

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(СПбГУ)

**Русаков Егор Дмитриевич**

**Выпускная квалификационная работа**

**Геолого-геофизические критерии локализации золоторудных узлов  
(на примере фрагмента Центрально-Колымского региона)**

Направление 05.04.01 «Геология»

Образовательная программа ВМ. 5796 «Геофизика»

**Научный руководитель:**

Доцент кафедры геофизики

Института наук о земле

кандидат геолого-минералогических наук

Кашкевич Марина Петровна

**Рецендент:**

ведущий геофизик ФГБУ «ВСЕГЕИ»

Зубов Денис Евгеньевич

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
ГЛАВА 1. ИСТОРИЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ РЕГИОНА .....	4
1.1 Физико-географический очерк.....	4
1.2 История геолого-геофизического изучения региона .....	4
ГЛАВА 2. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ЦЕНТРАЛЬНО-КОЛЫМСКОГО РЕГИОНА .	6
2.1 Геологическое строение Центрально-Колымского региона (тектоника, стратиграфия, магматизм) .....	6
2.1.1 Тектоника .....	6
2.1.2 Стратиграфия .....	8
2.1.3 Магматизм.....	9
2.2 Минерагеническое районирование, полезные ископаемые Центрально-колымского региона .....	11
2.3 Закономерности размещения ПИ, факторы и критерии их прогнозирования.....	12
2.4 Геологическая характеристика исследуемого участка .....	16
2.5 Минерагеническое районирование исследуемого участка .....	22
ГЛАВА 3. ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ .....	28
3.1 Характеристика геофизических данных .....	28
3.2 Технология создания сводных цифровых моделей.....	30
3.3 Трансформации геофизических полей.....	39
3.2.1 Трансформации гравиметрических и аэромагнитометрических данных .....	40
3.2.2 Трансформации аэрогамма-спектрометрических данных .....	45
ГЛАВА 4. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ЛОКАЛИЗАЦИИ РУДНЫХ УЗЛОВ .....	50
4.1 Региональных критерии .....	50
4.2 Локальные критерии .....	52
ГЛАВА 5. ВЫДЕЛЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ УЧАСТКОВ НА ДЕБИНСКОЙ ПЛОЩАДИ .....	59
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	62
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	63

## ВВЕДЕНИЕ

Центрально-Колымский регион (ЦКР) – уникальная золоторудно-россыпная провинция на Северо-Востоке России. В его границах известно множество коренных и россыпных месторождений золота, в том числе такие крупные, как Наталкинское. При этом, несмотря на относительно хорошую изученность, Центрально-Колымский район остается перспективным на обнаружение новых крупных золоторудных месторождений. Важные особенности геологического строения территории находят свое отражение в геофизических полях. Целью работы было выявление геолого-петрофизических характеристик золоторудных рудных узлов для решения прогнозно-поисковых задач на территории Ветренской и Дебинской площадях по аэрогеофизическим данным.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

- 1) Формирование сводных геофизических полей по Дебинской площади
- 2) Расчет трансформант геофизических полей по Дебинской площади
- 3) Анализ геологических признаков золотого оруденения ЦКР
- 4) Выявление геофизических признаков, отражающих проявленность в геофизических полях тектонических, магматических, литологических, метасоматических и других факторов, благоприятных для рудообразования на Ветренской и Дебинской площадях

- 5) Выделение перспективных участков на Дебинской площади

Структура работы построена следующим образом. В главе 1 - история геолого-геофизического изучения региона. В главе 2 приводится геологическое строение Центрально-Колымского региона в целом и детально Дебинской площади. В главе 3 описаны этапы обработки аэрогеофизических данных, создание сводных моделей геофизических полей и их трансформаций. В главе 4 описываются основные выделенные критерии локализации рудных узлов. В главе 5 обобщены основные результаты всей проделанной работы, выделены перспективные участки на Дебинской площади.

## ГЛАВА 1. ИСТОРИЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ РЕГИОНА

### 1.1 Физико-географический очерк

Центрально-Колымский регион находится на территории Магаданской области на северо-востоке России и занимает территорию бассейна реки Колыма. Рельеф на изучаемой территории в основном представлен горными хребтами и средневысотными нагорьями, а в низовьях рек находятся низменности.

Речная сеть разветвлена. Реки имеют глубоко врезынные террасированные долины с регулярно заливаемыми поймами. Весенние половодья высокие и бурные, летом бывает несколько дождливых паводков, и их уровень иногда более высок чем при весеннем половодье. Реки не судоходны.

Климат суровый, вся территория находится в области отрицательных среднегодовых температур. Лето обычно жаркое со среднемесячной температурой +20°C, а зима, наоборот, холодная – среднемесячная температура января равна -32°C.

Многолетняя мерзлота распространена повсеместно. Мощность мерзлого слоя достигает 500 метров, а глубина летнего оттаивания на склонах северной экспозиции колеблется от 0.1 до 0.7 метров.

Большая часть площади листа – наиболее освоенные районы Магаданской области с развитой инфраструктурой и с наиболее высокой плотностью населения. (Шпикерман В. И. и др., 2016).

### 1.2 История геолого-геофизического изучения региона

Исследуемая территория активно начала изучаться в начале XX века после того, как здесь были открыты крупные россыпные месторождения. Первые данные о том, что речной аллювий золотоносный были получены Обручевым С. А. в 1929 году, когда он сплавлился по рекам Аян-Юрях и Колыма. Через несколько лет были обнаружены первые крупные россыпи на правом берегу реки Колыма Билибиным и Цареградским. В 1931 году советским геологом Дмитриев Владимировичем Вознесенским было обнаружено россыпное золото на реке Тенька. Через год уже в левобережном бассейне р. Колыма были установлена россыпная золотоносность Снятковым Л. А. и Шаталовым Е. Т.

До середины XX века на территории Центрально-Колымского региона проводились только преимущественно поисковые геологические работы. Кроме тех месторождений, которые были упомянуты выше были открыты и другие, которые и в наши дни играют важную роль в экономическом развитии Колымы. К таким месторождениям относятся коренные месторождения золота Павлик, Наталка, Дегдекан, Ветренское.

А. А. Николаев в 1942 году впервые создал схему стратиграфии золотоносных районов верховий реки Колыма, а в 1945 году была составлена первая сводная геологическая карта масштаба 1:500 000 на бассейн р. Колыма. Н. И. Ларин обобщил геологическое изучение Центрально-Колымского региона в первой Государственной геологической карте масштаба 1:1 000 000. В последующие 20 лет были проведены среднемасштабные геологосъемочные работы, в результате которых были подготовлены листы Государственной геологической карты СССР масштаба 1:200 000. С середины 1970-х годов на исследуемой площади проводились крупномасштабные съемки и работы по сбору данных для создания листов Р-55 и Р-56 ГГК-200 2-го и 3-го поколений

Начиная с 1975 года добыча золота из россыпей начала снижаться. Однако территория перспективна на рудное золото, хотя за все время геологических работ из коренных месторождений было добыто лишь около 150 т. Наряду с этим, в ЦКР не исключается возможность выявления новых нетрадиционных типов золоторудных месторождений (Политов В. К. и др., 2008).

## ГЛАВА 2. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ЦЕНТРАЛЬНО-КОЛЫМСКОГО РЕГИОНА

### 2.1 Геологическое строение Центрально-Колымского региона (тектоника, стратиграфия, магматизм)

#### 2.1.1 Тектоника

Центрально-Колымский регион (Центрально-Колымская металлогеническая область) находится в пределах Колымо-Чукотской провинции в бассейне верхнего течения реки Колыма. Он приурочен к юго-восточной части протяженной Яно-колымской складчатой системы, которая разделяет пояс Черского и Охотский срединный массив. Эта складчатая система традиционно рассматривается, как самостоятельная ветвь Верхояно-Колымской мезозойской складчатой области, сформированная на месте пассивной континентальной окраины, сложенная мощными осадочными песчано-глинистыми толщами верхнего палеозоя и мезозоя (Константинов М. М, 2006).

В пределах Центрально-Колымского региона находятся три крупных геоструктуры северо-западного простираия: Эльги-Кулинская складчатая зона (по В. К. Политову и др.) или Верхне-Колымский синклинорий, разделяющий Охотский массив от Аян-Юряхского антиклинория, и Иньяли-Дебинский синклинорий, который расположен между Колымским массивом и Аян-Юряхским антиклинорием (рис.1).

Эльги-Кулинская складчатая зона представляет собой систему брахиморфных складок с преобладанием синформ. Аян-Юряхский антиклинорий значительно приподнят относительно окружающих структур и характеризуется широким развитием узких и крутых линейных складок, особенно антиклиналей, которые на крыльях сопрягаются с более пологими и широкими синклиналями. Иньяли-Дебинский синклинорий вытянут в северо-западном направлении на сотни километров в виде линейного складчатого сооружения (Политов В. К. и др., 2008).

Аян-Юряхский антиклинорий граничит с Колымским массивом по Дарпирскому, а с Иньяли-Дебинским синклинорием – по Чай-Юрьинскому разломам. В юго-восточной части региона находится Балыгычано–Буюндинский район складчато-глыбовых дислокаций, характеризующийся коробчатыми брахиантиклиналями. Он ограничен Умарским разломом на юго-западе и Паутовским разломом на северо-востоке.

В южной части Центрально-Колымского региона находится Охтско-Чукотский вулканический пояс, с которым связано большое количество интрузивных образований ранне-позднемелового возраста – сейманские гранитоиды и субвулканические тела. Северная граница пояса имеет сложный извилистый характер, что, вероятно, связано с развитием по периферии вулканоструктур меридиональной и северо-западной ориентировки, глубоко рассекающих и перекрывающих мезозойские структуры Яно-Колымской складчатой системы.

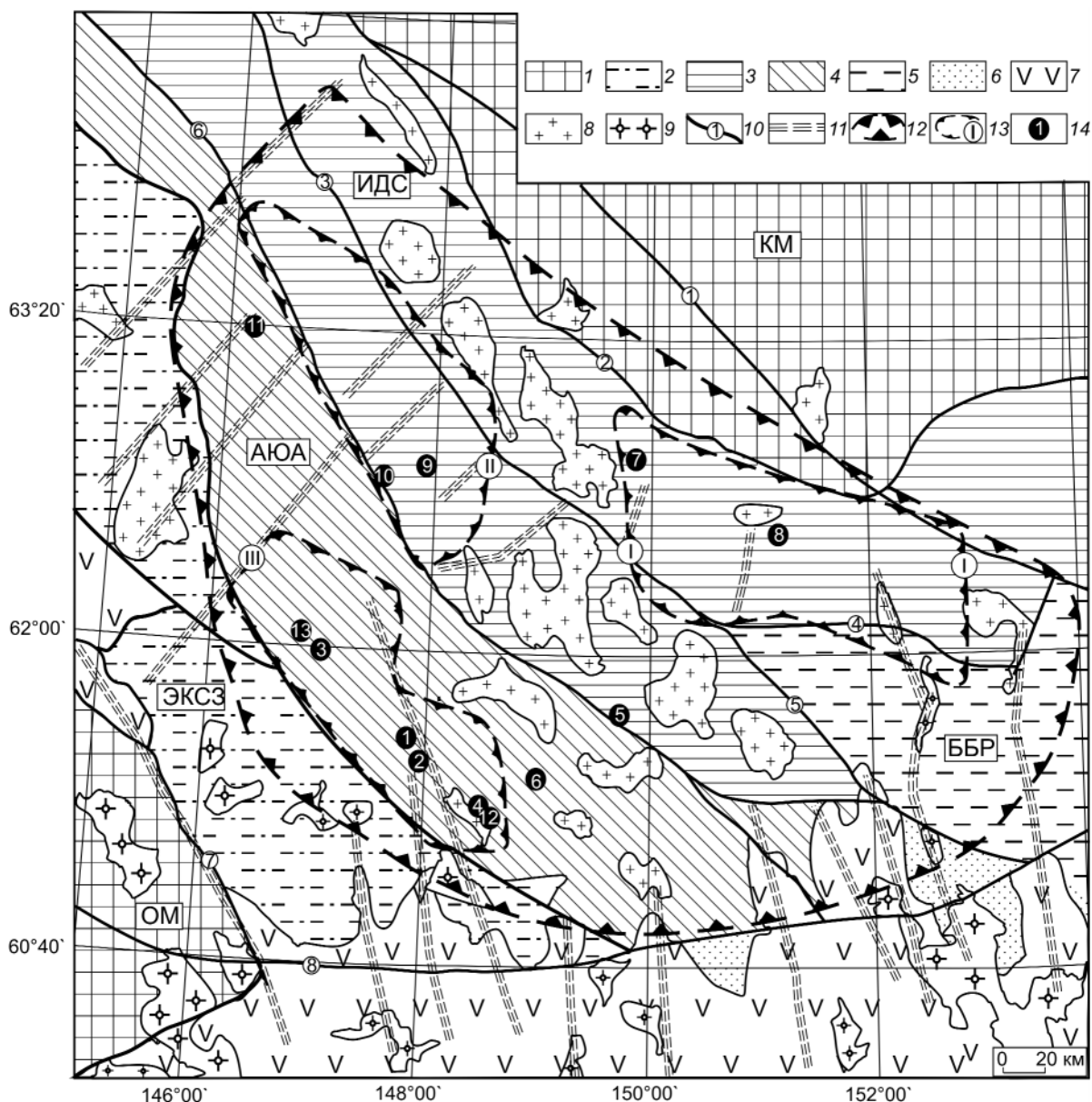


Рисунок 1. Положение Центрально-Колымского региона в региональных структурах (Политов В.К., 2008):

1 — срединные массивы (ОМ — Охотский, КМ — Колымский); 2 — Эльги-Кулинская складчатая зона (ЭКСЗ); 3 — Иньяли-Дебинский синклиорий (ИДС); 4 — Аян-Юряхский антиклинорий (АЮА); 5 — Балыгычано-Буондинский район складчато-

глыбовых дислокаций (ББРс); 6 — Армано-Вилигинская синклиналино-складчатая зона; 7 — Охотско-Чукотский вулканогенный пояс; 8 — колымские гранитоиды; 9 — охотские гранитоиды; 10 — региональные разломы (1 — Улахан, 2 — Дарпирский, 3 — Дебинский, 4 — Паутовский, 5 — Умарский, 6 — Чай-Юрьинский, 7 — Тас-Эльгенский, 8 — Пограничный); 11 — осевые линии крупнейших поперечных структур; 12 — граница Центрально-Колымского региона; 13 — границы рудно-россыпных районов (I — Ягоднинского, II — Берелехского, III — Тенькинского); 14 — основные золоторудные месторождения (1 — Наталка, 2 — Павлик, 3 — Дегдекан, 4 — Игуменовское, 5 — Ветренское, 6 — Школьное, 7 — Штурмовское, 8 — Утинское, 9 — Светлое, 10 — Чай-Юрьинское, 11 — Верхний Хакчан, 12 — Родионовское, 13 — Токичан)

### 2.1.2 Стратиграфия

Центрально-Колымский регион сложен отложениями P<sub>1</sub>-J<sub>2</sub> возраста.

В отложениях пермской системы выделены Родионовская, Пионерская, Атканская, Омчанская и Старательская свиты, сложенные преимущественно углеродистыми глинистыми аргиллитами, алевролитами. Встречаются редкие прослои тонкозернистых песчаников. Отличительной особенностью Атканской свиты является наличие диамиктитов — пород, представляющих собой несортированную смесь окатанных и угловатых обломков вулканических магматических, реже осадочных пород, погруженных в алевролитовый или глинисто-алевритовый матрикс. Состав обломков различен — риолиты, андезиты, долериты, гранитоиды, аргиллиты, песчаники, известняки. Старательская свита сложена преимущественно песчаниками и алевритовыми аргиллитами.

Триасовые отложения широко распространены на территории Центрально-Колымского региона. Здесь выделяют Индийский, Оленекский, Анзийский, Ладинский, Карнийский и Норийский ярусы, сложенные алевролитами, глинистыми аргиллитами с редкими прослоями тонкозернистых песчаников.

Юрские отложения, как и триасовые занимают большую площадь на территории Центрально-Колымского региона. В них выделяются Кадыкчанская, Аренская, Мянунджинская, Жуковская и Лещевская свиты. Отложения юрской системы также представлены алевролитами, глинистыми аргиллитами, песчаниками. Особенностью Аренской свиты является присутствие в ней покровов лав кислого состава (риолиты, дациты) (Шпикерман В. И. и др., 2016).



### 2.1.3 Магматизм

Центрально-Колымский регион в целом отличается от соседних областей широким распространением гранитоидных интрузий средне-позднеюрского возраста, причем некоторые из них вытянуты в близмеридиональном направлении (рис.2)

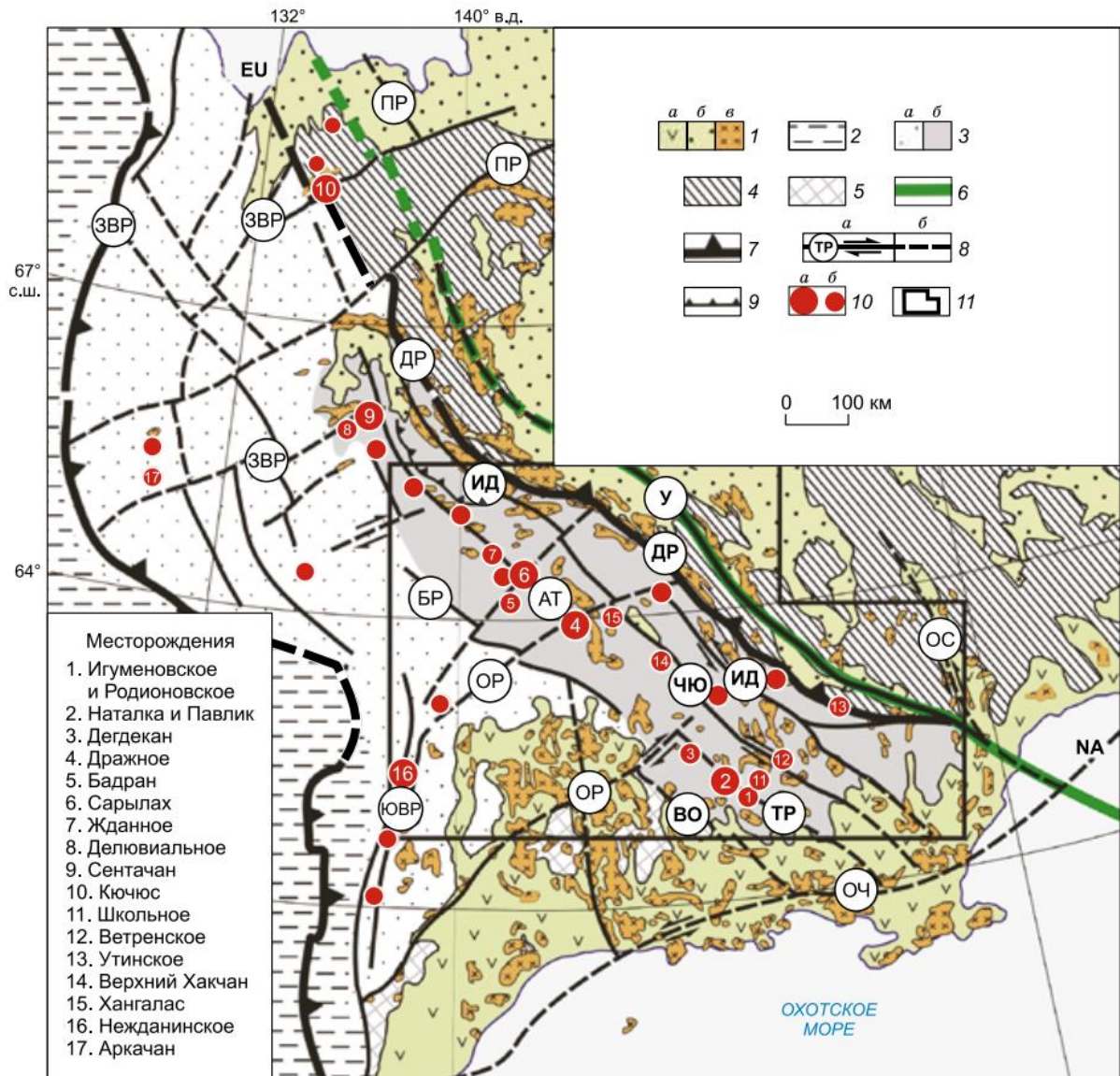


Рисунок 2. Тектоно-магматическая съема Верхояно-Колымского складчатого пояса (Аристов В.В., 2019)

1 — Верхнеюрско-кайнозойские формации: вулканогенные Охотско-Чукотского вулканического пояса (а), терригенные молассовые (б), гранитоидные (в); 2, 3 — Северо-Азиатский кратон: 2 — Сибирская платформа, 3 — Яно-Колымская складчатая область (ЯКСО): Верхоянский складчато-надвиговый пояс (а), Яно-Колымский складчатый пояс (б); 4 — Колымо-Омолонский супертеррейн: островодужные, океанические и континентальные террейны; 5 — Охотский террейн; б

— современные границы литосферных плит (NA — Северо-Американская, EU — Евразийская)<sup>7</sup> — системы тыловых и ведущих надвигов, ограничивающих ЯКСО; 8 — крупнейшие сдвиговые разломы: достоверно установленные (а), предполагаемые (б); 9 — надвиги; 10 — орогенные месторождения золота: более 100 т запасов и ресурсов (а), менее 100 т запасов и ресурсов (б); 11 — площадь детализации. Системы разрывных нарушений и отдельные разломы: в кружках полужирным: Индигиро-Колымская система разломов — ВО — Восточно-Охотский, БР — Брюнгадинский, ТР — Тенькинский, АТ — Эльгинский (Адыча-Тарынский и Сентачанский), ЧЮ — Нерский и Чай-Юреинский, ИД — Инъяли-Дебинский, ДР — Дарпирский, У — Улахан; в кружках светлым: ОЧ — Охотско-Чукотская (Приохотская) система разломов; ОР — Охотская система разломов; ЮВР — Южно-Верхоянская система разломов; ЗВР — Верхоянская система разломов; ОС — Колымо-Омолонская система разломов; ПР — Полоусненская система разломов.

Интрузивные образования присутствуют в виде крупных массивов (протяженностью до 80 км), более мелких массивов (с размерами от нескольких км до нескольких сотен метров) и многочисленных гипабиссальных тел.

Наибольшее распространение имеют батолиты и штоки позднеюрского колымского гранитового комплекса. Крупнейшие среди них – массивы Оханджа (550 км<sup>2</sup>), Чьорго (700 км<sup>2</sup>), Южный Большой Анначаг (640 км<sup>2</sup>), а также другие, среднего и мелкого размеров. Массивы сложены биотитовыми и двуслюдяными гранитами, лейкогранитами. Дайки представлены гранит-порфирами. С этим комплексом связаны промышленное оловянное оруденение, менее интенсивное кобальтовое оруденение, проявления урана, вольфрама, висмута, теллура, селена, непромышленная минерализация золота, редкометальные пегматиты.

В пределах ЦКР также присутствуют гранитоиды Охотской петрографической провинции. К ней относятся ранне-позднемиоценовые интрузивные комплексы, с которыми связан оловянная, кобальтовая, редкоземельная, золото-серебряная и другая минерализация. (Политов В. К. и др., 2008).

Вмещающими породами для гранитов комплекса являются отложения верхнего триаса, нижней и средней юры. В контактовых ореолах гранитоидов и в роговиках интенсивно проявлен метасоматоз: калишпатизация, альбитизация и грейзенизация.

Пространственная связь гранитоидов и золотой металлогении — обратная. В пределах площади батолитов золотые россыпи и сколько-нибудь существенные

рудопроявления практически отсутствуют. Батолиты разобщают золотоносные площади и таким образом участвуют в оформлении этих площадей.

## 2.2 Минерагеническое районирование, полезные ископаемые Центрально-колымского региона

Площадь ЦКР – одна из наиболее насыщенных полезными ископаемыми территория России. Несмотря на непрерывную интенсивную добычу полезных ископаемых (прежде всего золота) в течение более 80 лет, она и в настоящее время имеет важное значение для минерально-сырьевого комплекса страны.

Центрально-Колымский регион соответствует металлогенической области, в пределах которой выделяются рудные районы, узлы и месторождения.

Рудный район представляет собой фрагмент крупного складчатого тектонического сооружения (синклиория, антиклиория) размером 160×60 км, ограниченного продольными рудоконтролирующими разломами северо-западной ориентировки и крупными поперечными структурами северо-восточного и субмеридионального простирания. Для рудных районов характерны развитие поясов добатолитовых даек, широкое распространение крупных россыпей золота, золоторудных месторождений и рудопоявлений.

Рудный узел совпадает с антиклинальной или синклиальной складкой 2-го порядка и тектоническим блоком размером 40×20 км, ограниченным ветвями региональных рудоконтролирующих разломов северо-западной ориентировки и кулисами поперечных структур. К прямым признакам рудного узла относятся наличие россыпей и шлиховых потоков золота, золоторудных месторождений, проявлений и точек золотой минерализации. (Политов В. К. и др., 2008).

Оруденение золоторудной кварцевой формации наиболее распространено в структурах Иньяли-Дебинского синклиория. Эти месторождения принято называть месторождениями малосульфидной золото-кварцевой формации (low-sulfidation). Они являются главными россыпеобразующими объектами, так как в большинстве своем содержат кристаллы самородного золота высокой пробы и довольно крупных размеров.

Объекты золоторудной кварцевой формации делятся на три геолого-промышленных типа: жильный, дайковый и минерализованных зон. Жильные объекты составляют большинство. Как правило, это многочисленные рудопоявления и мелкие месторождения с рудами с весьма неравномерным распределением золота. Дайковый тип характеризуется приуроченностью золотоносных кварцево-жильных систем к

березитизированным дайкам среднего и кислого состава. Месторождения в дайках отличаются невысокими содержаниями золота (обычно 3–8 г/т), относительно равномерным распределением металла, небольшими до средних параметров по запасам. Месторождения минерализованных зон достигают крупных и весьма крупных размеров. Они нередко представляют собой протяженные линейные штокверки, состоящие из многочисленных кварцевых жил и прожилков в терригенных осадочных породах. Эти месторождения имеют наиболее важное промышленное значение.

Оруденение золоторудной кварц-сульфидной формации относится к жильному морфологическому типу, локализуется в осадочных и магматических породах различного возраста. Преобладают кварцевые и сульфидно-кварцевые жилы, иногда переходящие в серии кварцевых прожилков. Количество сульфидов доходит до 10, а иногда и до 50%. Содержание золота в борздовых пробах колеблется от 0.01 до 0.6 г/т, в штуфных – достигает 2-3 и даже 12 г/т. (Шпикерман В. И. и др., 2016).

Под золото-редкометалльной рудной формацией понимается комплекс золоторудных объектов, в которых с золотом в рудах присутствуют олово, вольфрам, молибден и висмут. В генетическом отношении это могут быть грейзеновые, скарновые, гидротермальные жильные проявления.

### 2.3 Закономерности размещения ПИ, факторы и критерии их прогнозирования

Золото-редкометалльные месторождения связаны с гранитными интрузиями и характеризуются повышенными концентрациями As, Bi, Te и W. Основным фактором прогнозирования этих месторождений является магматический фактор. Основная роль магматизма – рудоматеринская для ряда металлических полезных ископаемых: олова, вольфрама, кобальта, висмута, золота, меди, молибдена. Рудоматеринскими являются плутонические комплексы позднеюрского возраста.

Золото-кварцевые месторождения в терригенных породах (ЗКМТ) содержат наиболее значительные запасы и прогнозные ресурсы золота. Они располагаются вдоль простирания крупных зон разломов: Тенькинского, Чай-Юрьинского и других. ЗКМТ образуются в течение надвиговых и взбросо-сдвиговых процессов вслед за ростом континентальной окраины и субдукционного магматизма.

Главную роль в качестве рудоконтролирующих на ранней стадии рудообразования играли сдвиговые разломы северо-западной ориентировки. На поздней стадии образование повышенных концентраций золота связано с разрывами северо-восточной ориентировки.

*Метаморфический фактор.* Региональный зеленосланцевый метаморфизм низких ступеней, а также дислокационный и контактовый термальный метаморфизм играли важнейшую рудогенерирующую роль при формировании золото-кварцевого оруденения (золоторудная кварцевая формация). В результате этих процессов происходила мобилизация рудного вещества (золота) из рудоматеринских пород. Контактный термальный метаморфизм в некоторых случаях приводил к локальному плавлению и укрупнению зерен самородного золота в ранее сформированных золотоносных кварцевых жилах. Эти процессы вели к появлению крупных самородков и дальнейшему формированию самородковых россыпей золота

*Литолого-стратиграфический фактор.* Определяющим фактором высокой золотоносности пояса является сочетание в его пределах углеродистых и вулканогенноосадочных толщ. Такое сочетание наблюдается в последовательности пермских отложений (снизу-вверх): пионерская, атканская, омчакская свиты и в бурустахской серии нижней юры, в которой присутствуют как тонкие углеродистые, так и туфогенные породы. Природа золотоносности этих отложений в накоплении на геохимическом уровне благородного металла в углеродистых илах вследствие вулканической активности. Источник золота глубинный, в морские осадки золото выносятся флюидами, связанными с вулканической деятельностью

Практически значимые концентрации золота сформировались много позднее, в результате позднемезозойских тектонических движений, магматизма и метаморфизма. Золото промежуточных источников, каковыми являлись черносланцевые толщи, извлекалось и отлагалось в кварцево-жильных зонах преимущественно в вышележащих толщах.

*Тектонический фактор.* Рудоконтролирующая роль крупных сдвигов в размещении оруденения золоторудной кварцевой формации давно установлена и всесторонне исследована. Важнейшими разломами такого рода являются Чай-Юрьинский, Умарский, Паутовский, Улахан, Дарпирский. С рудоконтролирующей ролью надвигов связан и такой фактор, как формирование рамповых антиклиналей, являющихся благоприятными структурно-тектоническими ловушками для локализации крупнообъемных золотоносных кварцевожильных систем

*Геофизические факторы.* Наиболее часто используются аномалии поля силы тяжести, по которым можно судить о наличии на глубине нескрытых плутонов, контролирующих положение и размеры рудных узлов эндогенных месторождений. Аномалии магнитного поля для рассматриваемой территории чаще всего используются для локального прогноза золоторудных объектов в зонах пирротинизации. Результаты

АГСМ-съемки используются для выявления месторождений радиоактивных элементов и узлов золото-серебряного оруденения в вулканических поясах. (Шпикерман В. И. и др., 2016).

Для месторождений золото-кварцевой формаций в «углеродистых» комплексах миогеосинклиналей (ЦКР) наиболее характерны следующие особенности:

- оруденение контролируется крупными, сложнопостроенными зонами складчато-разрывных дислокаций, характерен устойчивый вертикальный интервал промышленного оруденения;
- напряженная дислоцированность складчатого и разрывного типа, ограниченная блоковыми структурами; развитие крупных надвиговых дислокаций;
- наличие глубинных «линз базификации», проявленных на уровне рудообразования свитами даек основного состава;
- многометалльный состав геохимических ореолов, интегрально отражающих длительность процесса рудообразования и многокомпонентный состав рудоносных флюидов, последнее фиксируется также присутствием в поздних ассоциациях высокосеребристого самородного золота, проявлений серебро-сульфоантимонитовой ассоциации.

Важно отметить, что золоторудные месторождения в металлогенических провинциях терригенных комплексов размещаются иногда и в интрузивных телах (рудное поле Школьное), прорывающих терригенные рудоносные толщи. Однако самые поздние комплексы гранитов, как правило, кислые по составу, рудных тел не содержат

Наиболее важные факторы контроля золотого оруденения:

1. Связь золотого оруденения с мантийным поднятием, инициирующим гранитоидный магматизм и метаморфогенно-метасоматические преобразования терригенных пород.
2. Приуроченность золоторудных объектов к краевым частям изометричных метаморфогенно-магматогенных структур, определяющих их группировку в пространстве.
3. Локализация крупных золоторудных объектов на некотором удалении от ареалов гранитного магматизма, в утяжеленных, «базифицированных» блоках терригенных пород.
4. Локализация месторождений золота в продольных долгоживущих зонах складчато-разрывных дислокаций, на участках их флексурных изгибов либо латерального выклинивания.

Позиция рудных районов и узлов оценивается главным образом по сглаженным (в окнах сопоставимых с ними размеров) данным, которые лучше характеризуют соответствующие региональные рудовмещающие структуры, а для выявления признаков РП преимущественно используются исходные геофизические поля, построенные по результаты крупномасштабных съемок, и карты их локальных составляющих.

Например, для выявления региональной вторичной радиохимической зональности на Детринской площади анализировались АГС данные, сглаженные путем медианного осреднения с окнами  $5 \times 5$ ,  $10 \times 10$ ,  $15 \times 15$ ,  $20 \times 20$  км. При этом наибольший интерес представляют результаты обработки с максимальными окнами ( $15 \times 15$  и  $20 \times 20$  км), сопоставимыми по площади со средними размерами эталонных РУ региона. В результате хорошо выделялись крупные (диаметром от 30 до 100 км) концентрически-зональные структуры с преобладанием калиевой (калий-урановой) природы радиоактивности в их центральных частях и торий-калиевой (торий-урановой) – на периферии. Формирование подобных региональных радиохимических структур, весьма характерных для многих золоторудных районов, связывается с влиянием процессов метаморфогенно-метасоматического преобразования черносланцевых толщ.

Примечательно, что центры выделенных структур лежат в узлах сочленения региональных зон глубинных разломов северо-западного, северо-восточного и меридионального простирания, которые четко отметились в гравитационном поле резкими изменениями модуля ( $\Delta g$ )<sub>б</sub>. Фактически это наиболее проницаемые участки земной коры, где весьма вероятно формирование многоярусных магматических очагов и связанных с ними термальных куполов.

Наиболее продуктивные рудные узлы фиксируются положительными локальными аномалиями  $\Delta g$ <sub>б</sub> соответствующего ранга. Причем в разрезе непосредственно под узлом или вблизи него картируются участки развития пород повышенной плотности (так называемые «линзы базификации», характерные для РУ многих золоторудных районов). На магнитных разрезах эти образования в основном отмечаются положительными аномалиями, смещенными чуть ближе к поверхности

В плане особенностью магнитного поля рудовмещающих участков ранга РУ является его сравнительно низкая изменчивость, наиболее характерная для узлов с крупнообъемными месторождениями и обусловленная, вероятно, интенсивно проявленными здесь метаморфогенно-метасоматическими изменениями



## 2.4 Геологическая характеристика исследуемого участка

Стратифицированные образования рассматриваемой площади представлены отложениями верхней перми, триаса, юры, неогена и квартера (рис. 3, 4).

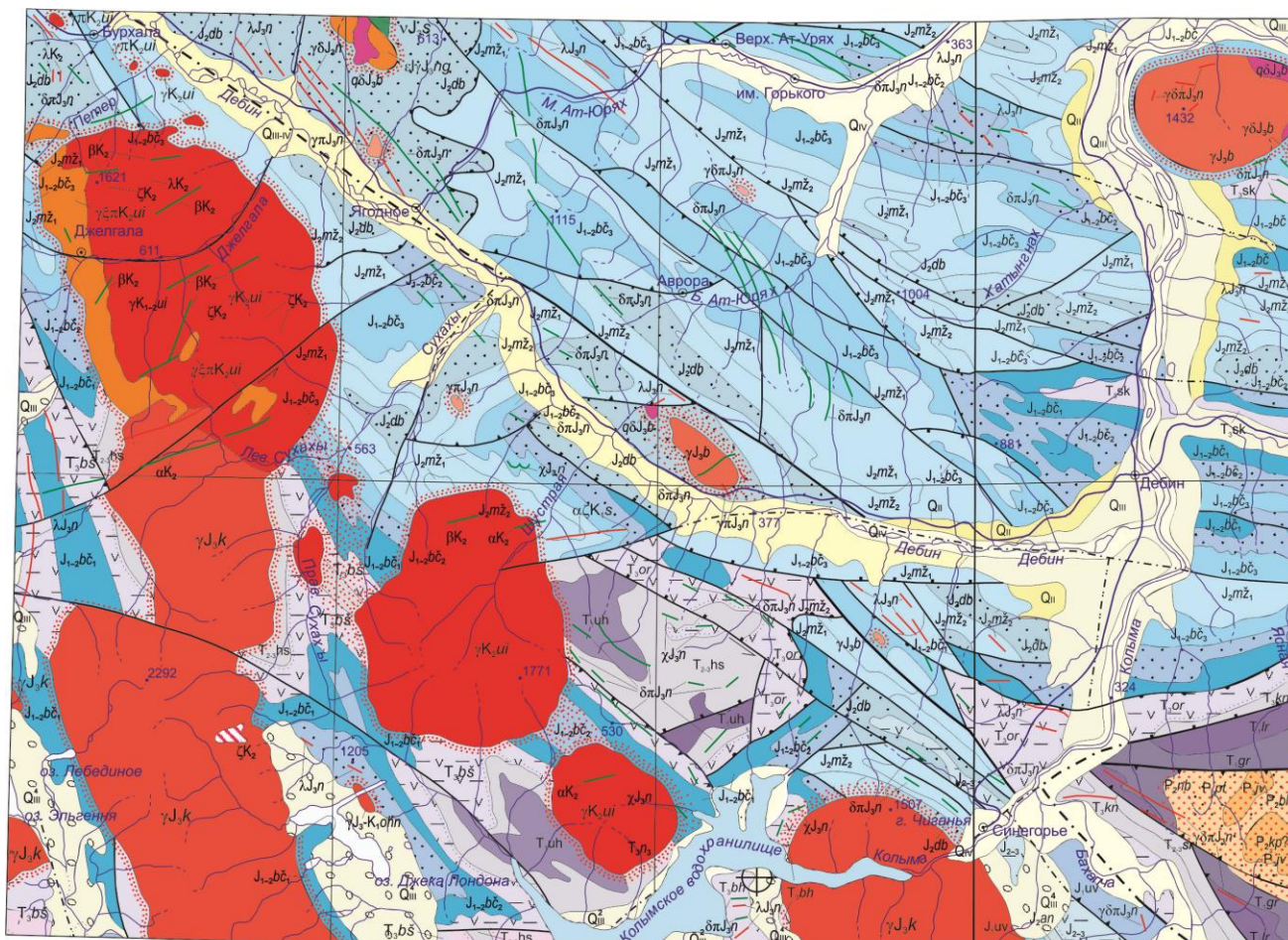


Рисунок 3. Геологическая карта Дебинской площади масштаба 1:500 000





Рисунок 4. Условные обозначения к геологической карте Дебинской площади масштаба 1:500 000

Верхнепермские отложения обнажены на юго-востоке района в ядрах антиклиналей второго порядка, осложняющих Оротуканский антиклинорий, и принадлежат к Оротуканскому стратиграфическому району Балыгычанской СФЗ. Верхнепермские отложения характеризуется преобладанием алевролитов и глинистых сланцев с подчиненным количеством песчаников, но в верхней части разреза пласты песчаников более часты. Мощность верхнепермских отложений составляет 2000 м.

Триасовые породы развиты в пределах Ухомытской, Оротуканской и ветренской подзон Верхнеколымской структурно-фациальной зоны, а также Сеймчано-Ачагинского стратиграфического района Левосугойской структурно-фациальной зоны Нера-Сугойской структурно-фациальной подобласти Яно-Сугойской структурно-фациальной области.

Нижнетриасовые породы представлены глинистыми сланцами и алевролитами, встречаются пласты песчаников. Мощность отложений составляет 1000–2500 м.

Среднетриасовые отложения представлены алевролитами, глинистыми сланцами и песчаниками. Суммарная их мощность составляет 1400 – 1500 м.

Верхнетриасовые отложения довольно широко распространены на площади. Карнийские и ниже-и средненорийские отложения, объединенные в кюнгуйскую свиту,

представлены довольно монотонной толщей переслаивающихся глинистых сланцев и алевролитов с прослоями мелкозернистых песчаников мощностью 500 м.

Верхненорийские и рэтские отложения отличаются присутствием туфопесчаников, туффитов и туфов среднего состава. Довольно высокая насыщенность их разреза вулканогенными образованиями установлена в восточной части площади. Мощность отложений составляет 800 – 1200 м.

Отложения нижней и средней юры занимают основную часть площади. Они распространены в пределах Нексиканской подзоны Берелехской структурно-фациальной зоны, Дебинской и Нерегинской структурно-фациальных зон Иньяли-Сугойской структурно-фациальной области Колымского региона.

Нижнеюрскими, ниже-среднеюрскими и среднеюрскими отложениями сложены Оротуканская и Бохапчинская ветви Иньяли-Дебинского синклиория. Отличительной чертой ниже-среднеюрских отложений является присутствие в породах примеси пирокластического материала. Для среднеюрских толщ характерно флишоидное переслаивание песчаников, алевролитов и глинистых сланцев. Суммарная мощность ниже- и среднеюрских толщ достигает 5300 м.

Позднеюрская (кимеридж-титон) угленосная вулканогенная моласса, объединенная в пеньковскую свиту мощностью до 450 м с угловым и стратиграфическим несогласием залегает на среднеюрских отложениях.

Незначительные по площади выходы позднемиоцен-нижнечетвертичных аллювиальных отложений мощностью до 40 м обнажены в левом борту террас р. Колыма.

*Интрузивные породы* площади по возрасту, составу фаз, петрографическим, петрохимическим особенностям предварительно разделены на позднеюрские сохатинский комплекс перидотит-эвкритовый плутонический, нера-бохапчинский габбро-гранит-диоритовый комплекс малых интрузий, басугуньинский диорит-гранодиоритовый плутонический комплекс, колымский гранитовый плутонический комплекс, негаяхский комплекс умеренно щелочных гранитов, раннемеловой сылгыбыстахский андезит-дацитовый гипабиссальный комплекс, позднемеловые узаинский гранитовый плутонический комплекс, Биликанский комплекс монцонит-сиенитовый и комплекс нерасчлененных позднемеловых субвулканических образований.

Сохатинский комплекс представлен южной частью одноименного массива – петротипа комплекса, сложен габбро, в незначительном количестве (менее 1 %)

отмечаются плагиоклазовые верлиты. Соотношения с нера-бохапчинскими дайками не установлены.

Нера-Бохапчинский комплекс объединяет многочисленные дайки и малые тела среднего и кислого составов.

К басугуньскому комплексу отнесена группа небольших по размеру штоков и массивов (от первых км<sup>2</sup> до 50 км<sup>2</sup>), расположенных в пределах Главного Колымского плутонического пояса. Отличительными особенностями пород басугуньского комплекса являются: небольшие размеры интрузий (первые км<sup>2</sup> и десятки км<sup>2</sup>); преобладание в составе умеренно-кислых гранитоидов, наличие большого количества даек. На Дебинской площади к басугуньскому комплексу отнесены массивы Басугунья (петротип), Одинокий, южная часть массива Негаях.

Колымский комплекс объединяет гранитные батолиты и штоки, расположенные в пределах Главного Колымского плутонического пояса. Крупнейшие среди них – массивы Малый Анначаг, Большой Анначаг, Больших Порогов.

Негаяхский комплекс сложен преимущественно умереннощелочными монцолейкогранитами южной части одноименного массива.

Гранитоиды негаяхского массива содержат гигантские ксенолиты более древних интрузивных пород (предположительно басугуньского комплекса). Породы ксенолитов метаморфизованы с образованием крупных кристаллов андалузита, кордиерита, гломеробластов биотита, кварца и полевых шпатов.

Сылгыбыстахский комплекс представлен редкими дайками дациандезитов.

В состав уза-инского комплекса входят массивы Уза-Ина (петротип), Северный, Неожиданный, Хапчагай, северная часть массива Большой Анначаг. Массивы расположены резко несогласно относительно складчатых структур. Эрозионный срез умеренный, что фиксируется по наличию апикальных фаций на высоких гипсометрических отметках.

Биликанский комплекс представлен редкими дайками диорит-порфиритов.

Нерасчлененные субвулканические образования представлены малыми телами и дайками основного, среднего и кислого составов рассекающими позднемеловые граниты массивов Уза-Ина, Хапчагай и северной части массива Большой Анначаг.

Дайки, отнесенные к различным комплексам (преобладают дайки нера-бохапчинского комплекса) распространены по всей площади и группируются в пояса: Дебинский, Ат-Юряхский, Больше-Ат-Юряхский, Партизанский, Тыэллахский.

*В тектоническом отношении рассматриваемая площадь принадлежит к Яно-Колымской складчатой системе мезозойской Верхояно-Чукотской складчатой области.*

В пределах района, выделяются крупные синклинальные и антиклинальные структуры (Иньяли-Дебинского синклинорий, Балыгычанское поднятие, Умарский прогиб), они осложнены многочисленными разного порядка и морфологии синклиналями и антиклиналями, нарушены разломами различного ранга и кинематики. Основную часть площади занимают структуры Иньяли-Дебинского синклинория. Юго-восточная часть района принадлежит Балыгычанскому поднятию и Умарскому прогибу, отделенным от Иньяли-Дебинского синклинория Паутовским разломом. Между собой Умарский прогиб и Балыгычанское поднятие разделены Умарским разломом.

Среди нарушений различаются элементы разной ориентировки по отношению к складчатым структурам, разных порядков, разных в плане форм (линейные, дугообразные). Преобладают прямолинейные разломы диагональной и ортогональной ориентировки. Основные разломы: Дебинский, Правооротуканский, Паутовский, Умарский.

Сложность создания единой тектонической схемы обзорного уровня заключается в разном подходе авторов листов Госгеолкарты-1000/3 к тектоническому строению территории. Строение территории листа Р-55 рассматривается автором (Шпикерман, 2016) с позиции плейттектонической модели аккреционной тектоники, а на листе Р-56 (Кузнецов, 2008) с традиционной позиции формирования территории, как геосинклинально - складчатой модели, чем вызваны различия в структурном ее устройстве. Таким образом, задача последующих исследований состоит в единообразном отображении тектонического строения Дебинской площади.

*Основной горно-промышленный потенциал* Дебинской площади составляют малые месторождения золота Гольцовое, Туманинское, Веселое, Рыбное, Надежденское, Юглер, многочисленные россыпи золота (рис. 5, 6).

Из комплекса рудных полезных ископаемых наибольшее значение имеет золото, с коренными и россыпными месторождениями которого связаны основные перспективы промышленного освоения территории.

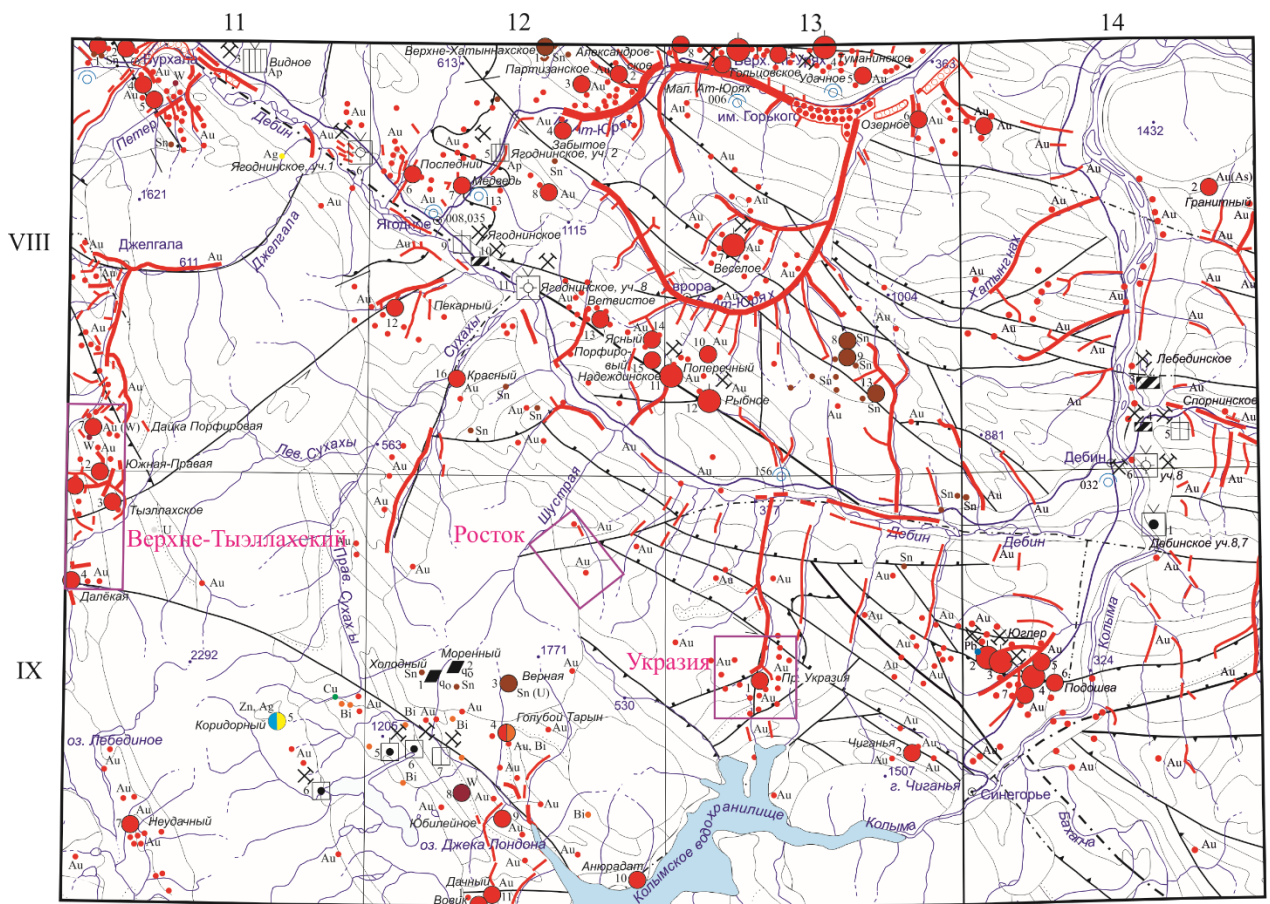


Рисунок 5 Карта полезных ископаемых Дебинской площади.

Обозначение месторождений, проявлений и пунктов минерализации

Полезные ископаемые	Месторождения		Проявления	Пункты минерализации
	средние	малые		
<b>Горючие ископаемые</b> Торф				
<b>Металлические ископаемые</b> <b>Цветные металлы</b> Медь Свинец Олово Вольфрам Висмут				<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: green;">●</span> Cu</li> <li><span style="color: blue;">●</span> Pb</li> <li><span style="color: red;">●</span> Sn</li> <li><span style="color: brown;">●</span> W</li> <li><span style="color: orange;">●</span> Bi</li> </ul>
<b>Благородные металлы</b> Золото Серебро				<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: red;">●</span> Au</li> <li><span style="color: yellow;">●</span> Ag</li> </ul>
<b>Комплексные проявления</b> Цинк, серебро Золото, висмут				<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: green;">●</span> Zn, Ag</li> <li><span style="color: red;">●</span> Au, Bi</li> </ul>
<b>Неметаллические ископаемые</b> <b>Оптические материалы</b> Кварц оптический (qo)				
<b>Строительные материалы</b> Глинистые породы Глины кирпичные Аргиллиты керамзитовые Облачные породы Песчано-гравийный материал Песок строительный				

Подземные воды и лечебные грязи  
Питьевые  
Пресные (водозаборы)

**Россыпи**

Полезные ископаемые	Месторождения			
	Уникальные	Крупные	Средние	Малые и очень малые
Золото	а)			
Олово	а)			

Примечание: ширина россыпи не выражается в масштабе карты (а), выражается в масштабе карты (б)

**Промышленная освоенность месторождений**

Эксплуатируемые		Законсервированные, резервные	
Выработанные		Находящиеся в разведке, изучении	

Укразия Контур участка поисковых работ

Рисунок 6. Условные обозначение карты полезных ископаемых Дебинской площади

## 2.5 Минерагеническое районирование исследуемого участка

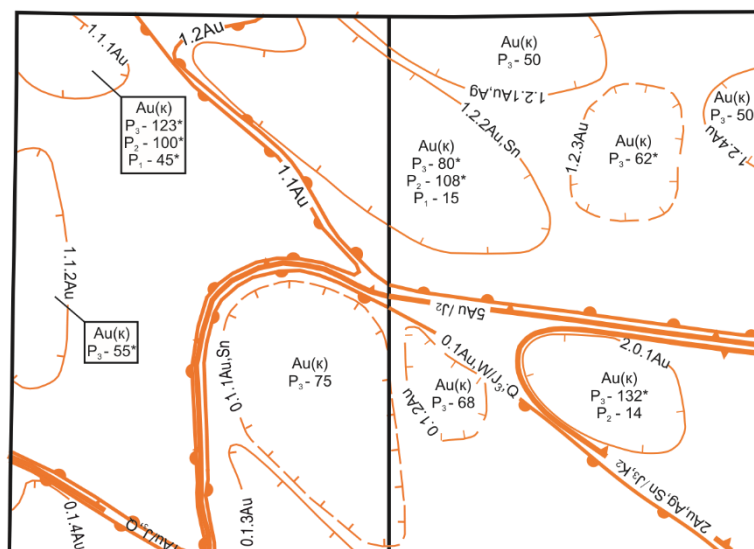
*Минерагеническое районирование* листов Р-55-ХVIII и Р-56-ХIII (рис. 7) в целом соответствует их тектоническому районированию. Главнейшим минерагеническим подразделением региона является Верхояно- Колымская провинция, к которой относятся Иньяли-Дебинская золоторудно-россыпная минерагеническая зона и Балыгычанская олово-серебро-золоторудная минерагеническая область. Наиболее продуктивными по золоту являются Ат-Юрях–Штурмовской серебро-зоторудно-россыпной узел и Больше-Ат- Юряхский золоторудно-россыпной узел.

*Ат-Юрях–Штурмовской серебро-зоторудно-россыпной узел* (5.1.1 Au на площади листа Р-56-ХIII) включает два малых месторождения золота Гольцовское, Туманнинское, проявления Удачное, Озерное и др., и более десятка россыпных месторождений золота, крупная по запасам - Мал.Ат-Юрях, и 5 средних).

*Больше-Ат-Юряхский золоторудно-россыпной узел* (5.1.2 Au на площади листа Р-56-ХIII) включает малые месторождения золота Веселое, Надежденское (Порфиоровое), Рыбное, проявление Поперечный и более двух десятков россыпей (крупная по запасам Больше-Ат-Юряхская, 3 средних).

Прогнозные ресурсы рудного золота, в основном, сосредоточены в Иньяли-Дебинской структурно-минерагенической зоне. Этот район выделяется окончанием Главного пояса рудоносных батолитов и началом ответвлений из рядов гранитных интрузивов и дайковых поясов, что, можно полагать, определяет высокие перспективы района в целом. Уместно отметить, что выходы гранитных плутонов по ряду причин традиционно исключались из площадей поисковых работ, хотя в гранитных батолитах Главного пояса (Республика Саха-Якутия) выявлены объекты золото-редкометалльной формации прожилково-жильного и штокверкового типов с содержаниями золота, составляющими первые граммы, реже –десятки грамм (месторождение Чугулук, проявления Панфиловское, Лабазное, Хапчагай и другие). Крупные рудные месторождения золота в гранитных батолитах, их сателлитах и ореолах характерны для провинции мезозойского складчатого пояса западного побережья Северной Америки (месторождения Грасс Валли, Невада-Ситти с суммарной добычей 324 т золота, рудное поле Джуно на Аляске с главным рудником Тредвелл, давшее 237 т золота, Форт-Нокс и другие). Считается, что мезозойды Северо-Востока Азии являются одним из звеньев мезозойско-кайнозойского орогена, расположенного по периферии Тихого океана) с вытекающим из этого значительным рудным потенциалом.





ВЕРХОЯНО-КОЛЫМСКАЯ ПРОВИНЦИЯ

- 1Au/J<sub>3</sub>;Q Инъяли-Дебинская золоторудно-россыпная минерагеническая зона
  - 1.1Au Дебинский золоторудно-россыпной район
  - 1.1.1Au Бурхалинский золоторудно-россыпной узел
  - 1.1.2Au Джелгалино-Тыэллахский золоторудно-россыпной узел
  - 1.2Au Среднекано-Штурмовской золоторудно-россыпной район
  - 1.2.1Au,Ag Ат-Юрях-Штурмовская серебро-золоторудно-россыпная зона
  - 1.2.2Au,Sn Больше-Ат-Юряхский олово-золоторудно-россыпной узел
  - 1.2.3Au Бюченнахский потенциальный золоторудно-россыпной узел
  - 1.2.4Au Утинская золоторудно-россыпная зона
  - 2 Au,Ag,Sn/J<sub>3</sub>;K<sub>2</sub> Балыгычанская олово-серебро-золоторудно-россыпная минерагеническая область
  - Рудные узлы вне рудных районов
  - 2.0.1Au Юглерский золоторудно-россыпной узел
  - Рудные районы вне минерагенических зон
  - 0.1Au,W/J<sub>3</sub>;Q Эльгенья-Бохапчинский вольфрам-золоторудно-россыпной район
  - 0.1.1Au,Sn Уза-Инский потенциальный олово-золоторудный узел
  - 0.1.2 Au Кюнгкуйский (Укразийский) потенциальный золоторудно-россыпной узел
  - 0.1.3Au Сибик-Тыэллахский золоторудно-россыпной узел
  - 0.1.4Au Верхне-Эльгеньинский золоторудно-россыпной узел
- Au(k) а
Au(k) б  
P<sub>3</sub>-75
P<sub>3</sub>-63\*
- Категории и величины апробированных (а) и авторских (б) прогнозных ресурсов золота, в тоннах

Рисунок 7. Прогнозно-минерагеническая схема Дебинской площади

Для территории листов Р-55-ХVIII и Р-56-ХIII расположенной на юго-восточном фланге Яно-Колымской минерагенической провинции свойственны, прежде всего, традиционное для Северо-Востока позднеюрское золото-кварцевое оруденение и россыпная золотоносность, существенное значение имеет золото-редкометалльное оруденение.

Комплексный анализ геолого-структурных особенностей района, выполненный в ходе работ по составлению комплекта Госгеолкарты-200/2 в совокупности с расшифровкой глубинной структуры, и морфологии гранитоидных плутонов, увеличит надежность прогнозных построений, и позволит и более точно ориентировать направление поисков золотого оруденения.

Большая северо-восточная часть площади листов Р-55-ХVIII и Р-56-ХIII с относительно плотным фундаментом характеризуется преобладанием золото-кварцевого оруденения, в отличие от этого юго-западная часть с существенно гранитизированным фундаментом, что отражено в пониженном поле силы тяжести, специализирована на золото-редкометалльное оруденение. Довольно плотный блок фундамента, преобразованный, вероятно, под влиянием магматизма среднего-основного состава определяет контуры Среднекано-Штурмовского рудно-россыпного района. Некоторые рудные районы (Дебинский, Эльгенья-Бохапчинский) соответствуют магматогенным структурам с гранитоидными плутонами, контурам которых подчинено расположение многих золоторудных узлов. Для Балыгычанской минерагенической области, которая находится в юго-восточной части территории, фоновым является золото-кварцевое оруденение, представленное обычно субпослойными кварцевыми жилами и окварцованными дайками.

Район характеризуется наличием площадей, потенциально перспективных на выявление крупнообъемных золоторудных объектов различных морфогенетических типов. Наиболее важными, применительно к геолого-структурным условиям территории могут являться золото-кварцевый жильно-прожилковый морфогенетический тип при подчинённой роли золото-сульфидного прожилково-вкрапленного оруденения в черносланцевых толщах (аналоги – Наталка, Нежданинское, Мурунтау), золото-сульфидный прожилково-вкрапленный тип при подчинённой роли золото-кварцевого жильно-прожилкового (аналоги – Сухой Лог, Майское, Кумтор), золото-редкометалльный в гранитоидах и зонах их экзоконтактов, связанный со штокверками жильно-прожилковых и прожилково-вкрапленных руд (аналоги – Форт-Нокс, Школьное, Даблин-Галч).



Выделение площадей, перспективных на выявление крупнообъёмных золоторудных месторождений, будет производиться на основе анализа и комплексной интерпретации геологических, геофизических, геохимических материалов и данных по металлогении (табл. 1)

Таблица 1.

Типоморфные признаки ведущих формация золотого оруденения  
(Усачёв Н.А., Волков С.В., Родионов В. И. и др., 2007)

п/п	Типоморфные признаки золоторудных месторождений	Золото-кварцевая	Золото-редкометальная
1	Геолого-структурные	Области развития черносланцевых отложений верхоянского комплекса в зонах влияния глубинных разломов	Зоны тектоно-магматической активизации с отчётливо проявленным ранним (тектоно-метасоматическим) этапом их развития
2	Структурно-тектонические	Зоны развития напряжённой антиклинальной складчатости в сочетании с дизъюнктивными дислокациями	Штоки гранитоидов и их экзоконтактовые части в пределах зон влияния глубинных разломов субмеридианального простирания
3	Литологические, магматические	Песчано-глинистые отложения верхоянского комплекса, пояса даек нерабахапчинского комплекса	Внутренние и экзоконтактовые части интрузий, соответственно габбро-тоналит-адамелитовой и габбро-монцонитовой ассоциаций
4	Метаморфогенно-гидро-термальные, гидротермально-метасоматические	Зоны беризитизации в пределах полей развития регрессивной стадии зеленосланцевой фации регионального и динамотермального метаморфизма	Зоны беризитизации и серицитизации в пределах слабоконтрастных полей развития высокотемпературного кремнщелочного метасоматоза калиевой радиохимической специализации
5	Структурно-морфологический тип рудных тел	Жильные, жильно-прожилковые тела, минерализованные зоны дробления.	Жильно-прожилковые тела штокверкового типа, прожилково-жильные и жильные тела
6	Минералого-геохимический тип золотоносных ассоциаций	Кварц-пирит-арсенопиритовая с самородным золотом. Au-As-W-Ag-(Pt-Pd)	Кварц-пирит-арсенопирит-блэкклорудная с теллуридами висмута и самородным золотом. Au-Bi-Ag-As-Sb-Te
7	Пробность золота	750-900	700-850
8	Глубина формирования золотого оруденения	3-5 км.	1.5-3 км.

п/п	Типоморфные признаки золоторудных месторождений	Золото-кварцевая	Золото-редкометальная
9	Возраст золотого оруденения по геохронологическим данным	145-140 млн. лет (месторождение Наталка – - 140-100 млн. лет)	140-135 млн. лет
10	Примеры месторождений и перспективных рудопроявлений	Наталка, Ветренское, Игуменовское и др.	Школьное, Чепак, Дубач, Нетчен-Хая и др.

При прогнозировании крупнообъемного золотого оруденения в качестве источника золота первоочередной интерес представляют собой участки максимального приближения к поверхности плотных слоев нижней части коры и верхней мантии.

Около 90% известных золоторудных месторождений и рудопроявлений золота Центрально-Колымского района, включая Наталкинское месторождение, приурочено к участкам плотного основания земной коры. Такие участки характеризуют собой геологические образования, являющиеся производными базит-ультрабазитовых комплексов мантийного происхождения и глубинных ультраметаморфических процессов – индикаторов глубинной эндогенной активизации и выступающие в качестве меланократового субстрата, первично обогащённого рудными элементами сидерофильной группы, а также золотом и платиноидами. Наибольшей степенью золотоносности характеризуются места пресечения блоков повышенной плотности с зонами растяжения, сопряжёнными с глубинными разломами. Зоны глубинных разломов, совмещенные в плане с такими участками, обеспечивают через эндогенные процессы транзит металлоносных флюидов в верхние слои литосферы. В частности, золоторудно-россыпными узлами сопровождается Дебинская зона смятия, в пределах Среднеканно-Штурмовского рудного района.

Таким образом, для прогнозирования крупных золоторудных месторождений необходимо на основе выделения участков пересечения блоков базификации и глубинных разломов, «нарезающих» складчатую структуру на узкие продольные тектонические блоки с гранитными массивами в их центральных частях и сопровождающихся зонами смятия, создать структурный каркас территории, увязанный с её металлогенией.

В пределах территории в аномальном геохимическом поле отмечаются участки высококоррелируемых золото-мышьяковистых отношений, отмечающих некоторые

рудно-россыпные узлы (Уза-Инский, северные части Сибик-Тыэллахского и Верхне-Эльгеньинского) и западную часть Балыгычанской олово-серебро-золоторудной минерагенической области.

Приведенные выше данные для обоснования выделения перспективных на крупнообъемное золотое оруденение участков территории с учетом высокой интенсивности россыпной золотоносности, контрастности высококоррелируемых геохимических ассоциаций золота с другими элементами, проявлению зеленосланцевого метаморфизма и зон сульфидизированных пород позволяют достаточно уверенно подходить к решению поставленной задачи. Приоритетными, в частности, выглядят участки в пределах Кюнгкуйского (Укразийского), Уза-Инского, Больше-Ат-Юряхского, Желгалино- Тыэллахского и Юглерского рудных узлов, Ат-Юрях-Штурмовской рудной зоны.

Наиболее вероятными морфогенетическими типами крупнообъемных месторождений будут являться для золото-кварцевой формации – жильно-прожилковые зоны с подчинённой ролью ранней прожилково-вкрапленной сульфидизации, для золото-редкометальной формации – жильно-прожилковые зоны штокверкового типа, с подчинённой ролью наложенной прожилково-вкрапленной сульфидизации.

3.1 Характеристика геофизических данных

Выбранная площадь исследования обеспечена материалами геофизических основ масштаба 1:200 000 (ГФО-200) по Ветренской и Дебинской площадям. Дополнительно привлекались и анализировались материалы ранее выполненных работ по Центрально-Колымскому региону (рис.8)

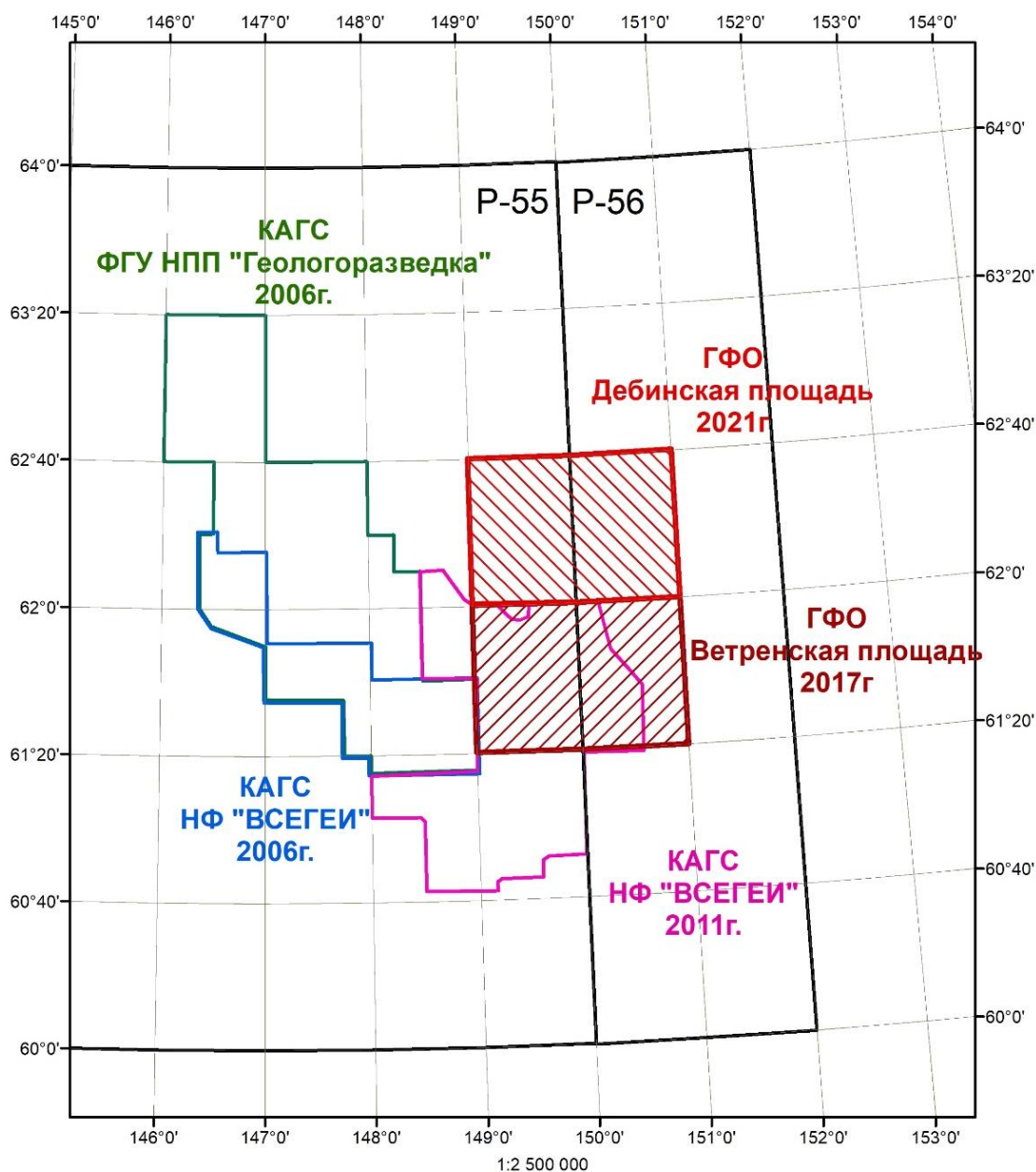


Рисунок 8. Схема использованных материалов

В качестве исходных материалов использованы результаты современных высокоточных комплексных аэрогеофизических съемок масштаба 1:50 000 (аэромагниторазведка /АМ/, аэрогамма-спектрометрия /АГС/), выполненных аэропартиями НФ «ВСЕГЕИ» и ФГУ НПП «Геологоразведка» в 2006-м и 2011-м годах с современной аппаратурой, спутниковой привязкой и цифровой записью результатов измерений. Указанные аэроработы равномерно охватывают значительные площади крупнейшего в России золоторудного Центрально-Колымского региона, что позволило выявить как локальные, так и региональные геофизические критерии локализации перспективных участков ранга рудных узлов (РУ). Важной особенностью этих материалов является наличие радиогеохимической компоненты, которая почти не учитывалась ранее при оценке золоторудных объектов ЦКР из-за низкого качества, ограниченных объемов и преимущественно аналоговой формы хранения ретро аэрометрических данных. Дополнительно в работе использовались результаты наземных гравиметрических (ГМ) съемок масштаба 1:200 000. Указанные геофизические съемки также были использованы при создании ГФО-200 по Ветренской площади (листы Р-55-XXIV, Р-56-XIX).

Основу цифровой модели аномального геомагнитного поля по Дебинской площади составили результаты оцифровки материалов крупномасштабных аэромагнитных съемок масштаба 1:25 000, выполненными НПО «Рудгеофизика», которыми обеспечено <25% площади листа Р-55-XVIII (Кузьмин Г.И., Альтшуллер М.И., 1980г.) и ~75% площади листа Р-56-XIII (Альтшуллер М.И., Виленский Э.Е., Кузьмин Г.И., 1982г.) и результаты аэромагнитных съемок (АМС) масштаба 1:50 000, выполненные в начале 60-х годов Тенькинской и Ягоднинской аэромагнитными партиями Центральной геолого-геофизической экспедицией Северо-восточного геологического управления (ЦГГЭ СВГУ) феррозондовой аппаратурой на высотах 50-200м и 200-500м с визуальной привязкой со средними квадратическими погрешностями (СКП) >15нТл (рис.9).

Результаты использованных крупномасштабных аэрогеофизических съемок были представлены в виде карт изолиний  $(\Delta T)_a$  масштаба 1:50 000 с сечением 25 и 50нТл и карт графиков  $(\Delta T)_a$  масштаба 1:50 000 (верт. масштаб - 100нТл/см). В южное обрамление вошли материалы из ГФО-200 по Ветренской площади, включающие материалы высокоточной комплексной аэрогеофизической съемки масштаба 1:50 000 (ФГУ НПП «Геологоразведка», 2011 г).

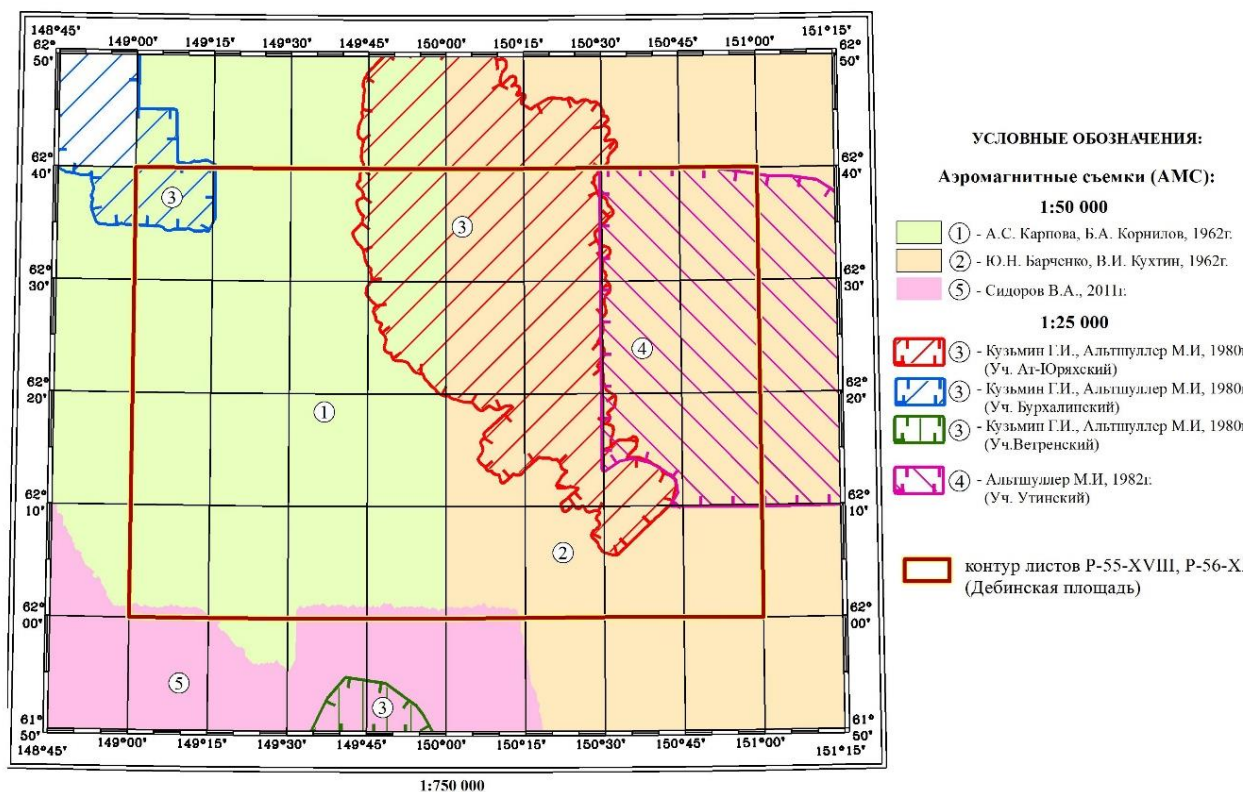


Рисунок 9. Схема использованных аэрогеофизических съемок по Дебинской площади

### 3.2 Технология создания сводных цифровых моделей

Технология создания сводной цифровой модели (ЦМ) аномального магнитного поля включала в себя последовательное выполнение следующих операций:

- 1) преобразование в векторную форму (векторизация) сканерных образов отчетных карт изолиний и графиков ( $\Delta T$ )<sub>а</sub>;
- 2) формирование единой базы данных в пределах съемочной площади по результатам векторизации отчетных планшетов (номенклатурных листов);
- 3) пересчет исходных данных в прямоугольную систему координат Гаусса-Крюгера с осевым меридианом 147° в. д. (для листа Р-55-ХVIII) и 153° в. д. (для листа Р-56-ХIII);
- 4) анализ и оценку качества оцифрованных исходных данных;
- 5) обработку аэромагнитной информации по участкам съемок (корректуру выявленных в результате анализа материалов картографических ошибок и остаточных погрешностей, связанных с использованным аппаратурно-методическим комплексом, системой обработки данных и др.);

6) формирование матричных моделей ( $\Delta T$ )<sub>a</sub> с сетью 50 × 50 м и 100 × 100 м по участкам съемок;

7) приведение полученных матриц по участкам съемок к уровню цифровой модели аномального магнитного поля Российской Федерации масштаба 1:2 500 000 (эпоха 1965 года, модель ВСЕГЕИ);

8) выявление расхождений в значениях ( $\Delta T$ )<sub>a</sub> на границах между соседними участками съемок и их корректуру;

создание сводной увязанной матричной модели аномального магнитного поля.

Четыре последних операции являются общими при использовании в качестве исходных материалов и карт графиков, и карт изолиний.

#### **Векторизация карт изолиний ( $\Delta T$ )<sub>a</sub>**

Процедура векторизации и оцифровки картографической информации, которая состояла из следующих этапов:

1) Пространственная привязка растровых изображений (формат \*.JPEG без сжатия и искажений) средствами программы ArcMap 10.1 в заданной системе координат (проекция Гаусса-Крюгера на эллипсоид Красовского-1942 с осевым меридианом соответствующего номенклатурного листа масштаба 1:1 000 000);

2) Векторизация растровых материалов с использованием стандартных программных средств;

3) Формирование 1-го информационного уровня цифровой базы данных ГФО-200.

Векторизация растровых материалов выполнена по стандартной технологии с использованием пакетов программ VectorGraf, входящий в состав в интерпретационно-аналитической системы (ИАС) “Геофизика”, и ArcMap 10.1. Результатом оцифровки графиков (маршрутных данных) являются dat-файлы, а изолиний – Shape-файлы со всей необходимой атрибутикой.

На рисунке 10 показан фрагмент оцифрованных изолиний магнитного поля по Ат-Юряхскому участку.



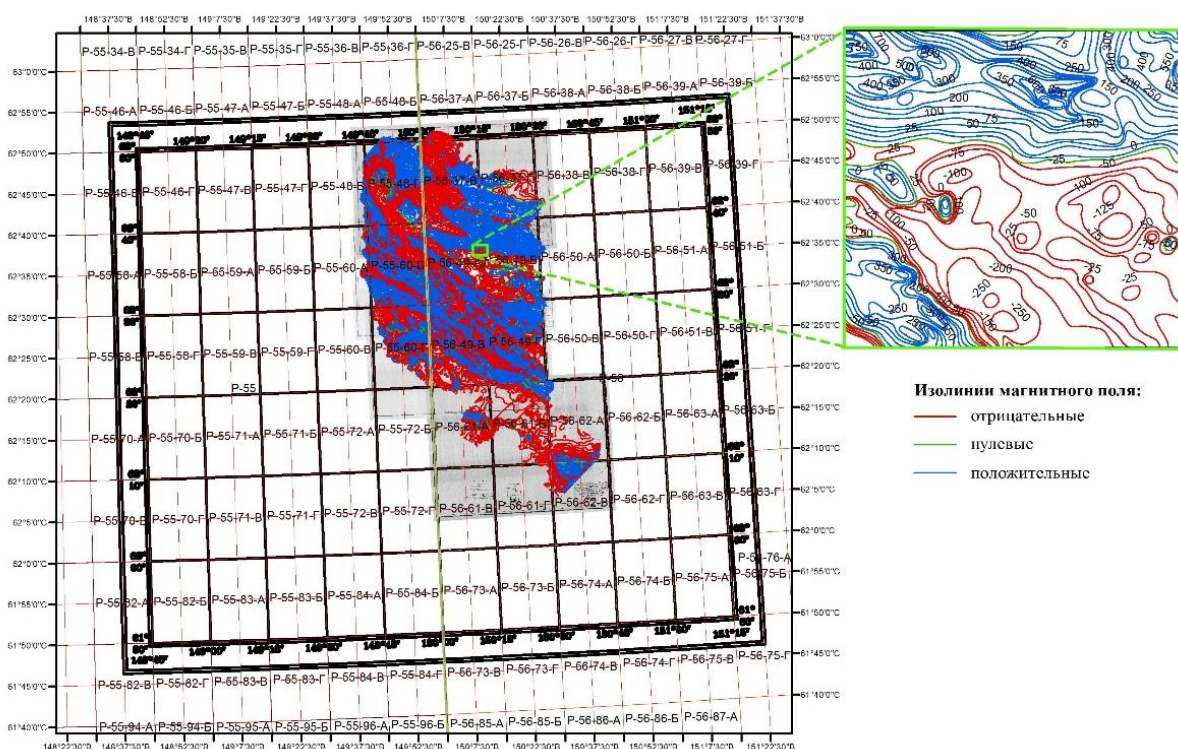


Рисунок 10. Фрагмент оцифрованных изолиний магнитного поля по Ат-Юряхскому участку

В результате векторизации карт изолиний (рис.9.Участки № 3 Ат-Юряхский и Бурхалинский, №4 Утинский), сформированы соответствующие Shape-файлы, для преобразования которых в матричную форму использована технология, разработанная в ЗАО «НПП ВИРГ-Рудгеофизика» и реализованная в среде ИАС «Геофизика». В основу этой технологии, получившей название метода «псевдоизолиний», положены следующие априорные допущения:

- точки изолиний представлены непрерывными линиями на плоскости, а не являются набором отдельных независимых измерений;
- величина поля в точках между соседними изолиниями не должна выходить за пределы интервала, ограниченного их сечениями (значения изолиний);
- внутри замкнутого контура поле не должно выходить за пределы интервала, ограниченного сечением изолинии  $\pm 0.5$  разности между соседними сечениями («плюс», если поле внутри контура возрастает; «минус», если убывает).

Метод реализует алгоритм, используемый геофизиком при проведении дополнительных изолиний. Заполнение промежутка между соседними контурами выполняется в несколько итераций, пока не будут рассчитаны значения поля во всех ячейках сети. Величина поля в промежуточных ячейках определяется линейной



интерполяцией между его «реальными» значениями в точках ближайших изолиний. Это избавляет от появления ложных аномалий, выходящих за пределы заданного интервала. Для расчета поля внутри замкнутых контуров, не содержащих внутри других изолиний, (при отсутствии реальных точек с заданными экстремумами) программным путем создаются дополнительные точки со значениями, не превышающими ближайшее следующее (или предшествующее) сечение изолинии (Зеленецкий Д. С., 2008).

В результате были сформированы матричные модели  $(\Delta T)_a$  с сетью  $50 \times 50$  м по участкам съемок (Ат-Юрхский, Бурхалинский и Утинский).

После оцифровки материалов, представленных в виде карт графиков  $(\Delta T)_a$  (см. Рис. 02. участки №1 и №2), были построены предварительные ЦМ  $(\Delta T)_a$  по каждому из двух участков. Визуальный анализ картографических отображений построенных матриц показал, что в исходных данных отчетливо проявляются остаточные поля-помех, которые отображаются в виде «полосчатости» или отдельных затяжек магнитного поля, пространственно совпадающих с проложениями маршрутов съемок, для устранения которых требуется дополнительная обработка методами внутренней увязки (Рис. 11, А).

Внутренняя увязка маршрутных АМ данных выполнена методом «микрорелевинг» (Черных, 2015) с использованием программного обеспечения (ПО) Oasis Montaj компании Geosoft.

После выполнения процедуры внутренней увязки была сформирована соответствующая матричная модель  $(\Delta T)_a$  (Рис. 11, Б) с сетью  $100 \times 100$  м в единой прямоугольной системе координат, принятой для изучаемого листа. Интерполяция данных на регулярную сеть выполнена методом «межпрофильная адаптивная интерполяция» (Зеленецкий Д.С., 2008г).

Поскольку в исходных АМ данных на разных участках использовались разные модели нормального магнитного поля, на сводной карте наблюдаются расхождения уровней  $(\Delta T)_a$  на границах смежных съемочных площадей. Для увязки все площади пересчитаны к уровню карты аномального магнитного поля по территории Российской Федерации масштаба 1 :2 500 000 (Макарова, 1978 г), в которой принято нормальное поле Земли эпохи 1965 года, модель ВСЕГЕИ.

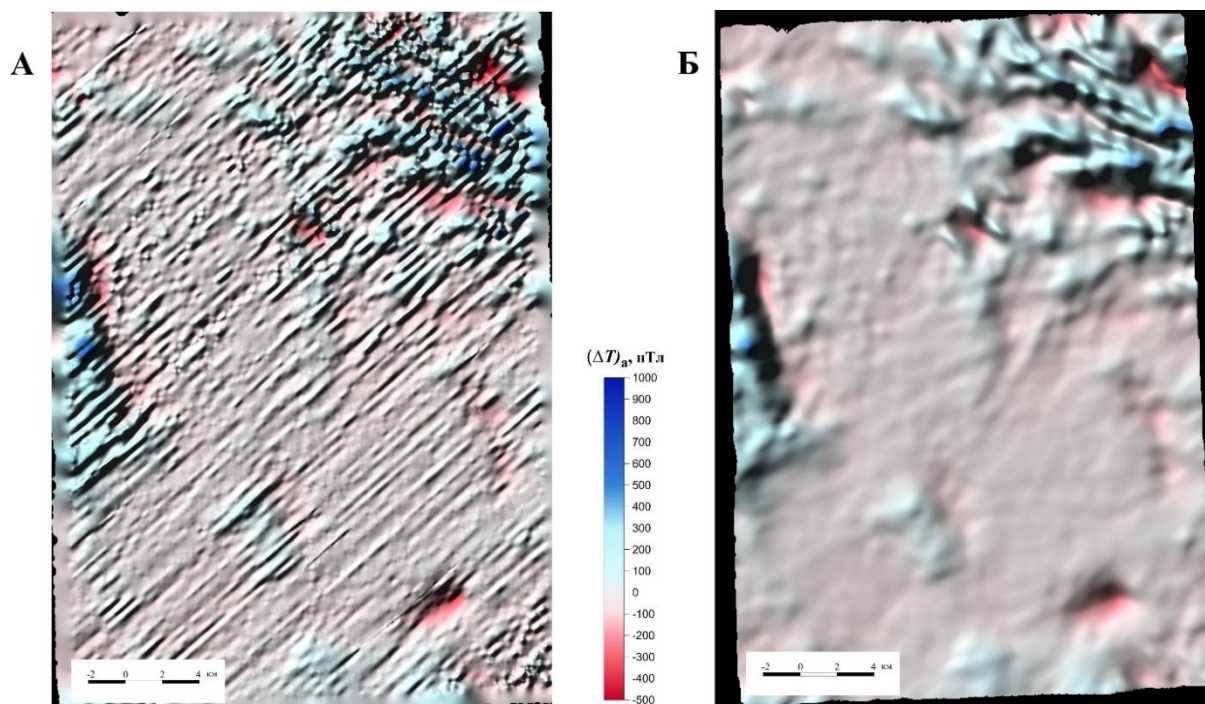


Рисунок 11. Фрагмент АМП до (А) и после (Б) выполнения процедур внутренней увязки

Приведение аномального магнитного поля полученного в пределах отдельных съемочных площадей к единому уровню, позволяет существенно минимизировать расхождения в значениях  $(\Delta T)_a$  на границах смежных площадей. В качестве уровня приведения выбирается цифровая модель аномального магнитного поля, составленная по более мелкомасштабным данным. В данной работе в качестве такой модели была использована матричная модель  $(\Delta T)_a$  масштаба 1:2500000 по территории РФ (Макарова, 1978 г), приведенной к уровню нормального поля Земли  $T_n$  эпохи 1965 года (модель ВСЕГЕИ).

Рассчитанные разности в уровнях  $(\Delta T)_a$  между площадями крупномасштабных съемок и цифровой матричной моделью  $(\Delta T)_a$  на территорию РФ были введены в качестве поправок в ЦМ по каждому из площадей использованных аэромагнитных съемок.

Следующим этапом на пути создания сводной цифровой модели аномального магнитного поля, являлось устранение оставшихся локальных расхождений в значениях  $(\Delta T)_a$  на границах смежных съемочных площадей.

Для устранения имеющих сложный несистематический характер невязок на границах съемок и участков использована программа «Grid Knitting» из состава Oasis Montaj компании Geosoft. Она позволяет в полосе заданной ширины от границы, которая может иметь произвольную форму, плавно сводить до нулевого уровня невязку значений

вдоль границы, причем исходные значения невязки могут меняться вдоль границы произвольным образом. Корректировка значений (разброс невязки) может выполняться как в одну сторону от границы (поправка полностью вводится в значения одного участка), так и в обе стороны (поправка вводится с учетом заданного пользователем веса и вводится в значения обоих участков). Если одна из съемок является более качественной, то исправляются значения на участке с менее качественными данными. Если данные равноценны, то корректируются материалы обеих съемок.

При устранении локальных расхождений ( $\Delta T$ )<sub>a</sub> на границе разномасштабных или разноточных съемок принималось, что более качественными являются материалы более крупномасштабной и(или) более высокоточной съемки и поправка вводилась в материалы более мелкомасштабной и(или) низкоточной съемки.

При устранении локальных расхождений ( $\Delta T$ )<sub>a</sub> на границе равномасштабных и равноточных съемок принималось условие о равноценности данных и поправка вводилась в материалы обеих съемок.

После проведения описанных выше процедур обработки на основе откорректированных цифровых моделей ( $\Delta T$ )<sub>a</sub> по каждому участку аэромагнитной съемки была сформирована сводная цифровая модель АМП по листам Р-55-ХVIII, Р-56-ХIII с обрамлением с размером ячейки 100x100м. Построенная на ее основе карта аномального магнитного поля представлена на рисунке 12.

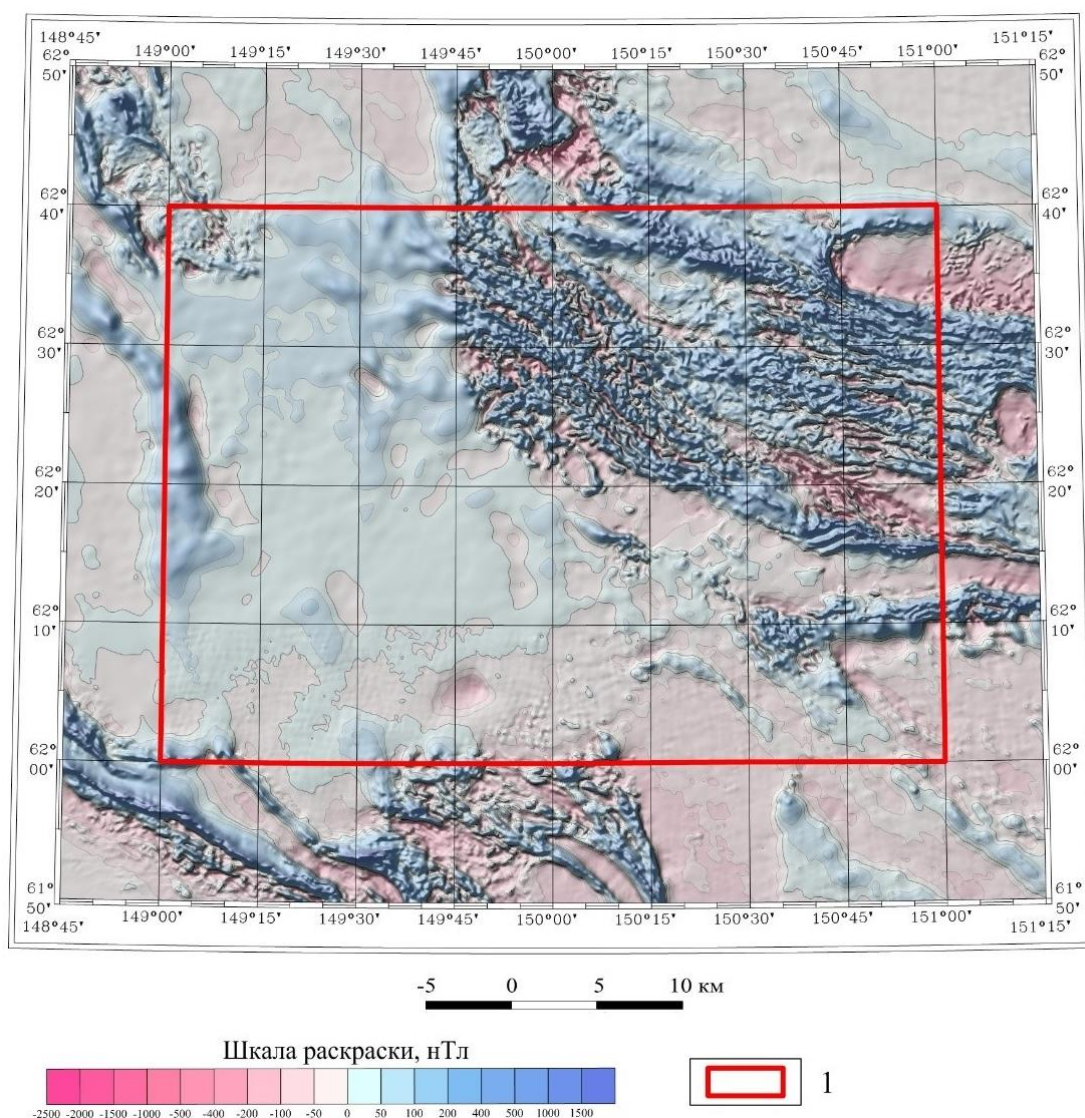


Рисунок 12. Сводная цифровая модель аномального магнитного поля по листам Р-55-  
XVIII, Р-56-ХIII (Дебинская площадь)  
1 – контур Дебинской площади

Для подготовки радиогеохимических компонент ГФО были использованы АГС данные комплексных аэрогеофизических съемок, выполненных в масштабе 1:25 000, выполненные НПО «Рудгеофизика» в 1980 и 1982 гг. (Кузьмин Г.И., 1980, Кузьмин Г.И., 1980) полученные в виде сканерных образов карт изолиний концентраций РЭ и значений МЭД гамма-излучения на планшетах в формате \*.jpg.

Обработка аэрогамма-спектрометрических данных для создания сводных увязанных цифровых моделей аэрогамма-спектрометрических полей по Дебинской площади состояла из нескольких этапов:

- 1) векторизация и анализ качества исходных данных;

2) уменьшение уровня остаточных полей-помех в пределах отдельных съемочных площадей (процедуры «внутренней увязки») в данных, представленных в виде карт изолиний;

4) минимизация расхождений в значениях полей на границах смежных съемочных площадей (процедуры «внешней увязки»)

5) создание сводных увязанных цифровых моделей

Векторизация указанных отчетных аналоговых АГС материалов была выполнена с использованием пакета программ VectorGraf (ИАС «Геофизика»). В результате оцифровки карт изолиний МЭД и содержаний РЭ были сформированы \*.shp файлы.

Далее оцифрованные исходные материалы были преобразованы в матричную форму. Учитывая масштаб исходных съемок данные пересчитывались на регулярную сеть  $50 \times 50$  м.

Анализ качества исходных данных осуществлялся визуально по матрицам (GRD, Surfer 6) радиометрических полей (содержаний урана, тория, калия, МЭД), а также их трансформаций (бинарные отношения и др.), которые более чувствительны к ошибкам внутренней и внешней увязки, чем исходные поля. При этом учитывались критерии и оценочные признаки, которые включают характеристики АГСМ съемок, аппаратуры, высоту полета носителя, ошибки определения РЭ и МЭД и т.д.

Для преобразования результатов оцифровки карт изолиний в матричную форму был использован метод «псевдоизолиний» (программные средства ИАС «Геофизика»).

С использованием описанной выше технологии были составлены цифровые модели радиогеохимических полей (матрицы) с размером ячейки  $100 \times 100$  м в прямоугольной системе координат (проекция Гаусса-Крюгера с осевым меридианом  $147^\circ$  в. д., единицы координат – метры, координата по горизонтальной оси на осевом меридиане 25 500 000 м).

Для оценки качества материалов АГС съемок и выявления остаточного поля помех был выполнен анализ полученных матриц (GRD) и радиогеохимических полей, а также дополнительно анализировались бинарные отношения (Th/U; Th/K; U/K), мультипликативного параметра F и параметр  $S^1_{\Delta}$ , которые подчеркивают ошибки внутренней и внешней увязок исходных данных, чем исходные радиогеохимические поля.

Визуальный анализ матриц содержаний РЭ показал также, что в отдельных местах площади съемки просматриваются затяжки поля и «полосчатость», пространственно совпадающие с направлением маршрутов съемки (меридиональное



направление), заметна разница в уровнях на смежных маршрутах и вылетах, что часто находит отражение и в рисовке изолиний исходных карт.

В радиометрии основными источниками ошибок являются дрейф энергетической шкалы спектрометра, вариации атмосферной компоненты остаточного фона (радона) и погрешности градуировки. Корректный учет этих факторов возможен лишь при наличии исходных полевых, контрольных и настроечных данных (скорости счета импульсов в дифференциальных каналах). Причем для устранения влияния дрейфа шкалы необходима запись «полного» (256-канального) спектра. По уже обработанным данным, представленным в виде карт изолиний, можно лишь попытаться снизить в остаточном поле помех вклад атмосферного радона и уменьшить систематические ошибки, обусловленные погрешностями градуировки и нестабильной работой аппаратуры.

Эта задача решалась по технологиям ВИРГа (Зеленецкий, 1997ф; Зубов, 2000) с использованием программ, реализованных в интерпретационно-аналитической системе (ИАС) «Геофизика». Применительно к гамма-спектрометрии особенностью указанных технологий является учет многомерного характера АГС данных, что обуславливает необходимость увязки не только поля содержаний каждого радиоактивного элемента в отдельности, но и анализа их соотношений при соблюдении баланса между концентрациями РЭ в каждой точке измерения, с одной стороны, и величиной мощности экспозиционной дозы, с другой. Такой подход позволяет существенно снизить искажение фактической картины пространственного распределения РЭ.

Выявленные дефекты устранялись в полях содержания урана и интегрального канала по участкам Ат-Юрхский и Утинский (рис. 9) способами, основанными на анализе свойств анизотропной структуры поля помех (слабая изменчивость помехи вдоль съемочного маршрута и существенно большая – в поперечном направлении – между соседними профилями и вылетами). Для усиления этого эффекта анализировалась региональная компонента радиогеохимического поля, выделенная путем медианного осреднения АГС информации в скользящем окне шириной  $1050 \times 1050$  м.

Увязка региональной компоненты содержаний урана (рис.13) и MED осуществлялась методом «ортогональных окон», который можно рассматривать как матричную реализацию метода «псевдосекущих» маршрутов. При вычислении поправки анализируется разность средних значений поля в двух узких прямоугольных окнах, ориентированных соответственно вдоль и поперек предполагаемых направлений съемочных маршрутов. В данном случае съемочные маршруты имеют меридиональное направление, то есть расположены вдоль столбцов исправляемой матрицы, вектор

направления маршрутов  $X_{нач.}=0$ ,  $Y_{нач.}=0$ ,  $X_{кон.}=0$ ,  $Y_{кон.}=1$ ; размер окон  $10050 \times 150$  м и  $150 \times 10050$  м.

Полное исправленное поле концентраций урана и МЭД получено путем сложения скорректированных таким образом региональной и локальной составляющих.

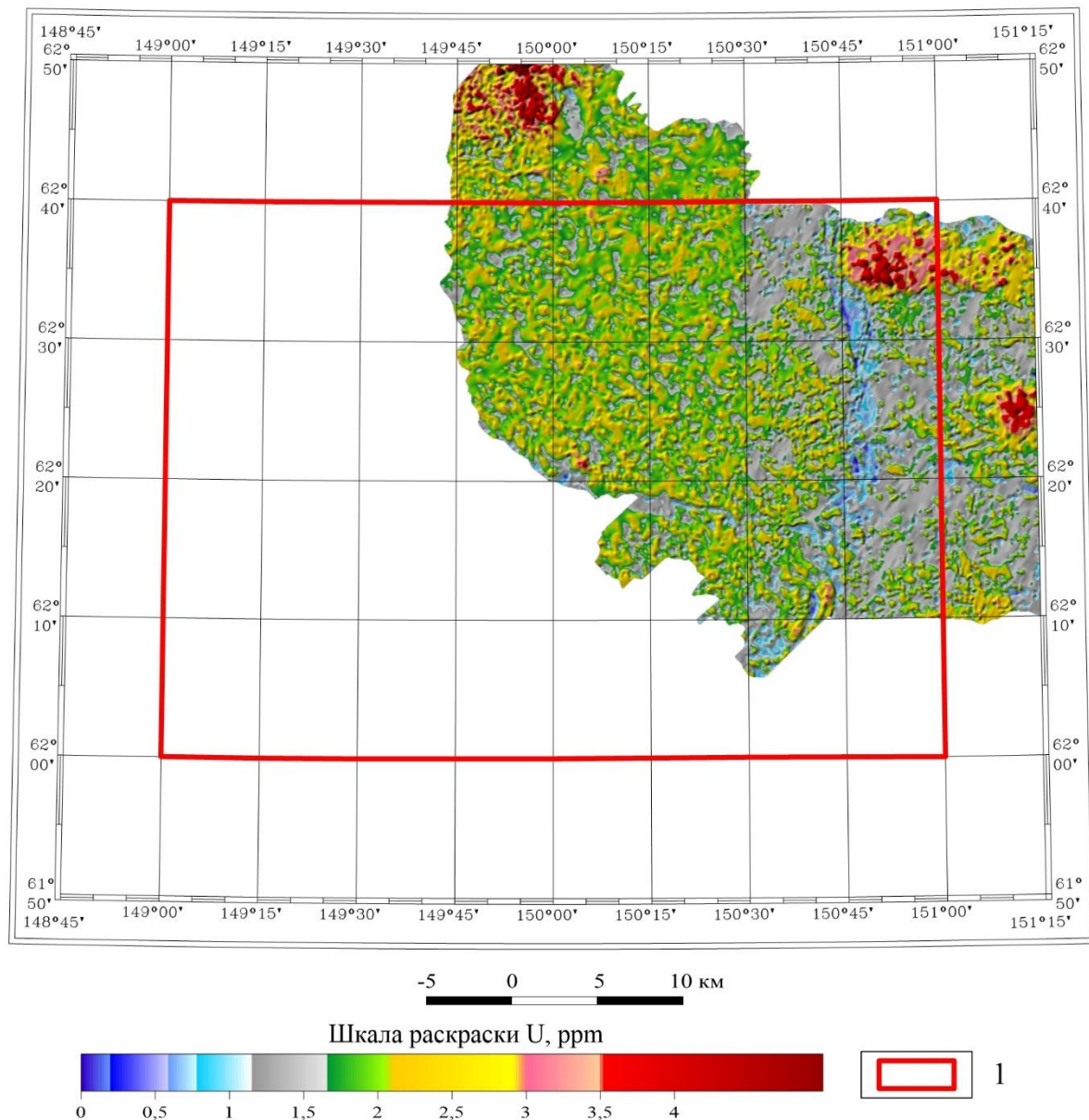


Рисунок 13. Цифровая модель (Shaded Relief Layer) содержаний урана после процедур внутренней и внешней увязок  
1 – контур Дебинской площади

### 3.3 Трансформации геофизических полей

В измеренных геофизических полях некоторые эффекты, которые вызваны особенностями геологического строения изучаемой территории, часто плохо проявлены.

Для лучшего выделения подобных объектов принято выполнять дополнительные преобразования, которые на опережающем этапе производятся стандартными формализованными методами, не требующими какой-либо априорной геологической информации.

Трансформация – это самый распространенный способ преобразования и разделения полей. Они сводятся к фильтрации наблюдаемого поля с целью выделения полезной информации и подавления помех.

В первую очередь интерпретатор выбирает скользящее окно. Его размеры и форма зависят от решаемой задачи. Внутри скользящего окна выбираются точки – узлы, которым соответствует определенный весовой коэффициент. Скользящее окно накладывается на небольшую часть изучаемой территории, а узлы располагаются в точках, где измерено поле. Далее весовые коэффициенты в узлах окна перемножаются с значениями аномального поля в точках участка под этими узлами, после чего эти произведения суммируются. Полученное число относят, как правило, к точке участка, которая расположена под центром скользящего окна. Таким образом, эта операция повторяется множество раз, при перемещении скользящего окна по изучаемому участку, в результате чего интерпретатор получает в ряде точек значения, которые описывают в совокупности новую функцию на участке. Такая функция называется трансформантой. Вычитание трансформанты из наблюдаемого поля приводит к определению остаточного поля. (Блох Ю. И., 2009)

По форме скользящего окна выделяют изотропные и анизотропные трансформации. Изотропные – круг, квадрат используются для изометричных аномалий, или таких аномалий, простирание которых неизвестно. Анизотропные – прямоугольник, эллипс, параллелограмм используются для аномалий с определенным простиранием.

В общем случае по весовым коэффициентам выделяются три группы трансформант: сглаживание, аналитическое продолжение полей, расчет высших производных наблюдаемых полей.

### 3.2.1 Трансформации гравиметрических и аэромагнитометрических данных

На исследуемой территории на основе увязанных сводных цифровых моделей гравитационного и магнитного полей были выполнены расчеты следующих трансформант:

- модуль горизонтальной составляющей градиента (рис.14);
- вертикальная составляющая градиента (вертикальный градиент);



- Вычисление параметра «Tilt»;
- локальная (Рис.15) и региональная составляющая.

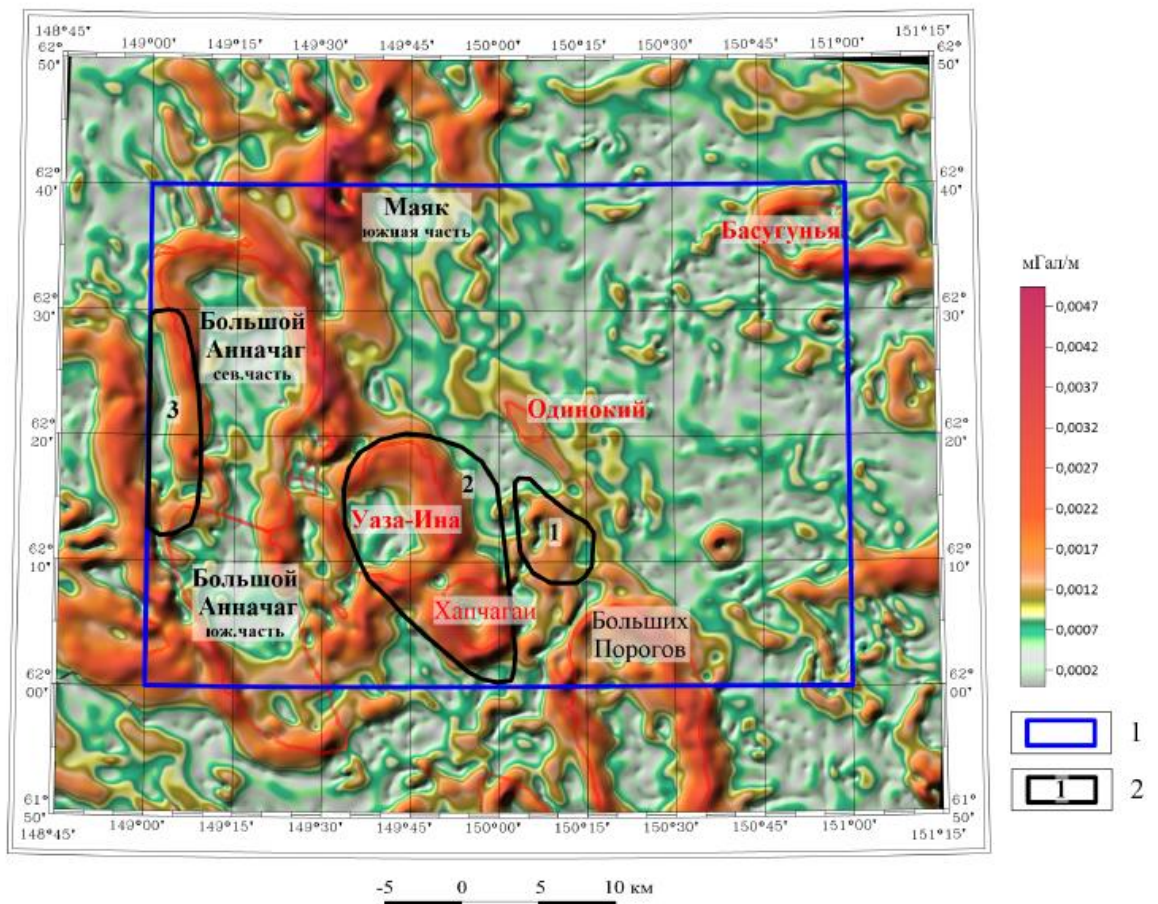


Рисунок 14. Карта модуля горизонтальной составляющей градиента аномального поля силы тяжести

1 – контур Дебинской площади, 2 – контуры исследуемых рудных узлов: 1- Кюнгкуйский (Укразийский) золоторудно-россыпной узел, 2- Уаза-Инский олово-золоторудный узел, 3- Джелгалино-Тыэллахский золоторудно-россыпной узел

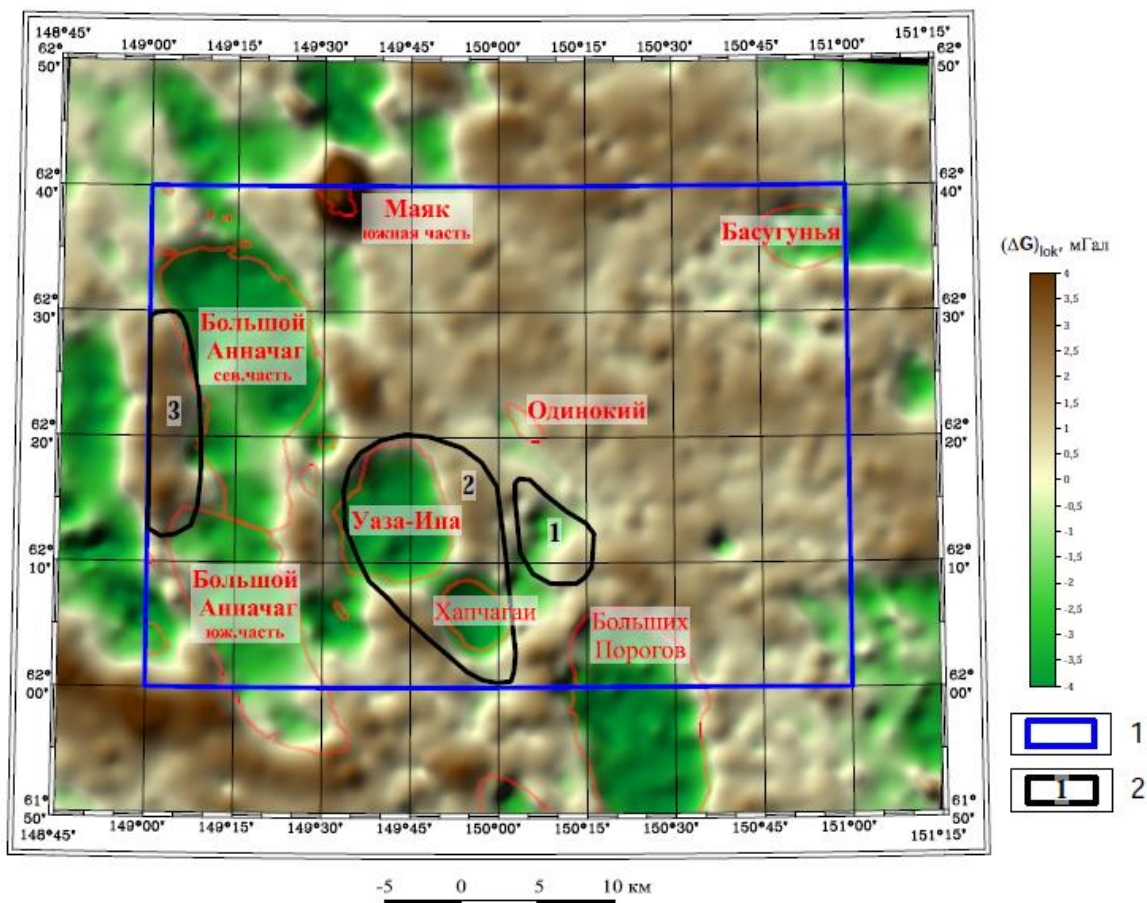


Рисунок 15. Карта локальной составляющей аномального поля силы тяжести

1 – контур Дебинской площади, 2 – контуры исследуемых рудных узлов: 1- Кюнгкуйский (Укразийский) золоторудно-россыпной узел, 2- Уаза-Инский олово-золоторудный узел, 3- Джелгалино-Тыэллахский золоторудно-россыпной узел

Расчет горизонтальной составляющей градиента или его модуля выполнялся не как разности в соседних точках матрицы (реализованного в пакетах Surfer, Oasis Montaj), а на основании аппроксимации поля поверхностью второго порядка в заданном окне и последующим аналитическом расчете производной от уравнения этой поверхности (реализован в ГИС «ИНТЕГРО»). Такой способ вычисления градиентов существенно ослабляет влияние алгоритмов интерполяции, используемых при создании цифровых моделей в виде значений поля в узлах регулярной сети. Минимальный размер окна при этом составляет 5 точек.

При вычислении модуля горизонтального градиента магнитного поля, матрица значений которого была получена по материалам съемок масштаба 1:25 000-1:50000,

размер окна для расчета составил 500 м (5 точек при размере ячейки матрицы 100\*100 м). При вычислении градиентов аномального поля силы тяжести, матрица значений которого была получена по материалам съемок масштаба 1:200 000 окно при расчете модуля горизонтальной составляющей градиента выбрано 2000 м (минимальное расстояние между соседними пунктами измерений). Вертикальная составляющая градиента аномального геомагнитного поля (вычислен с помощью Oasis Montaj) на данной площади работ не менее информативна с точки зрения решения картировочных задач, чем модуль его горизонтальной составляющей.

При выделении линейных элементов структуры потенциальных полей в последнее время эффективно используется параметр «Tilt». Данная трансформанта использовалась при изучении тонкой структуры полей. Значение этого параметра определяется следующим образом:

$$\mathbf{Tilt} = \mathbf{Arctg} \frac{\mathbf{VrGrd}}{\mathbf{ModGrGrd}}, \text{ где}$$

**Arctg** – функция арктангенса,

**VrGrd** – вертикальный градиент,

**ModGrGrd** – модуль горизонтального градиента.

Локальные составляющие  $(\Delta T)_a$  и  $(\Delta g)_b$  оценивались как разность исходного поля и поля, пересчитанного на высоты 2 км и 3 км, принятого за соответствующую региональную компоненту.

Дополнительно было выполнено разложение исходных полей на компоненты, соответствующие слоям в различных диапазонах глубин, выполнено по технологии «послойной» (ПФ) фильтрации (Зеленецкий и др., 2006, 2008, 2008). Эта методика позволяет построить распределения аномального магнитного поля и аномального поля силы тяжести по вертикали в виде разрезов и погоризонтных срезов для нескольких уровней и таким образом сформировать их объемное представление. В итоге построенный набор таких матриц по сути является трехмерной моделью распределения анализируемого поля. По ним удобно строить блоки параллельных разрезов (например, по строкам или по столбцам матрицы), отдельные вертикальные сечения по любому профилю произвольного проложения. На изучаемом листе выполнено разложение аномального магнитного поля и аномального поля силы тяжести с шагом по вертикали 500 м в диапазоне глубин от 0 до 6000 м.

При выполнении процедур совместного анализа различных характеристик геофизических полей определенные затруднения вызывает несовпадение у них диапазонов значений и единиц измерений. Как правило, для того, чтобы сделать



сравниваемые поля сопоставимыми, производится их нормирование и центрирование. По нормированным величинам анализируемых полей удобно выполнять районирование территории, оперируя привычными при решении этой задачи областями повышенных, пониженных, фоновых и аномальных значений. Причем интервалы, соответствующие указанным областям, выражаются в одинаковых единицах и встречаются на исследуемой территории с одинаковой частотой. В результате было выполнено районирование аномальных магнитного и гравитационного полей по листам Р-55-ХVIII, Р-56-ХIII с обрамлением (рис.16), дополнительно было выполнено районирование региональных составляющих аномальных магнитного и гравитационного полей по изучаемым листам с обрамлением.

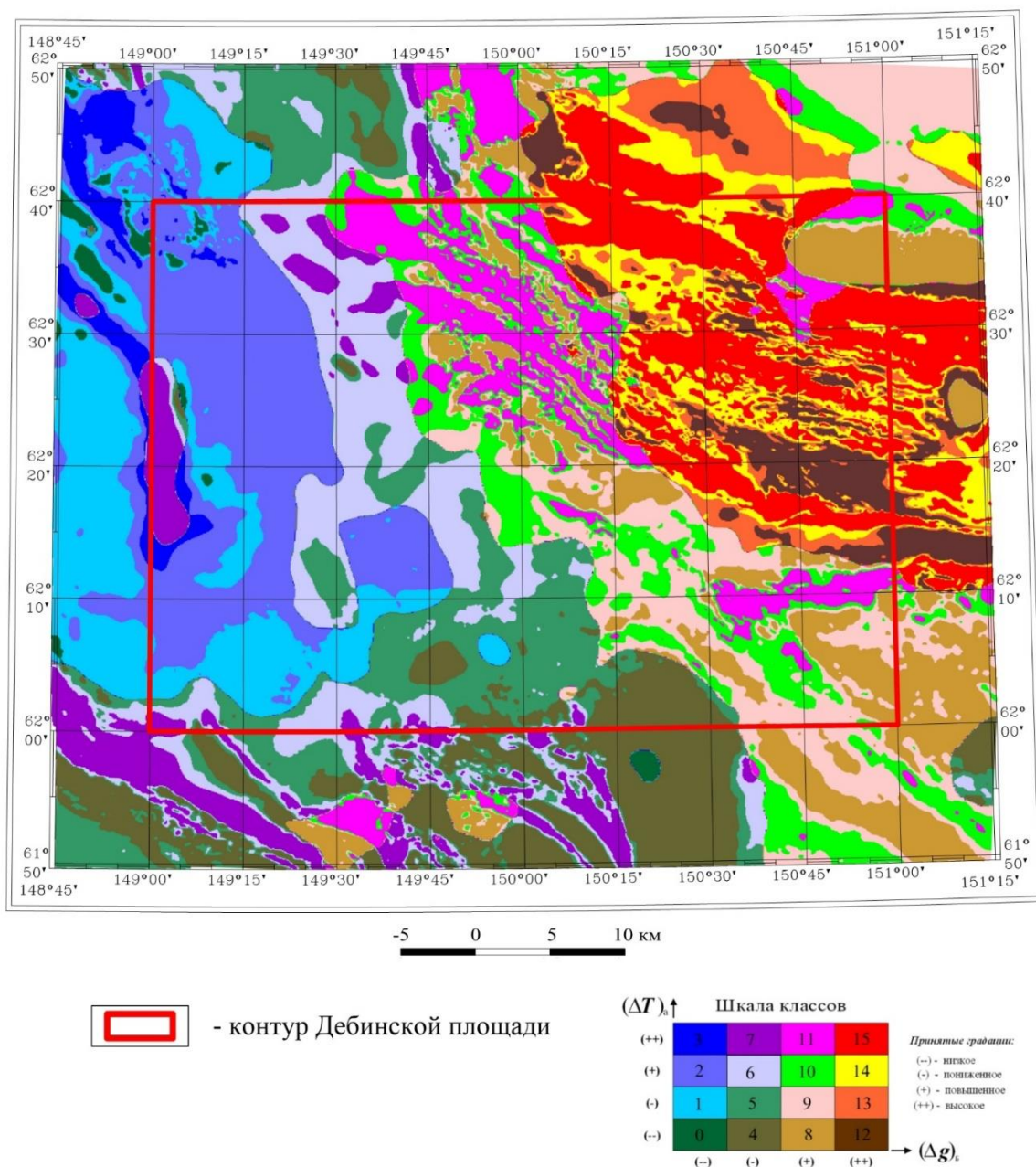


Рисунок 16. Районирование потенциальных полей по Дебинской площади

### 3.2.2 Трансформации аэрогамма-спектрометрических данных

Дополнительные преобразования АГС данных были направлены на решение двух основных задач: 1 – уточнение элементов геологического строения территории с выделением радиогеохимически специализированных комплексов горных пород; и 2 – локализация участков, перспективных на выявление эпигенетического оруденения. Традиционно для этих целей используются бинарные отношения (Th/U, Th/K, U/K) и комплексный мультипликативный показатель  $F = (U \times K) / Th$ . Однако указанные параметры весьма чувствительны к погрешностям измерений и при низких содержаниях РЭ, характерных для многих пород изучаемого региона, определяются со значительными погрешностями. В таких условиях лучшие результаты обычно дает технология «АРК» (Краснов, А.И. и др., 1983), позволяющая снизить влияние ландшафтного фактора, выделить радиогеохимически специализированные комплексы горных пород, относительно обогащенные тем или иным РЭ, и усилить вторичную («эпигенетическую») составляющую, возрастающую на участках с наложенным оруденением.

В основу ее положена высокая степень корреляции радиоактивных элементов при изменении мощности рыхлых образований (фаций элементарных ландшафтов) и переходе от одной литологической разности к другой. При отсутствии на изучаемой площади значительных выходов радиогеохимически специализированных горных пород основным фактором, меняющим структуру связей РЭ, являются различные наложенные процессы, протекающие с перераспределением урана, тория и/или калия. В этом случае полный вектор содержаний РЭ, измеренных в  $i$ -той точке исследуемой площади ( $Q_i = \{q_U, q_{Th}, q_K\}_i$ ), рассматривается как сумма двух основных слагаемых:

$$Q_i = Q_{\phi i} + \Delta Q_i, \text{ где}$$

$Q_{\phi i}$  - фоновая («скоррелированная» или «первичная») составляющая вектора  $Q_i$  со структурой связей (соотношениями между элементами), типичной для большинства горных пород и элементарных ландшафтов исследуемого участка;

$\Delta Q_i$  - аномальная («раскоррелированная» или «вторичная») компонента радиогеохимического поля, обусловленная совокупностью наложенных («вторичных») процессов.

Вычисление  $Q_{\phi i}$  производится методом главных компонент (МГК) по формуле:

$$Q_{\phi i} = f(F_{1i})$$

где  $F_1$  - первая главная компонента корреляционной матрицы, которая рассчитывается по совокупности содержаний U, Th, K на соответствующем уровне организации вещества - в пределах всей исследуемой площади или по какой-то ее части, ограниченной контурами реальных геологических образований или выделенных на предыдущем этапе радиогеохимических зон (классов)

Отсюда

$$\Delta Q_i = Q_i - f(F_{1i})$$

Абсолютная величина элементов вектора  $\Delta Q_i$  («модуль», обозначаемый далее  $M_\Delta$ ), характеризует интенсивность проявления наложенных процессов в  $i$ -той точке исследуемого пространства (чем больше по модулю  $\Delta q_{U_i}$ ,  $\Delta q_{Th_i}$  или  $\Delta q_{K_i}$ , тем интенсивнее здесь было перераспределение этих элементов). Другой важнейшей характеристикой вторичной компоненты АГС поля в  $i$ -той точке является ее радиогеохимическая природа, показывающая, у какого радиоактивного элемента величина модуля  $|\Delta q_{ji}|$  максимальна.

Результаты обработки АГС данных методом «АРК» представляются в виде карт вторичной радиохимической зональности в различных вариантах (с 6 и более классами). Во всех случаях сводная карта аномальных значений  $\Delta Q_{(ан)}$  строится, исходя из условия:

$$\Delta q_{ji(ан)} = \max_p \{|\Delta q_{pi}|\}, \text{ при } (|\Delta q_{pi}| > L) \wedge (j = p), \text{ где}$$

$\Delta q_{ji(ан)}$  – аномальная составляющая  $j$ -того элемента в  $i$ -той точке наблюдения;  $p = U, Th, K$ ;

$L$  – порог, определяющий границы нормального геохимического фона («минимально-аномальное» значение).

Величина  $\Delta q_{ji(ан)}$  характеризует доминирующую природу радиоактивности в  $i$ -той точке наблюдения. Этот параметр называется “знаком” ( $S_\Delta$ ) и на сводной карте показывается соответствующим цветом. По карте  $S_\Delta$  выявляется латеральная зональность в распределении РЭ и определяется радиохимическая специализация геологических образований и/или возможный тип метасоматических изменений.

Всего по трем признакам (U, Th, K) выделяются шесть основных комбинаций или классов (в скобках показаны условные обозначения и раскраска соответствующих классов на карте):

- 1 - избыток тория над ураном и калием (Th+, синий цвет);
- 2 - избыток урана над торием и калием (U+, красный);
- 3 - избыток калия над ураном и торием (K+, зеленый);
- 4 - избыток тория и калия над ураном (Th+K+, серый);

5 - избыток тория и урана над калием (Th+U+, лиловый);

6 - избыток урана и калия над торием (U+K+, желтый).

Очевидно, что понятия "избыток Th и K" и "дефицит U" являются синонимами и все комбинации можно определить в терминах дефицита радионуклидов. Совокупность аномальных значений  $\Delta Q_{(ан)}$  одного знака образует радиогеохимическую зону, а совокупность зон – вторичную радиогеохимическую зональность изучаемой территории, которая служит важным диагностическим признаком при выделении перспективных площадей (рис.17).

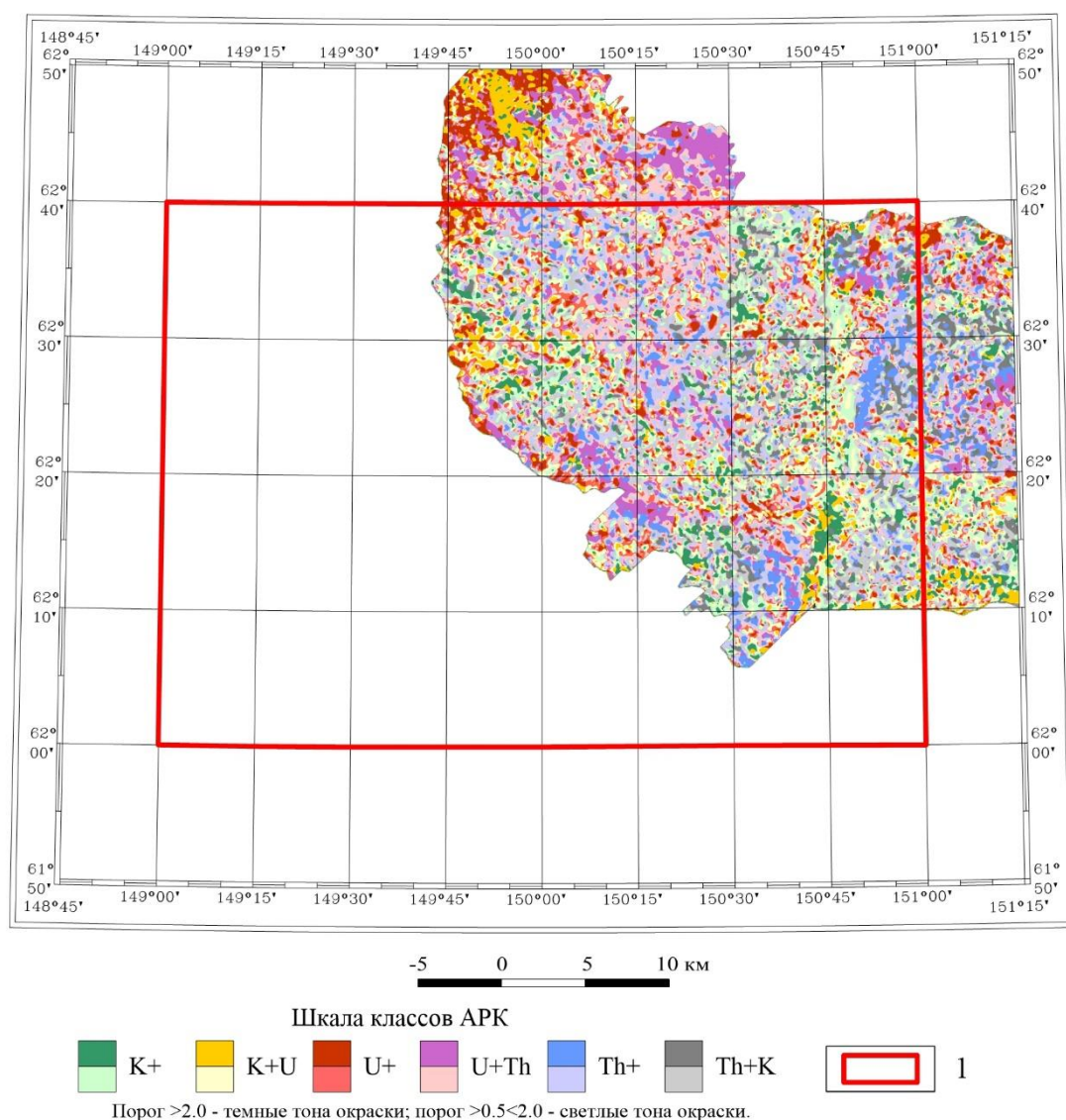


Рисунок 17. Карта радиогеохимической зональности)

(параметр  $S\Delta$ , технология "АРК")

1 – контур Дебинской площади



К 7-му классу обычно относятся точки, в которых вторичная компонента по модулю не превышает принятого нижнего порога аномальных значений  $L_1$ . В данном случае на всех рисунках для оценки доминирующей природы радиоактивности  $L_1$  принят равным нулю. Кроме того, для наглядности в пределах каждого класса выбран второй порог модуля  $L_2 = 1.3$  (традиционно принятый в геохимии уровень минимально-аномальных значений для нормированных и центрированных величин, которыми являются элементы матрицы  $\Delta Q$ ). При этом области с высокими ( $> L_2$ ) значениями  $M_\Delta$  раскрашены более интенсивными тонами того же цвета.

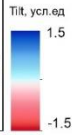
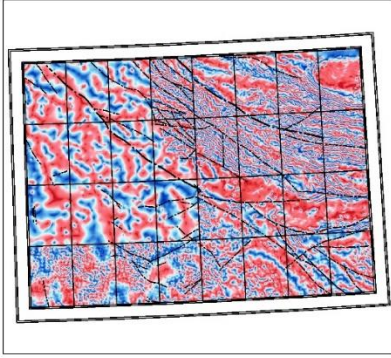
Из традиционных трансформаций рассчитаны бинарные отношения и мультипликативный параметр  $F = U \times K/Th$ , ориентированный на выявление участков метасоматически измененных пород.

Об эффективности отмеченных преобразований радиогеохимического поля при решении прогнозных задач можно судить по пространственной корреляции золоторудных объектов с калиевыми и торий-калиевыми зонами, а оловянных с существенно урановыми зонами, а также значимой пространственной корреляцией всех известных месторождений и рудопроявлений с повышенными значениями параметра  $F$ .

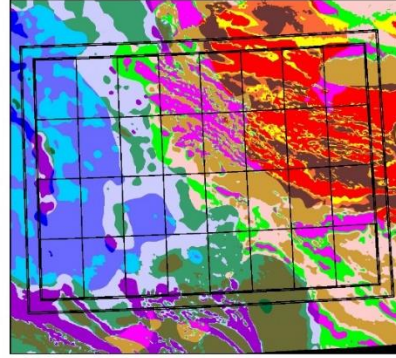
Одни из наиболее информативных трансформаций по Дебинской площади представлены на рисунке 18.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ  
ТРАНСФОРМАЦИИ  
НА ДЕБИНСКОЙ  
ПЛОЩАДИ

Параметр Tilt

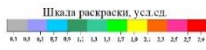
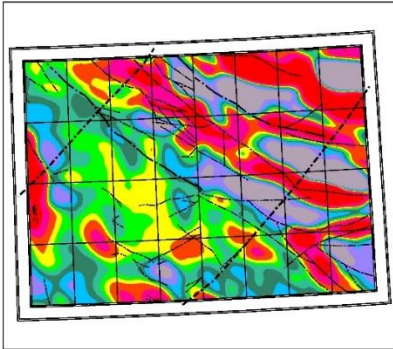


Районирование локальных составляющих  
гравимагнитных полей

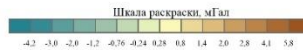
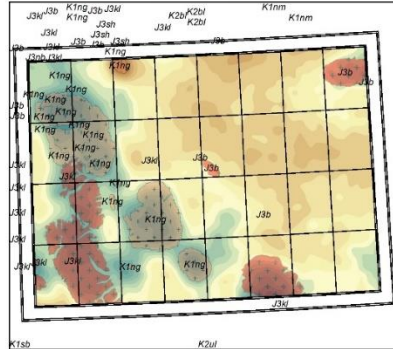


Условные обозначения:

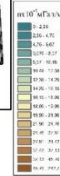
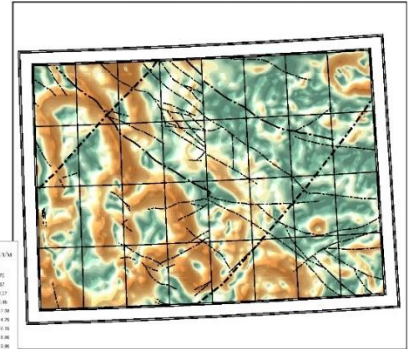
Частотная составляющая 1800-2000 м  
аномального магнитного поля



Локальная составляющая поля  
силы тяжести



Модуль горизонтальной составляющей  
градиента поля силы тяжести



Масштаб врезок 1:1 000 000

Рисунок 18. Трансформации геофизических полей на Дебинской площади

## ГЛАВА 4. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ЛОКАЛИЗАЦИИ РУДНЫХ УЗЛОВ

### 4.1 Региональных критерии

Одним из главных рудоконтролирующих факторов локализации РУ с крупнотонажными месторождениями региона является тектонический (Наталенко М.В., 2008, Константинов М.М., 2006). Система глубинных разрывных нарушений северо-западного простирания (Чай-Юрьинский, Тенькинский и др.), выраженная мощными зонами дробления или сериями субпараллельных разломов, отчетливо проявлена в геофизических полях. Такие разломы могут проявляться как широкие и протяженные отрицательные локальные аномалии гравитационного поля, отвечающие разуплотнению пород в зонах дробления, расланцевания и милонитизации. Ряд дополнительных разрывных нарушений разного ранга выделяются по магнитометрическим данным. Выделяются разломы субмеридионального и северо-восточного простирания, они имеют малую протяженность, однако также играют существенную роль в локализации магматических тел и золотого оруденения (Константинов М.М., 2006).

Обработанные методом «АРК» осредненные АГС данные в работе специалистов ЗАО НПП ВИРГ-РУДГЕОФИЗИКА (Альтман В.Л., 2012) позволили выявить три крупные (диаметром 30 - 100 км) концентрически-зональные структуры, которые отчетливо проявляются во вторичном радиохимическом поле последовательной сменой доминирующей природы радиоактивности:  $U \Rightarrow K+U \Rightarrow K \Rightarrow K+Th$  (от центра к периферии). Подобная кольцевая региональная зональность весьма характерна для многих районов с золотокварцевой минерализацией (Бабаянц П.С., 2006, Володькова Т.В., 2001). Причем подавляющее большинство рудных узлов с наиболее крупными месторождениями обычно тяготеет к внешним (обрамляющим) зонам. Формирование подобных радиохимических структур связывается с процессами метаморфогенно-метасоматического (термокупольного) преобразования черносланцевых толщ (Курбанов Н.К., 1999).

На площади ЦКР эталонные РУ (Омчакский, Арга-Юрях-Декдеканский, В. Хакчакский), а также на изучаемой площади Ветренский, локализуются во внешних (калий-ториевых) зонах отмеченных региональных АГС ореолов. Лучше всего контролирующее размещение рудных узлов зоны прослеживаются на карте суммы вторичных компонент указанных элементов ( $K'+Th'$ ), вычисленных методом «АРК» по

осредненным данным (рис.19). Наличие выделенных по АГС данным изометричных структур подтверждается результатами анализа потенциальных полей и геохимического опробования по потокам рассеяния.

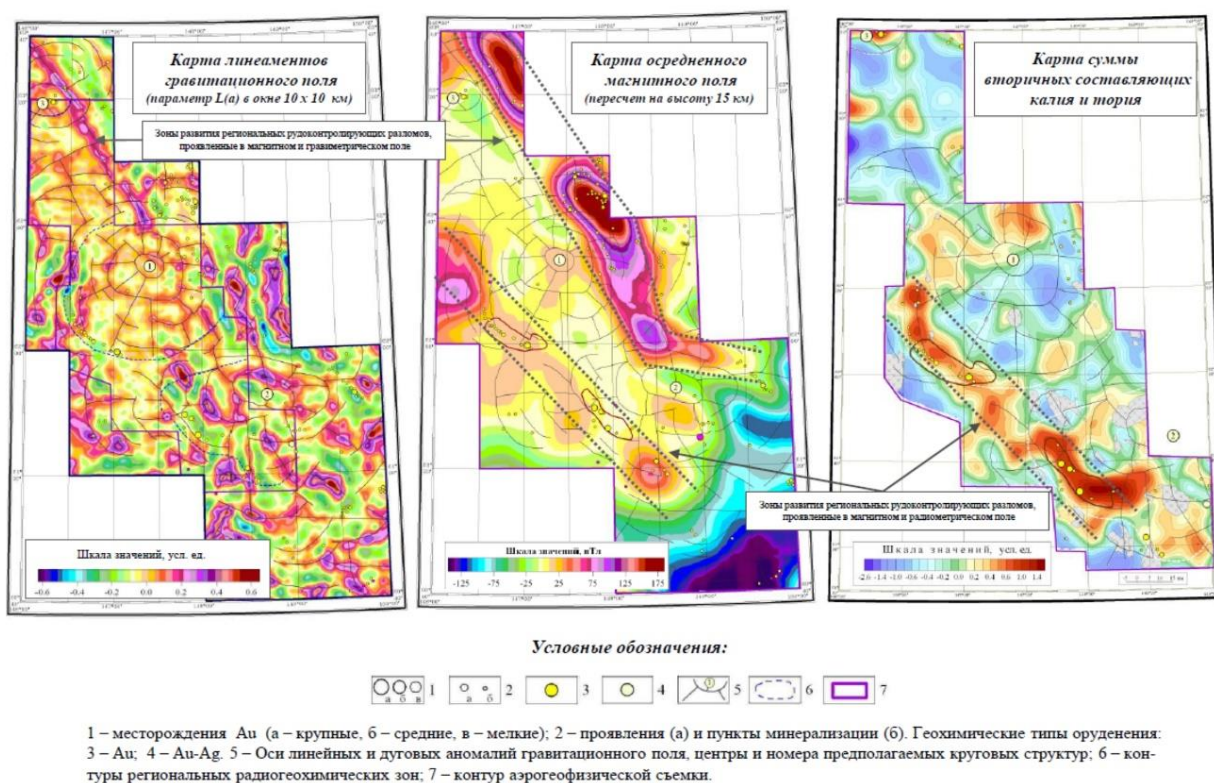


Рисунок 19. Зоны рудоконтролирующих разломов в геофизических полях

Район исследования характеризуется широким распространением магматических тел различного состава и возраста. На рассматриваемой территории интрузивные массивы занимают значительную часть площади и представлены преимущественно позднемезозойскими коллизионными гранитоидами, входящими в состав т. н. Главного Колымского плутонического пояса. Кислые интрузивные массивы проявляются усложнением поля силы тяжести новыми отрицательными локальными аномалиями и повышенными концентрациями тория в радиохимическом поле. Наиболее продуктивные рудные узлы, напротив, фиксируются положительными локальными аномалиями  $\Delta g_B$  соответствующего ранга. Причем в разрезе непосредственно под узлом или вблизи него картируются т. н. «линзы базификации» (Константинов М. М., 2000), характерные для РУ многих золоторудных районов.



## 4.2 Локальные критерии

В ходе прогнозных построений в рамках работ по ГФО-200 по Ветренской площади критерии локализации и выявлены новые:

Ветренский золоторудный узел вытянут в северо-западном направлении и занимает приустьевые части долин рек Обо и Эльгеня и часть долины р. Колыма (Колымского водохранилища) между ними. Узел охватывает отрезок Чай-Юрьинского регионального разлома северо-западного направления в участке его изгиба и узле пересечения с зоной северо-восточных нарушений в терригенных породах триаса и юры, слагающих узкую приразломную грабен-синклиналиную структуру. Золотое оруденение узла относится к золоторудной кварцевой формации и представлено одним крупным разрабатываемым коренным месторождением Ветренское, несколькими рудопроявлениями и многочисленными пунктами минерализации. Промышленное значение имеет тип жильно-прожилковых зон. Главная рудоносная зона узла соответствует шовной зоне Чай-Юрьинского разлома (рис.20). Рудовмещающими породами являются нижнеюрские тонко-терригенные породы, характеризующиеся повышенной углеродистостью. За её пределами развиты только непромышленные жилы и слабозолотоносные жильно-прожилковые зоны.

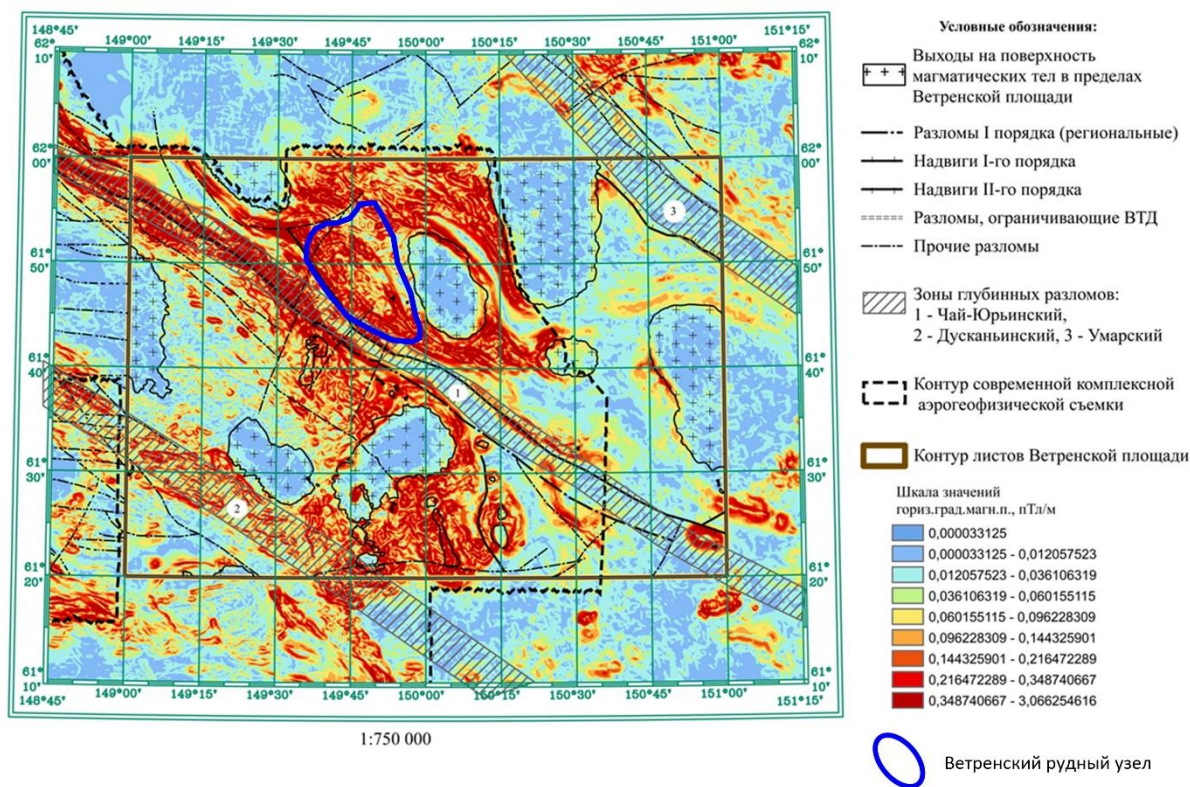


Рисунок 20. Положение Ветренского рудного узла на карте модуля горизонтального градиента аномального магнитного поля.

В гравитационном поле узел расположен в поле повышенных значений силы тяжести, связанном с блоком терригенных пород, в боковой периферийной зоне крупных отрицательных гравиметрических аномалий, образованных массивами гранитов Анначаг и Право-Обинский. Ветренское месторождение расположено в краевой части отрицательной гравиметрической аномалии, интерпретируемой как невоскрытая на поверхности западная часть Право-Обинского батолита.

В магнитном поле узел соответствует полосовой отрицательной аномалии северо-западного простирания, сопровождаемой симметрично окаймляющими её узкосжатыми интенсивными положительными аномалиями. Рудные объекты расположены в пределах отрицательной аномалии.

Различные критерии локализации золотого оруденения Ветренского рудного узла обобщены в таблице 2

Таблица 2

Геолого-геофизические критерии локализации золотого оруденения Ветренского рудного узла

Геологические критерии	Геофизические критерии
<p><u>Магматические:</u> (наличие гранитоидов раннего мела, дайки и силлы различного состава (поздняя юра)) Невоскрытый западный выступ Право-Обинского массива</p>	<p>Интенсивная отрицательная аномалия (&lt;-50 мГал)</p>
<p><u>Тектонические:</u> приуроченность к зонам глубинных разломов СВ и СЗ простирания</p>	<p>Зоны пониженных значений среднего модуля приращения <math>\Delta g</math> (параметр <math>M_s(\Delta g)</math>) и повышенных – осредненного магнитного поля (<math>\Delta T_{(оср)}</math>) (поле, пересчитанное на высоту 15 км)</p>
<p><u>Метасоматические:</u> (наличие зон измененных пород: серицизация, пропилитизация)</p>	<p>Линейная отрицательная аномалия магнитного поля, интерпретируемая как зона гидротермально-метасоматической проработки, симметрично окаймлённая полосовыми положительными аномалиями, интерпретируемыми как зоны рассеянной пирротиновой минерализации</p> <p>Калий-ториевая зона в радиогеохимических полях калиевая составляющая обусловлена развитием околорудных метасоматических процессов, сопровождающихся привнесом калия, что хорошо выражено на месторождении широким развитием серицита</p>

На исследуемой Дебинской площади оценивалось положение в геофизических полях проявления золото-кварцевого оруденения (Участок Укразия в пределах Кюнγκуйского (Укразийского) золоторудно-россыпного узла; участок Верхне-Тыэллахский в пределах Джелгалино-Тыэллахского золоторудно-россыпного узла), золото-редкометалльного оруденения (участок Росток в пределах Уаза-Инского олово-золоторудного узла).

Большая северо-восточная часть площади листов Р-55-ХVIII и Р-56-ХIII с относительно плотным фундаментом характеризуется преобладанием золото-кварцевого оруденения, в отличие от этого юго-западная часть с существенно гранитизированным фундаментом, что отражено в пониженном поле силы тяжести, специализирована на золото-редкометалльное оруденение. Довольно плотный блок фундамента, преобразованный, вероятно, под влиянием магматизма среднего-основного состава определяет контуры Среднекано-Штурмовского рудно-россыпного района. Некоторые рудные районы (Дебинский, Эльгенья-Бохапчинский) соответствуют магматогенным структурам с гранитоидными плутонами, контурам которых подчинено расположение многих золоторудных узлов. Для Балыгычанской минерагенической области, которая находится в юго-восточной части территории, фоновым является золото-кварцевое оруденение, представленное обычно субпослойными кварцевыми жилами и окварцованными дайками.

Около 90% известных золоторудных месторождений и рудопроявлений золота Центрально-Колымского района, включая Наталкинское месторождение, приурочено к участкам плотного основания земной коры. Такие участки характеризуют собой геологические образования, являющиеся производными базит-ультрабазитовых комплексов мантийного происхождения и глубинных ультраметаморфических процессов – индикаторов глубинной эндогенной активизации и выступающие в качестве меланократового субстрата, первично обогащённого рудными элементами сидерофильной группы, а также золотом и платиноидами. Наибольшей степенью золотоносности характеризуются места пресечения блоков повышенной плотности с зонами растяжения, сопряжёнными с глубинными разломами. Зоны глубинных разломов, совмещенные в плане с такими участками, обеспечивают через эндогенные процессы транзит металлоносных флюидов в верхние слои литосферы. В частности, золоторудно-россыпными узлами сопровождается Дебинская зона смятия, в пределах Среднекано-Штурмовского рудного района. На рисунке 21 показаны разломы фундамента на составляющей поля силы тяжести на глубине 4,5-5 км (выделенной по методу «Послойной фильтрации», Зеленецкий, 2008)



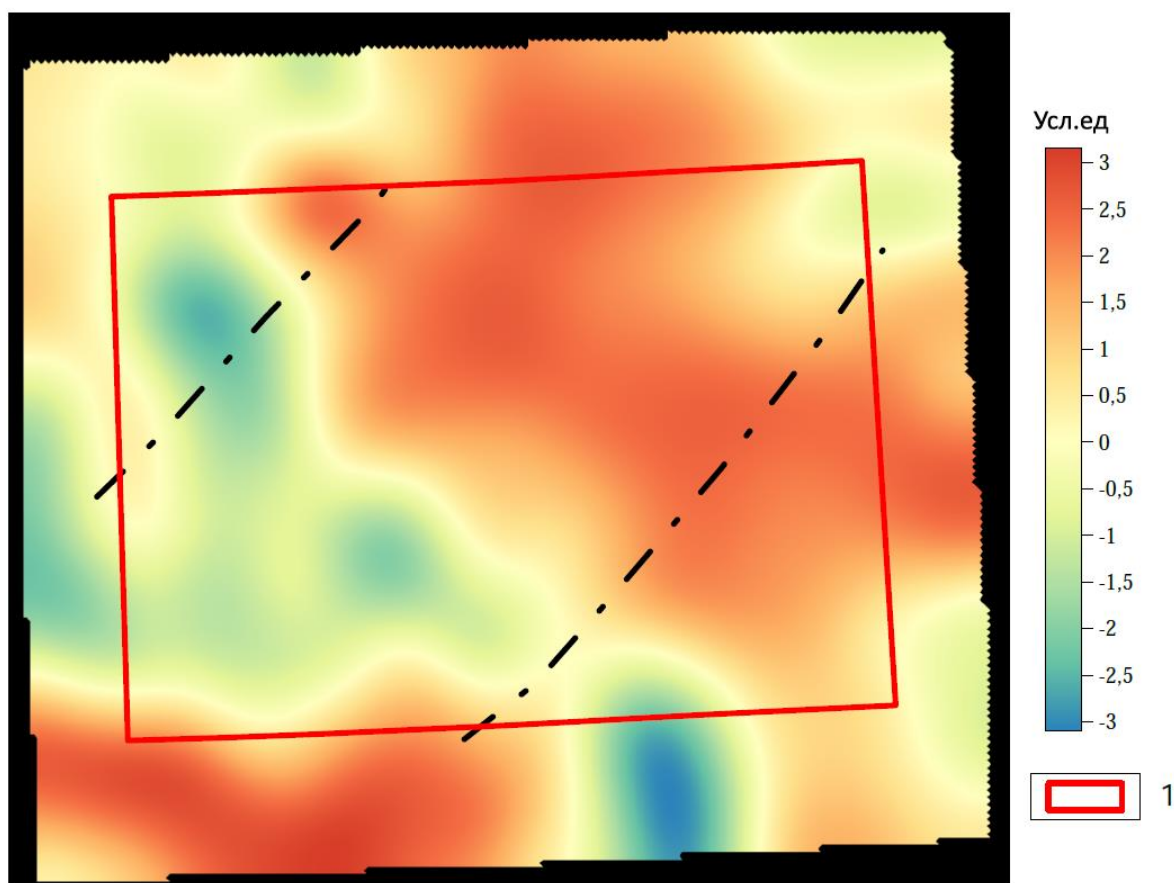


Рисунок 21. Предполагаемые разломы фундамента по глубинной составляющей поля силы тяжести

Таким образом, для прогнозирования крупных золоторудных месторождений необходимо на основе выделения участков пересечения блоков базификации и глубинных разломов, «нарезающих» складчатую структуру на узкие продольные тектонические блоки с гранитными массивами в их центральных частях и сопровождающихся зонами смятия, создать структурный каркас территории, увязанный с её металлогенией.

Зоны влияния Правоорутуканского, Умарского и Дебинского разломов СЗ направления отчетливо выделяются на карте трансформации магнитного поля параметра Tilt (рис.22).

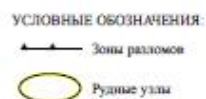
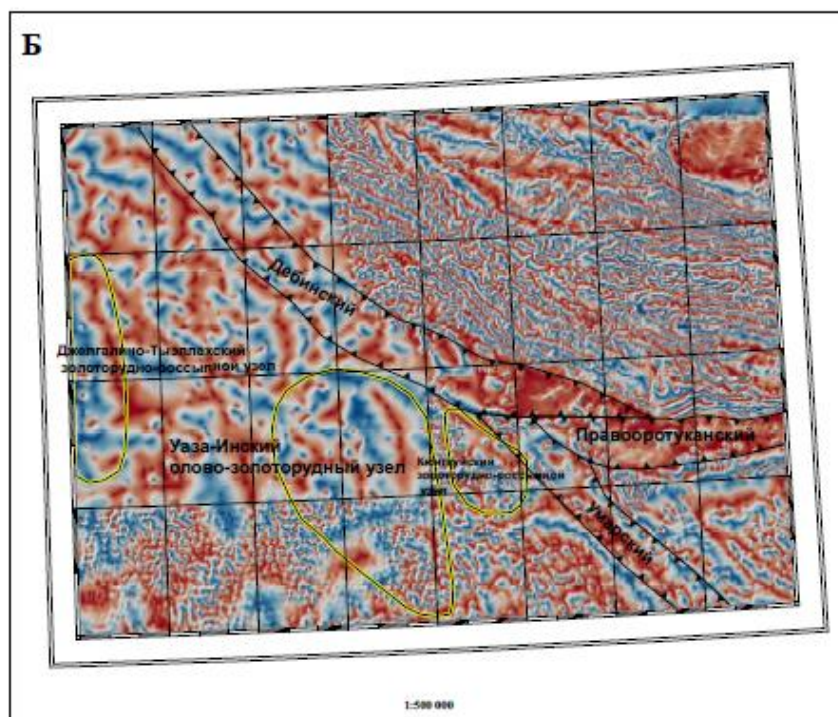
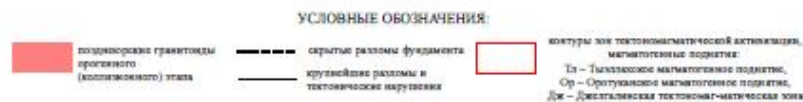
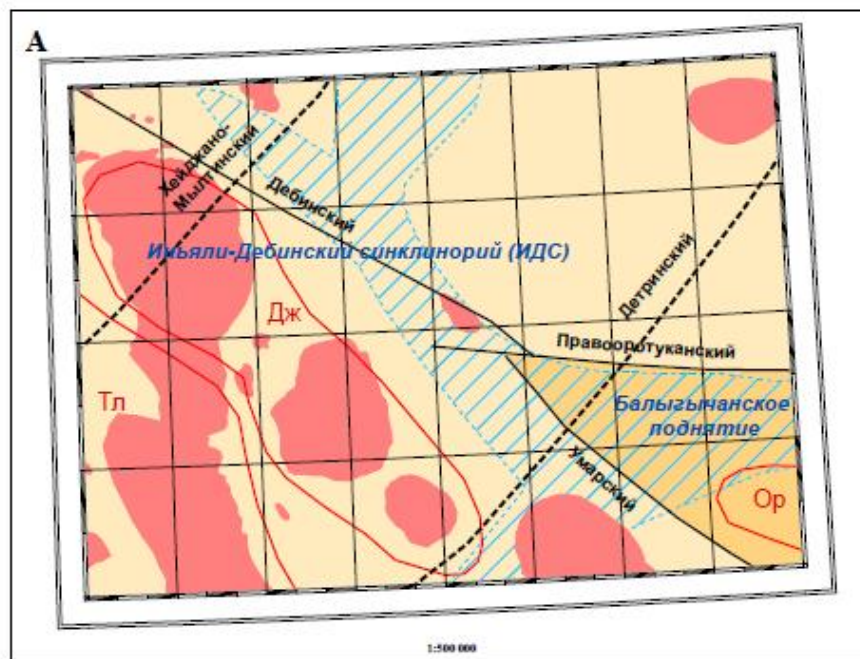


Рисунок 22. А-Тектоническая схема (по Гайдай Н.К., 2017), Б- положение зон пересечения глубинных разломов фундамента СВ направления и рудоконтролирующих Правоорутуканского, Умарского и Дебинскогои золоторудных узлов на карте трансформации магнитного поля параметра Tilt .

Положение золоторудных узлов и закартированных интрузивных массивов на карте локальной составляющей аномального поля силы тяжести изображено на рисунке 23. Кюнгкуйский (Укразийский) золоторудно-россыпной и Уаза-Инский олово-золоторудный узлы отмечаются локальными отрицательными аномалиями, Джелгалино-Тыэллахский золоторудно-россыпной узел – интенсивной положительной.

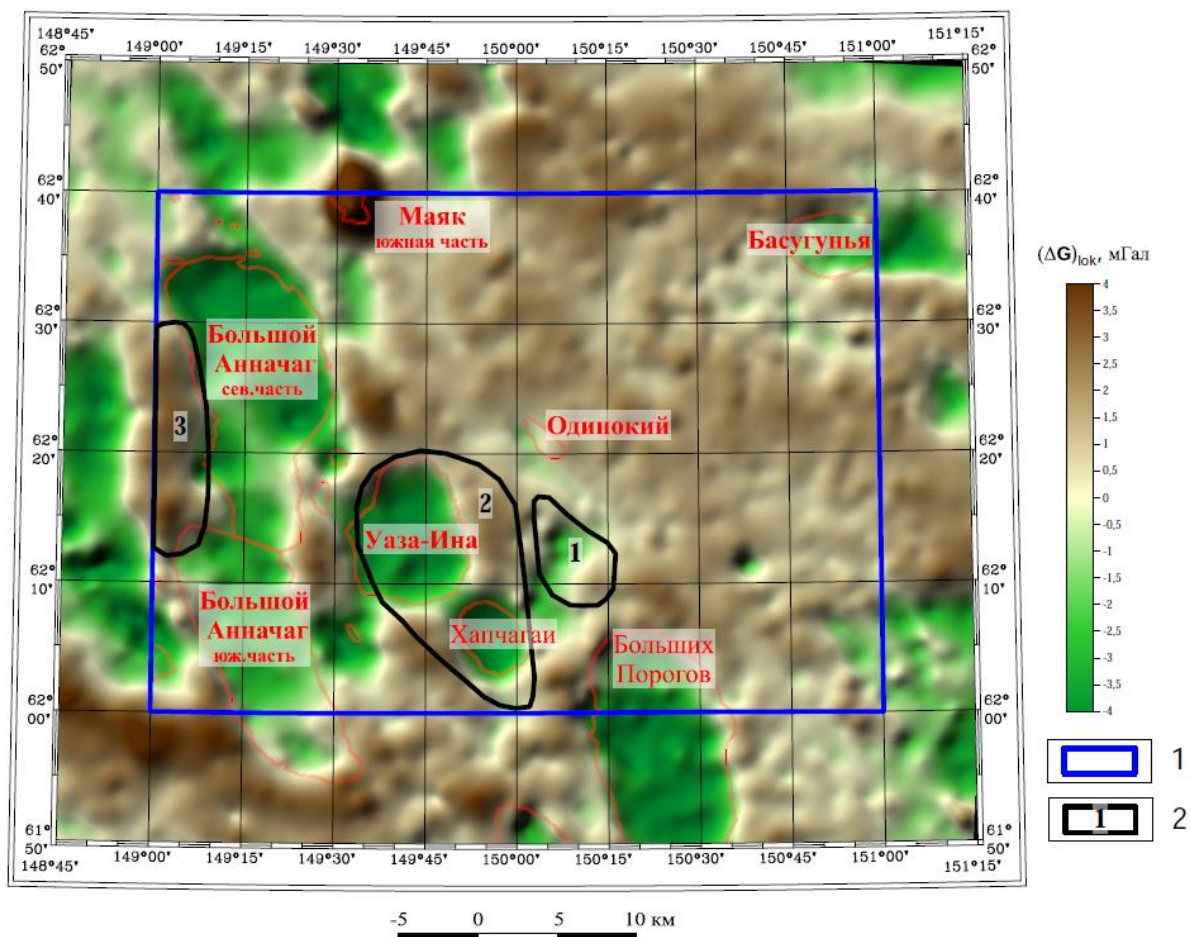


Рис. 23 Положение золоторудных узлов и закартированных интрузивных массивов на карте локальной составляющей аномального поля силы тяжести

1 – контур Дебинской площади, 2 – контуры исследуемых рудных узлов: 1- Кюнгкуйский (Укразийский) золоторудно-россыпной узел, 2- Уаза-Инский олово-золоторудный узел, 3- Джелгалино-Тыэллахский золоторудно-россыпной узел

Джелгалино-Тыэллахский золоторудно-россыпной узел выделяется интенсивной локальной положительной аномалией магнитного поля (рис.24)



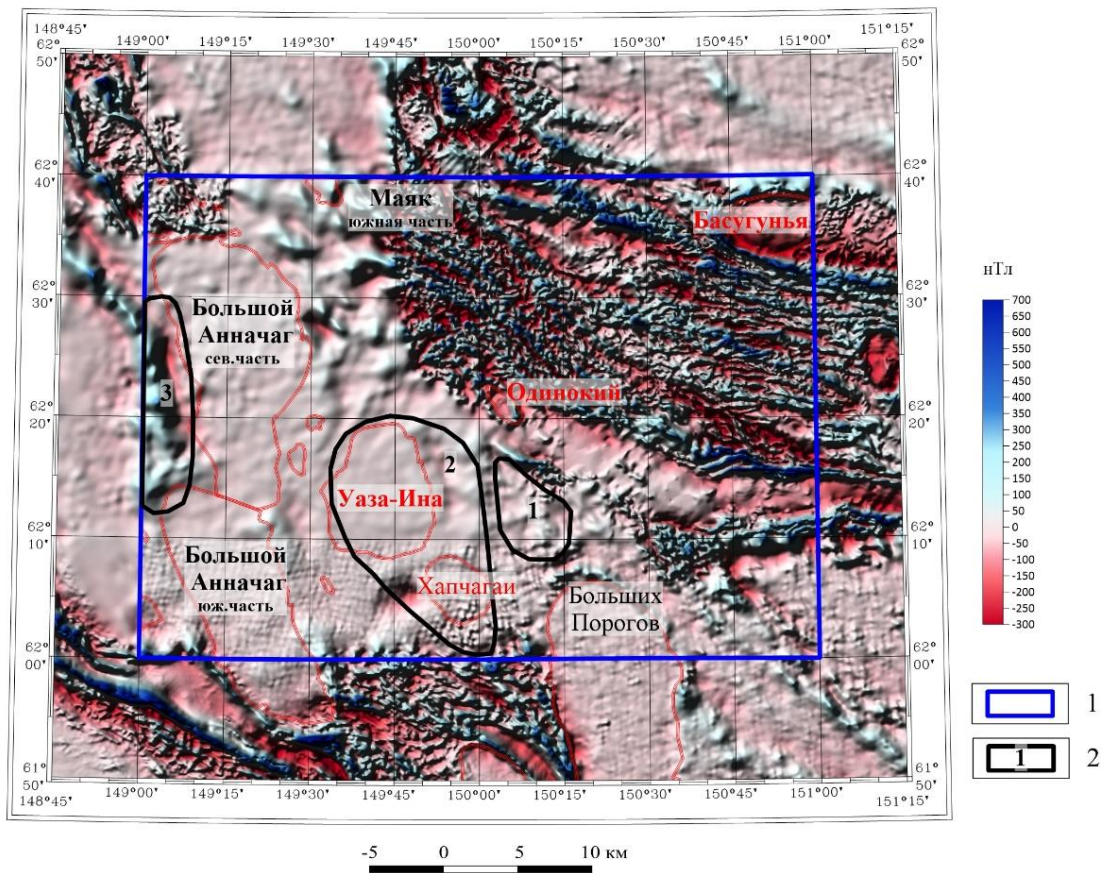


Рис. 24 Положение золоторудных узлов и закартированных интрузивных массивов на карте локальной составляющей аномального магнитного поля

1 – контур Дебинской площади, 2 – контуры исследуемых рудных узлов: 1- Кюнγκкуйский (Укразийский) золоторудно-россыпной узел, 2- Уза-Инский олово-золоторудный узел, 3- Джелгалино-Тыэллахский золоторудно-россыпной узел

## ГЛАВА 5. ВЫДЕЛЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ УЧАСТКОВ НА ДЕБИНСКОЙ ПЛОЩАДИ

На основе выявленных геофизических критериев была выделена перспективная Кюнгкуйская площадь (рис. 25). Эта площадь приурочена к зоне сочленения разноранговых разломов СЗ простирания, в т.ч. Умарский-Дебинский, и скрытых северо-восточных. На юго-западном продолжении последних, также на узлах пересечения с северо-западными разрывными нарушениями (в т.ч. Тенькинским) располагаются Пионерский, Дусканьинский и Ветренские узлы с известными крупными месторождениями золота. Все выделяемые разрывные нарушения находят уверенное выражение в геофизических полях.

Узлы пересечения разломов сопровождаются интенсивными (более 50мг/т) ореолами рассеяния золота.

Следовательно, можно сделать вывод, что Кюнгкуйская перспективная площадь располагается в зоне надынтрузивного влияния крупных магматогенных тел и приурочена к узлу пересечения системы глубинных разломов северо-западного и северо-восточного простирания, сопровождающегося ореолами рассеяния золота и элементами спутниками.

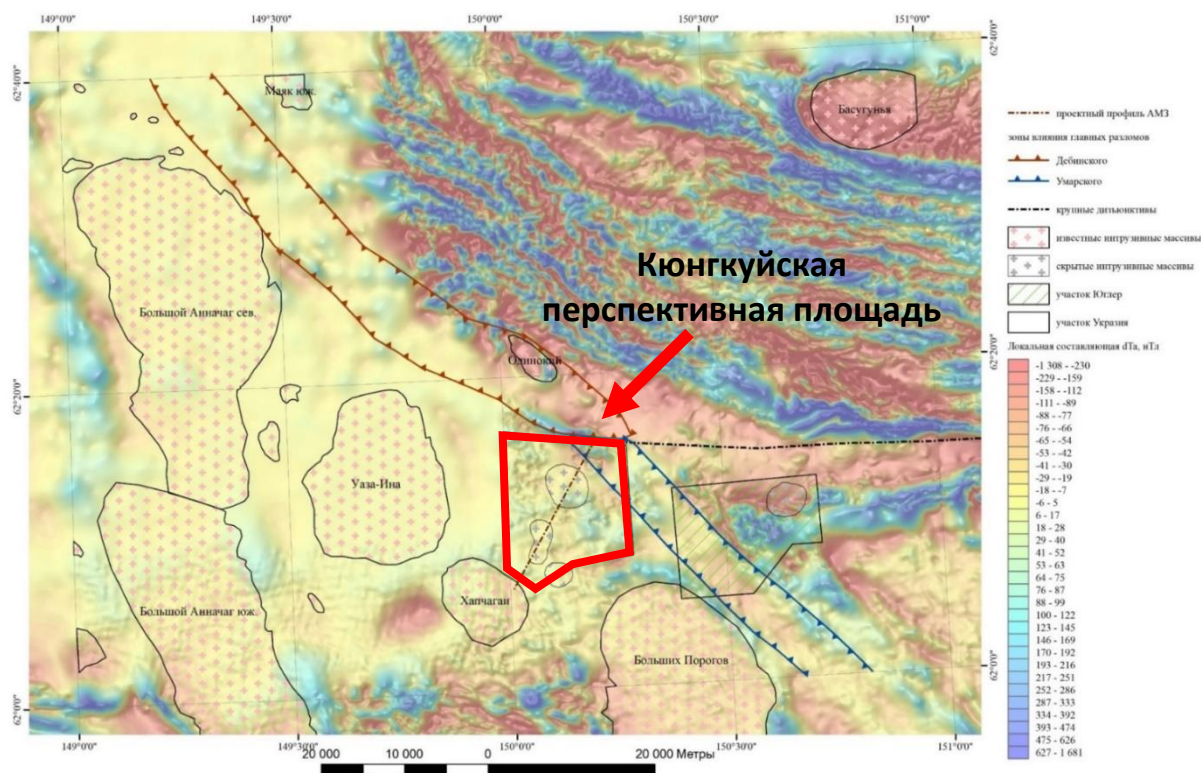


Рисунок 25. Кюнгкуйская перспективная площадь



Интрузивные массивы Уза-Ина и Хапчатай единым крупным гравитационным минимумом (по расчетам на глубинах более 2-3 км) объединяются в одно крупное тело, фрагмент которого располагается в юго-восточной и центральной частях контура Кюнгуйской площади (рис.26). Локальными отрицательными аномалиями гравитационного тела фиксируются близповерхностные (менее 0,5-1км) апофезы, предполагаемого крупного интрузивного тела.

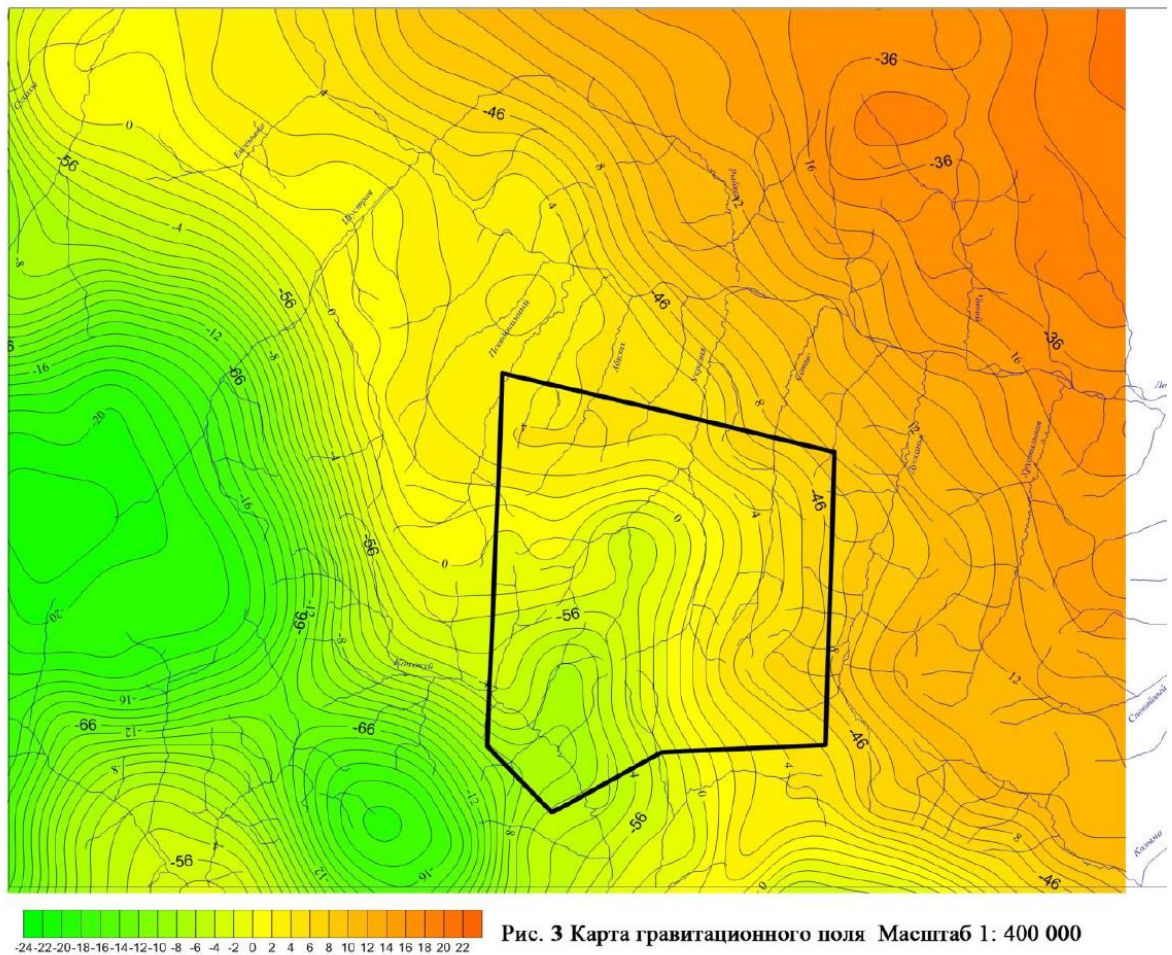


Рис. 3 Карта гравитационного поля Масштаб 1: 400 000

Рисунок 26. Положение перспективной площади на карте поля силы тяжести

Совмещенными в плане локальными положительными магнитными и гравитационными аномалиями, которые окаймляют предполагаемое положение нескрытых интрузивных тел, очевидно, отображаются площади развития контактового (гидротермально-метасоматически) измененных осадочных пород.

Выделенная Кюнгуйская перспективная площадь по результатам интерпретации геофизических данных показана на рисунке 27.

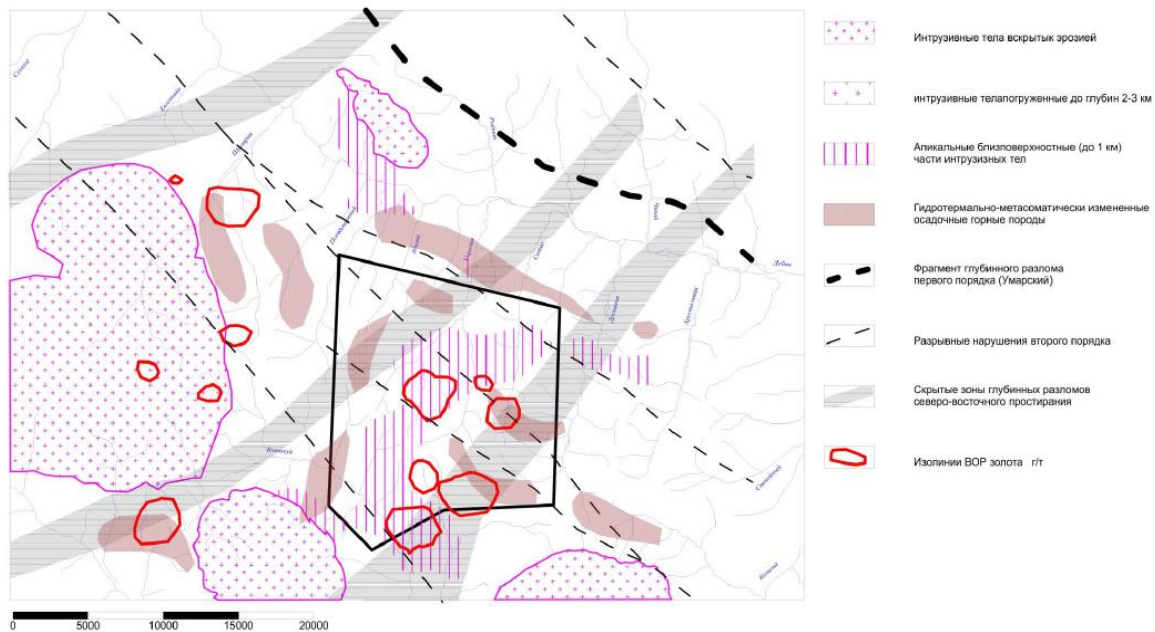


Рисунок 27. Выделенная Кюнгкуйская перспективная площадь по результатам интерпретации геофизических данных



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненного анализа геологических и геофизических материалов удалось выявить основные геолого-геофизические критерии локализации золоторудных узлов и выделить Кюнгкуйскую перспективную область на Дебинской площади. Выделенные геолого-геофизические критерии являются элементами прогнозно-поисковых геофизических моделей рудных узлов и полей с золотокварцевым оруденением в углеродисто-терригенной толще и в гранитных штоках. Разработанные модели могут быть использованы для повышения достоверности прогнозной оценки золотого оруденения в условиях Яно-Колымской провинции

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### Фондовая:

1) Альтман В.Л. ОТЧЕТ о результатах работ по объекту «Камеральная обработка материалов комплексной аэрогеофизической съемки с целью выделения объектов рангов рудного узла, рудного поля, перспективных на золотое оруденение в пределах Детринской площади». ЗАО «НПП ВИРГ-Рудгеофизика», С.-Петербург, 2012 г.

2) Шпикерман В. И., Полуботко И. В., Васькин А. Ф., Петухов В. В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Верхояно-Колымская. Лист Р-55 – Сусуман. Объяснительная записка, 2016 г. с. 35-92, с. 304 – 323, с. 352 – 356.

### Опубликованная:

3) Аристов В.В, Закономерности размещения золоторудных объектов Яно-Колымской провинции. Институт геологии рудных месторождения, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва. с.3

4) Бабаянц П.С., Блох Ю.И., Зубов Е.И., Лаврова Т.Ю., Трусов А.А. Интерпретация аэрогеофизических данных при поисках месторождений твердых полезных ископаемых. // Разведка и охрана недр, №5.2006 г. с. 18-27.

5) Блох Ю. И., Интерпретация гравитационных и магнитных аномалий. 2009 г., с. 102

6) Зеленецкий Д. С. Отчет о результатах работ по объекту «Комплексное геофизическое обеспечение оценки перспектив золотоносности терригенных и черносланцевых комплексов востока России». СПб, 2008 г.

7) Зубов Е.И. Автоматизированное выделение радиохимически специализированных комплексов горных пород и зон нарушенного распределения радиоактивных элементов средствами системы АСОМ-АГС/ЕС // Методы рудной геофизики. Рудная аэрогеофизика. – Л., НПО “Рудгеофизика”. 1989 г. с. 137 - 146.

8) Константинов М. М., 2006. Золоторудные провинции мира // Научный мир, Москва, 2006 г., с. 198.

9) Краснов А.И. Высокоостровская, Е. Б. Зубов Е. И. и др., Аэроаэрогеохимическое картирование. Методические рекомендации. Л., НПО Рудгеофизика, 1983 г. с.104

10) Политов В.К., Стружков С. Ф., Наталенко М. В., Голубев С. Ю. (ЦНИГРИ Роснедра МПР России), 2008. Основные особенности геологии и металлогении золота Центрально-Колымского региона. Руды и металлы. 2008 г. с. 16-30.