьинский и Дебинский). Зоны градиентов магнитного и гравитационного полей. 5 – ближняя зона динамического влияния Чай-Юрьинского разлома. 6 – разрывные нарушения С.-В. простирания. Линии нарушения корреляции магнитных аномалий магнитного поля. 7 – проекции осевых линий региональных структур, разграничивающих блоки с различным состоянием верхней части земной коры (12–15 км).

Граница региональной проницаемости земной коры, выраженной кольцевой положительной аномалией силы тяжести глубинной природы (мафического состава средней коры/фундамента). 8 – проекции областей разрыва поверхности Мохо (по данным сейсморазведки). 9 – проекции границ ступеней (поднятий, погружений) поверхности Мохо (по данным сейсморазведки). Зоны мантийных разломов – возможные пути флюидных потоков в земную кору. 10 – проекция области значительной проработки земной коры на всю её мощность мантийными магмами. Области повышенной изотропности земной коры (по данным сейсморазведки). 11 – мощные разломы коро-мантийного заложения – пути транзита мантийных расплавов, флюидов и рудных компонентов из подкорового пространства. Субвертикальные транскоровые зоны повышенной электропроводности (по геоэлектрическим данным). 12 – Берелёхский рудный район. Положительные аномалии асимметрии (0.2–0.8 усл. ед.) и области минимальных значений градиента (< 0.0004 усл. ед.) гравитационного поля (ГП), повышенные значения дисперсии (5000–20 000 усл. ед.) и нулевые значения асимметрии магнитного поля (МП), «пестрый» состав классов по параметрам ГП и МП. 13 – Чай-Юрьинский рудный узел (1), золоторудные месторождения (2). 14 – геофизический профиль 3 ДВ.

Fig. 3. Scheme of deep criteria for forecasting the territories of gold deposits and geophysical sections for a fragment of the 3 DV profile.

Legend: 1 – Ayan-Yuryakh block. 2 – Inyali-Debin block. 3 – granitoids: coming to the surface (1), not exposed by erosion (2). Local negative anomalies of the gravity field. 4 – deep-seated faults (Chay-Yurya and Debin). Zones of the magnetic and gravitational field gradients. 5 – near zone of the Chay-Yurya fault dynamic influence. 6 – discontinuous violations of the northeastern stretch. Correlation disturbance lines of the magnetic field magnetic anomalies. 7 – axial line projections of regional structures delimiting blocks with different conditions of the Earth's crust upper part (12–15 km). The boundary of the Earth's crust regional permeability, expressed by the annular positive gravity anomaly of a deep nature (mafic composition of the middle crust/basement). 8 – projections of the Moho surface fracture areas (according to seismic data). 9 – projections of the boundaries of the Moho surface steps – elevations and dives (according to seismic data). Mantle fault zones (possible paths of fluid flows into the Earth's crust). 10 – projection of an area of the Earth's crust significant exploration to its full extent by mantle magmas. Areas of increased isotropy of the Earth's crust (according to seismic data). 11 – powerful crust-mantle faults (transit routes for mantle melts, fluids, and ore components from the subsurface). Subvertical trans-core zones of increased electrical conductivity (according to geoelectric data). 12 – Berelyokh ore district. Positive anomalies of asymmetry (0.2–0.8 cont. units) and areas of minimum gradient values (under 0.0004 c. u.) of the gravitational field (GF), increased dispersion values (5000–20 000 cont. units) and zero values of magnetic field asymmetry (MF), “motley” composition of classes in terms of GP and MP parameters. 13 – Chay-Yurya ore cluster (1), gold deposits (2). 14 – Geophysical Profile 3 FE (Far East).

Чай-Юрьинский рудный узел охватывает известные Мяунджинское, Фролычское, Урьинское, Юное и прогнозируемые (Малютка, Бабай, Плывун-Глубокий) рудные поля.

Глубинные критерии на уровне рудного узла (Чай-Юрьинский рудный узел).

1. В гравитационном поле территория рудного узла (далее РУ) сопряжена с зоной значительных градиентов поля и фиксируется локальной положительной (1–3 мГл) аномалией гравитационного поля. Повышенная плотность этих блоков связана с метаморфическими преобразованиями горных пород (базификации), являющимися благоприятными для формирования рудных тел золото-сульфидно-кварцевой и золото-кварцевой формаций. Территория РУ приурочена к аномалиям повышенных значений дисперсии (1–1.5 усл. ед.) и общего градиента (0.001–0.002 усл. ед.) гравитационного поля (рис. 4-1, 4-2).

2. Рудный узел характеризуется дифференцированным преимущественно положительным (100–1500 нТл) магнитным полем. Локальные положительные аномалии различной интенсивности (от 100 до 1500 нТл) фиксируют зоны пирротинизации терригенных пород, контактовых и дислокационно-метаморфических изменений, а также малые и средние интрузивные тела. Все

указанные объекты могут являться благоприятной средой для формирования золото-кварцевого оруденения.

3. В трансформантах магнитного поля РУ отображается высокими значениями дисперсии (10 000–80 000 усл. ед.) (рис. 4-3), нулевыми и слабоотрицательными (до –1 усл. ед.) значениями эксцесса, нулевыми и слабоположительными (< 1 усл. ед.) значениями асимметрии. Увеличение глубины залегания магнитовозмущающих масс с севера на юг может указывать на уменьшение уровня эрозионного среза в этом направлении.

4. Рудные поля (далее РП) приурочены к магматогенным структурам, будь то вскрытые эрозией интрузивные тела (Мяунджинское РП) или к наднапикальным частям массивов (Фролычское РП), либо к их экзоконтактовой части (Урьинское, Юное РП). В целом территории рудных полей характеризуются положительными значениями гравитационного (0.94–1.55 мГл) и магнитного (26–340 нТл) полей (рис. 4-4, табл. 1). Это класс 5 – Урьинское, Юное и класс 8 – Фролычское. Особняком стоит РП Мяунджинское (серебро-полиметаллическая минерализация), оно приурочено к одноименному массиву и характеризуется отрицательными значениями как

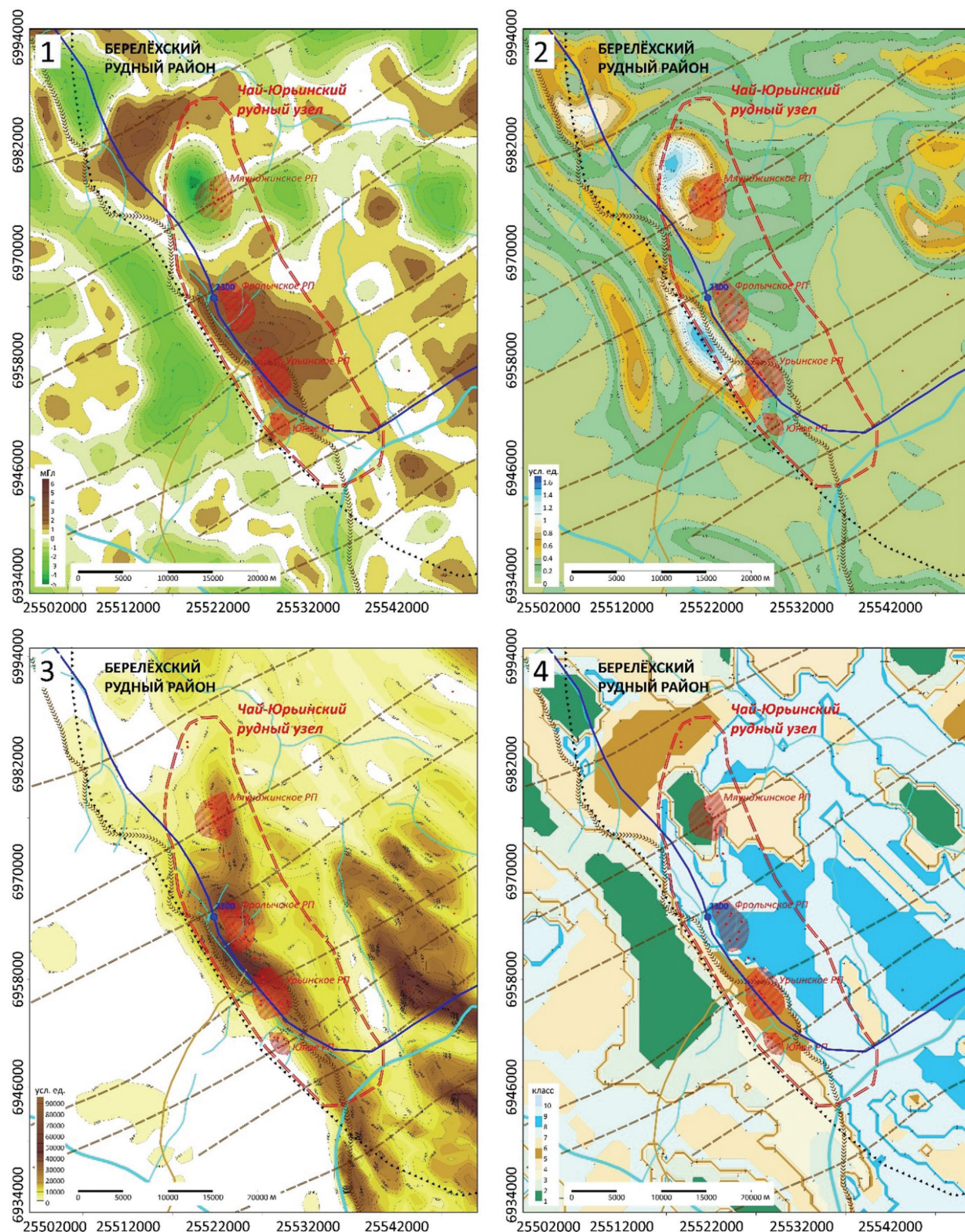


Рис. 4. Планы изолиний локальной составляющей (1) и дисперсии (2) гравитационного поля, дисперсии магнитного поля (3) и классификации параметров регионального магнитного и локального гравитационного полей (4).

Fig. 4. Plans of isolines for the local component (1) and for the dispersion (2) of the gravitational field, for the magnetic field dispersion (3) and the classification of the regional magnetic and local gravitational field parameters (4).

МП (-19 нТл), так и ГП (-1.8 мГл). Указанные факты представлены на схеме классификации (рис. 4-4) по магнитометрическим и гравиметрическим данным, причем первые представлены в

своей региональной составляющей, а вторые – локальной; таким образом, соблюдены примерно равные глубины исследований по каждому из методов.

5. Наличие в разрезе на глубинах 10–30 км крупных очагов повышенной проводимости – литосферный проводящий слой, сопровождающийся проводящими геоэлектрическими каналами вплоть до земной поверхности, а также присутствие проводящих «каналов» и мелких очагов между ними и поверхностью. Наибо-

лее перспективными являются «постройки» из нескольких значительных разноуровневых очагов, сообщающихся между собой, которые интерпретируются как разноранговые разломы надвиговой и взбросо-надвиговой кинематики (рис. 5). Существует некая единая система тепломассопереноса, которая представляется в

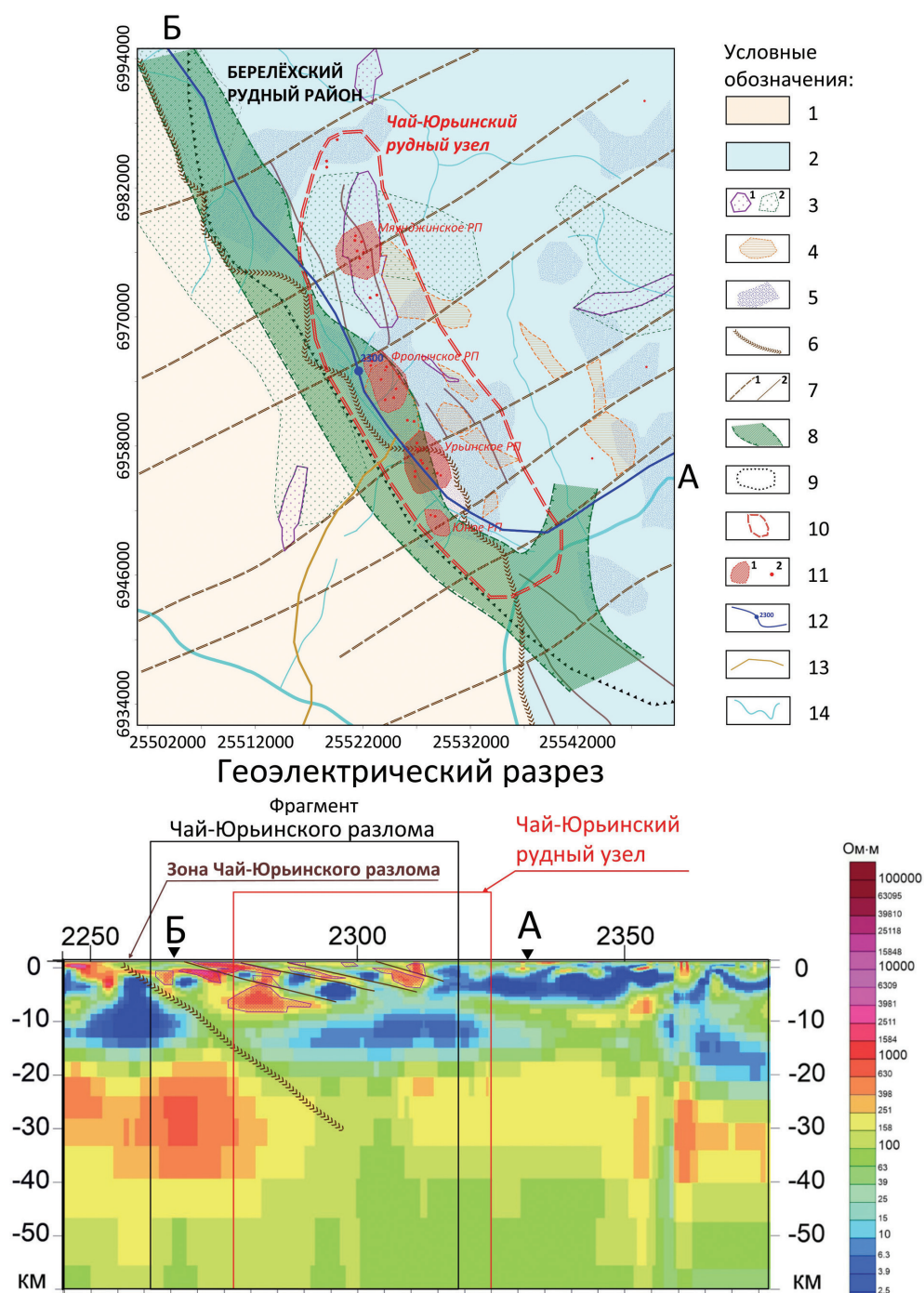


Рис. 5. Схема интерпретации геофизических данных и геоэлектрический разрез (Сальников, 2014) по профилю 3 ДВ.

Условные обозначения: 1 – Аян-Юряхский блок; 2 – Иньяли-Дебинский блок; 3 – гранитоиды: выходящие на поверхность (1), не вскрытые эрозией (2). Локальные отрицательные аномалии поля силы тяжести; 4 – зоны трещиноватости и расщелинчатости, насыщенные пирротиновой минерализацией. Локальные аномалии магнитного поля интенсивностью от 10 до 200 нТл; 5 – зоны базификации терригенных пород. Локальные положительные аномалии поля силы тяжести; 6 – Чай-Юрьинский глубинный разлом. Зоны градиентов магнитного и

гравитационного полей; 7 – разрывные нарушения северо-восточного простирания: на плане (1), на разрезе (2). Линии нарушения корреляции аномалий магнитного (1) и геоэлектрического (2) полей; 8 – мощные разломы коромантийного заложения – пути транзита мантийных расплавов, флюидов и рудных компонентов из подкорового пространства. Субвертикальные транскоровые зоны повышенной электропроводности; 9 – Берелёхский рудный район; 10 – Чай-Юрьинский рудный узел. Зоны градиентов ГП и МП, локальная положительная (1–3 мГл) аномалия ГП, аномалии повышенных значений дисперсии (1–1.5 усл. ед.) и общего градиента (0.001–0.002 усл. ед.) ГП, дифференцированное положительное (100–1500 нТл) МП, высокие значения дисперсии МП (более 10000 усл. ед.); 11 – рудные поля (1), месторождения (2). Области положительных значений ГП (0.94–1.55 мГл) и МП (26–340 нТл) классы 5 – Фрольчское РП и 8 – Урьинское, Юное РП, отрицательные значения МП (–19 нТл) и ГП (–1.8 мГл) класс 1 – Мянунджинское РП; 12 – геофизический профиль 3 ДВ; 13 – федеральная автомобильная дорога Р-504 «Колыма»; 14 – реки (Аян-Юрх, Берелёх).

Fig. 5. Scheme of geophysical data interpretation and the geoelectric section (Salnikov, 2014) according to Profile 3 FE.

Symbols: 1 – Ayan-Yuryakh block; 2 – Inyali-Debin block; 3 – granitoids: coming to the surface (1), not exposed by erosion (2). Local negative anomalies of the gravity field; 4 – fracturing and schistosity zones, saturated with pyrrhotite mineralization. Local magnetic field anomalies with intensity from 10 to 200 NT; 5 – zones of basification of terrigenous rocks. Local positive anomalies of the gravity field; 6 – Chay-Yurya deep fault. Zones of magnetic and gravitational field gradients; 7 – discontinuous disturbances of the northeastern strike (on the plan (1) and in the section (2)). Correlation disturbance lines of magnetic (1) and geoelectric (2) field anomalies; 8 – powerful faults of the crust-mantle formation (transit routes of mantle melts, fluids, and ore components from the subsurface space). Sub-vertical trans-core zones of increased electrical conductivity; 9 – Berelyokh ore district; 10 – Chay-Yurya ore cluster. Zones of GP and MP gradients, local positive (1–3 mG) GF anomaly, GF anomalies of increased dispersion values (1–1.5 c. u.) and general gradient (0.001–0.002 c. u.), differentiated positive (100–1500 NT) MF, high values of MF dispersion (more than 10 000 conl. units); 11 – ore fields (1), deposits (2). Areas of positive values of GF (0.94–1.55 mG) and MF (26–340 NT) classes 5 – Frolych ore field and 8 – Urya, Yunoye ore fields, negative values of MF (–19 NT) and GF (–1.8 mG) Class 1 – Myaunja ore field; 12 – Geophysical Profile 3 FE; 13 – Federal Highway R-504 “Kolyma”; 14 – rivers (Ayan-Yuryakh, Berelyokh).

геоэлектрическом разрезе в виде взаимосвязанной структуры: верхнемантийный проводящий слой – коровый проводящий слой – субвертикальные проводящие зоны. В рамках этой си-

стемы имеются механизмы формирования условий, способствующие образованию геологической среды, перспективной для концентрации рудной минерализации.

Таблица 1. Таблица классов параметров региональной составляющей магнитного поля (МП_региональное) и локальной составляющей гравитационного поля (ГП_локальное)

Table 1. Table of parameter classes for the magnetic field regional component (MP_regional) and for the gravitational field local component (GP_local)

КЛАССЫ	НАИМЕНОВАНИЕ ПАРАМЕТРА	СРЕДНЕЕ	ВАРИАЦИЯ	ВАР./СРЕД.
1	МП региональное (нТл)	–19.51	41.12	9.31
	ГП локальное (мГл)	–1.83	0.43	0.32
2	МП региональное (нТл)	–18.68	34.09	7.89
	ГП локальное (мГл)	–0.80	0.28	0.31
3	МП региональное (нТл)	–81.34	34.00	3.77
	ГП локальное (мГл)	–0.09	0.35	1.16
4	МП региональное (нТл)	188.01	50.17	3.66
	ГП локальное (мГл)	–0.86	0.44	0.48
5	МП региональное (нТл)	26.51	57.77	11.22
	ГП локальное (мГл)	1.55	0.42	0.34
6	МП региональное (нТл)	15.54	34.92	8.86
	ГП локальное (мГл)	0.59	0.23	0.30
7	МП региональное (нТл)	18.08	28.99	6.82
	ГП локальное (мГл)	0.02	0.20	1.45
8	МП региональное (нТл)	340.33	77.30	4.19
	ГП локальное (мГл)	0.94	0.67	0.69
9	МП региональное (нТл)	87.08	38.06	4.08
	ГП локальное (мГл)	–0.53	0.35	0.48
10	МП региональное (нТл)	159.70	43.59	3.45
	ГП локальное (мГл)	0.69	0.39	0.47

Следует отметить, что ряд из указанных критериев характерен и для иных рудных узлов, расположенных в пределах Иньяли-Дебинской рудной зоны Яно-Колымского металлогенического пояса. Это наличие рудогенерирующего глубинного разлома корового заложения, который фиксируется зоной проводимости, узлы пересечения северо-западных и северо-восточных разрывов. Присутствие зон пирротинизации – измененные горные породы контактового метаморфизма, надпикальные или экзоконтактовые части, фиксирующиеся локальными положительными аномалиями магнитного поля. Зоны базификации в средней верхней коре – локальные положительные аномалии гравитационного поля.

Урьинское РП включает в себя месторождение Шахтное, рудопоявления (далее РПр) Верхний и Нижний Власыч, Приисковый. Вмещающей средой являются морские терригенные, вулканогенно-терригенные отложения от триаса до средней юры, которые прорваны штокообразными интрузивными телами и многочисленными дайками, образующими ареалы разнообразной формы и направления. Основной тип золоторудной минерализации Урьинского РП в целом парагенетически связан с дайками нерабохачинского комплекса.

Основным структурным элементом является зона Чай-Юрьинского глубинного разлома, фиксирующаяся полосой повышенной концентрации локальных аномалий магнитного поля разного знака, мощностью 1.5–2 км. В границах очерченной зоны разлома расположены основные месторождения и рудопоявления рудного поля (рис. 6, 7).

Локальные критерии на уровне рудного поля (Урьинское рудное поле).

1. Положение рудного поля определяется узлом пересечения глубинного Чай-Юрьинского разлома северо-западного простирания с поперечным скрытым разрывным нарушением северо-восточного простирания.

2. Геологическая среда рудного поля приурочена к экзоконтактовой части, насыщенной потенциально рудолокализирующими дайковыми телами, которые фиксируются локальными низкоамплитудными положительными аномалиями магнитного поля (интенсивностью от 2 до 30 нТл).

3. Территория Урьинского рудного поля, приуроченная к надинтрузивно-экзоконтактовой части, характеризуется зональным строением. В пределах северо-западной части рудного поля прогнозируются нескрытые малые интрузивные тела рудогенерирующего нерабохачинского комплекса, определяемые по локальным обнажениям диорит-порфириновых даек и ореолу ороговикования (биотит, зачаточная форма кордье-

рита), которые определяются областью положительного магнитного поля напряженностью от 40 до 1300 нТл и ареалом значений дисперсии аномального магнитного поля свыше 10 000 усл. ед. (рис. 6, 7). Далее к юго-востоку расположена экзоконтактовая зона, которая определяется наличием в различной степени березитизированных пород (дислокационно-метаморфизованными милонитизированными березитами), интенсивной рассланцованностью метасоматически измененных кварцевых диорит-порфиринов и преобразованием осадочных пород в тектониты. Развитие березитов контролируется системой прожилков и жил хлорит-карбонат-кварцевого, карбонат-кварцевого, альбит-карбонат-кварцевого состава с рудной минерализацией. Она фиксируется областью отрицательного магнитного поля напряженностью от –5 до –200 нТл и значениями дисперсии аномального магнитного поля в диапазоне от 100 до 10 000 усл. ед. Основные рудные объекты (в т. ч. месторождение Шахтное) расположены здесь же в пределах участков развития динамометаморфизованных березитов с наложенной сульфидно-жильной минерализацией. По мере удаления от контактовой зоны наблюдается затухание процессов милонитизации и катаклаза. Эти территории отличаются отрицательными значениями магнитного поля в широком диапазоне от 0 до –200 нТл и значениями дисперсии аномального магнитного поля в диапазоне от 10 до 100 усл. ед. (рис. 6, 7).

Наиболее представительным объектом дайкового типа золотого оруденения на площади является месторождение Шахтное. По геологическим данным объекты поиска – рудоносные зоны представляют собой систему сближенных даек, насыщенных рудной кварц-сульфидной минерализацией (5–10 %) как прожилкового, так и прожилково-вкрапленного типа. Связаны они с разрывными нарушениями преимущественно северо-западного простирания.

Критерии, ограниченные на уровне месторождения (месторождение Шахтное).

1. Рудоносные зоны – дайки приурочены к зонам градиента удельного электрического сопротивления и вызванной поляризации (рис. 8).

2. Рой рудоносных даек уверенно фиксируется аномалиями трансформант параметра УЭС – эксцесса, асимметрии и регрессии.

3. По параметрам удельного электрического сопротивления и вызванной поляризации рудоносные зоны фиксируются определенным составом классов, что указывает на их значительные отличия по петрофизическим свойствам от окружающей геологической среды (рис. 9, табл. 2).

Рудолокализирующие структуры (классы 6–11) характеризуются повышенным средним удельным сопротивлением и повышенной вариацией параметра,

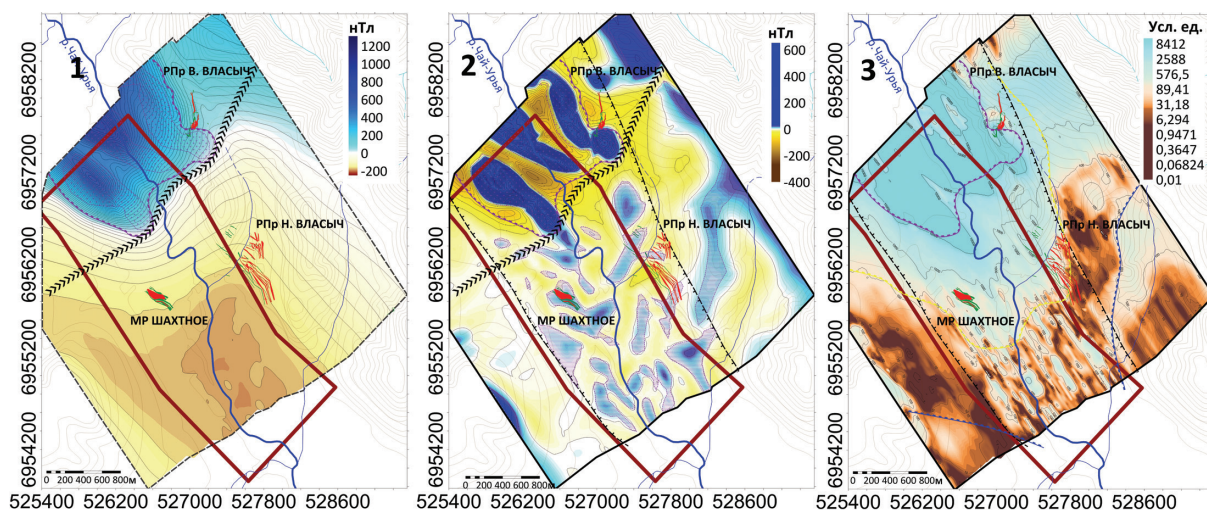


Рис. 6. Планы изолиний региональной (1), локальной (2) составляющей и дисперсии (3) магнитного поля Урьинского рудного поля.

Fig. 6. Plans of isolines for the magnetic field regional (1), local (2) component, and dispersion (3) within the Urya ore field.

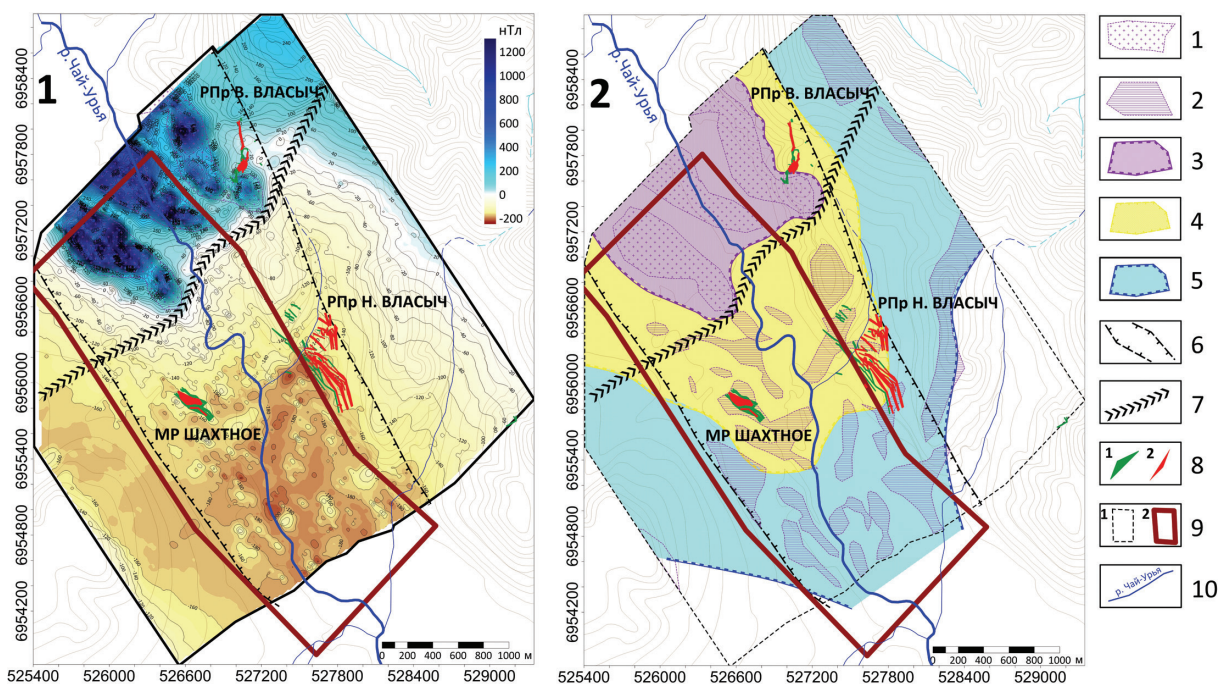


Рис. 7. План изолиний аномального магнитного поля (1), схема интерпретации магниторазведочных данных территории Урьинского рудного поля.

Условные обозначения: 1 – малые дайкообразные интрузивные тела, не вскрытые эрозией; 2 – дайки среднего состава, частично вскрытые эрозией; 3 – ореол ороговикованных пород; 4 – ореол дислокационно-метаморфизованных милонитизированных березитизированных пород; 5 – ореол практически не изменённых пород; 6 – зона Чай-Юрьинского глубинного разлома; 7 – скрытый поперечный разлом; 8 – рудоносные дайки и зоны прожилково-жильного окварцевания; 9 – площади магниторазведочных (Урьинское рудное поле) работ (1) и детальных электроразведочных (месторождение Шахтное) исследований (2); 10 – гидросеть.

Fig. 7. Plan of the anomaly magnetic field isolines (1) and the interpretation scheme of the magnetic exploration data from the Uryinsky ore field area.

Legend: 1 – small dike-like intrusive bodies not exposed by erosion; 2 – medium-size dikes, partially exposed by erosion; 3 – halo of horned rocks; 4 – halo of dislocation-metamorphosed milonitized beresitized rocks; 5 – halo of practically unchanged rocks; 6 – Chay-Yurya deep fault zone; 7 – hidden transverse fault; 8 – ore-bearing dykes and zones of vein-lode calcification; 9 – areas of magnetic exploration (Urya ore field) works (1) and detailed electrical exploration (Shakhnoye deposit) research (2); 10 – hydrographic network.

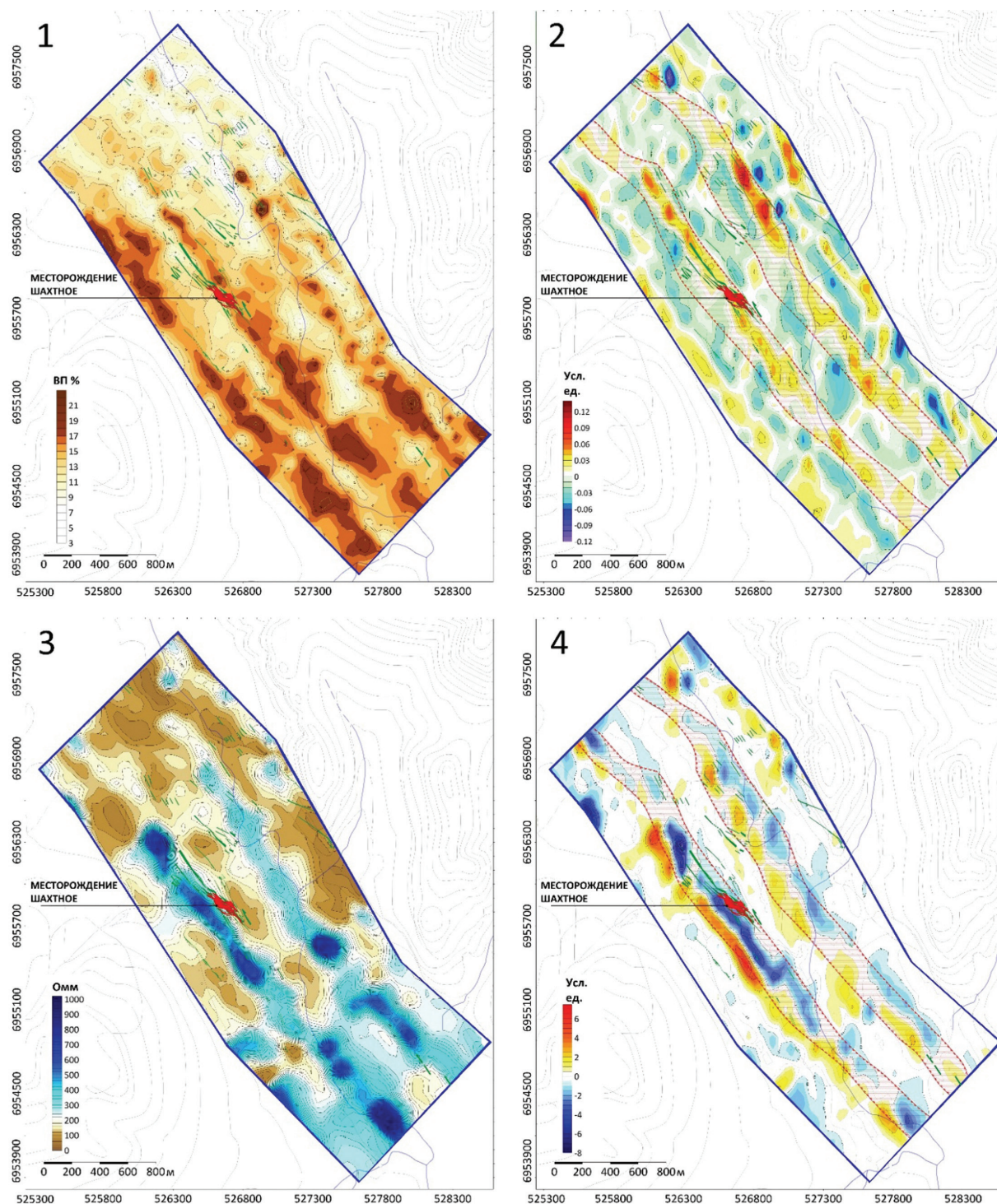


Рис. 8. Планы изолиний регрессии (1), асимметрии (2), эксцесса (3), удельного сопротивления территории месторождения Шахтное.

Fig. 8. Plans of isolines for regression (1), asymmetry (2), kurtosis (3), and resistivity of the Shakhtnoye deposit area.

по данным вызванной поляризации они регистрируются высокими значениями параметра и повышенной вариацией относительно вмещающих горных пород (классы 1–5) (табл. 3). Это указывает на интенсивную гидротермально-метасоматическую проработку в зоне локального магматогенного и регионального динамометаморфизма.

Указанные факты можно также обосновать наличием литолого-магматических факторов локализации оруденения. Литологический фактор контроля оруденения в пределах поля выражается в приуроченности золотого оруденения к кварцевым прожилково-жильным зонам, локализованным преимущественно в дайках. Наибо-

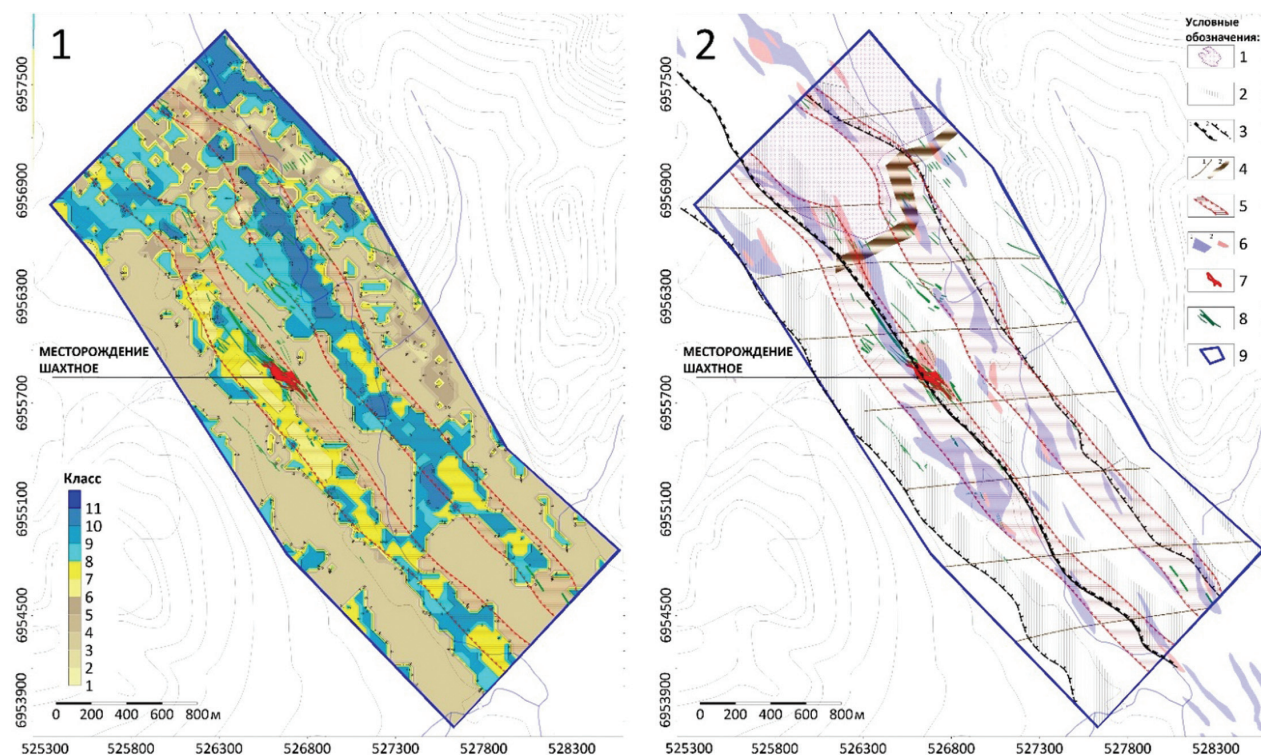


Рис. 9. Схема интерпретации геофизических данных.

Условные обозначения: 1 – малые интрузивные тела с ореолом контактово-измененных пород. Локальные высокоинтенсивные (до 700 нТл) аномалии магнитного поля; 2 – толщи (слои, пакки) углеродистых сланцев, зоны смятия, дробления. Линейные локальные аномалии вызванной поляризации (13–18 %), и низкого удельного сопротивления (50–200 Ом·м); 3 – элементы разрывной тектоники, связанные с зоной Чай-Юрьинского разлома (1, 2), основной шов (1) и его опережающие второго порядка (2). Зона значительного градиента (50 нТл на 100 м) магнитного поля (1), совмещенные в плане зоны градиентов параметров вызванной поляризации и удельного сопротивления; 4 – прочие разрывные нарушения (1, 2), в том числе сместитель основного шва Чай-Юрьинского разлома (2). Линии нарушения корреляции аномалий электрического (1, 2) и магнитного (2) полей; 5 – потенциально рудоносные зоны. Зоны градиентов и линейные зоны пониженных значений параметров вызванной поляризации (6–10 %) и повышенных значений удельного сопротивления (300–1000 Ом·м), сопровождаемые прямыми признаками оруденения; 6 – области россыпной золотоносности с крупностью золота более 0.5 мм (1) и более 0.8 мм (2); 7 – зоны рудной прожилково-жильной минерализации в дайках; 8 – дайки; 9 – контур работ методом электропрофилирования (масштаб 1 : 5 000).

Fig. 9. Scheme of geophysical data interpretation.

Legend: 1 – small intrusive bodies with a halo of contact-altered rocks. Local high-intensity (to 700 NT) magnetic field anomalies; 2 – masses (beds, units) of carbonaceous shales, zones of shearing and crushing. Linear local anomalies of induced polarization (13–18 %) and low resistivity (50–200 Ωm); 3 – elements of discontinuous tectonics associated with the Chay-Yurya fault zone (1, 2), the main seam (1) and its second-order fins (2). Zone of the magnetic field significant gradient (50 NT per 100 m) (1), combined in the plane zones of the parameter gradients for induced polarization and resistivity; 4 – other discontinuous faults (1, 2), including the main seam of the Chay-Yurya fault (2). Correlation disturbance lines of the electric (1, 2) and magnetic (2) field anomalies; 5 – potentially ore-bearing zones. Gradient zones and linear zones of reduced induced polarization parameter values (6–10 %) and increased resistivity values (300–1000 Ωm), accompanied by direct signs of mineralization; 6 – areas of alluvial gold content with a gold fineness exceeding 0.5 mm (1) and 0.8 mm (2); 7 – zones of vein-lode mineralization in dikes; 8 – dikes; 9 – contouring the works by electrophilering (scale 1 : 5000).

более богатым является оруденение с содержанием кварцевого материала более 10 % и с включением сульфидной минерализации (~2–5 %). При неоднократных тектонических процессах тела даек преобразуются и становятся более проницаемыми для гидротермальных растворов по сравнению с относительно однородными, существенно алевроглинистыми вмещающими породами. В условиях продвижения фронта гидротермаль-

ных растворов это могло привести к интенсивному рудоотложению (окварцеванию и сульфидизации) в благоприятной среде.

Магматический фактор контроля оруденения выражен тем, что более хрупкие по сравнению с вмещающей алевроглинистой толщей штоки и крутопадающие дайки интрузивных пород являются в первую очередь рудоподводящими каналами. В трудах Ю. А. Билибина отмечается,

Таблица 2. Таблица классов параметров удельного электрического сопротивления (УЭС) и вызванной поляризации (ВП)

Table 2. Table of parameters classes for electrical resistivity (Ro) and for induced polarization (IP)

КЛАССЫ	НАИМЕНОВАНИЕ ПАРАМЕТРА	СРЕДНЕЕ	ВАРИАЦИЯ	ВАР./СРЕД.
1	УЭС (Ом × м)	77.70	38.48	0.50
	ВП (%)	6.23	0.89	0.14
2	УЭС (Ом × м)	93.52	25.40	0.27
	ВП (%)	8.64	0.64	0.07
3	УЭС (Ом × м)	140.69	48.04	0.34
	ВП (%)	15.68	1.47	0.09
4	УЭС (Ом × м)	155.12	16.60	0.11
	ВП (%)	9.56	0.44	0.05
5	УЭС (Ом × м)	80.08	26.19	0.33
	ВП (%)	11.06	0.90	0.08
6	УЭС (Ом × м)	771.27	144.43	0.19
	ВП (%)	8.45	3.18	0.38
7	УЭС (Ом × м)	407.12	69.21	0.17
	ВП (%)	12.87	1.37	0.11
8	УЭС (Ом × м)	151.30	33.74	0.22
	ВП (%)	11.64	0.81	0.07
9	УЭС (Ом × м)	230.48	39.70	0.17
	ВП (%)	13.88	0.95	0.07
10	УЭС (Ом × м)	201.67	32.68	0.16
	ВП (%)	8.53	0.89	0.10
11	УЭС (Ом × м)	350.13	57.99	0.17
	ВП (%)	9.15	1.47	0.16

Таблица 3. Таблица классов средних значений параметров удельного электрического сопротивления (УЭС) и вызванной поляризации (ВП)

Table 3. Table for parameter average value classes for electrical resistivity (Ro) and for induced polarization (IP)

КЛАССЫ	ХАРАКТЕРИСТИКА	СРЕДНЕЕ УЭС (Ом × м)	СРЕДНЕЕ ВАРИАЦИИ УЭС	СРЕДНЕЕ ВП (%)	СРЕДНЕЕ ВАРИАЦИИ ВП
1–5	ВМЕЩАЮЩИЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ	109	31	10.2	0.87
6–11	РУДОЛОКАЛИЗУЮЩИЕ СТРУКТУРЫ	352	63	10.8	1.44

что дайковые породы, как более компетентные в песчано-сланцевой толще, являются природными коллекторами для основного количества золотой минерализации Центральной Колымы (Билибин, 1961).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в результате обобщения и интерпретации фондовых и опубликованных материалов, на основе статистических методических приемов обработки комплекса геофизических данных авторами предложены глубинные геолого-геофизические прогнозные критерии золотого оруденения в иерархической после-

довательности: рудный район – рудный узел – рудное поле – месторождение. При этом существует ряд основных критериев, которые имеют универсальный характер для большинства рудных площадей региона и фиксируются геофизическими методами. Для рудного района это наличие глубинных разломов коромантийного заложения, разрывы сплошности поверхности Мохо (мантийные «окна») и, как следствие, деформация земной коры; для рудного узла – наличие рудогенерирующего глубинного разлома корового заложения, зон базификации в средней-верхней коре, а также зон пирротинизации в верхней части геологического разреза. Для руд-

ного поля – узлы пересечения рудогенерирующего разлома с поперечными разломами более низкого порядка, где геологическая среда приурочена к экзоконтактовой или надынтризивной части и насыщена потенциально рудо локализуемыми дайковыми телами. Месторождение, представленное рудоносными дайками, характеризуется контрастными физическими параметрами.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность руководству ООО «Золотодобывающая Корпорация» в возможности проведения полевых работ на исследуемой площади.

ЛИТЕРАТУРА

Билибин Ю. А. Избранные труды: в 4 т. Т. 3. Москва: АН СССР, 1961. 518 с.

Гайдай Н. К., Хасанов И. М., Горячев Н. А., Гошко Е. Ю. Структурные особенности глубинного строения Юго-Востока Яно-Колымского орогенного пояса (по результатам комплексных геофизических данных) // Геодинамика и тектонофизика. 2020. Т. 11. № 4. С. 697–709. DOI: 10.5800/GT-2020-11-4-0501.

Поступила в редакцию 17.03.2025.

Поступила после доработки 02.04.2025.

Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн. / Под ред. А. И. Ханчука. Кн. 1. Владивосток: Дальнаука, 2006. 572 с.

Никитин А. А. Теоретические основы обработки геофизической информации. Москва: Недра, 2011. 112 с.

Никитин А. А., Петров А. А., Алексашин А. С. Инструкция к применению программного комплекса спектрально-корреляционного анализа трехмерных геоданных «КОСКАД 3D». Москва: Недра, 2010. 51 с.

Петухов В. В. Отчет «Геологическое доизучение масштаба 1 : 200 000 площади листов Р-55-IX, X (новая серия)» Адыгалахская ГСП. ТГФ (ФГУ МТФГИ), Магадан, 1999 г.

Фондовая

Сальников А. С. Отчет о результатах работ по объекту «Создание опорного геолого-геофизического профиля 3-ДВ (Северо-Восточный участок)». Государственный контракт № 5/2012 от 26.03.2012. В 7 кн. и 2 папках. Новосибирск: ФГУП «СНИИГТиМС», 2014.

Хасанов И. М. и др. Отчет о производстве структурно-геофизических работ по созданию объемной физико-геологической модели глубинного строения Центрально-Колымского района для целей ГДП-200. Магадан: ФГУП «Магадангеология», 2002. 145 с.

FEATURES OF ORE SYSTEM MANIFESTATIONS IN GEOPHYSICAL FIELDS WITHIN THE ZONE OF THE CHAY-YURYA DEEP FAULT INFLUENCE (Central Kolyma Area)

I. M. Khasanov, T. I. Mikhalitsyna, D. V. Makarova

North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute n. a. N. A. Shilo, FEB RAS, Magadan

The article presents the results of geological and geophysical studies performed within the Central Kolyma area, in the zone of the Chay-Yurya deep fault influence (Yana-Kolyma metallogenic system). A comprehensive approach to assessing the relationship of geophysical anomalies with the geological structure of the area is described. An apparatus for the statistical analysis of geophysical data was used. It has been established that the area of the Urya ore field is attached to the exocontact part and is characterized by the zonal structure. The exocontact zone is saturated with potentially ore-bearing dyke bodies, fixed by local low-amplitude positive anomalies of the magnetic field with an intensity of 2 to 30 NT. A set of deep geological and geophysical forecast criteria for gold mineralization is proposed in a hierarchical sequence: ore region – ore cluster – ore field – deposit.

Keywords: Berelyokh ore district, Chay-Yurya ore cluster, magnetic field, gravitational field, geoelectrics, statistical characteristics of geophysical fields, Moho boundary, deep predictive criteria for mineralization.

REFERENCES

Bilibin, Yu. A., 1961. Selected Works: In 4 Vols. Vol. 3. Moscow, AS USSR [In Russian].

Gayday, N. K., Goryachev, N. A., Khasanov, I. M., Goshko, E. Yu., 2020. Structural Features of the Deep

Structure of the Southeastern Yano-Kolyma Fold System from Complex Geophysical Data, *Geodynamics & Tectonophysics*. 11 (4): 697–709. DOI: 10.5800/GT-2020-11-4-0501 [In Russian].

Geodynamics, Magmatism and Metallogeny of the Russian East, 2006. In 2 Books. Book 1. Ed. A. I. Khanchuk. Vladivostok, Dalnauka [In Russian].

Nikitin, A. A., 2011. Theoretical Foundations of Geophysical Information Processing. Moscow, Nedra [In Russian].

Nikitin, A. A., Petrov, A. A., Aleksashin, A. S., 2010. Instruction for Using the “COSCAD 3D” Program Complex for the Spectral Correlation Analysis of Three-Dimensional Geodata. Moscow, Nedra [In Russian].

Petukhov, V. V., 1999. Report «Geological Additional Study of the Scale of 1: 200,000 of the Area of Sheets

R-55-IX, X (New Series)» Adygalakh GSP. THF (FGU MTFGI), Magadan, [In Russian].

Stock Publications

Khasanov, I. M. et al., 2002. Report on the Performing Structural and Geophysical Works on Developing a Three-Dimensional Physical and Geological Model of the Deep Structure of the Central Kolyma Area for the GGP-200 Purposes. Magadan [In Russian].

Salnikov, A. S., 2014. Report on the Results of Works on the Object “Creation of a Reference Geological and Geophysical Profile 3-FE (North-Eastern section)”. State Contract No. 5/2012 of 26.03.2012. In 7 books and 2 folders. Novosibirsk [In Russian].