

С. А. Григорьев
Управляющая компания
«Полюс Геологоразведка»

Геохимическая зональность металлогенических объектов в структурах геохимических полей

В данной статье на конкретных примерах показано, каким образом моделирование региональных геохимических полей позволяет локализовать в геологическом пространстве аномальные структуры, отражающие металлогенические таксоны, с целью обоснования параметров для прогнозной оценки ресурсов категории R_3 .

На современном этапе развития горно-геологического бизнеса весьма важным становится обоснование прогнозных оценок категории P_3 металлогенических объектов на уровне металлогенических областей (МО), рудных районов (РР) и рудных узлов (РУ), что требует понимания причин, условий и факторов их локализации в геологическом пространстве. Одним из важнейших оценочных критериев выступает региональная геохимическая зональность, проявленная в системном ряду металлогенических объектов, которая раскрывает их геохимическую специализацию, пространственное положение и физические размеры. Системные свойства геологической материи в связи с рудообразованием, отраженные в структурах геохимических полей (ГП), неизбежно проявляются в геохимической зональности через общие и частные закономерности пространственного распределения химических элементов [1, 2, 3]. В региональном масштабе общие закономерности строения ГП обусловлены единым механизмом рудообразования в рудно-магматических системах (РМС) различных масштабов, строения и состава, которые могут эффективно обнаруживаться посредством стандартных мелкомасштабных (1 : 1 000 000 – 1 : 200 000) геохимических поисков по потокам рассеяния, первичным и вторичным ореолам.

Современные способы моделирования геологических объектов рассматривают геологические явления как диссипативные структуры, подчиняющиеся принципу универсальности, характерному для самоорганизованных структур [7]. С этих позиций иерархическая модель рудообразующей системы представляется, в качестве фрактальной структуры заполнения геологического пространства веществом, которая отражает динамику породивших ее процессов самоорганизации. Геохимическая зональность обусловлена общими и локальными (уникальными) свойствами вмещающего геологического пространства в различной физико-химической обстановке энергомассопереноса и минералообразования. При этом формируются два основных типа геохимической зональности – центробежный и циклический.

Центробежная геохимическая зональность формируется в области градиентного поля относительно энергетического центра РМС под влиянием температурного

потенциала и центробежных сил вращения земного шара (вихревые потоки). Геохимическая зональность этого типа отражает пространственное положение энергетического «ядра» рудообразующей системы и условия его залегания, что позволяет оценивать физические границы металлогенических объектов различного ранга и рудный потенциал территории.

Циклическая геохимическая зональность формируется в локальных условиях различных физико-химических и структурно-геологических обстановок вмещающей среды в процессах последовательных или сопряженных циклов минералообразования, отражая динамику формирования, различные эрозионные срезы материнской РМС и связанное с этими факторами разнообразие элементного состава ГП.

Геолого-структурные особенности вмещающей геологической среды оказывают влияние на структуру геохимического поля в той мере, в которой рудообразующие потоки наследуют ее трещинно-поровое пространство. В меньшей мере структура геохимического поля зависит от состава и общего геологического строения вмещающей среды. Принципиальное строение АСГП для различных типов месторождений остается одинаковым. Значение име-

Системные свойства геологической материи неизбежно проявляются в геохимической зональности через общие и частные закономерности пространственного распределения химических элементов.

ют размеры АСГП, которые пропорционально связаны с размерностью самих месторождений (масштабами рудообразующих процессов).

Рассмотренные выше геохимические аспекты могут быть дополнены структурно-геологическим фактором, детерминированным сменой режимов растяжения-сжатия в объемах металлогенических объектов различной иерархической принадлежности.

Как было отмечено выше, формирование АСГП центробежного типа связано с энергетическим воздействием магматического источника, который нагревает геологическое пространство, заставляя его расширяться, и уплотняться, воздействуя на планетарную сеть тектонических нарушений ортогональной и диагональной систем. При остывании магматического (теплового) «ядра» РМС происходит сжатие самого «ядра» и окружающего

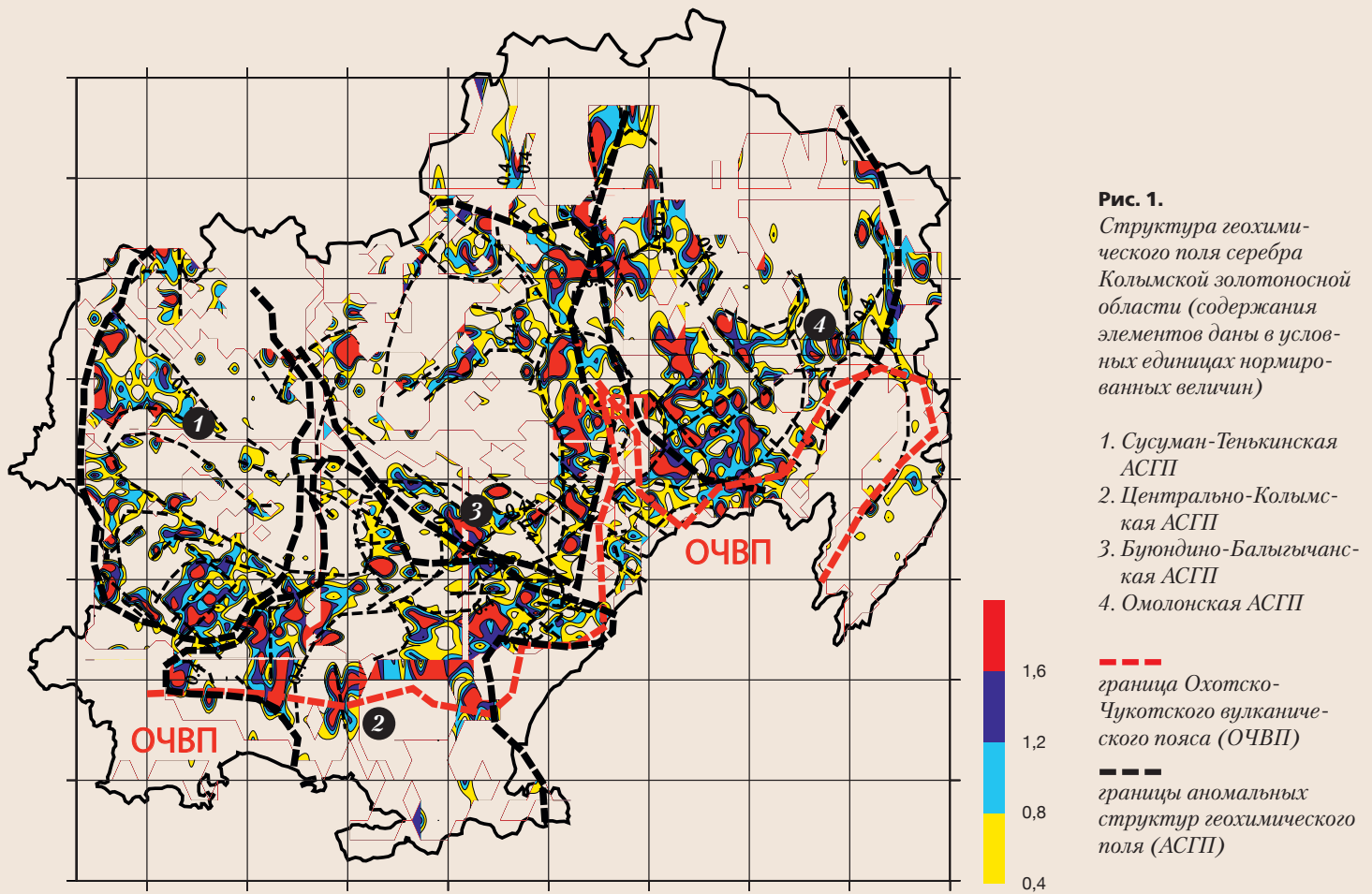


Рис. 1.
Структура геохимического поля серебра Колымской золотоносной области (содержания элементов даны в условных единицах нормированных величин)

1. Сусуман-Тенькинская АСПП
2. Центрально-Колымская АСПП
3. Буондино-Балыгычанская АСПП
4. Омолонская АСПП

--- граница Охотско-Чукотского вулканического пояса (ОЧВП)

— границы аномальных структур геохимического поля (АСПП)

1,6
1,2
0,8
0,4

пространства, что вызывает соответствующую фазу трещинообразования. Указанные тектонические напряжения обуславливают трещинную неоднородность геологической среды, которая отражается в структурах геохимических полей линейными структурными элементами в отличие от кольцевых и дуговых структурных элементов, связанных с векторным полем теплового фронта.

С точки зрения системообразующего начала АСПП центробежного типа формируется в физико-химических обстановках, в которых вещественный состав и запас энергии изменяются вследствие материальных и энергетических (тепловых) потерь и поступлений при взаимодействии со средой в условиях открытой системы на основе саморегуляции. Это объясняет универсальность как самого процесса рудообразования, так структурных критериев ГП, отражающих процесс. Поэтому системный анализ структуры ГП позволяет обосновать *естественные пространственные границы* рудных объектов.

Количественная оценка ресурсов полезных ископаемых и других компонентов в рудных объектах представляется более сложной проблемой.

В соответствии с предложенными Р. Жераром характеристиками систем, **анализ системный** может быть подразделен на системно-структурный, системно-функциональный

Для обоснования количественной оценки ресурсов того или иного компонента рудообразующей системы наиболее приемлем метод аналогий.

и системно-исторический анализы, освещающие три взаимосвязанных аспекта. Центральным понятием анализа системного является понятие структурной сложности, обусловленное количеством участвующих в системе элементов. Однако учесть всю совокупность элементов рудообразующей системы не представляется возможным, поэтому количественная оценка ресурсов выделяемых рудных и металлогенических таксонов прямым расчетом (через продуктивность геохимических ореолов) не может быть корректной в полном объеме. Следовательно, для обоснования количественной оценки ресурсов того или иного компонента рудообразующей системы наиболее приемлем метод аналогий.

Тем не менее системно-исторический анализ на базе системно-структурного и системно-функционального моделирования может быть применен для количественной оценки

прогнозных ресурсов в качественных категориях: «больше – равно – меньше» или «мелкое – среднее – крупное – уникальное» при сравнении прогнозируемых ресурсов с изученными объектами.

Рассмотрим строение АСПП центробежного типа в связи с уникальным **Наталкинским золотосульфидным месторождением**. Иерархическая металлогеническая система представлена топологическим рядом: Колымская золотоносная область – Сусуман–Тенькинский рудный район – Омчакский золотоносный район – Омчакский рудный узел, входящими в состав Яно–Колымской металлогенической зоны.

Геолого–структурная позиция территории определяется Яно–Колымской складчатой областью в перивулканической зоне Охотско–Чукотского вулканогенного пояса, который трансформируется в осевой части меловыми гранитоидными массивами [4, 5].

Для оценки общей закономерности пространственного размещения крупных металлогенических построек использованы результаты рядовой геохимической съемки по потокам рассеяния с плотностью 1–2 пробы на 1 км². Для демонстрации выбраны олово, золото и серебро, характеризующие металлогеническую специализацию этого региона, с одной стороны, и имеющие различные пространственные связи с магматизмом – с другой.

Структура ГП олова представлена серией дуговых и кольцевых конструкций, трансформирующих периферию складчато–глыбовых поднятий, относительно которых сформированы концентрически АСПП, отражающие рудные районы.

Структуры ГП золота и серебра корреспондируются со структурой ГП олова, указывая на единый энергетический источник и центробежный тип геохимической зональности (рис.1). Однако между собой все три химических элемента образуют, как положительные, так и отрицательные пространственные связи, обусловленные циклической геохимической зональностью. Циклическая региональная зональность, по–видимому, связана с глубиной залегания и масштабом проявления магматизма.

В результате структурного моделирования ГП обнаруживаются естественные металлогенические конструкции в ранге рудных районов в связи с магматическими выступами (в ядрах очаговых геологических структур), относительно которых сформированы промежуточные коллекторы минерального вещества [6]. Это позволяет **ограничить площади**

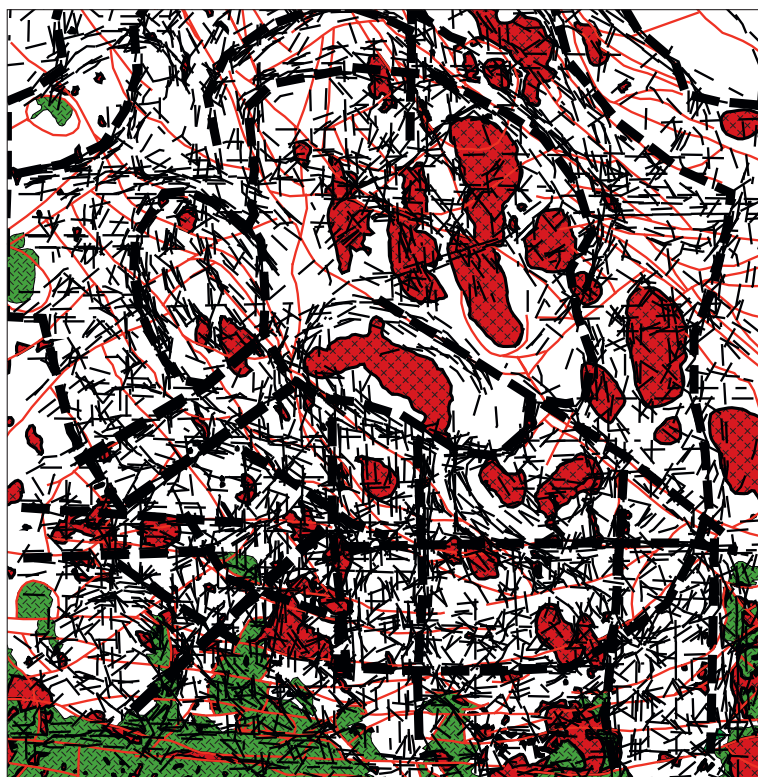


Рис. 2.

Совмещенная карта размещения магматических и вулканогенных пород на площади Сусуман–Тенькинской АСПП с картой поля силы тяжести и аддитивной схемой структурных элементов геохимических полей.

- 1 2 3 4 5

1. Гранитоидные массивы. 2. Вулканогенные породы ОЧВП
3. Разрывные тектонические структуры. 4. Структурные элементы ГП. 5. Обобщенные границы АСПП

для оценки ресурсов категории P_3 и дать им сравнительную количественную оценку.

Золото имеет максимальную продуктивность в связи с Сусуман–Тенькинской АСПП. Тренд золота убывает в восточном и южном направлениях: $1 > 3 > 2 >$.

Серебро имеет максимальную продуктивность в связи с Буюндино–Балыгычанской АСПП: $3 > 4 > 2 > 1$.

Олово имеет максимальную продуктивность в связи с Буюндино–Балыгычанской АСПП: $3 > 1 > 2 > 4$.

Прочие химические элементы, как рудные, так и породообразующие, корреспондируются со структурами ГП олова, золота и серебра, подчеркивая региональную структуру ГП и локальные особенности в пространственной связи с магматизмом.

Следующим таксоном в металлогенической иерархии является **Сусуман–Тенькинская АСПП**, соответствующая размерности рудных районов и расположенная на западном фланге Колымского региона. В геолого–структурном отношении характеризуется мощным осадочным чехлом

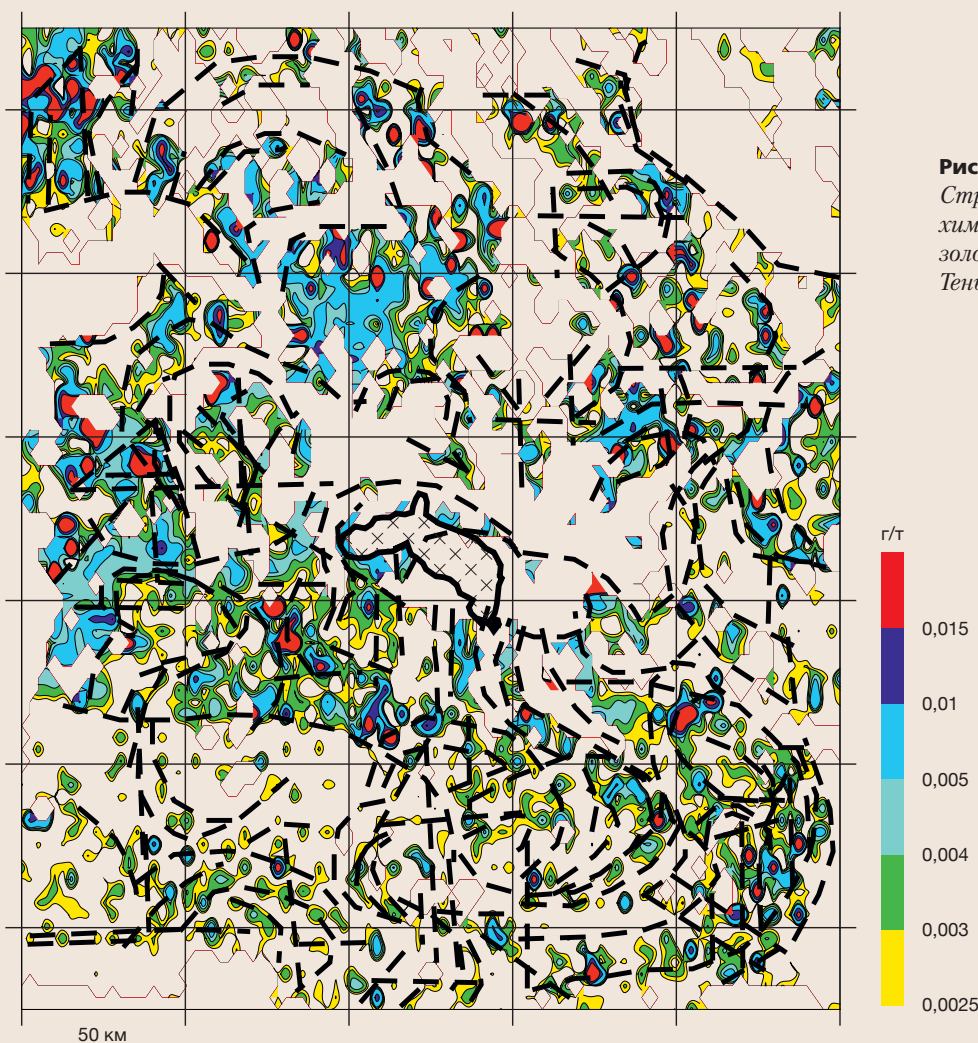


Рис. 3.
Структура геохимического поля золота Сусуман–Тенькинской АСПП.

терригенно–вулканогенных пород, преимущественно пермо–триасовой системы, интродуцированных многочисленными гранитными массивами, главным образом, мелового возраста. На юге территории выходят на дневную поверхность меловые вулканогенные породы ОЧВП с комплексом «корневых» интрузивных тел (рис. 2).

С точки зрения используемой методологии, только магматические массивы, которые способны вызвать адекватное перемещение минерального вещества, могут рассматриваться в качестве «ядра» РМС соответствующего иерархического уровня и связанной с ней АСПП. На исследуемой площади таким «ядром» является группа гранитоидных массивов, относительно которых сформирован «геохимический тор» всеми химическими элементами (15 элементов), на которых выполнен анализ. Следует отметить, что гранитные массивы расположены в разных структурных обстановках, что имеет большое значение для оценки минерагенического потенциала территории. Центральную позицию занимает массив «Мираж», расположенный в зоне глубинных разломов северо–западной ориентировки. С ним связана наиболее крупная и устойчивая область «транзита», что позволяет считать его апикальной частью

Основные россыпи золота размещены вблизи ядра рудно-магматической системы и на севере в пространственной связи с «бескорневыми» гранитоидными массивами.

крупного магматического тела на глубине. Прочие гранитные массивы расположены севернее, приурочены к субмеридиональной серии тектонических нарушений второго порядка и имеют заметно меньший энергетический потенциал, так как ореолы фронтальных зон концентрации почти вплотную примыкают к ним. Отсюда можно предполагать, что эти гранитные тела не имеют массивного продолжения на глубину и представлены межпластовыми инъекциями.

Геохимическое поле золота и серебра образует концентрическую конструкцию эллипсоидной формы относительно «гранитного ядра», одна из осей которого ориентирована согласно генеральному простиранию осадочных пород и тектонических структур в северо–западном направлении, а вторая имеет

подчиненное значение и субмеридиональную ориентировку (рис. 3).

Геохимические поля лития и никеля образуют аналогичные по строению геохимические «торы», отражая универсальный центробежный тип геохимической зональности. Между собой, указанные элементы, образуют разнообразные пространственные связи, отражая частные элементы геохимической зональности циклического типа. Наиболее заметна дифференциация химических элементов в южном секторе площади, вблизи с границей ОЧВП. Напротив, на северном фланге территории региональной ГП характеризуется минимальной структурной сложностью, отражая соответствующий энергетический потенциал РМС.

Такая же пространственная связь характерна и для размещения россыпей, рудных месторождений, рудопроявлений и точек минерализации золота, известных на этой территории. Основные россыпи золота размещены вблизи ядра РМС и на севере в пространственной связи с «бескорневыми» гранитоидными массивами. Известные коренные месторождения золота, включая Наталкинское месторождение, примыкают к южному обрамлению гранитоидного ядра РМС, тогда как серебряная и оловянная минерализация тяготеет к его южному флангу (рис. 2). Площадь АСГП составляет около 6000 км², что указывает на весьма высокий потенциал этого металлогенического таксона.

Последняя ступень системной организации ГП, которая обнаруживается в потоках рассеяния химических элементов мелкого масштаба, соответствует размерности золоторудных районов с локализованными ресурсами категории R_3 и является переходной к рудным узлам.

Омчакский золоторудный район – составная часть Сусуман–Тенькинского рудного района в составе Тенькинской золоторудной зоны. Его отражает Омчакская АСГП, сформированная под воздействием энергетических потоков от сложно построенной кровли гранитного основания. АСГП состоит из серии структурных аномалий подчиненных размеров, солидарно отражающих причинно–следственные связи магматизма и рудообразования, приведшего к образованию золоторудного гиганта в виде Наталкинского месторождения и серии месторождений меньших масштабов (Павлик, Игуменовское, Клин, Родионовское, Золотая Речка, Школьное) [4].

При относительно простом геологическом строении вмещающего субстрата, представленного мощной толщей тер-

ригенно–вулканогенных пород, прорванных гранитоидными интрузиями, геохимическое поле отличается высокой структурной сложностью (рис. 4).

Для иллюстрации геохимической зональности и оценки механизма ореолообразования рассматриваемого таксона выбраны химические элементы из разных геохимических групп.

Структуры ГП германия и ванадия коррелируются между собой и образуют АСГП центробежного типа относительно каждого магматического тела выходящего на дневную поверхность, вплотную примыкая к интрузивам. По структурным признакам в ГП германия и ванадия выделяются два структурных кластера – первого и второго порядка. В крупном масштабе (кластер второго порядка) каждое интрузивное тело является центром геохимической структуры центробежного типа.

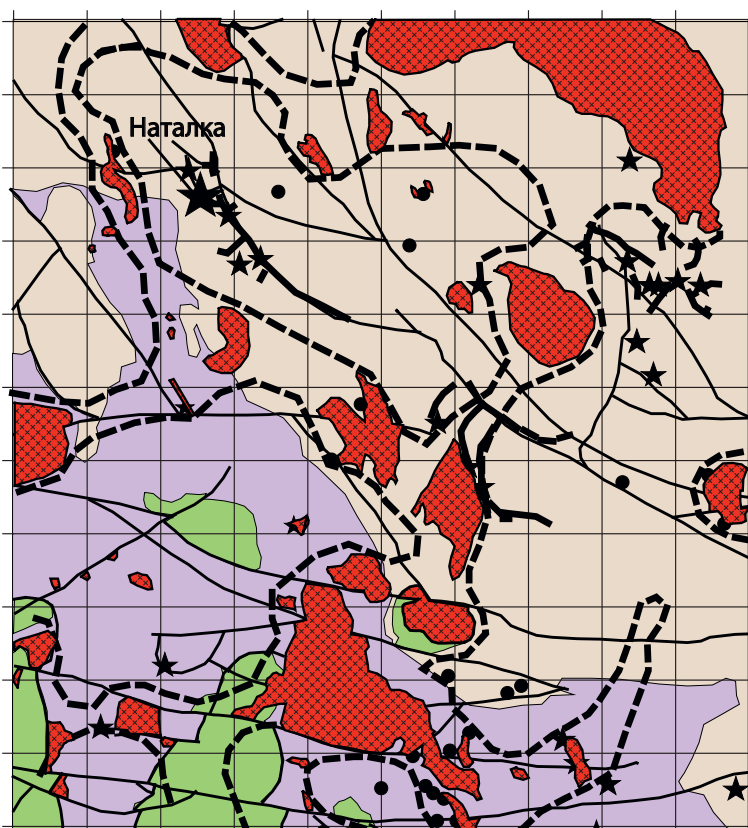
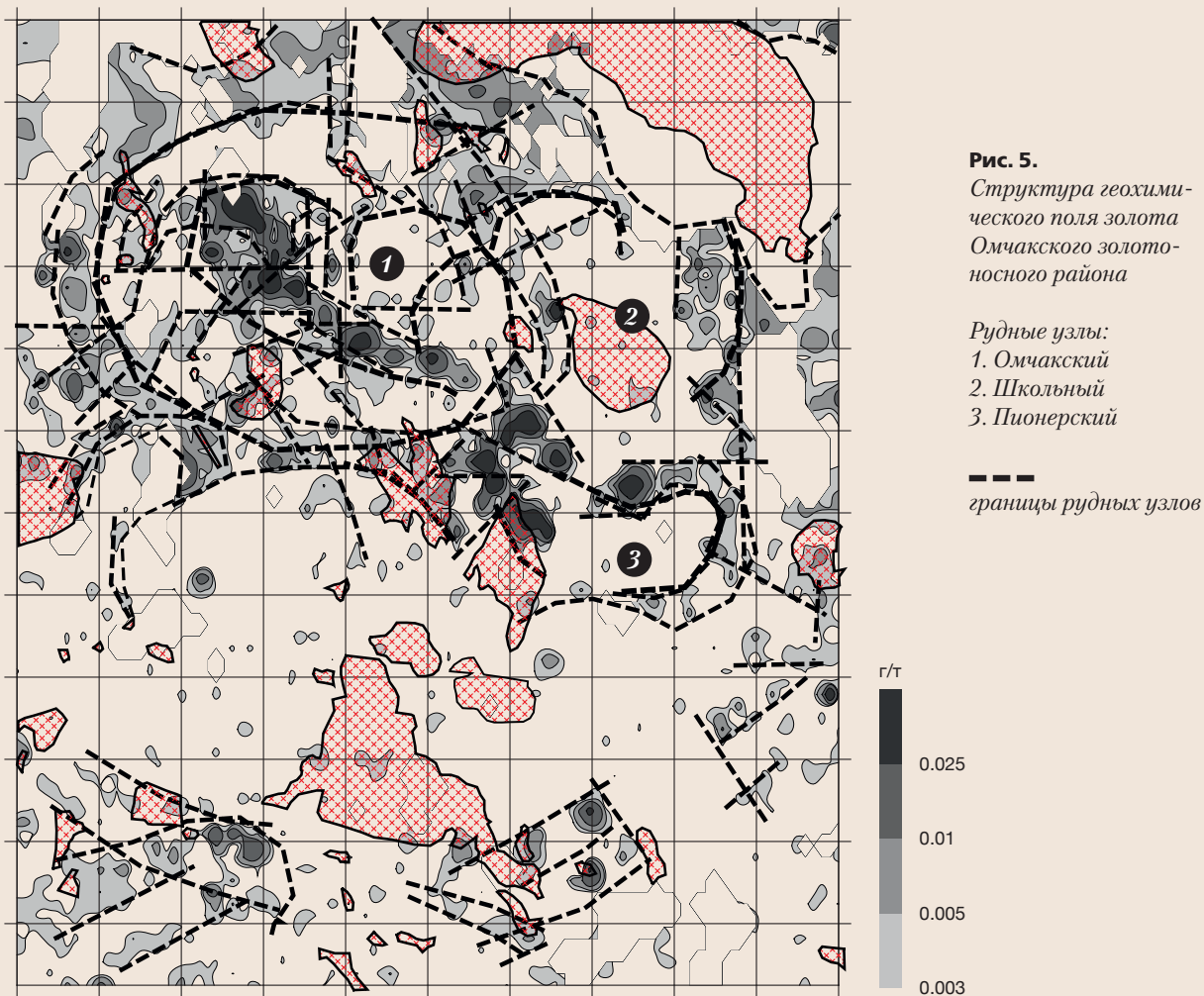


Рис. 4.
Схематическая геологическая карта Омчакского золоторудного района.

- | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| | | | | | | | |
1. Терригенные осадки с примесью вулканогенного материала пермского возраста. 2. Терригенные осадки триасового возраста. 3. Вулканогенные породы ОЧВП. 4. Гранитные массивы. 5. Месторождения и рудопроявления золота. 6. Россыпные месторождения золота. 7. Тектонические нарушения. 8. Рельеф кровли гранитного основания.



В мелком масштабе (кластер первого порядка) выделяются две аномальные области, расположенные в северо-западном и юго-восточном секторах площади. Первая из них образует «геохимический тор» и область «выноса» в связи с островным кольцом мелких интрузий, а вторая образует структуру, в ядре которой продуктивность ГП обоих элементов достигает максимума. Отсюда следует, что в первом случае кровля магматического основания опущена на глубину, а во втором случае – приближена к поверхности. Циклическая геохимическая зональность проявлена пространственным смещением ГП германия и ванадия относительно друг друга.

Геохимическое поле золота коррелируется с северо-западной аномальной структурой ГП германия и ванадия. Оно сложено тремя сопряженными АСПП, с которыми связаны все известные месторождения Омчакского золотоносного района и которые соответствуют рудным узлам – Наталкинскому, Школьному и Родионовскому (рис. 5). Каждая из них обладает своими особенностями обусловленными масштабом и положением магматического ядра рудогенерирующей РМС. Школьная АСПП золота имеет типичную структуру центробежного

типа, симметричное строение относительно магматического ядра и относительно высокий эрозионный срез. Ее площадь составляет примерно 600 км². Родионовская АСПП золота сформирована на северном замыкании крупного интрузива, расположенного в южной части территории и определяющего структуру юго-восточной аномальной области. Она имеет асимметричное строение, очевидно, в связи с пологим восточным погружением магматического ядра и крутым северным. Площадь Родионовской АСПП золота – около 400 км².

Омчакская АСПП золота имеет зонально-волновое строение и значительно превосходит по размерам первые две. С контрастным ГП золота в «ядре» Омчакской АСПП коррелируются Наталкинское, Раздольненское, Павликовское и прогнозируемое Транспортное рудные поля. Наличие центробежной зонально-волновой структуры ГП золота, при отсутствии «энергетического ядра» на поверхности, указывает на глубинный источник рудообразующей энергии и минерального вещества. Площадь Омчакской АСПП золота составляет порядка 1600 км² (рис. 5).

Геохимическое поле серебра сопряжено с ГП золота на северном фланге территории

и имеет максимум своего проявления в связи, юго-восточной аномальной областью в поле структурного кластера первого порядка. На примере ГП серебра наиболее ярко выражена циклическая геохимическая зональность, обусловленная различным эрозионным срезом и (или) относительной глубиной рудогенерирующего магматического очага. Следовательно, что наиболее высокая продуктивность ГП серебра связана с относительно высоким эрозионным срезом рудообразующей системы. С другой стороны, повышенная сереброносность продиктована близостью к структурам ОЧВП, относительно которого сформирован общий тренд серебра (рис. 1, 2).

Геохимические поля мышьяка и циркония имеют выраженную отрицательную связь на уровне структурного кластера первого порядка (циклическая зональность), поддерживают геохимическую зональность центробежного типа на уровне кластера второго порядка и коррелируются с ГП всех рассмотренных выше химических элементов (рис. 8).

Анализ пространственных взаимоотношений между рассмотренными химическими элементами дает возможность утверждать, что концентрация золота на уровне Омчакского золотоносного района обусловлена совокупным энергетическим воздействием магматического основания, **рельеф которого определяет структурную сложность геохимической зональности всех типов.** На этом основании рельеф магматического очага можно представить в виде сопряженных кольцевых конструкций, которые, по всей видимости, являются корневыми частями древних вулканов в перивулканической зоне. Широкая распространенность вулканогенного материала в отложениях пермской системы, вероятно, и связана с этими вулканическими постройками.


Сравнительная прогнозная оценка **локализованных** ресурсов золота и серебра категории Р₃ вытекает естественным образом из анализа структур ГП и исчерпывает

минерагенический потенциал Омчакского золотоносного района.

Ресурсы золота сконцентрированы в пределах Омчакской, Родионовской и Школьной АСПП золота (расположены по убыванию золоторудного потенциала). Последние две являются спутниками Омчакской АСПП золота и характеризуются значительным эрозионным срезом материнской РМС. В этом случае формирование рудных полей и месторождений происходило в векторном поле энергомассопереноса низкой напряженности на флангах рудообразующей системы. Омчакская АСПП золота сформирована в надинтрузивной области в векторном поле максимальной энергомассопереноса.

Основные **ресурсы серебра** размещены в пределах юго-восточной аномальной области структурного кластера первого порядка на флангах и в обрамлении крупного многофазного гранитоидного массива. Фланговая структурная позиция позволяет прогнозировать относительно невысокий потенциал серебряного оруденения и малоперспективный жильный тип оруденения в экзоконтактной зоне гранитоидного массива.

Выводы

1. На стадии регионального картирования металлогенические объекты адекватно отражаются в иерархической системе аномальных структур геохимических полей рудных и породообразующих химических элементов, подчиняясь принципу универсальности, характерному для самоорганизованных структур.
2. Универсальным идентификационным признаком аномальной структуры регионального ГП выступает геохимическая зональность центробежного типа.
3. Структурная сложность регионального ГП зависит от сочетания геохимической зональности центробежного типа разноглубинных источников рудообразующей энергии и циклической геохимической зональности, обусловленной уникальными особенностями физико-химической и геологической среды. 

Использованная литература

1. Григоров С. А. Структурный метод интерпретации геохимических данных применительно к локализации ресурсов категории Р₃ и Р₂. Москва, Разведка и охрана недр, №4-5, 2008, с. 58-66.
2. Григоров С. А. Отражение в геохимическом поле рудообразующей системы, как объекта геохимических поисков. Материалы II Всероссийской конференции по прикладной геохимии. Воронеж 2009, С. 36-42.
3. Григоров С. А. Модель иерархической рудообразующей системы Тенькинской золотоносной зоны. Золото северного обрамления Пацифика. Магадан. 2008. С.60-61.
4. Геологическая карта и карта полезных ископаемых Охотско-Колымского региона. Масштаб 1:500 000. Н. Г. Маннафов, С. Д. Вознесенский, В. А. Огородов и др. – Магадан 1999.
5. Карта тектонических структур С-В СССР, м-ба 1:1 000 000, Е. Н. Жупахин. Магадан. 1989.
6. Куклин А. П., Григоров С. А., Розенблюм И. С. Роль промежуточных коллекторов при образовании гидротермальных рудных месторождений. М.: ВИНТИ. 1979, 73с.
7. Иванюк Г. Ю. Горяинов П. М. Самоорганизация рудных комплексов. Москва: Геокарт-Геос, 2009, С.355-372.