

Н.А. Пуляев, Е.В. Рыжкович

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

E-mail: pna-s-vfu@mail.ru

E-mail: ev.ryzhkovich@s-vfu.ru

ОПЫТ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РУДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ТЕРРИТОРИИ СО СЛОЖНЫМ ГЕОЛОГИЧЕСКИМ СТРОЕНИЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ДАННЫХ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ КОМПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

Аннотация. Основной целью проведения поисков рудных месторождений с применением геохимических методов, является получение общей геохимической и металлогенической характеристики исследуемого района и выявление перспективных площадей и потенциально рудных объектов, для постановки детальных работ. Кроме традиционных методов применяемых в процессе геохимических поисков, это может быть достигнуто при применении современных компьютерных технологий и методов моделирования с использованием больших объемов данных, включая ретроспективные, по огромным территориям. В представленной работе авторами показываются результаты прогнозирования потенциально рудоносных объектов на территории Сутамского блока Алдано-Станового щита, которая характеризуется сложным геологическим строением, с применением геохимических данных разных лет и математических методов моделирования.

Создание моделей и их использование, позволяет применять экспериментальные методы исследования к таким объектам, непосредственное изучение которых затруднительно или даже невозможно. В геологии такими объектами являются геохимические поля рассеяния химических элементов (ХЭ), геохимические аномалии и другие образования. Поэтому моделирование в геологии является особым методом и, в настоящее время применяется большей частью только в научных исследованиях. В настоящей работе авторами приводится пример применения методов моделирования для решения практических задач поисковой геохимии на разных её стадиях. Результаты наглядно показывают эффективность применения методов математического моделирования при геохимических поисках. Исследуемая территория разделяется на площади с фоновыми содержаниями химических элементов и площади потенциально рудоносные. Вторые, в свою очередь, расчленяются на участки с аномальными концентрациями ХЭ разной степени контрастности (слабоконтрастные, средней контрастности и высококонтрастные). Таким образом, выполняется геохимическое районирование изучаемой территории. Каждый выделенный участок может быть оценен на возможность выявления в его пределах рудных объектов. Как правило, на построенных прогнозно-геохимических картах, выявленные до начала процесса моделирования геохимического поля, уже выявленные рудные объекты сопровождаются высококонтрастными геохимическими аномалиями. Над рудными телами, залегающими на глубине (иногда на значительной глубине), за счет миграции ХЭ часто выявляются геохимические аномалии средней и низкой контрастности.

Ключевые слова: Геохимические методы поисков, математические методы моделирования, аномалии, поля рассеяния, миграция, обработка геологической информации, интерполяция, алгоритм программ.

N.A. Pulyev, E.V. Ryzhkovich

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

E-mail: pna-s-vfu@mail.ru

E-mail: ev.ryzhkovich@s-vfu.ru

A CASE OF FORECASTING ORE OBJECTS IN THE TERRITORY OF A COMPLEX GEOLOGICAL STRUCTURE USING GEOCHEMICAL DATA AND AUTOMATED SYSTEMS OF COMPLEX INFORMATION PROCESSING

Abstract. The main purpose of prospecting ore deposits using geochemical methods is to obtain a general geochemical and metallogenic characteristics of the area under study and identify promising areas and potentially ore objects for detailed work. In addition to the traditional methods used in the process of geochemical prospecting, this can be achieved with the use of modern computer technologies and modeling methods using large amounts of data, including retrospective, over vast territories. In the presented work, the authors show the results of forecasting potentially ore-bearing objects on the territory of the Sutam block of the Aldan-Stanovy Shield, which is characterized by a complex geological structure, using geochemical data from different years and mathematical modeling methods.

The creation of models and their use makes it possible to apply experimental research methods to such objects, the direct study of which is difficult or even impossible. In geology, such objects are geochemical scattering fields of chemical elements (CE), geochemical anomalies and other formations. Therefore, modeling in geology is a special method and is currently used mostly only in scientific research. In this paper, the authors describe a case of the application of modeling methods to solve practical tasks of prospecting geochemistry at its various stages. The results clearly show the effectiveness of the use of mathematical modeling methods in geochemical prospecting. The study area was divided into areas with background contents of chemical elements and potentially ore-bearing areas. The latter, in turn, were divided into areas with abnormal concentrations of CE of varying degrees of contrast (low contrast, medium contrast and high contrast). Thus, geochemical zoning of the studied territory was performed. Each allocated site can be evaluated for the possibility of identifying ore objects within its limits. As a rule, on the constructed forecast-geochemical maps, identified before the start of the geochemical field modeling process, already identified ore objects are accompanied by high-contrast geochemical anomalies. Geochemical anomalies of medium and low contrast are often detected over ore bodies lying at a depth (sometimes at a considerable depth) due to the migration of CE.

Keywords: geochemical search methods, mathematical modeling methods, anomalies, scattering fields, migration, processing of geological information, interpolation, program algorithm.

Введение

Основной целью проведения поисков рудных месторождений с применением геохимических методов, является получение общей геохимической и металлогенической характеристики исследуемого района и выявление перспективных площадей и потенциально рудных объектов, для постановки детальных работ. Это может быть достигнуто при применении современных компьютерных технологий и методов моделирования с использованием больших объемов данных, включая ретроспективные, по огромным территориям. Создание моделей и их использование, позволяет применять экспериментальные методы исследования к таким объектам, непосредственное изучение которых затруднительно или даже невозможно [1]. В геологии такими объектами являются геохимические поля рассеяния химических элементов (ХЭ), геохимические аномалии и другие образования. Поэтому моделирование в геологии является особым методом и, в настоящее время применяется большей частью только в научных исследованиях. В настоящей работе авторами приводится пример применения методов моделирования для решения практических задач поисковой геохимии на разных её стадиях. Результаты наглядно показывают эффективность применения методов математического моделирования при геохимических поисках. Исследуемая

территория разделяется на площади с фоновыми содержаниями химических элементов и площади потенциально рудоносные. Вторые, в свою очередь, расчленяются на участки с аномальными концентрациями ХЭ разной степени контрастности (слабоконтрастные, средней контрастности и высоконтрастные). Таким образом, выполняется геохимическое районирование изучаемой территории. Каждый выделенный участок может быть оценен на возможность выявления в его пределах рудных объектов. Как правило, на построенных прогнозно-геохимических картах, выявленные до начала процесса моделирования геохимического поля, уже выявленные рудные объекты сопровождаются высоконтрастными геохимическими аномалиями. Над рудными телами, залегающими на глубине (иногда на значительной глубине), за счет миграции ХЭ часто выявляются геохимические аномалии средней и низкой контрастности.

Принципы и технологический процесс создания моделей прогнозных геолого-геохимических карт на базе современной вычислительной техники и эффективных математических методов, реализованных в алгоритмах программных средств обработки геологической информации, сформировались, в основном, к середине 80-х годов XX века, когда нашли широкое применение такие автоматизированные системы (АС) геолого-геохимического прогнозирования как АСОД-Прогноз, СКИД, COSCAD, РЕГИОН, LEADER, Система динамического прогнозирования (СДП) и др. На базе разработанных современных технологий и вычислительной техники, с середины 90-х годов, для целей прогнозной оценки территорий по геохимическим данным, стали применяться АС, сочетающие в себе элементы прогнозирующих, обучающих и экспертных систем и решающих широкий спектр геолого-геохимических задач, начиная от анализа достоверности первичной информации, предварительной её статистической обработки и, заканчивая, количественной оценкой территорий, с графическим отображением результатов прогноза в многовариантном исполнении. Представление на картах геохимических полей естественных ассоциаций – в виде совокупностей ХЭ, определяющих их геохимическую специализацию, является одной из основных задач построения эмпирических моделей [2]. Эмпирический материал наблюдений над полями распределения содержания каждого ХЭ, представляет собой результаты анализов геохимических проб, в том числе и ретроспективных.

Обоснование выбора метода исследования

С применением автоматизированных систем GEOSCAN, GEORUN, АСОИ-МП и созданной БД площадного геохимического опробования территории Сутамского блока, находящегося на юге Алдано-Станового щита, авторами сконструировано несколько вариантов моделей прогнозных геохимических карт. Выбор этих автоматизированных систем был обусловлен надежностью и доступностью уникальных алгоритмов моделирования, реализованных в их программах, которые получили широкое применение в геологических научных и производственных организациях России и странах СНГ. Они достаточно технологичны, а получаемые результаты не противоречат основным положениям геологического картирования.

Одной из основных задач при моделировании геохимических полей с применением математических методов при геохимических поисках, является установление такой интегральной функции от координат, которая бы наиболее контрастно изменялась по мере приближения к рудному объекту [1]. Примерами карт таких функций могут служить, широко применяемые в практике геохимических работ, карты мультипликативных или аддитивных показателей, различных комплексных геохимических показателей, карты главных компонент или факторов и др. При построении этих карт, все преобразования проводятся в признаковом пространстве (в пространстве химических элементов) и, лишь на завершающем этапе, строятся карты результирующих показателей.

Методы и результаты моделирования геохимических полей

Для того, чтобы построенные разными методами модели карт были сопоставимы, в АС были введены базовые параметры для интерполяции: граничные значения координат (минимальные и максимальные значения координат X и Y), размеры окна интерполяции, рассчитанное по

осям Декартовой системы координат количество узлов регулярной сети, общее количество узлов, список из 19 ХЭ, содержания которых участвуют в расчетах. Анализ моделей карт аномальных геохимических полей, построенных с применением разных математических методов (метод расчета функции SCAN, классический метод сеток, метод классов-ассоциаций, метод локальной аппроксимации) показал их хорошую сопоставимость. Ниже, на примере одного из перспективных участков Сутамского блока со сложным геологическим строением (рис. 1), расположенного в междуречье Сутам – Верхняя Джелинда, приводится результат моделирования прогнозно-геохимической карты (фрагмент) с применением AC GEOSCAN на основе структурно-формационной карты масштаба 1:200 000 [5].

В основу алгоритмов программ системы GEOSCAN положены представления о пространственном поведении многомерных функций от координат, характеризующих структуру геохимического поля [2, 4]. Эта система позволяет производить расчленение и корреляцию геохимических образований, а также объективно подходить к выбору первоочередных площадей для постановки детальных геологических исследований. Эффективность системы определяется согласованными процедурами математической обработки данных и картографической визуализацией результатов, с содержательным анализом многомерной структуры геохимического поля в поисковых целях при геолого-съёмочных работах. Результаты такого анализа ориентированы на изучение поведения пространственных концентрационных функций от координат и, при интерпретации результатов, не требуют от пользователя специальной подготовки по математике.

Уникальные алгоритмы программ системы позволили выявить на исследуемой территории области с фоновыми значениями ХЭ, переходные области (зоны рассеянной минерализации – ЗРМ) и участки с повышенными содержаниями отдельных групп ХЭ, то есть аномалии. К аномальной области отнесены участки, в которых функция SCAN имеет высокие значения и отмечается ураганное содержание золота и повышенные содержания свинца, ванадия, кобальта, цинка, хрома, олова, никеля, фосфора. В результате произведенного районирования территории, фоновая, переходная и аномальная области разделены на 8 геохимических типов. Они, в свою очередь, разбиты на две группы. Для обеих групп по всем ХЭ рассчитаны нормирующие значения параметров многомерного геохимического фона – фоновые значения ХЭ.

Выделение комплексных геохимических аномалий, а также установление некоторых критериев их оценки, часто зависит от корректного определения параметров многомерного геохимического фона геологических образований (КК в пределах 0,8-1,2). Обычно эти определения проводятся для каждого элемента отдельно, по специально сформированным выборкам, либо вероятностно-статистическими методами. Некорректное определение параметров многомерного фона приводит либо к пропуску слабоконтрастных полиэлементных аномалий, либо – к увеличению числа аномалий нерудогенной природы, связанных с принципиальной статистической неоднородностью исходных данных [3].

Для определения параметров многомерного фона, введено понятие «минимального вектора», компоненты которого служат в дальнейшем начальными нормирующими коэффициентами, соответствующих ХЭ [4]. В результате проведенной автоматической классификации и её интерпретации, авторами выделены геохимические типы областей распределения содержаний ХЭ. Они разделены на фоновые, переходные и аномальные. Для каждой области рассчитаны основные статистические характеристики и построены дендрограммы, отражающие граф связей между ХЭ и служащие в качестве первой характеристики геохимических ассоциаций ХЭ. В ореолах зон рассеянной минерализации часто содержится большое количество ХЭ, концентрации которых превышают фоновые значения, иногда в несколько раз, хотя пространственное распределение их не координировано [4]. Собственно же аномалии рудогенной природы отображаются, как правило, набором типоморфных элементов меньшего спектра. Поэтому для соответствующих аномальных областей, определены типоморфные элементы ($КК > 1$), а также элементы индифферентные ($КК \approx 1$).

Для каждого типа вычислены значения функции SCAN, присвоен символ, который отображается на карте, определено количество узлов регулярной сети, сформирован ранжированный ряд ХЭ, характеризующий специализацию выделенных геохимических типов. Ранжировка ХЭ в каждом типе выделенных областей произведена по вычисленным значениям КК. Анализ характеристик типов позволяет определить их геохимическую специализацию.

Типы 1 и 2 отнесены к фоновой области. Концентрации ХЭ в фоновых областях в целом мало отличаются от кларковых значений. Однако, относительно рассчитанных концентраций «минимального вектора», выделяются достаточно различимые типы фоновых векторов, характеризующие локальные области изучаемой территории. Кроме того, выделенные фоновые области относительно минимального вектора (первого нормирующего множителя), формально могут быть охарактеризованы как геохимически специализированные, что определяется положением первых элементов в ранжированном ряду относительно минимального вектора. Тип 1, со значением функции SCAN равной 1,7, характеризуется относительно небольшими содержаниями фосфора (КК=1,25), цинка (КК=1,18), марганца (КК=1,14). Содержание хрома ниже фоновое (КК=0,83). Концентрации остальных 12 элементов в пределах фоновых значений. Для типа 2 характерны довольно высокие концентрации хрома, превышающие фон более чем в 2 раза (КК=2,24). Чуть выше фоновых значений имеют олово (КК=1,36), никель и цинк (КК=1,19), марганец (КК=1,18). Тип 2 формально можно считать специализированным на хром, олово, цинк, никель, марганец, т.е. концентрации этих ХЭ превышают их концентрации в «минимальном векторе».

При определении специализации фоновой области, важным моментом является выявление геохимической схожести их типов в переходных и аномальных областях, при условии их пространственной сопряженности. Анализируя граф связей (рис. 2) авторы выделили группы гео-

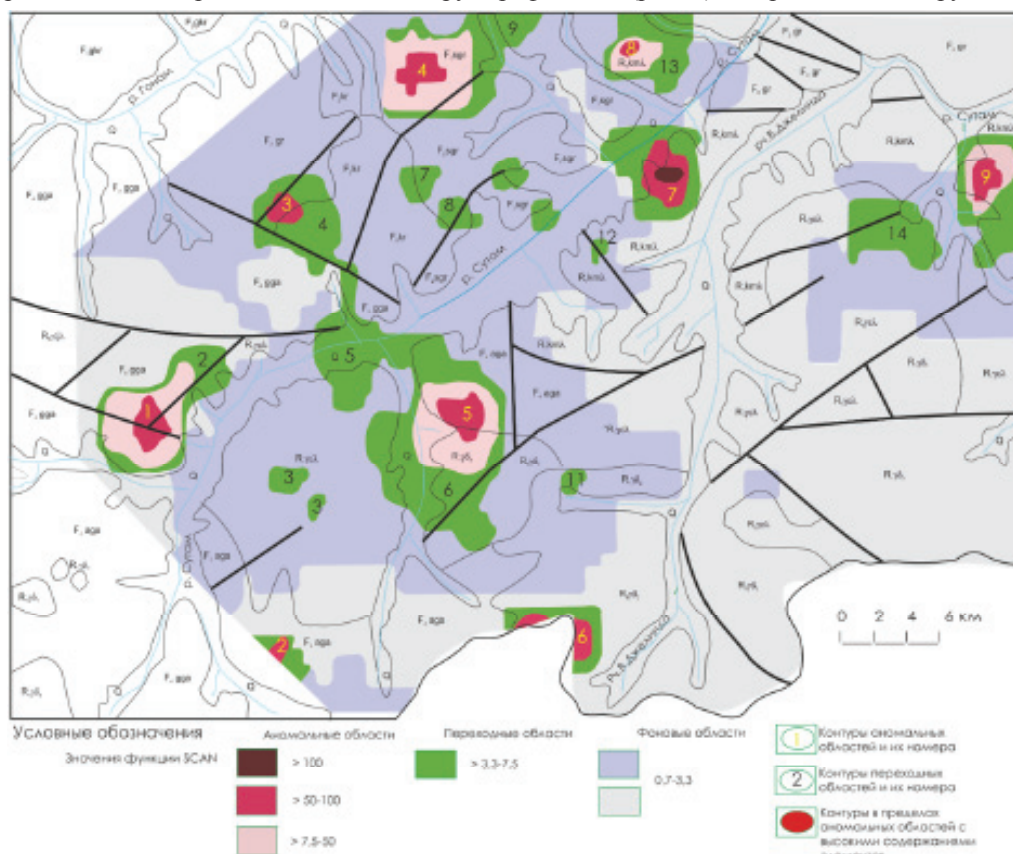


Рис. 1. Прогнозно-геохимическая карта, построенная по вычисленным значениям функции SCAN

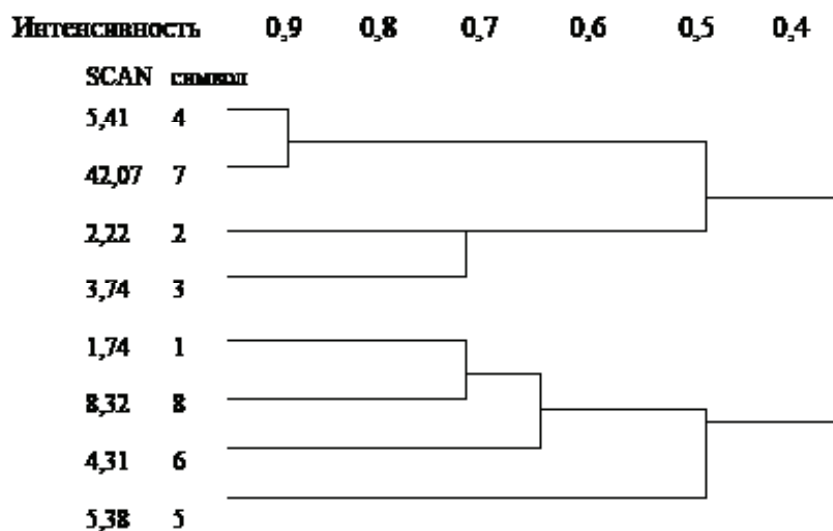
Fig. 1. Predictive-geochemical map based on the calculated values of the SCAN function

химически близкие (положением ХЭ в векторах), но различающихся количественно эволюционных рядов: фоновая область – переходная область – аномалия. Из дендрограммы видно, что типы 1, 6 и 8 по элементарному составу и ранжировке близки. Тип 1 относится к фоновой области и характеризуется следующим набором элементов: фосфор (КК=1,3), цинк (КК=1,2), марганец, свинец, никель, медь, золото, кобальт (КК=1,1). Для типа 6 переходной области определяется ассоциация: фосфор (КК=3,1), кобальт (КК=2,5), золото (КК=1,7), цинк, медь (КК=1,4), бор (КК=1,5), никель (КК=1,1). Тип 8 аномальной области характеризуется ассоциацией: кобальт (КК=10,7), цинк (КК=2,2), фосфор (КК=2,0), никель (КК=1,7), свинец (КК=1,5), марганец (КК=1,4), бор, медь (КК=1,2). Тип 3 характеризуется высокими содержаниями хрома (КК=3,8), олова (КК=2,0), золота (КК=1,7) и повышенными марганца (КК=1,5), свинца (КК=1,4), цинка (КК=1,4), галлия (КК=1,36), титана (КК=1,33), никеля (КК=1,32), молибдена (КК=1,31), меди (КК=1,25). Содержания кобальта, ванадия и бора в пределах фоновых значений. Отмечаются пониженное содержание серебра (КК=0,81).

На прогнозно-геохимической карте (рис. 1) пространственная сопряженность типов 1, 6, 8 наблюдается в районе аномалий 1, 3, 7, 8 и 9. К переходной области – зоне рассеянной минерализации (ЗРМ), относятся типы 3, 4, 5, 6, соответственно имеющие значение функции SCAN 3,7; 5,4; 5,4; 4,3.

Тип 4 отличается высокими содержаниями золота (КК=4,7), превышающими фоновое более чем в 4 раза, ванадия (КК=2,2), хрома (КК=1,6) и повышенными цинка (КК=1,4), олова (КК=1,2), свинца (КК=1,1). Отмечаются низкие значения серебра (КК=0,76) и марганца (КК=0,75). Для типа 5 отмечаются высокие содержания таких элементов, как свинец (КК=6,6), марганец (КК=3,9), цинк (КК=3,5), олово (КК=2,6), титан (КК=2,0), медь (КК=1,9), фосфор (КК=1,7), кобальт (КК=1,5), никель и молибден (КК=1,46), ванадий (КК=1,36), галлий (КК=1,23), бор (КК=1,22). В типе 6 высокие значения содержаний имеют фосфор (КК=3,05), кобальт (КК=2,45), золото (КК=1,71) и повышенные – цинк (КК=1,42), медь (КК=1,38), бор (КК=1,28). Для типа 6 характерны низкие содержания целого ряда элементов, таких как: титан (КК=0,87), свинец (КК=0,87), ванадий (КК=0,74), хром (КК=0,66), молибден (КК=0,6). К аномальной области отнесены типы 7 и 8, для которых значения функций SCAN соответственно равны 42,1 и 8,3. В типе 7 отмечается ураганное содержание золота (КК=24,33) и повышенные содержания свинца (КК=1,5), ванадия (КК=1,4), цинка (КК=1,36), хрома (КК=1,27), олова (КК=1,24), никеля (КК=1,19), фосфора (КК=1,18). Тип 8 характеризуется высокими содержаниями кобальта (КК=10,71), цинка (КК=2,17), фосфора (КК=2,0), никеля (КК=1,67), повышенными содержаниями свинца (КК=1,5), марганца (КК=1,33), бора (КК=1,25), меди (КК=1,15) и низкими значениями содержаний хрома (КК=0,43).

На построенной дендрограмме, отражающей соотношения продуктов геохимической дифференциации (типов) в структуре геохимического поля (рис. 2), хорошо видны соотношения выделенных типов. Мерой близости служат значения функции SCAN. Анализ этой дендрограммы показывает, что по элементному составу наиболее близки тип 4 переходной области и тип 7 аномальной области. Коэффициент множественной корреляции между ними равен 0,85. Тип 2 фоновой области и тип 3 переходной области коррелируют на уровне 0,7. Такой же силы связь проявляют типы 1 и 8. На уровне 0,65 с ними коррелирует тип 6, а на уровне 0,5 тип 5 переходной области.



- 4 – 4,7 (Au), 2,2 (V), 1,6 (Cr), 1,4 (Zn), 1,2 (Sn), 1,1 (Pb,Ni,Cu), 1,0 (Mo,Ga,B).
7 – 24,3 (Au), 1,5 (Pb), 1,4 ((V,Zn), 1,3 (Cr), 1,2 (Sn,Ni,P), 1,1 (B,Cu,Mn).
2 – 2,22 (Cr), 1,4 (Sn), 1,2 (Zn,Ni,Mn,P), 1,1 (Ga,Pb,Mo,Cu,Au)
3 – 3,8 (Cr), 2,0 (Sn), 1,7 (Au), 1,5 (Mn), 1,4 (Pb,Zn,Ga), 1,3 (Ti,Ni,Mo,P)
1 – 1,3 (P), 1,2 (Zn), 1,1(Mn,Pb,Ni,Cu,Au,Co), 1,0 (B,V,Ga).
8 – 10,7 (Co), 2,2 (Zn), 2,0 (P), 1,7 (Ni), 1,5 (Pb), 1,4 (Mn), 1,2 (B,Cu).
6 – 3,1 (P), 2,5 (Co), 1,7 (Au), 1,4 (Zn,Cu), 1,3 (B), 1,1 (Ni).
5 – 6,6 (Pb), 3,9 (Mn), 3,5 (Zn), 2,6 (Sn), 2,0 (Ti), 1,9 (Cu), 1,7 (P), 1,5 (Co,Mo,Ni), 1,4 (V).

Рис. 2. Граф связей соотношения продуктов геохимической дифференциации в структуре геохимического поля

Fig. 2. Relationship graph of the ratio of products of geochemical differentiation in the structure of the geochemical field

Для каждого выделенного типа рассчитаны статистические параметры химических элементов (минимальные, максимальные и средние значения содержаний, стандартное отклонение, коэффициент вариации, а для аномальных областей, кроме того, рассчитаны коэффициенты концентрации и минерализации), указывается число проб, попавшее в контур области на карте. построена дендрограмма, отражающая характер связей элементов в аномалии.

Поля развития областей многомерного фона (фоновых областей), на построенной карте, в большинстве своем, приурочены к зонам развития гранитоидных образований, либо к древним образованиям, удаленным от молодых интрузий. Аномальные области в основном приурочены к местам развития метаморфизованных пород фундамента и мезозойских магматических образований. Переходные области тяготеют к зонам, где проявились такие процессы, как диафторез и наложенный регионально-контактный метаморфизм.

Всего на карте выделено 9 довольно больших по размерам аномалий (рис. 1), которые можно разделить на аномалии, связанные с уже известными месторождениями и рудопроявлениями (3, 4, 5, 9) и на аномалии с еще не установленной природой (1, 6, 7, 9). Последние, локализуясь в зонах благоприятных для образования руд, явно требуют заверки.

Наиболее контрастные аномалии, приуроченные к известным рудным образованиям, тяготеют к областям развития незавершенных сдвиговых деформаций, в которых, как утверждают разные авторы (Коган и др. 1990), складываются наиболее благоприятные структурные условия образования рудных тел. К таковым можно отнести аномалии 5 и 9.

Проведенная корреляция между 9 аномалиями по совокупности ХЭ показала, что наиболее близки по своим характеристикам аномалии 1 и 2 (коэффициент корреляции 0,85) для них характерна ассоциация ХЭ: ванадий, никель, кобальт, медь, цинк, свинец. По совокупности ХЭ к ним близка аномалия 9, коррелирующая с аномалиями 1 и 2 на уровне 0,75. Аномалии 5 и 6 коррелируют друг с другом на уровне 0,8. Это комплексные аномалии и характеризуются они такими ассоциациями ХЭ как: медь, свинец, никель, бор, марганец, кобальт, титан, олово, хром, молибден, ванадий, серебро, галлий. Другую группу образуют аномалии 4 и 8, коррелирующие друг с другом на уровне 0,8. Общим для них является ассоциация ХЭ: медь, олово, галлий, молибден, свинец, ванадий, хром, никель, титан, марганец, серебро. Аномалии 3 и 7 обособляются и характеризуются своим специфическим набором элементов.

Обратясь к прогнозно-геохимической карте (рис. 1), на которой изображены контуры всех выявленных аномалий, видим, что коррелирующие аномалии локализуются сравнительно недалеко друг от друга и приурочены, как правило, к участкам развития однотипных структурно-вещественных комплексов (СВК).

Заключение

Наиболее контрастные аномалии 1, 3, 4, 5., расположенные над известными рудными объектами, тяготеют к областям развития незавершенных сдвиговых деформаций, в которых, вероятно, складывались наиболее благоприятные структурные условия образования рудных тел. К таким аномалиям можно отнести аномалии 5 и 9.

Учитывая тот факт, что ряд выявленных аномалий пространственно сопряжены с уже известными рудными образованиями на исследованной территории, то, с точки зрения прогноза, представляют определенный интерес и другие аномалии с ассоциациями ХЭ близкими типоморфным. Места их локализации следует относить к перспективным и на них целесообразно ставить детальные поисковые работы. Математические методы, реализованные в программах системы GEORUN, позволили корректно выделить, все разнородные по набору ХЭ и природе, области (фоновые, переходные и аномальные). Определили качественные и рассчитали количественные их характеристики, а также дифференцировали фоновые области геохимического поля. На построенной модели прогнозно-геохимической карты отражена единая структура геохимического поля, а аномалии сопоставлены по коэффициентам концентраций соответствующих аномальных ХЭ. Таким образом, полученная результирующая карта может представлять собой альтернативную модель геохимической основы при построении прогнозной геохимической карты.

Литература

1. Верховская, Л.А., Сорокина, Е.П. Математическое моделирование геохимического поля в поисковых целях. – М.: Недра, 1981. – 186 с.
2. Каждан, А.Б., Мессерман, И.З., Лаврова Т.Ю. Методические рекомендации по сбору и компьютерной обработке геологической, геохимической и геофизической информации с целью выявления рудных зон, полей и месторождений при многоцелевом геохимическом картировании различных масштабов. – М.: ИМГРЭ, 1995. – 192 с.
3. Китаев, Н.А. Многомерный анализ геохимических полей. – Новосибирск: Наука, Сиб. Отделение, 1990. – 120 с.
4. Коган, Б.С., Гинзбург, А.Н. и др. Исследование пространственных структур геохимического поля в поисковых целях. // Сов. Геология. 1988.- № 6, – С. 11-17.
5. Пуляев, Н.А. Опыт создания моделей карт перспективных геохимических аномалий // Вопросы геологии Якутии. – Якутск: ЯГУ, 2001. – С. 116-123.

References

1. Verhovskaya, L.A., Sorokina E.P. Matematicheskoe modelirovanie geohimicheskogo polya v poiskovyh celyah. – M.: Nedra, 1981. – 186 c.
2. Kazhdan, A.B., Messerman I.Z., Lavrova T.YU. Metodicheskie rekomendacii po sboru i komp'yuternoj obrabotke geologicheskoy, geohimicheskoy i geofizicheskoy informacii s cel'yu vyyavleniya rudnyh zon, polej i mestorozhdenij pri mnogocелеvom geohimicheskom kartirovanii razlichnyh masshtabov. – M.: ImGRE, 1995. – 192 c.
3. Kitae, N.A. Mnogomernyj analiz geohimicheskikh polej – Novosibirsk: Nauka, Sib. Otdelenie, 1990. – 120 c.
4. Kogan, B.S., Ginzburg, A.N. i dr. Issledovanie prostranstvennyh struktur geohimicheskogo polya v poiskovyh celyah. // Sov. Geologiya. 1988.- № 6 – S. 11-17.
5. Pulyaev, N.A. Opyt sozdaniya modelej kart perspektivnyh geohimicheskikh anomalij // Voprosy geologii YAkutii. – YAkutsk: YAGU, 2001. – S. 116-123.

Сведения об авторах

ПУЛЯЕВ Николай Анатольевич – к.г.-м.н., доцент кафедры прикладной геологии ГРФ СВФУ им. М.К. Аммосова.

E-mail: pna-s-vfu@mail.ru

PULYEV Nikolay Anatolievich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences Associate Professor, Department of Applied Geology, Faculty of Geology and Survey, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University.

РЫЖКОВИЧ Екатерина Владимировна – ст.преп. кафедры прикладной геологии ГРФ СВФУ им. М.К. Аммосова.

Email: ev.ryzhkovich@s-vfu.ru

RYZHKOVICh Ekaterina Vladimirovna – Senior Lecturer, Department of Applied Geology, Faculty of Geology and Survey, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University.