

Е. Э. Соловьев¹, М. В. Кудрин²

¹Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, г. Якутск, Россия

²Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, г. Якутск, Россия

e-mail: solov.evg@yandex.ru

e-mail.ru: kudrinmv@mail.ru

ЗОЛОТОЕ ОРУДЕНЕНИЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ АЛДАНО-СТАНОВОГО ЩИТА В АНОМАЛИЯХ ГЕОПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ

Аннотация. Проведен анализ потенциальных геофизических полей центральной части Алдано-Станового щита. На основе современной автоматизированной программы KOSCAD 3D проведены следующие трансформации гравитационных и магнитных аномалий – вычисление статистических и градиентных характеристик, двумерная энергетическая адаптивная фильтрация, расчет коэффициента парной корреляции данных. По результатам обработки и интерпретации геолого-геофизических материалов уточнено блоковое строение исследуемой территории и выделены геофизические критерии локализации золотого оруденения центральной части Алдано-Станового щита.

Ключевые слова: Алдано-Становой щит, гравитационное и магнитное поля, геофизические аномалии, трансформации, золотое оруденение.

E. E. Soloviev¹, M. V. Kudrin²

M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

² Diamond and Precious Metal Geology Institute, SB, RAS, Yakutsk, Russia

e-mail: solov.evg@yandex.ru

e-mail.ru: kudrinmv@mail.ru

GOLD DEPOSITS IN THE CENTRAL PART OF THE ALDAN- STANOVY SHIELD IN ANOMALIES OF GEOPOTENTIAL FIELDS

Abstract. The analysis of potential geophysical fields of the central part of the Aldan-Stanovoy shield was carried out. Based on the modern automated program KOSCAD 3D, the following transformations of gravity and magnetic anomalies were carried out: a calculation of statistical and gradient characteristics, two-dimensional energy adaptive filtering, and a calculation of the data correlation coefficient. Based on the results of processing and interpretation of geological and geophysical materials, the block structure of the study area was clarified and geophysical criteria for the localization of gold mineralization in the central part of the Aldan-Stanovoy shield were identified.

Keywords: Aldan-Stanovoy shield, gravitational and magnetic fields, geophysical anomalies, transformations, gold mineralization.

Введение

Центральная часть Алдано-Станового щита характеризуется высокой золотоносностью. Здесь открыты различные по генезису и масштабам многочисленные золоторудные месторождения и проявления. За всю многолетнюю историю освоения в регионе извлечено более 2000 т благородного металла [1]. В настоящее время, наблюдается существенное истощение разведанных запасов россыпного и рудного золота. В связи с этим, актуальными становятся проблемы воспроизводства минерально-сырьевой базы Алдано-Станового щита, в том числе, выявление новых перспективных площадей путем переинтерпретации имеющихся геолого-геофизических данных.

При изучении закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых важное место занимает анализ геофизической информации. На основе интерпретации геофизических

аномалий выделены и локализованы рудоносные и потенциально рудоносные площади разного ранга Верхояно-Колымской складчатой области, Забайкалья, Дальнего Востока [2, 3, 4, 5].

Цель данной работы – на основе комплексной интерпретации грави – и магнитных аномалий и их трансформант установить геофизические критерии локализации золотого оруденения центральной части Алдано-Станового щита, на примере Верхнетимптонского и Верхнегонамского рудных районов.

Исследуемая территория расположена в зоне влияния Становой зоны разломов (шов), разделяющего Алданский щит и Становую складчатую область. По современным представлениям тектонического анализа, регион находится на границе Тындинского (TN) и Нимнырского (ANM) террейнов, которая представлена Амгинской (am) и Коларской (kl) зонами тектонического меланжа (рис. 1). Здесь выделяются древние структуры кристаллического фундамента (южная часть Алданского щита, северное окончание Становой складчатой области), осложнённые структурами этапа глыбовых деформаций среднего протерозоя (?) и мезозоя и платформенный чехол. Интрузивные, ультраметаморфические и субвулканические образования широко развиты в районе. По составу они варьируют от ультраосновных до кислых со многими переходными разностями.

Значительную роль в геологическом строении описываемой территории играют разрывные нарушения. По направлениям разломы подразделяются на три основные системы: северо-западные, субширотные, северо-восточные. Они сопровождаются узкими зонами катаклаза, глиной трения, оперяющей мелкой трещиноватостью, хлоритизацией, окварцеванием. Наиболее древними по времени заложения предполагаются северо-западные разломы, направления которых совпадают с направлением древних архейских структур.

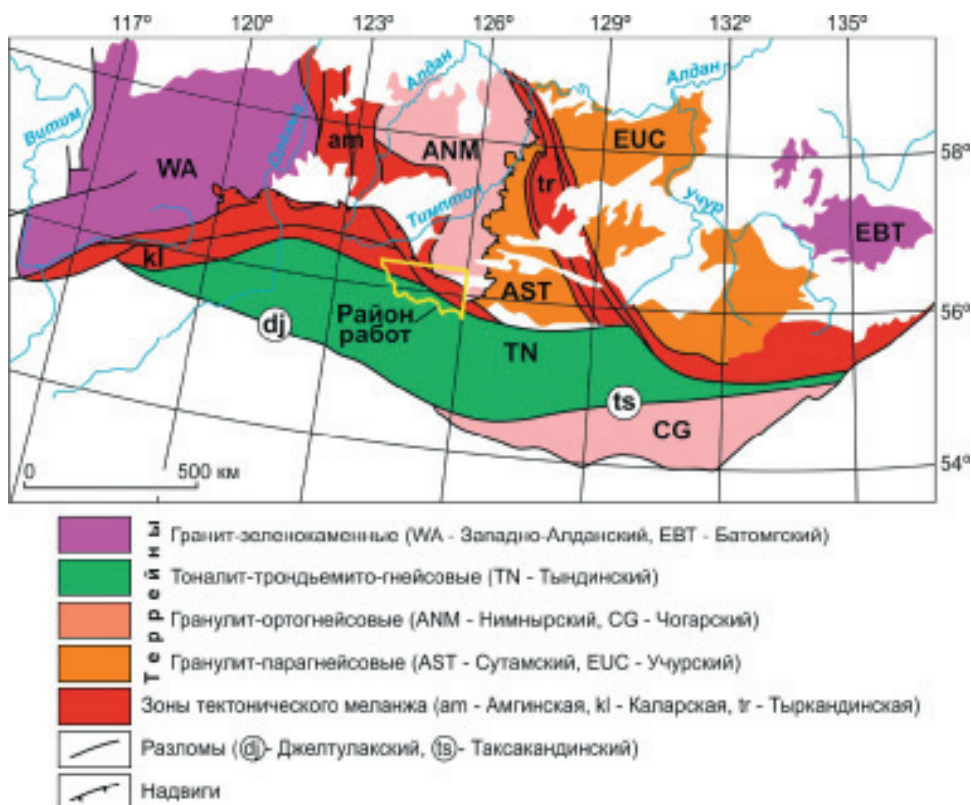


Рис. 1. Схема террейнов Алдано-Станового щита по [6] и расположение площади исследований Батомгский (EBT) и Учурский (EUC) террейны образуют Восточно-Алданский супертеррейн, Нимнырский (ANM) и Сутамский (AST) террейны – Центрально-Алданский супертеррейн

Fig. 1. The scheme of the Aldan-Stanovoy shield terranes according to [6] and the location of the research area. The Batomg (EBT) and Uchur (EUC) terranes form the East Aldan Superterrane, the Nimnyr (ANM) and Sutam (AST) terranes form the Central Aldan Superterrane.

В пределах изучаемой площади известны Верхнегонамский и Верхнетимптонский рудные районы, которые отнесены к Амгино-Становой металлогенической зоне [6]. Протяженность Амгино-Становой металлогенической зоны составляет не менее 700 км. Северный её отрезок имеет почти субмеридиональное простирание, а южный – субширотное. Преобладающими типами минерализации в Верхнетимптонском рудном районе являются золото-кварцевый мало-сульфидный и золото-серебряный (полисульфидно-кварцевый) в березитах, наложенных на зоны диафторитов [7]. Отмечается, что для локализации рудного золота важное значение имеют узлы и зоны позднемеловой активизации (юра-мел) с мезозойским магматизмом, наложенные на древние (поздний архей-протерозой) зоны бластомилонитов Северо-Станового краевого шва.

Материалы и методы исследований

В работе использованы схемы оцифрованных магнитных и гравитационных (в условном уровне) аномалий различных масштабов [8]. Увязка гравитационных аномалий выполнена по гравиметрической карте в редукции Буге ($\sigma = 2,67 \text{ г/см}^3$) масштаба 1:5 000 000 [9].

Выявление закономерностей размещения золотого оруденения исследуемой территории в геофизических аномалиях осуществлялось на основе трансформации геопотенциальных полей. Основной целью трансформации геофизических полей является наиболее полное разделение исходного наблюдаемого поля на составляющие, каждая из которых отвечает объектам разной геологической природы, залегающих на разной глубине или отличающихся другими признаками. Любые трансформации гравитационных и магнитных аномалий опираются на некоторые априорные геологические предпосылки: интервалы глубин ожидаемых объектов, размеры аномалий, их градиенты и т.д. [10, 11].

В настоящее время существует множество различных методов трансформации аномалий [12, 13]. Большинство из них основано на известном соответствии порядка геологических структур и отвечающих им аномалий: чем крупнее аномалеобразующий объект и чем глубже он залегает, тем более обширные по площади и малые по градиенту аномалии он создает, и наоборот, чем меньше размеры объекта и глубина его залегания, тем ограниченнее аномалия по площади и резче его градиенты.

Трансформации гравитационного и магнитного полей выполнены в автоматизированной программе KOSCAD 3D, предназначенного для обработки геолого-геофизических данных на основе статистического и спектрально-корреляционного анализов. Выходные данные формировались в программе Surfer 15.

В начале исследований, в базу данных введен комплекс цифровой геоинформации, измеренной в точках двумерной (X, Y, F) нерегулярной сети наблюдений. Ввод данных производился с помощью модуля «Ввод данных из системы Surfer», предварительно подготовленных в цифровом виде. Далее проводилась интерполяция регулярных сетей. Для повышения детальности, точки измерений были учащены до размеров 100×100. Следующим этапом была послойная экстраполяция сети в направлении профилей и вкрест их простирания. Экстраполяция проводится для исключения краевых эффектов, возникающих при фильтрации геопотенциальных полей и пересчете их статистических характеристик. Качественные результаты получаются, если число экстраполируемых точек слева, справа, снизу и сверху не превышает 5-15 % от общего числа пикетов или профилей сети. В данном случае, размер площади был экстраполирован на 25 точек со всех сторон поля.

После проведения соответствующих вычислений, перечисленными программами, полученные результирующие карты, были приведены к исходным размерам посредством модуля «Фрагментация сети».

В ходе исследований по этапу вероятностно-статистического анализа геофизических данных проведена следующая обработка геофизических полей:

1. Расчет двумерной автокорреляционной функции для выбора оптимального размера скользящего окна.
2. Оценка статистических характеристик геопотенциальных полей в окне «живой» формы.
3. Оценка градиентных характеристик геопотенциальных полей.
4. Двумерная адаптивная энергетическая фильтрация полей с выделением локальной и региональной составляющих в фиксированном окне.
5. Расчёт коэффициента корреляции гравитационного и магнитного полей в скользящем окне.

Расчет двумерной автокорреляционной функции

Двумерная автокорреляционная функция (ДАКФ) используется для описания корреляционных свойств двумерных геофизических полей. Данная функция вычисляется по формуле [14]:

$$D(k, m) = \frac{1}{(P-k) \cdot (N-m)} \cdot \sum_{j=1}^{P-k} \sum_{i=1}^{N-m} [f(j, i) \cdot f(j+k, i+m)]$$

где $f(i, j)$ – значение поля на j -ом профиле в i -точке; m – смещение по пикетам; k – смещение по профилям; N – число точек на профиле; P – число профилей.

ДАКФ для гравитационного и магнитного полей рассчитана с целью определения основного простирания аномалий изучаемых полей, учета изменения корреляционных свойств исходных данных по различным направлениям и обоснованного выбора размеров и наклона окна фильтрации для двумерных линейных фильтров (рис. 2).

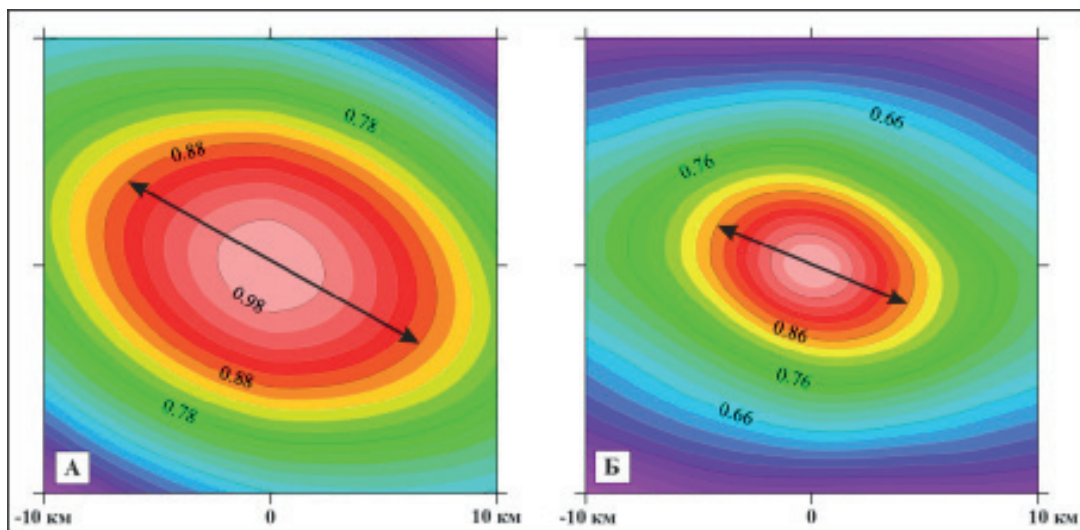


Рис. 2. Двумерная автокорреляционная функция значений гравитационного (А) и магнитного (Б) полей

Fig. 2. Two-dimensional autocorrelation function of values of gravitational (A) and magnetic (B) fields

Анализ двумерной автокорреляционной функции показал, что энергоемкие гравитационные аномалии исследуемой территории характеризуются вытянутой формой размерностью 14×10 км и северо-западным простиранием (рис. 2А). Оптимальные размеры статистического «окна» для проведения трансформаций по значимым величинам ДАКФ (0,8 – 1) составили 71×51 элементарных точек и наклон окна фильтрации (-2). Магнитные аномалии имеют размеры 11×9 км и ориентированы в северо-западном направлении. Размеры «окна» составили 56×46 элементарных ячеек, наклон окна – (-2) (рис. 2 Б).

Оценка статистических характеристик геопотенциальных полей

Оценка статистических характеристик геополей производилась с помощью блока «Статистика» автоматизированной системы KOSCAD 3D. Путем процедуры расчета статистических характеристик геополей можно получить поля среднего, дисперсии, асимметрии, эксцесса, моды, медианы и энтропии изучаемого геопотенциального поля. Анализ их особенностей позволяет успешно решать задачи геологического картирования и районирования, а также эффективно выделять аномальные признаки изучаемого массива данных [15].

Оценка градиентных характеристик геопотенциальных полей

Определение статистических оценок градиентов геофизических полей позволяет детализировать особенности поля и подчеркнуть границы аномальных объектов. При анализе и интерпретации результатов данной трансформации необходимо учитывать следующую информацию:

- границы аномальных объектов отмечаются экстремумами в полях градиентов вдоль осей и максимумами в поле полного градиента;
- поле направления полного градиента позволяет оценить простираание аномалий в каждой точке исходной сети наблюдений, а контрастные переходы, от минимальных значений к максимальным значениям, контролируют положение осей аномалий [15].

Расчет полного градиента выполнен в автоматизированной программе KOSCAD 3D в модуле «Градиентные характеристики». Данная программа предназначена для вычисления в каждой точке исходной сети градиента поля вдоль профилей, вкрест простираания профилей, между слоями сети, полного градиента поля и направления полного градиента в плоскостях слоев и плоскостях разрезов.

Двумерная адаптивная энергетическая фильтрация геопотенциальных полей

Одной из основных задач обработки геофизических полей является выделение сигналов (аномалий) на фоне помех. С этой целью используются разнообразные приемы преобразования исходного поля, которые в конечном итоге описываются с позиции линейной или нелинейной фильтрации. Обоснованный выбор (или задание) математической модели поля и соответствующая ей постановка задачи преобразования поля являются исходным положением (принципом) в обработке геофизических данных [13].

Двумерной фильтрацией в геофизике принято называть фильтрацию по площади, которая сводится к реализации операции свертки в окне размером в NO пикетов и MO профилей. Выбор параметров фильтра осуществляется на основе анализа двумерной автокорреляционной функции исходного поля. Наклон фильтра совпадает с корреляционным направлением поля по площади наблюдения, которое также можно определить по ДАКФ [15].

Использование двумерного адаптивного фильтра позволяет эффективно обрабатывать нестационарные, в смысле спектрально-корреляционных характеристик, по площади поля. Большинство реально наблюдаемых полей нестационарны по площади, поэтому использование данного фильтра дает более корректные результаты, чем применение обычных двумерных фильтров с постоянными параметрами.

Расчёт коэффициента корреляции гравитационного и магнитного полей в скользящем окне

Расчет коэффициента корреляции между двумя признаками проводился в автоматизированной программе KOSCAD 3D в скользящем двумерном окне фиксированных размеров. Результирующая карта содержит коэффициент корреляции между двумя признаками. Модуль позволяет оценить значение обычного коэффициента корреляции

$$r_{xy} = \frac{1}{\sqrt{\sigma_x^2 \sigma_y^2}} \sum_{i,j} (x_i - \bar{x})(y_j - \bar{y}),$$

где $\bar{x}, \bar{y}, \sigma_x, \sigma_y$ соответственно оценки средних значений и среднеквадратических отклонений признаков x и y [15].

Результаты исследований. Характеристика гравитационных и магнитных аномалий

Гравитационные аномалии. В планетарном масштабе Алдано-Становому щиту соответствует глубокий минимум поля силы тяжести I порядка, обусловленный разуплотнением земной коры и верхней мантии [5]. В пределах щита выделяются три гравитационных блока, увязанных с тектоническими зонами – южным фрагментом Нимнырского террейна, Коларской зоной тектонического меланжа и северным окончанием Тындинского террейна (рис. 3). Блоки ограничены гравитационными ступенями северо-запад-западного простирания и коррелируют, с севера на юг, с Южно-Алданским и Становым региональными разломами. Наряду с субширотными, на схеме среднечастотной составляющей поля силы тяжести фиксируются две крупные гравитационные ступени северо-восточной ориентировки в центральной и юго-западной части рассматриваемой территории. Первая, соответствует Селигдар-Верхнетимптонской гравитационной аномалии и характеризует сокращенную мощность до 36-38 км коры пониженной плотности [5]. Вторая гравитационная ступень, учитывая структуру и интенсивность аномалий силы тяжести, вероятно, отражает глубинные неоднородности схожей природы. Поперечные к основному простиранию тектонических структур гравитационные ступени фиксируют блоковое строение Коларской тектонической зоны и указывают на увеличение мощности земной коры в юго-восточном направлении.

Магнитные аномалии. Структура аномального магнитного поля обусловлена тектоническим строением рассматриваемой территории. Выделяются три блока, контрастирующие интенсивностью и характером магнитных аномалий (рис. 4).

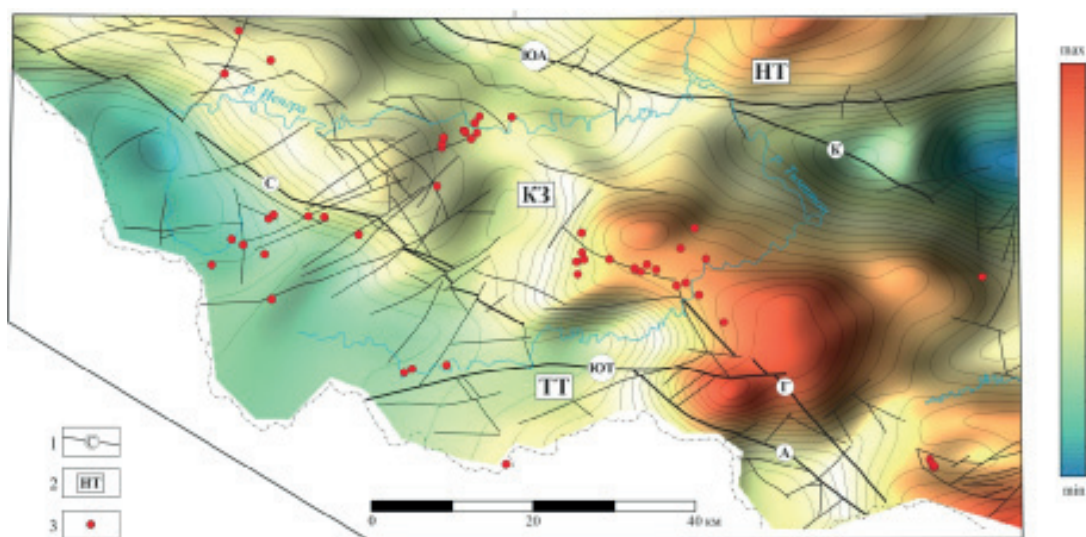


Рис. 3. Среднечастотная составляющая гравитационного поля исследуемой территории

1 – разломы: ЮА – Южно-Алданский, К – Кабактинский, С – Становой, ЮТ – Южно-Тимптонский, Г – Гонамский, А – Апсаханский, 2 – тектонические зоны: НТ – Нимнырский террейн, КЗ – Коларская зона тектонического меланжа, ТТ – Тындинский террейн, 3 – золоторудные месторождения.

Fig. 3. The average frequency component of the gravitational field of the studied area

1 – faults: UA – Yuzhno-Aldansky, K – Kabaktinsky, S – Stanovoy, UT – Yuzhno-Timptonsky, G – Gonamsky, A – Apsakhansky, 2 – tectonic zones: NT – Nimnyrsky terrane, KZ – Kolar zone of tectonic melange, TT – Tyndinsky terrane, 3 – gold deposits.

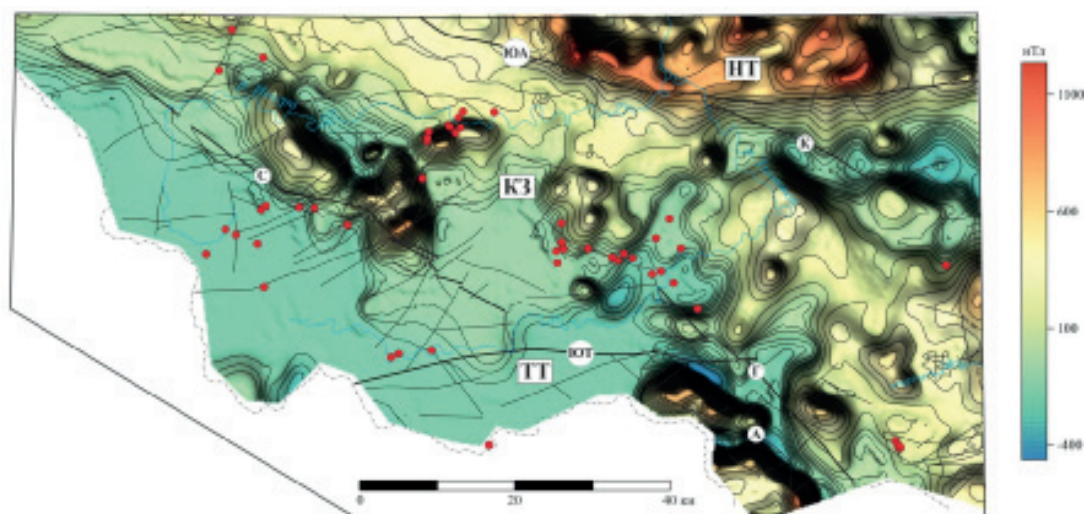


Рис. 4. Аномальное магнитное поле исследуемой территории

Условные обозначения см. рис. 3

Fig. 4. Anomalous magnetic field of the studied area

For symbols, see Fig. 3

Южному сегменту Нимнырского террейна соответствуют максимальные значения напряженности магнитного потенциала до 1012 нТл. Коларская зона отделена от Нимнырского террейна полосой высоких градиентов магнитного поля шириной до 6 км. Особенностью тектонической зоны является тенденция убывания среднего уровня магнитного потенциала в южном направлении и наличие дискордантных по отношению к генеральному простиранию структур Байкало-Алдано-Станового мегаблока линейных аномалий северо-восточной ориентировки. Повсеместно в Коларской зоне наблюдаются разноориентированные локальные изометричные и линейные магнитные аномалии положительного знака. Предполагается, что они сопряжены со скрытыми телами основных и ультраосновных пород, корни которых находятся в подошве литосферы на значительных глубинах [16, 5].

Северное окончание Тындинского террейна характеризуется спокойным слабоаномальным уровнем магнитного поля. Здесь фиксируются наиболее низкие значения магнитных аномалий -180 – -200 нТл. Сглаженный облик и низкая интенсивность геопотенциального поля связаны с широким развитием поздне- и синорогенных слабомагнитных гранитоидов.

Обсуждение. Трансформированные геофизические поля

Из анализа выполненных оценок статистических характеристик геопотенциальных полей в окне «живой» формы установлено, что наибольшей информативностью при выделении геологических неоднородностей характеризуется параметр дисперсии гравитационного поля (рис. 5).

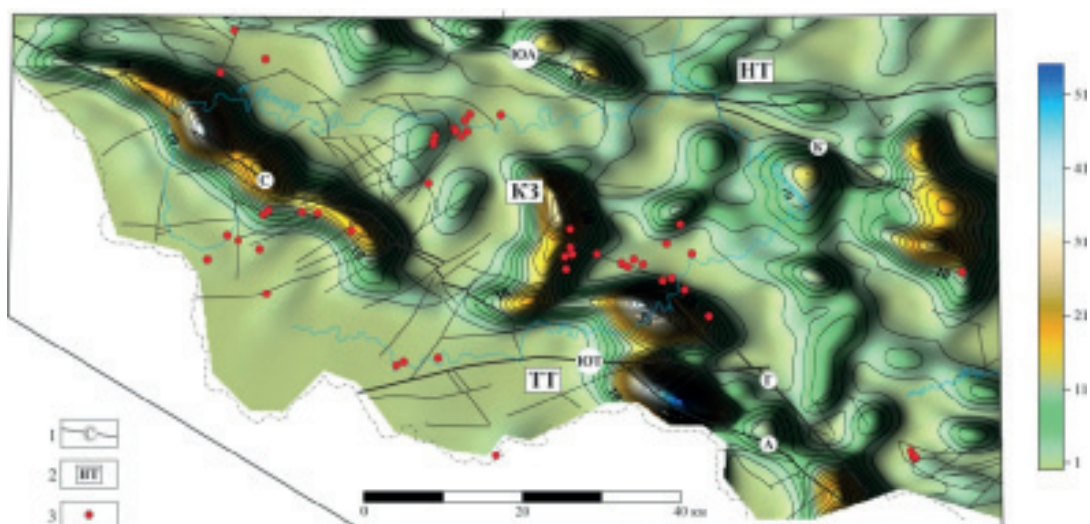
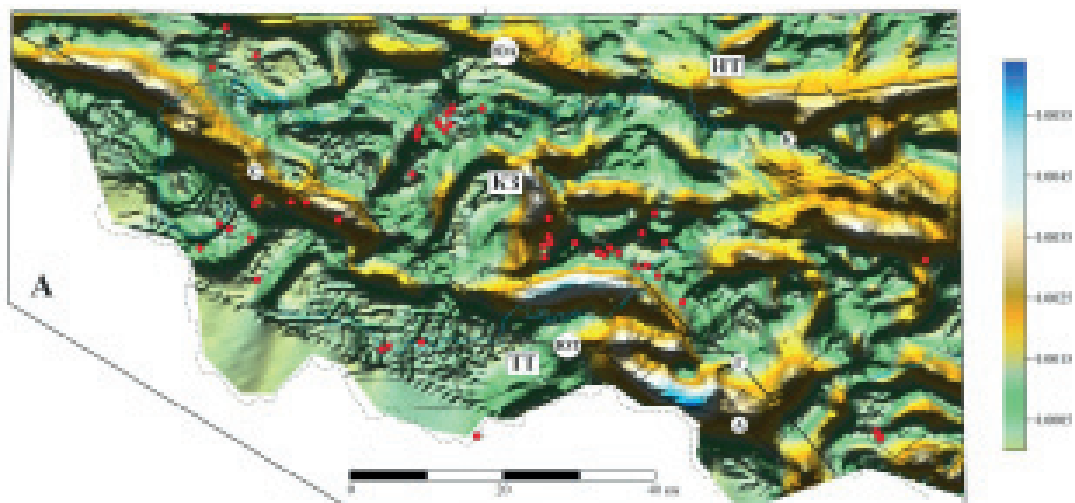


Рис. 5. Дисперсия аномального гравитационного поля исследуемой территории
Условные обозначения см. рис. 3.

Fig. 5. Dispersion of the anomalous gravitational field of the studied territory
For symbols, see Fig. 3.

На схеме трансформант максимальные значения дисперсии геопотенциальных полей фиксируют границы тектонических зон, а также указывают на развитие поперечных геологических структур в Коларской зоне. Отмечается приуроченность золотого оруденения к высокоинтенсивным значениям дисперсии гравитационного поля.

Результаты расчета градиентных характеристик грави – и магнитного полей показали, что экстремальными значениями выделяются тектонические границы, увязанные с Южно-Алданским и Становым разломами. На схемах трансформант подчеркивается сложное строение Коларской зоны тектонического меланжа. Помимо дискордантных линейных неоднородностей северо-восточного простирания, наблюдаются линейные аномалии субширотной ориентировки, а также кольцевого характера (рис. 6).



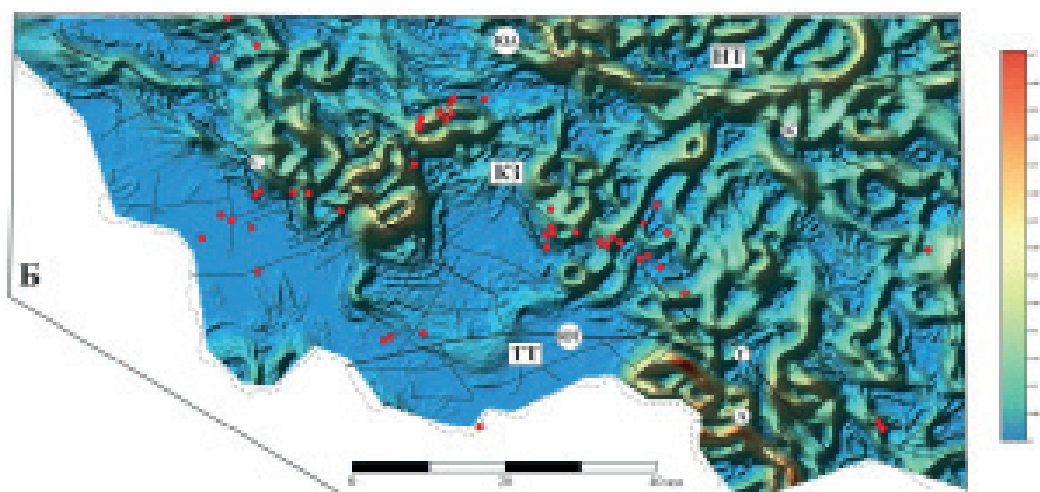


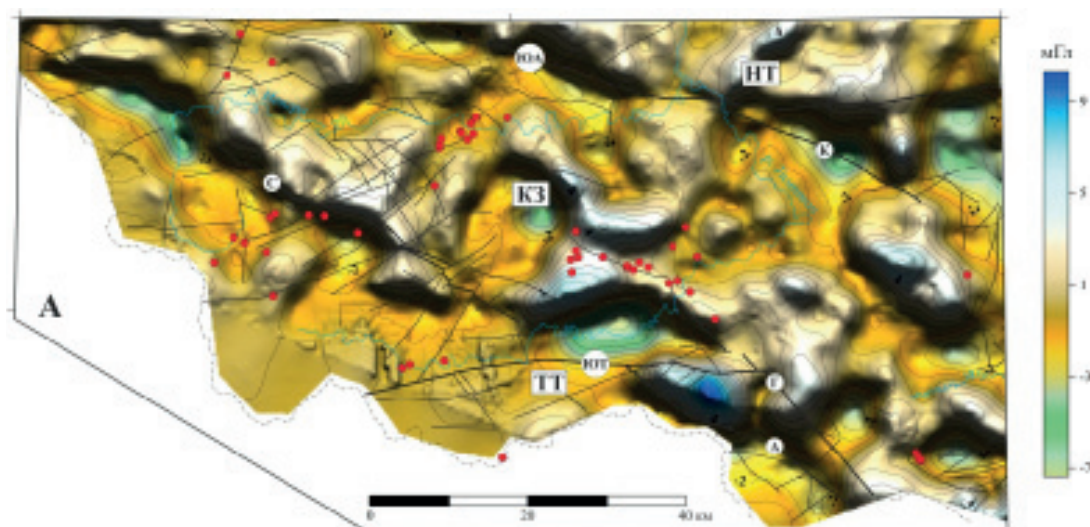
Рис. 6. Полные градиенты аномального гравитационного (А) и магнитного (Б) полей исследуемой территории

Условные обозначения см. рис. 3.

Fig. 6. Full gradients of anomalous gravitational (A) and magnetic (B) fields of the studied territory
For symbols, see Fig. 3.

В аномалиях полного градиента гравитационного потенциала золотое оруденение, преимущественно, тяготеет к высокоинтенсивным линейным аномалиям северо-западного и северо-восточного простираний, а также к зонам их сопряжений. В трансформированном магнитном поле золоторудные месторождения приурочены, в основном, к аномалиям положительного знака различной формы и простирания.

На схеме локальной составляющей гравитационного поля зонами высоких горизонтальных градиентов выделяются границы основных тектонических зон (рис. 7А).



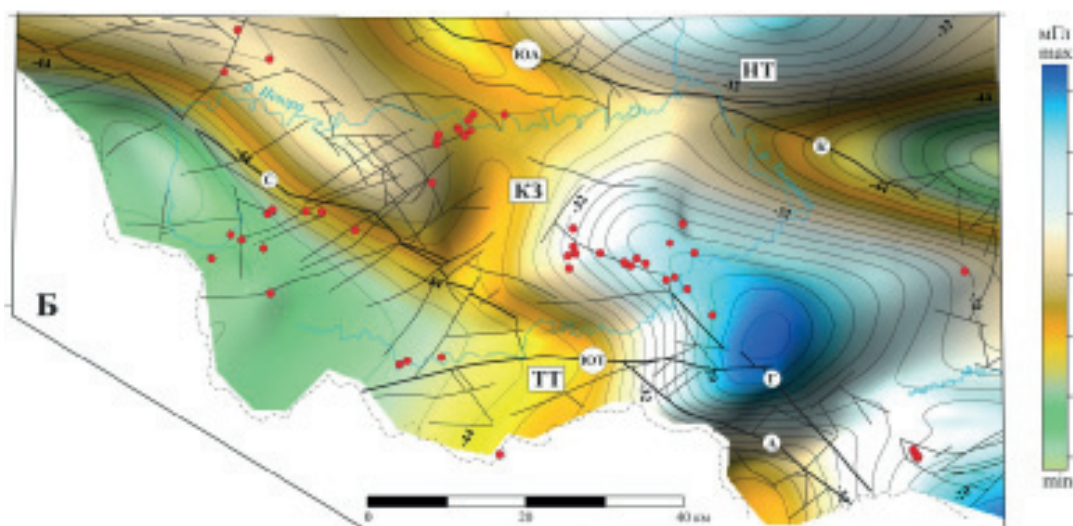


Рис. 7. Локальная (А) и региональная (Б) составляющие гравитационного поля исследуемой территории
Условные обозначения см. рис. 3

Fig. 7. Local (A) and regional (B) components of the gravitational field of the studied territory
For symbols, see Fig. 3

В Коларской зоне тектонического меланжа кроме линейных локальных аномалий отмечается повышенная концентрация изометричных минимумов, обрамленных полосами повышенных значений гравитационного поля. Выделенные участки разуплотнения рассматриваются исследователями в качестве палеомагматических очагов [5, 16]. Известные месторождения золота размещаются в узких линейных локальных аномалиях отрицательного знака, в зонах высоких градиентов, увязанных со Становым разломом, а также в положительных аномалиях, обрамляющих гравитационные минимумы.

Региональная компонента гравитационного поля отражает характер строения рельефа кристаллического фундамента рассматриваемой территории (рис. 7Б). Фундамент консолидированной коры центральной и юго-западной части Коларской зоны и, вероятно, Тындинского террейна осложнен широкими до 9,5 км зонами разуплотнения. Отмечается приуроченность золотого оруденения к склонам сводовых поднятий фундамента близ зон разуплотнения северо-восточной ориентировки.

На схеме локальной составляющей магнитного поля выделяются аномалии, преимущественно, изометричной формы и положительного знака (рис. 8А). Исключение составляют редкие линейные аномалии, коррелирующие с разрывными структурами. Высокочастотные аномалии отражают близповерхностные магнитовозмущающие объекты, связанные, вероятно, со вскрытыми и нескрытыми интрузивами.

Региональные аномалии магнитного потенциала свидетельствуют о наличии двух типов кристаллического основания в пределах рассматриваемой территории (рис. 8Б). Первый, в структурном отношении охватывает Нимырский террейн и большую часть Коларской тектонической зоны и характеризуется высокой интенсивностью магнитных аномалий. Второй тип, расположен, преимущественно, в пределах Тындинского террейна, ему соответствует спокойный слабоинтенсивный уровень магнитного поля. Предполагается, что первый тип образован магнитовозмущающими архейскими образованиями, второй – слабомагнитными комплексами протерозойского возраста. Известные золоторудные месторождения размещаются в полосе горизонтальных градиентов регионального магнитного поля шириной 5-6 км, отражающих верхнюю кромку магнитовозмущающих масс.

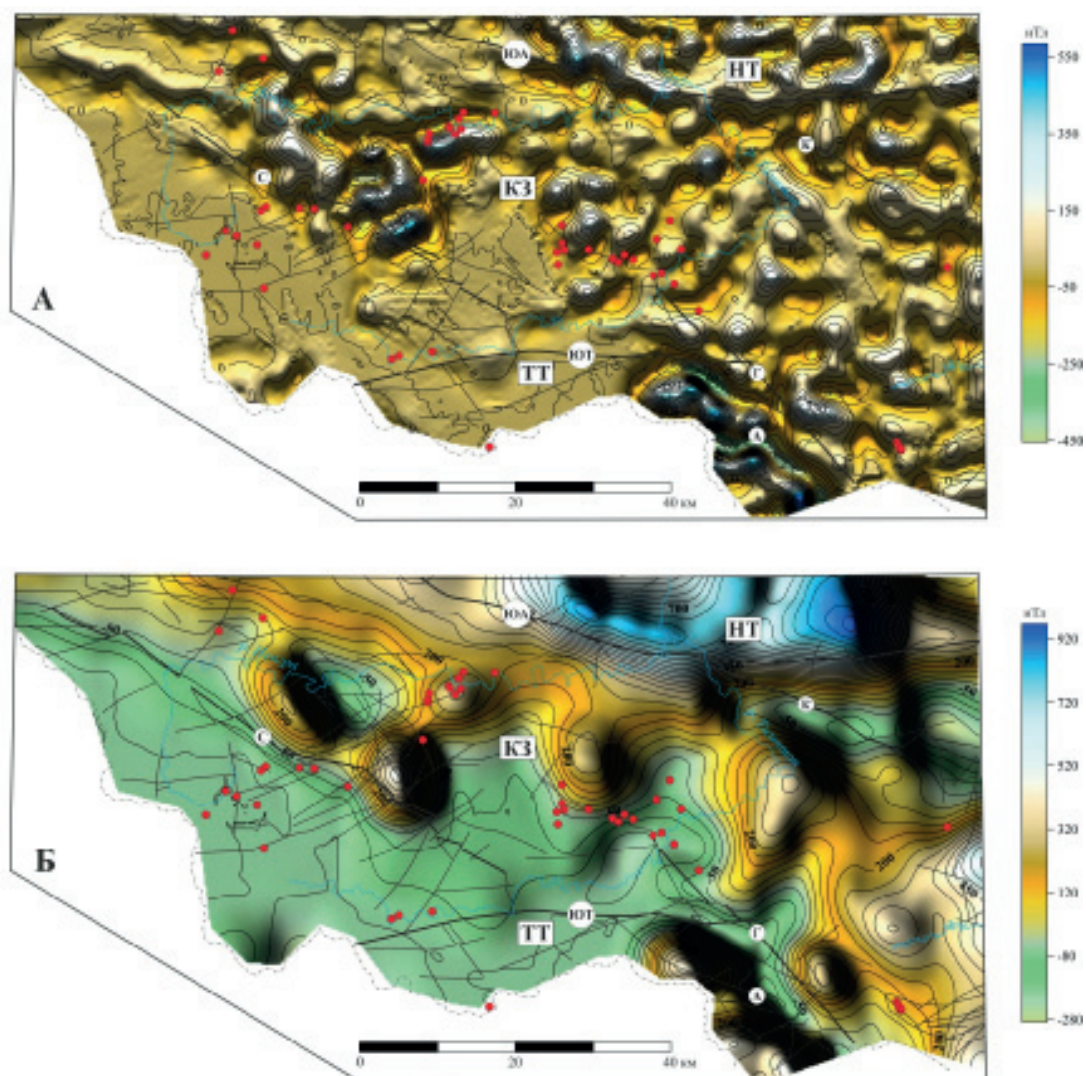


Рис. 8. Локальная (А) и региональная (Б) составляющие магнитного поля исследуемой территории

Условные обозначения см. рис. 3

Fig. 8. Local (A) and regional (B) components of the magnetic field of the studied territory

For symbols, see Fig. 3

Для разрывных структур исследуемой территории характерны высокие значения коэффициента корреляции гравитационного и магнитного полей (рис. 9). Установлено, что золотое оруденение локализуется в зонах с высоким коэффициентом парной корреляции.

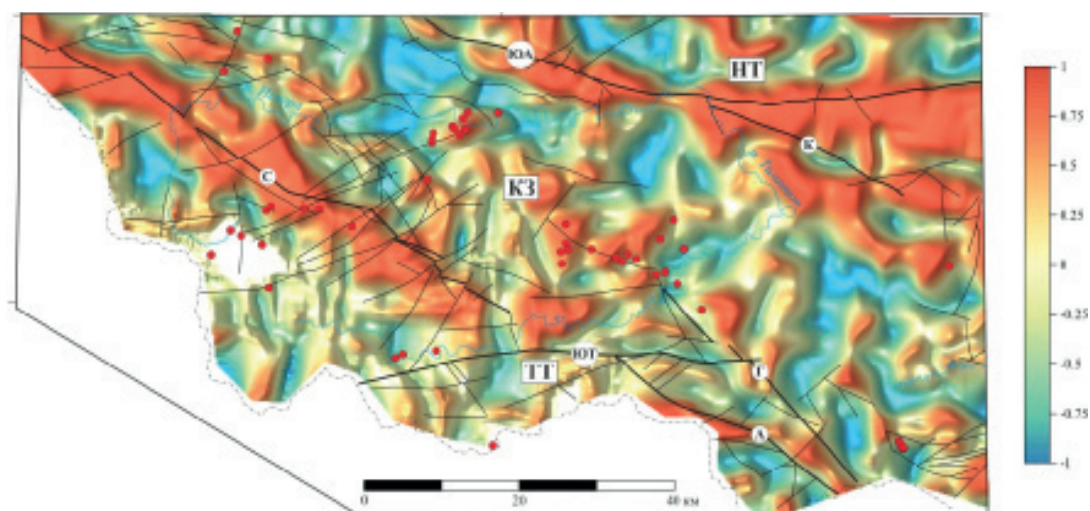


Рис. 9. Схема значений коэффициентов корреляции гравитационного и магнитного полей исследуемой территории

Условные обозначения см. рис. 3

Fig. 9. Diagram of the values of the correlation coefficients of the gravitational and magnetic fields of the studied territory

For symbols, see Fig. 3

Закключение

В пределах Алдано-Станового щита выделяются три гравитационных блока, увязанные с южным фрагментом Нимнырского террейна, Коларской зоной тектонического меланжа и северным окончанием Тындинского террейна. В структуре аномального магнитного поля также отмечаются три блока, контрастирующие интенсивностью и характером магнитных аномалий. Разноориентированные локальные изометричные и линейные магнитные аномалии положительного знака отражают скрытые тела основных и ультраосновных пород.

На основе анализа трансформированных геофизических полей установлены следующие закономерности проявления золотого оруденения. Известные золоторудные месторождения рассматриваемой территории приурочены к высокоинтенсивным значениям дисперсии и полного градиента гравитационного потенциала северо-западного и северо-восточного простираний, а также к зонам их сопряжений. Оруденение локализуется в положительных аномалиях, обрамляющих гравитационные минимумы, отражающих кислые магматические образования.

Отмечается тяготение золотого оруденения к градиентам региональных геофизических аномалий положительного знака, увязанных со склонами сводовых поднятий фундамента близ зон разуплотнения северо-восточной ориентировки. Дополнительным геофизическим критерием размещения золоторудных месторождений центральной части Алдано-Станового щита является их локализация в зонах с высоким коэффициентом парной корреляции.

Литература

1. Молчанов, А.В. Золоторудные районы и узлы Алдано-Становой металлогенической провинции / А.В. Молчанов, А.В. Терехов, В.В. Шатов, О.В. Петров, К.А. Кукушкин, Д.С. Козлов, Н.В. Шатова – Текст: непосредственный // Металлогения, 2017. – С. 93-111.
2. Адаров, Т.Д. Геофизические исследования рудоконтролирующих структур Южного Верхоянья / Т.Д. Адаров, Е.Э. Соловьев. – Текст : непосредственный // Разведка и охрана недр, 2013. № 12. С. 33-35.

3. Фридовский, В.Ю. Орогенные золоторудные месторождения со значительным ресурсным потенциалом центральной части Яно-Колымского пояса / В.Ю. Фридовский, Л.И. Полуфунтикова, Г.Н. Гамянин, Е.Э. Соловьев // Разведка и охрана недр, 2015. – № 11. – С. 3-9.
4. Духовский, А.А. Выделение по гравиметрическим данным разноранговых рудоносных площадей как основы для прогнозных построений (на примере складчатых областей Забайкалья – Дальнего Востока) / А.А. Духовский, Н.А. Артамонова – Текст: непосредственный // Отечественная геология. 2005. – № 4. – С. 77–84.
5. Хомич, В.Г. Структурная позиция крупных золоторудных районов Центрально-Алданского (Якутия) и Аргунского (Забайкалье) супертеррейнов / В.Г. Хомич, Т.Г. Борискина. – Текст: непосредственный // Геология и геофизика, 2010, т. 51, № 6, С. 849-862.
6. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / Российская Академия наук, Сибирское отделение, Институт геологии алмаза и благородных металлов [и др.]; ответственные редакторы: Л. М. Парфенов, М. И. Кузьмин. – Москва: Наука/Интерпериодика, 2001. – 570 с. – Текст: непосредственный.
7. Молчанов, А.В. Золоторудные районы и узлы Алдано-Становой металлогенической провинции / А.В. Молчанов, А.В. Терехов, В.В. Шатов, О.В. Петров, К.А. Кукушкин, Д.С. Козлов, Шатова Н.В. – Текст: непосредственный // Металлогения, 2017. – С. 93-111.
8. Гравиметрическая карта Республики Саха (Якутия). <https://vsegei.ru/ru/info/gisatlas/dvfo/yakutia/grav.jpg>
9. Гравиметрическая карта России и прилегающих территорий масштаба 1:2500000. Отв. редакторы: Степанов П.П., Янушевич М.А. Министерство природных ресурсов и экологии РФ, 2016.
10. Миронов, В.С. Курс гравиразведки: учебник для вузов / В.С. Миронов. – Ленинград: Недра, 1980. – 543 с. – Текст: непосредственный
11. Серкерев, С.А. Гравиразведка и магниторазведка: Учеб. для студентов вузов / С.А. Серкерев – Москва: Недра, 1999. 437 с. – Текст: непосредственный.
12. Никитин, А. А. Развитие статистических приемов обработки и интерпретации геофизических полей в компьютерной технологии КОСКАД 3D / А.А. Никитин, А. В. Петров, С. В. Зиновкин. – Текст: непосредственный // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. Москва, 2007. № 6. – С. 68-74.
13. Никитин, А. А. Теоретические основы обработки геофизической информации: учебное пособие для студентов вузов / А.А. Никитин, А.В. Петров. – Москва: ЦИТвП, 2008. С. 112. – Текст: непосредственный
14. Никитин, А. А. Теоретические основы обработки геофизической информации: учебник для вузов / А.А. Никитин. – Москва: Недра, 1986. – 342 с. – Текст: непосредственный.
15. Никитин, А.А. Руководство пользователя. KOSCAD 3d / А.А. Никитин, А.В. Петров, А.С. Алексакин. – 2019.
16. Абрамов, В.А. Глубинное строение Центрально-Алданского района / В.А. Абрамов; Российская академия наук, Дальневосточное отделение, Тихоокеанский океанологический институт. – Владивосток: Дальнаука, 1995. – 180 с. – Текст: непосредственный.

References

1. Molchanov, A.V. Zolotorudnye rajony i uzly Aldano-Stanovoj metallogenicheskoy provincii / A.V. Molchanov, A.V. Terehov, V.V. Shatov, O.V. Petrov, K.A. Kukushkin, D.S. Kozlov, N.V. Shatova – Tekst: neposredstvennyj // Metallogeniya, 2017. – S. 93-111.
2. Adarov, T.D. Geofizicheskie issledovaniya rudokontrolirujushhih struktur Juzhnogo Verhojan'ja / T.D. Adarov, E.Je. Solov'ev. – Tekst: neposredstvennyj // Razvedka i ohrana nedr, 2013. № 12. S. 33-35.
3. Fridovskij, V.Ju. Orogennye zolotorudnye mestorozhdenija so znachitel'nyy resursnyy potencialom central'noj chasti Jano-Kolym'skogo pojasa / V.Ju. Fridovskij, L.I. Polufuntikova, G.N. Gamjanin, E.Je. Solov'ev // Razvedka i ohrana nedr, 2015. – № 11. – S. 3-9.

4. Duhovskij, A.A. Vydelenie po gravimetricheskim dannym raznorangovyh rudonosnyh ploschadej kak osnovy dlja prognoznyh postroenij (na primere skladchatyh oblastej Zabajkal'ja – Dal'nego Vostoka) / A.A. Duhovskij, N.A. Artamonova – Tekst: neposredstvennyj // Otechestvennaja geologija. 2005. – № 4. – S. 77–84.
5. Homich, V.G. Strukturnaja pozicija krupnyh zolotorudnyh rajonov Central'no-Aldanskogo (Jakutija) i Argunskogo (Zabajkal'e) superterrejnov / V.G. Homich, T.G. Boriskina. – Tekst: neposredstvennyj // Geologija i geofizika, 2010, t. 51, № 6, S. 849-862.
6. Tektonika, geodinamika i metallogeniya territorii Respubliki Saha (Jakutija) / Rossijskaja Akademija nauk, Sibirskoe otdelenie, Institut geologii almaza i blagorodnyh metallov [i dr.]; otvetstvennye redaktory: L. M. Parfenov, M. I. Kuz'min. – Moskva: Nauka/Interperiodika, 2001. – 570 s. – Tekst: neposredstvennyj.
7. Molchanov, A.V. Zolotorudnye rajony i uzly Aldano-Stanovoj metallogenicheskoj provincii / A.V. Molchanov, A.V. Terehov, V.V. Shatov, O.V. Petrov, K.A. Kukushkin, D.S. Kozlov, Shatova N.V. – Tekst: neposredstvennyj // Metallogeniya, 2017. – S. 93-111.
8. Gravimetricheskaja karta Respubliki Saha (Jakutija). <https://vsegei.ru/ru/info/gisatlas/dvfo/yakutia/grav.jpg>
9. Gravimetricheskaja karta Rossii i priliegajushchih territorij masshtaba 1:2500000. Otv. redaktory: Stepanov P.P., Janushevich M.A. Ministerstvo prirodnyh resursov i jekologii RF, 2016.
10. Mironov, V.S. Kurs gravirazvedki: uchebnik dlja vuzov / V.S. Mironov. – Leningrad: Nedra, 1980. – 543 s. – Tekst: neposredstvennyj
11. Serkerov, S.A. Gravirazvedka i magnitorazvedka: Ucheb. dlja studentov vuzov / S.A. Serkerov – Moskva: Nedra, 1999. 437 s. – Tekst: neposredstvennyj.
12. Nikitin, A. A. Razvitie statisticheskikh priemov obrabotki i interpretacii geofizicheskikh polej v komp'juternoj tehnologii KOSKAD 3D / A.A. Nikitin, A. V. Petrov, S. V. Zinovkin. – Tekst: neposredstvennyj // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Geologija i razvedka. Moskva, 2007. № 6. – S. 68-74.
13. Nikitin, A. A. Teoreticheskie osnovy obrabotki geofizicheskoi informacii: uchebnoe posobie dlja studentov vuzov / A.A. Nikitin, A.V. Petrov. – Moskva: CITvP, 2008. S. 112. – Tekst: neposredstvennyj
14. Nikitin, A. A. Teoreticheskie osnovy obrabotki geofizicheskoi informacii: uchebnik dlja vuzov / A.A. Nikitin. – Moskva: Nedra, 1986. – 342 s. – Tekst: neposredstvennyj.
15. Nikitin, A.A. Rukovodstvo pol'zovatelja. KOSCAD 3d / A.A. Nikitin, A.V. Petrov, A.S. Aleksashin. – 2019.
16. Abramov, V.A. Glubinnoe stroenie Central'no-Aldanskogo rajona / V.A. Abramov; Rossijskaja akademija nauk, Dal'nevostochnoe otdelenie, Tihookeanskij okeanologicheskij institut. – Vladivostok: Dal'nauka, 1995. – 180 s. – Tekst: neposredstvennyj.

Сведения об авторах

СОЛОВЬЕВ Евгений Эдуардович – к.г.-м.н., проректор Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова по науке и инновациям, e-mail: solov.evg@yandex.ru

SOLOVIEV Evgeny Eduardovich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Vice Rector for Science and Innovations, Ammosov North-Eastern Federal University, e-mail: solov.evg@yandex.ru

КУДРИН Максим Васильевич – к.г.-м.н., и.о. зав. лабораторией геологии и минералогии Института геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, e-mail.ru: kudrinmv@mail.ru

KUDRIN Maksim Vasilievich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Acting head Laboratory of Geology and Mineralogy, Institute of Diamond and Precious Metals Geology SB RAS, e-mail.ru: kudrinmv@mail.ru