

— КАРТОГРАФИЯ И ГИС —

УДК 550.813 (550.814)

DOI 10.25587/SVFU.2021.24.4.012

Е.Е. Лоскутов

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

**ПРОГНОЗНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОСТИ
ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ СРЕДСТВАМИ ГИС****(на примере междуречья Иенгра – Тимптон, Южная Якутия)**

Аннотация. Поиски и разведка полезных ископаемых требует надежных прогнозных моделей, которые помогут повысить, вероятность обнаружения месторождений полезных ископаемых на определенной местности. В настоящее время значительная часть месторождений полезных ископаемых расположенных у поверхности уже найдена. Вследствие этого новые принципы поиска заметно усложняются, что требует применения более сложных методов анализа пространственных данных. Современные ГИС позволяют производить анализ и интеграцию геопропространственной информации из разных источников. В данной работе произведен анализ геологических, геохимических и геофизических данных на примере рудного района расположенного в междуречье рек Иенгра и Тимптон. Для установления закономерностей размещения золоторудной минерализации выполнен анализ строения геохимических (Ag, Pb, Cu, Mo, Zn) и геофизических полей (магнитное поле и градиент магнитного поля). Охарактеризованы особенности магнитного поля и геохимических полей меди, цинка, серебра, молибдена и свинца. На основе статистического подхода проведена обработка и интерпретация геохимических и геофизических данных с помощью программного обеспечения ArcGIS. Статистический анализ аномалий показывает, что для выделения участков, благоприятных для локализации золотого оруденения по геохимическим и геофизическим данным, оптимальными интервалами являются следующие: геохимическое поле молибдена 1,38 – 2,65 вес. %; геохимическое поле серебра 1,5 – 4,14 вес. %; геохимическое поле меди 1,53 – 7,15 вес. %; геохимическое поле цинка 6,15 – 11,3; геохимическое поле свинца 1,0 – 2,2; магнитное поле -5,0 – 5,5 у.е.; градиент магнитного поля 0,01 – 0,35 град. Полученные данные могут быть использованы при дальнейших геологоразведочных работах.

Ключевые слова: геохимическое поле, геофизическое поле, статистика, рудопроявление, золото, серебро, цинк, медь, молибден, свинец, градиент, аномалия.

*Е.Е. Loskutov*Diamond and Precious Metal Geology Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
Yakutsk, Russia**PREDICTIVE MODELING OF POTENTIAL GOLD MINERALIZATIONS
BY MEANS OF GIS:****the case of the Iengra-Timpton interfluve, South Yakutia**

Abstract. Mineral exploration activities require robust predictive models that result in accurate mapping of the probability that mineral deposits can be found at a certain location. Currently, a significant part of the mineral deposits on the surface have already been found. As a result, new search principles become noticeably more complicated, which requires the use of more complex methods for analyzing spatial data. Modern GIS allows analyzing and integrating geospatial information from different sources. In this work, the analysis of geological, geochemical and geophysical data was carried out on the example of an ore region located in the interfluve of

ЛОСКУТОВ Евгений Евгеньевич – к.г.-м.н., Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН. E-mail: brannerit@mail.ru

LOSKUTOV Evgeniy Evgenievich – Candidate of Geological and Minerological Sciences, Diamond and Precious Metal Geology Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences. E-mail: brannerit@mail.ru

the Iengra and Tipton Rivers. To establish the patterns of distribution of gold mineralization, an analysis of the structure of geochemical (Ag, Pb, Cu, Mo, Zn) and geophysical fields (magnetic field and magnetic field gradient) was carried out. The features of the magnetic field and geochemical fields of copper, zinc, silver, molybdenum and lead were characterized. Based on the statistical approach, processing and interpretation of geochemical and geophysical data was carried out using the ArcGIS software. Statistical analysis of the anomalies showed that in order to identify areas favorable for the localization of gold mineralization according to geochemical and geophysical data, the optimal intervals are as follows: the geochemical field of molybdenum is 1.38 – 2.65 wt. %; geochemical field of silver 1.5 – 4.14 wt. %; geochemical field of copper 1.53 – 7.15 wt. %; zinc geochemical field 6.15 – 11.3; geochemical field of lead 1.0 – 2.2; magnetic field -5.0 – 5.5 c.u. ; magnetic field gradient 0.01 – 0.35 deg. The data obtained can be used for further exploration work.

Keywords: geochemical field, geophysical field, statistics, ore occurrence, gold, silver, zinc, copper, molybdenum, lead, gradient, anomaly.

Введение

Разведка и картирование участков потенциальных на обнаружение полезных ископаемых требует применение разнообразных методов, особенно основанных на данных о геологическом строении и закономерностях распределения геофизических и геохимических полей. Очевидно, что значительная часть месторождений полезных ископаемых расположенных у поверхности уже найдена. Вследствие этого новые принципы поиска заметно усложняются, что требует применения более сложных методов анализа пространственных данных.

В современных условиях, для определения благоприятных на обнаружение залежей полезных ископаемых площадей и анализ большого объема накопленных данных эффективней использовать современные ГИС-системы. Современные ГИС могут использоваться не только, как картосоставительский инструмент, но и для сбора, хранения, организации, математической обработки и трансформации данных, производить анализ и интеграцию геопространственной информации из разных источников. Из всех этих возможных функций первостепенное значение имеют анализ и интеграция информации, поскольку конечной целью является разработка прогнозных пространственных моделей, позволяющие включать и комбинировать соответствующие переменные, связанные с месторождения и проявления полезных ископаемых.

В данной работе произведен анализ геологических, геохимических и геофизических данных на примере рудного района расположенного в междуречье рек Иенгра и Тимптон. Геологическая изученность территории достаточно высока, а золотоносность известна с XIX века и всегда привлекала большое количество золотодобытчиков.

Несмотря на длительную историю геологического изучения района, планомерные работы начали производиться лишь с установлением Советской власти и развитием производственных сил Якутской АССР. Так в 40-50-е гг. здесь проводились специализированные геологосъемочные работы связанные с развитием территории и строительством Байкало-Амурской магистрали. За более чем столетнюю историю изучения и разработки, здесь открыто множество золотоносных россыпей, таких рек, как Гонам, Тимптон, Иенгра, Скабельценский, Колбочи, Утанах, Березовый и другие, некоторые из них отрабатываются, и по сей день. С началом развития в стране рыночных отношений, история региона характеризуется активным освоением и переоценкой россыпных месторождений золота за счет частных инвестиций. Результатом этих работ явилась разведка известных месторождений разного масштаба и открытие новых пунктов минерализации и рудопроявления. Однако крупных золоторудных объектов на данной территории так и не открыто.

Геологическое строение района

Согласно современным представлениям тектонического строения Алдано-Станового щита [1], изучаемая площадь входит в состав южной части Нимнырского гранулитогнейсового террейна, Каларскую зону тектонического меланжа и Тындинский тоналит-трондьемит-гнейсовые террейны, которые представляют собой различные элементы корневой части докембрийского коллизионного пояса.

Особенности геологического строения связаны с длительностью истории развития территории, площадь которой слагают сложнодислоцированные докембрийские комплексы фундамента [2-3], осадочные мезозойские и кайнозойские стратифицированные толщи (рис.1). Породы

докембрийского фундамента претерпели неоднократный прогрессивный и регрессивный метаморфизм гранулитовой, амфиболитовой, эпидот-амфиболовой и зеленосланцевой фаций. Породы, связанные с метаморфизмом зеленосланцевой фации, разными геологами, выделены в зоны диафтореза, вопрос их возраста и генезиса, в настоящее время, остается дискуссионным.

В мезозойское время, площадь претерпела тектоно-магматическую активизацию, с которой связаны различные по морфологии интрузии гранит-гранодиоритового и субщелочного состава. Помимо интрузивных образований этого возраста, в районе имеются вулканогенно-осадочные отложения, выполняющие грабены.

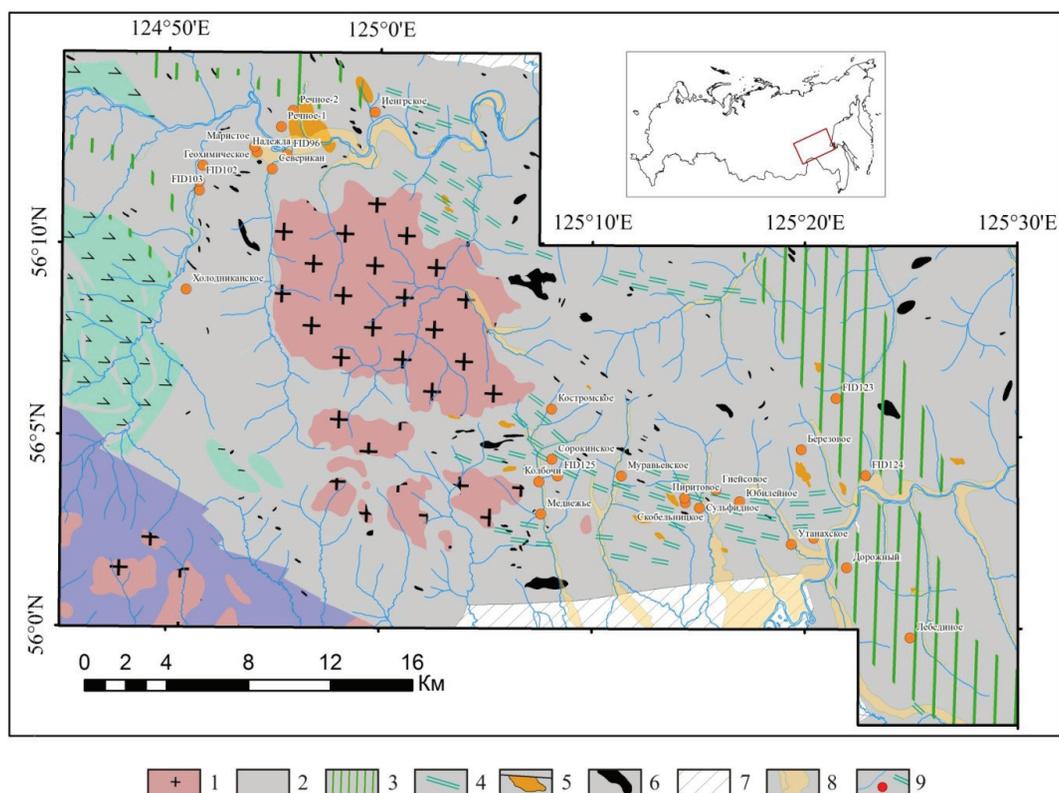


Рисунок 1 – Геологическая схема района работ (по материалам Кац и др., 1976 с изменениями и дополнениями автора).

Условные обозначения: 1 – протерозойские граниты; 2 – вмещающие породы архейского возраста; 3 – диафториты; 4 – диафторированные породы; 5 – мезозойские щелочные массивы; 6 архейские ультраосновные породы; 7 – Верхне-Тимонский грабен; 8 – отмытые в разные годы россыпи (дешифрирование по космоснимку); 9 – рудопроявления золота [4-5]

Анализ геохимического поля

Первоначальными источниками геохимической информации являются карты распределения аномалий во вторичных ореолах рассеяния по данным предшественников (Подъячев и др., 1989). Ретроспективные карты были оцифрованы в виде изолиний, из которых в последующем с помощью инструментов интерполяции были построены поверхности по отдельным химическим элементам: Pb, Zn, Cu, Mo, Ag (рис.2). Основанием для выбора химических элементов является то, что минералы именно этих элементов наиболее широко представлены в известных на территории рудопроявлениях золота.

Для анализа корреляции аномалий химических элементов между собой на первом этапе применен метод главных компонент (Principal Components Analysis, PCA) [6]. Метод изобретен К. Пирсоном и применяется для уменьшения размерности данных. Из матрицы корреляции

(табл. 1) видно, что химические элементы не имеют значительных показателей парной корреляции между собой. Исключением могут быть Zn и Cu, но коэффициент парной корреляции на уровне 0,3 так же является незначительным.

Таблица 1 – Матрица корреляции химических элементов

Элемент	Zn	Pb	Mo	Ag	Cu
Zn	1,00	0,12	0,05	0,13	0,32
Pb		1,00	0,21	0,19	0,08
Mo			1,00	0,14	-0,03
Ag				1,00	0,12
Cu					1,00

Отсюда следует вывод, что аномалии выбранных химических элементов практически никак не связаны друг с другом и имеют независимое распределение. Возможно, с увеличением количества вводных данных удастся найти более зависимые элементы.

В целом геохимические поля имеют дифференцированное распределение аномалий, редко когда встречаются какие-либо значительные аномалии регионального плана. Исключение составляют лишь пониженные значения в западной половине площади, которые расположены над Нериченским массивом гранитов. Остальные аномалии имеют локальный характер и распределены неравномерно, хотя иногда наблюдается некоторая их кольцевая концентрация вокруг упомянутого выше массива. Такая закономерность характерна для аномалий Pb, Mo и Ag и наиболее отчетливо наблюдается в северо-западной части площади.

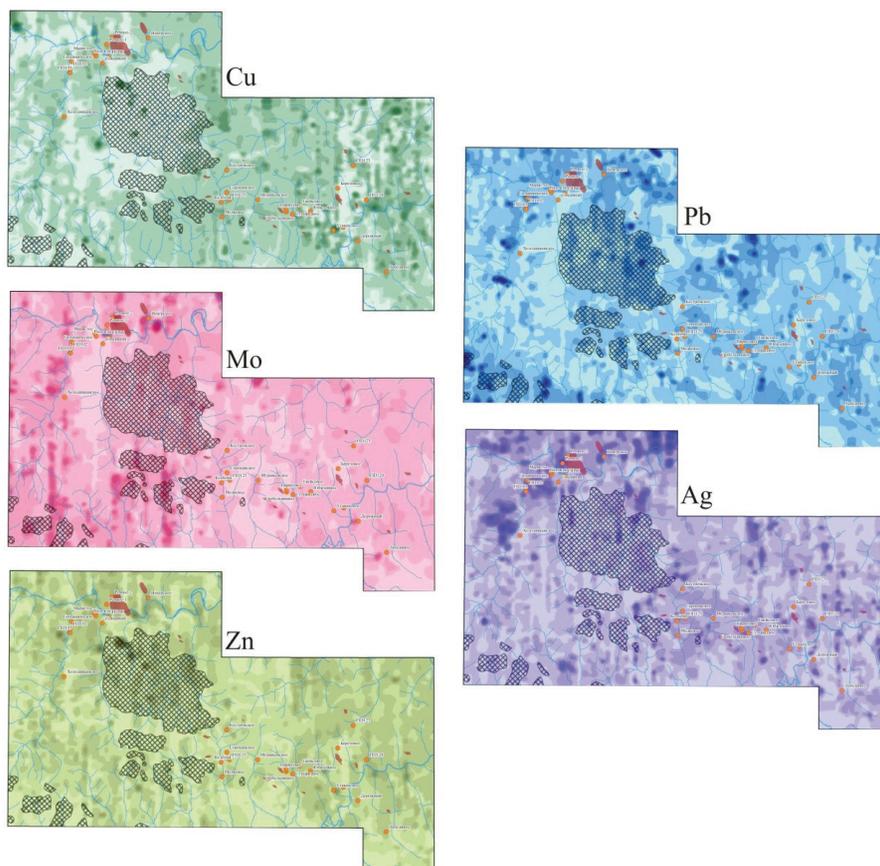


Рисунок 2 – Поэлементные геохимические карты использованные в статистических расчетах (заштрихованные области – тела докембрийских гранитов; темные области – мезозойские щелочные интрузии)

Локальные контрастные аномалии имеют отдельные закономерности своего расположения. Так часть аномалий Pb связана с восточной частью Нериченского массива гранитов. Такое же пространственное положение наблюдается в юго-западной части района. Отдельные повышенные концентрации Mo связаны со щелочными мезозойскими интрузивными массивами на северо-западе и гранитными докембрийскими массивами в южной и юго-западной части. Наиболее высокие аномалии цинка расположены на северо-западном фланге Нериченского массива, там же наблюдаются и повышенные аномалии меди. В целом основные повышенные аномалии меди тяготеют к восточной части изучаемой территории.

После разбора общего распределения геохимических аномалий по площади на карту были вынесены известные рудопроявления золота в виде точечного шейп-файла (29 объектов). В каждую точку были импортированы значения аномальных геохимических полей по всем элементам для последующей статистической обработки.



Рисунок 3 – Гистограммы распределения значений геохимических аномалий в точках рудопоявлений

Далее для оценки частоты попадания рудопоявления в определенные интервалы геохимических полей построены графики их распределения. Для группировки по интервалам исходных значений была применена формула Стерджесса [7-8]. В основном по графикам видно, что распределение золоторудных проявлений в геохимических полях подчиняется логнормальному закону распределения, за исключением Pb, где наблюдаемое распределение нормальное. Из всех

гистограмм видно, что наибольшие концентрации рудопроявлений попадают в интервалы средних значений геохимических полей. Но имеются некоторые интересные отклонения.

Так, например, по распределению значений в геохимическом поле молибдена появляются два рудопроявления, которые отскакивают от общей картины, это проявления Речное-2 и Иенгское. В этих точках концентрации молибдена во вторичных ореолах выше среднего в два раза. Данные рудопроявления пространственно совпадают с областью развития мезозойских щелочных пород. Примерно похожее положение и рудопроявления Речное-1, которое пространственно совпадает с повышенными значениями серебра и расположено в приконтактовой части щелочного массива мезозойского возраста. Стоит упомянуть, что у рудопроявлений Речное-2 и Иенгское, показатели значений геохимического поля серебра так же завышены относительно среднего в 1,5 раза. А все три перечисленные рудопроявления имеют повышенные (в 1,5) относительно среднего значения геохимического поля, значения концентраций Zn.

Еще одним интересным объектом является рудопроявление Утанахское, у которого значения показателя геохимического поля Si завышены практически в 2 раза (12 к 4,5). Здесь также отмечаются и повышенные значения геохимического поля Zn, практически в 2 раза.

Анализ геофизического поля

Как исходные материалы были использованы данные схем магнитного поля (масштаб 1:200 000) [4-5]. При анализе магнитного поля обращает на себя внимание наличие значительной региональной отрицательной аномалии в центральной части района. По форме аномалия вытянута в субмеридианальном направлении (рис. 4А). Ширина аномалии варьирует в интервале 20-25 км. По периферии района, в западной и восточной частях, наблюдаются аномалии положительного значения магнитного поля.

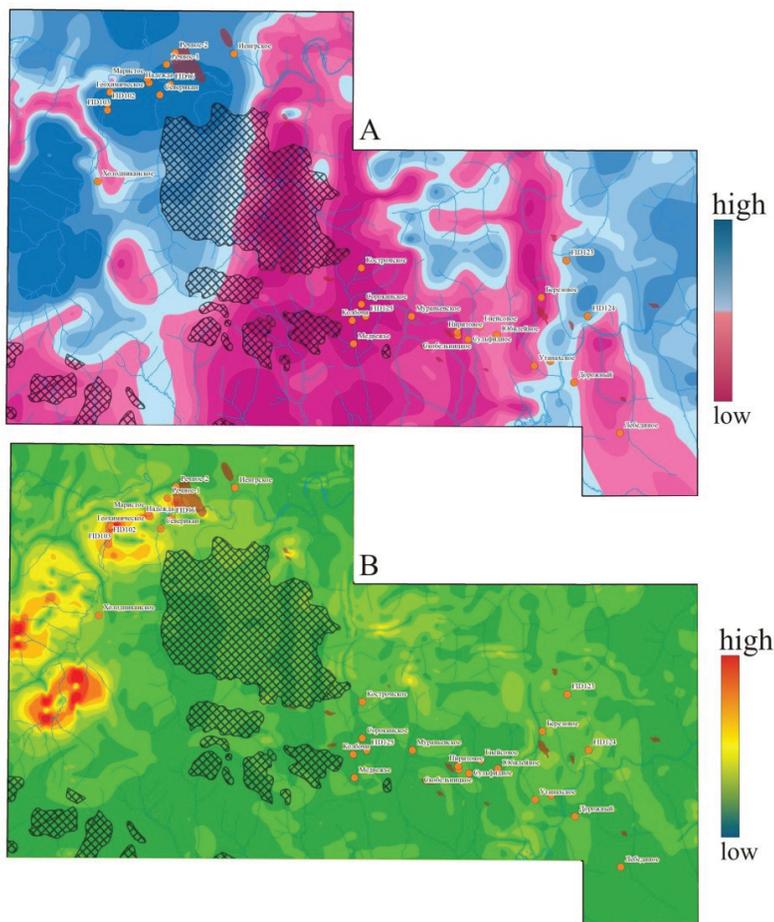


Рисунок 4 – Магнитное поле (А) исследуемой площади и его градиенты (В)

Границы между положительными и отрицательными аномалиями имеют постепенный переход, что можно увидеть на карте градиента магнитного поля (рис. 4В). Градиент магнитного поля строился с помощью инструмента *Slope (Уклон)* [9-12]. Исключение составляет западная часть района, где имеются повышенные значения градиента магнитного поля. По морфологии высокоградиентные зоны в основном имеют кольцевую либо дугообразную форму.

Визуально оценивая распределение рудопроявлений в магнитном поле, можно выделить два типа – первые расположены в области отрицательных аномалий, вторые – положительных. То же самое наблюдается и в плане распределения проявлений золота над градиентными зонами – рудопроявления пространственно совпадающие с отрицательными магнитными аномалиями, расположены в низкоградиентных зонах и наоборот, проявления совпадающие с положительными аномалиями расположены над высокоградиентными зонами.

На следующем этапе в каждую точку шейп-файла рудопроявлений были импортированы значения магнитного поля и произведена первоначальная статистическая обработка полученных значений – построена гистограмма распределений.

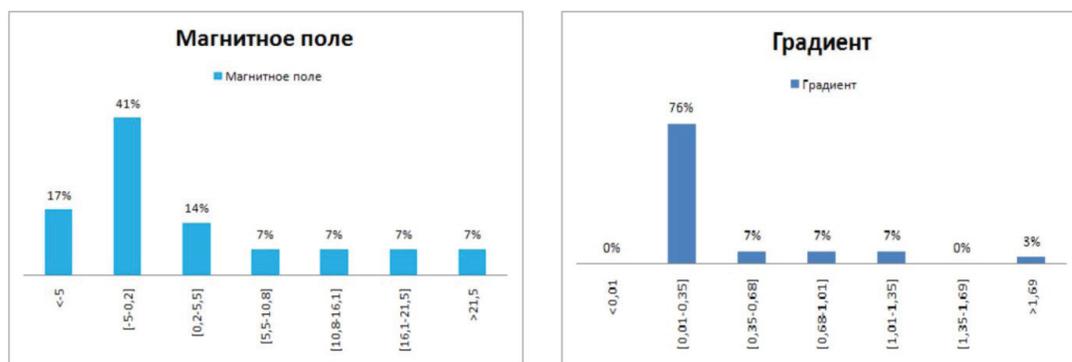


Рисунок 5 – Гистограммы распределения значений магнитного поля (у.е.) и градиента магнитного поля (град.) в точках рудопроявлений

Из гистограммы видно, что значительная часть рудопроявлений связана отрицательными или околонулевыми магнитными аномалиями. Исключение составляет ряд северо-западных объектов (Речное-1, Речное-2, Северикан, Геохимическое, Надежда и др.). Здесь отмечены наиболее высокие значения магнитного поля.

Прогнозирование перспективных площадей

Для анализа закономерностей размещения рудопроявлений золота в пределах исследуемой территории как исходные данные были выбраны наиболее продуктивные интервалы по геохимическим и геофизическим полям, а построенные гистограммы распределения значений этих полей позволили выделить количественные интервалы с наибольшей частотой попадания рудопроявлений. По мнению автора, полученные интервалы должны отвечать площадям с наибольшей вероятностью обнаружения новых золоторудных объектов.

Далее по трем геохимическим полям (Mo, Cu, Ag), магнитному полю и градиенту магнитного поля были отобраны наиболее продуктивные интервалы (табл. 2), а полученные карты наложены друг на друга. Как итог – выделены участки, пространственно совмещаются все критерии (рис. 6).

Таблица 2 – Характеристики значений геохимических и геофизических полей изученной площади

Поле	Интервал	P, %
Геохимическое Mo	1,38 – 2,65	76 %
Геохимическое Ag	1,5 – 4,14	83 %
Геохимическое Cu	1,53 – 7,15	90 %

Геохимическое Zn	6,15 – 11,3	72 %
Геохимическое Pb	1,0 – 2,2	90 %
Магнитное	-5,0 – 5,5	72 %
Градиент магнитного поля	0,01 – 0,35	76 %

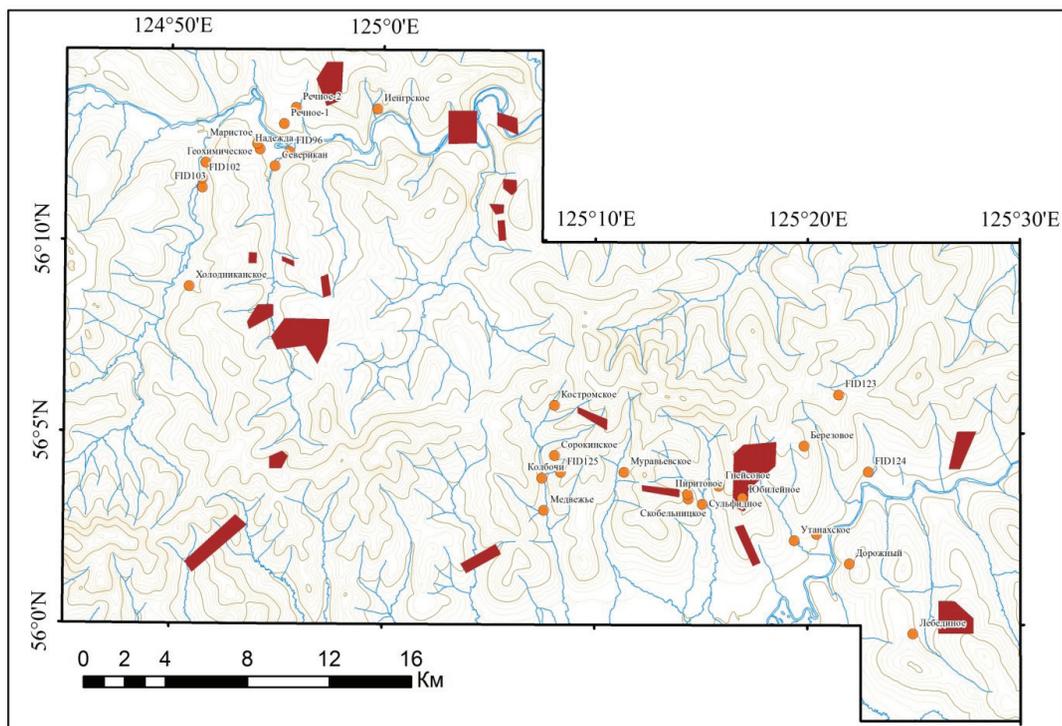


Рисунок 6 – Схема расположения перспективных участков

Заключение

По результатам статистической обработки геохимических и геофизических полей уточнены региональные поисковые критерии локализации золоторудных объектов и построена схема расположения перспективных участков. Статистический анализ аномалий показывает, что для выделения участков, благоприятных для локализации золотого оруденения по геохимическим и геофизическим данным, оптимальными интервалами являются следующие: геохимическое поле молибдена 1,38 – 2,65 вес. %; геохимическое поле серебра 1,5 – 4,14 вес. %; геохимическое поле меди 1,53 – 7,15 вес. %; геохимическое поле цинка 6,15 – 11,3; геохимическое поле свинца 1,0 – 2,2; магнитное поле -5,0 – 5,5 у.е.; градиент магнитного поля 0,01 – 0,35 град. По выделенным интервалам показаны площади. Наиболее благоприятные для обнаружения золотой минерализации. Полученные данные могут быть использованы при дальнейшей геологоразведочных и поисковых работах.

Работа выполнена в рамках НИР ИГАБМ СО РАН и по Государственной стипендии Республики Саха (Якутия) молодым научным сотрудникам и аспирантам.

Литература

1. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / Под ред. Л.М. Парфенова, М.И. Кузьмина. – М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. – 571 с.
2. Миронюк Е.П. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000, новая серия, лист О-(50),51 (Алдан). Объяснительная записка. / Е.П. Миронюк. – Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ, 1998. – 428 с.

3. Радьков А.В. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Алдано-Забайкальская. Лист О-51 – Алдан. Объяснительная записка / А.В. Радьков, [и др.]. – Санкт-Петербург: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2015. – 365 с.
4. Кац А.Г. и др. Объяснительная записка к геологической карте СССР масштаба 1: 200000. Алданской серии, лист О-51-XXXVI / А.Г. Кац, [и др.]. – М., 1965.
5. Кац А.Г. Объяснительная записка к геологической карте СССР масштаба 1: 200000. Алданской серии, лист О-51-XXXV / А.Г. Кац, [и др.]. – М., 1976г.
6. Gorban A.N., Kegl B., Wunsch D., Zinovyev A.Y. (Eds.). *Principal Manifolds for Data Visualisation and Dimension Reduction*, Series: *Lecture Notes in Computational Science and Engineering* 58, Springer, Berlin – Heidelberg – New York, 2008, XXIV, 340 p.
7. Вахромеев Г.С., Ерофеев Л.Я., Канайкин В.С., Номоконова Г.Г. *Петрофизика*. – Томск: ТГУ, 1997. – 462 с.
8. Никитин А.А. *Теоретические основы обработки геофизической информации*. – М.: Недра, 1986. –346 с.
9. Loskutov E. *Analysis of Tectonic Ore-Controlling Factors Using of Geophysical Data on the Example of the Elkon Ore District (Aldan Shield, North-Asian Craton) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 609. Iss. 1. № 012026
10. Loskutov E.E., Kravchenko A.A Ivanov A.I., Zhuravlev A.I. *Geological and geophysical background of gold-rare metal mineralization of the Tyrkandin ore region (Aldan Shield, North-Asian Craton) // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*. Vol. 19, Iss. 1.1, 2019, P. 221-228.
11. Лоскутов Е.Е., Кравченко А.А. *Интерпретация геофизических полей средствами ArcGIS с целью выделения линейных структур на примере Верхнеамгинского района, Алдано-Становой щит // Новое в познании процессов рудообразования: Девятая Российская молодёжная научно-практическая Школа с международным участием*. – М.: ИГЕМ, 2019. – С. 222–223.
12. Лоскутов Е.Е., Кравченко А.А., Журавлев А.И., Иванов А.И. *Интерпретация геофизических полей средствами геоинформационной системы ArcGIS // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции, 18–20 апреля 2018 г. в 2 т. Т. II*. – Якутск: Издательство Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 2018. – С. 91–95.

References

1. *Tektonika, geodinamika i metallogenija territorii Respubliki Saha (Jakutija) / Pod red. L.M. Parfenova, M.I. Kuz'mina*. – М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. – 571 с.
2. Mironjuk E.P. *Gosudarstvennaja geologicheskaja karta Rossijskoj Federacii masshtaba 1 : 1 000 000, novaja serija, list O-(50),51 (Aldan). Ob#jasnitel'naja zapiska*. / E.P. Mironjuk. – Sankt-Peterburg: VSEGEI, 1998. – 428 s.
3. Rad'kov A.V. *Gosudarstvennaja geologicheskaja karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1:1 000 000 (tret'e pokolenie). Serija Aldano-Zabajkal'skaja. List O-51 – Aldan. Ob#jasnitel'naja zapiska / A.V. Rad'kov, [i dr.]*. – Sankt-Peterburg: Kartograficheskaja fabrika VSEGEI, 2015. – 365 s.
4. Кац А.Г. и др. *Об#jasnitel'naja zapiska k geologicheskoi karte SSSR masshtaba 1: 200000. Aldanskoj serii, list O-51-XXXVI / A.G. Kac, [i dr.]*. – М., 1965.
5. Кац А.Г. *Об#jasnitel'naja zapiska k geologicheskoi karte SSSR masshtaba 1: 200000. Aldanskoj serii, list O-51-XXXV / A.G. Kac, [i dr.]*. – М., 1976г.
6. Gorban A.N., Kegl B., Wunsch D., Zinovyev A.Y. (Eds.). *Principal Manifolds for Data Visualisation and Dimension Reduction*, Series: *Lecture Notes in Computational Science and Engineering* 58, Springer, Berlin – Heidelberg – New York, 2008, XXIV, 340 p.
7. Vahromeev G.S., Erofeev L.Ja., Kanajkin V.S., Nomokonova G.G. *Petrofizika*. – Tomsk: TGU, 1997. – 462 s.
8. Nikitin A.A. *Teoreticheskie osnovy obrabotki geofizicheskoi informacii*. – М.: Nedra, 1986. –346 с.
9. Loskutov E. *Analysis of Tectonic Ore-Controlling Factors Using of Geophysical Data on the Example of the Elkon Ore District (Aldan Shield, North-Asian Craton) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 609. Iss. 1. № 012026

10. Loskutov E.E., Kravchenko A.A Ivanov A.I., Zhuravlev A.I. Geological and geophysical background of gold-rare metal mineralization of the Tyrkandin ore region (Aldan Shield, North-Asian Craton) // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. Vol. 19, Iss. 1.1, 2019, P. 221-228.

11. Loskutov E.E., Kravchenko A.A. Interpretacija geofizicheskih polej sredstvami ArcGIS s cel'ju vydelenija linejnyh struktur na primere Verhneamginskogo rajona, Aldano-Stanovoj shhit // Novoe v poznanii processov rudoobrazovanija: Devjataja Rossijskaja molodjozhnaja nauchno-prakticheskaja Shkola s mezhdunarodnym uchastiem. – M.: IGEM, 2019. – S. 222–223.

12. Loskutov E.E., Kravchenko A.A., Zhuravlev A.I., Ivanov A.I. Interpretacija geofizicheskih polej sredstvami geoinformacionnoj sistemy ArcGIS // Geologija i mineral'no-syr'evye resursy Severo-Vostoka Rossii: materialy VIII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoi konferencii, 18–20 aprelja 2018 g. v 2 t. T. II. – Jakutsk: Izdatel'stvo Instituta merzlotovedenija im. P.I. Mel'nikova SO RAN, 2018. – S. 91–95.