



С. А. Григоров
канд. г.-м. наук, руководи-
тель геологического блока
ООО «УК Полюс
Геологоразведка»



П. И. Кушнарёв
канд. г.-м. наук, руководитель
группы геолого-математического
моделирования и подсчета запасов
ООО «УК Полюс Геологоразведка»
kushnarevpi@polyusgold.com

Геохимическая разведка рудных месторождений

Изложено системное исследование структур геохимических полей для широкого применения геохимических методов в решениях прикладных и научных задач на стадиях детальныx поисков и оценки рудных месторождений.

Structures's system research of geochemical fields were expounded for geochemical methods applying to the applied and scientific solutions on stage of detailed prospecting and estimating of ore deposits.

Ключевые слова: рудные месторождения, геохимические поля, физические модели, поиски, критерии.
Keywords: ore deposits, geochemical fields, physical models, prospecting, criteria.

Системное исследование структур геохимических полей (ГП) в связи с рудообразованием [1, 3, 4] вплотную подводит к обоснованным представлениям о физической модели рудообразующей камеры на иерархическом уровне: месторождение – рудная зона (залежь) – рудное тело. Этот подход открывает путь для широкого применения геохимических методов в решении прикладных и научных задач на стадиях детальных поисков и оценки рудных месторождений. Структурно-геохимическое моделирование позволяет определить физические размеры и пространственное положение рудных образований в естественных границах рудообразующей камеры; обосновать критерии поисков «слепого» и скрытого оруденения; оценить полноту геологической изученности рудного объекта, обосновать геометрию и плотность разведочной сети; оценить пространственное положение полезных и вредных компонентов в пределах месторождения и обосновать структурный контроль их локализации; обосновать классификационные признаки геохимических (минеральных) типов месторождений на основе выделения устойчивых парагенетических ассоциаций химических элементов.

Столь широкий спектр решаемых геологических задач обусловлен природными свойствами рудообразующей системы и использованием базы инструментальных данных (количественных анализов), равномерно характеризующих весь объем месторождения, с минимальным привлечением виртуальной составляющей при конструировании геологической модели рудного объекта. Рудообразующая система обладает фрактальными свойствами, что наряду с принципами самоорганизации [5] позволяет выделить устойчивые структурно-морфологические критерии пространственного ограничения рудного объекта искомой иерархической размерности.

В настоящее время в практике геолого-разведочных работ преобладают виртуальные геологические модели, построение которых базируется на дискретном фактическом материале и непроверяемых аргументах, что негативно отражается на качестве ГРР.

Геохимические методы на стадиях оценки и разведки не входят в перечень обязательных требований ГКЗ МПР РФ к изучению рудных месторождений и применяются как вспомогательные. Это снижает эффективность разведочных работ.

В настоящей работе приводится пример использования метода моделирования структуры

первичного геохимического поля для решения прикладных задач поисков и оценки, который по сути является геохимической разведкой.

В качестве исследуемого объекта выбрано Дегдеканское золоторудное месторождение, расположенное в Магаданской области. Оно относится к геолого-экономическому классу малообогосульфидных месторождений и находится в единой, вместе с известным Наталкинским месторождением [2], золотоносной зоне.

К особенностям строения этого объекта относится отсутствие визуальных структурообразующих геологических границ во вмещающих породах и отсутствие визуальных геологических границ рудных образований, что вызывает известные затруднения при проведении и планировании ГРР и построении геологической модели объекта.

Месторождение представляет собой штокерковую залежь с мозаично-блоковым распределением золота (*рис. 1*). Вмещающие породы представлены метасоматически измененными слабо стратифицированными глинистыми породами пермского возраста с переменным количеством вулканогенного материала. Породы

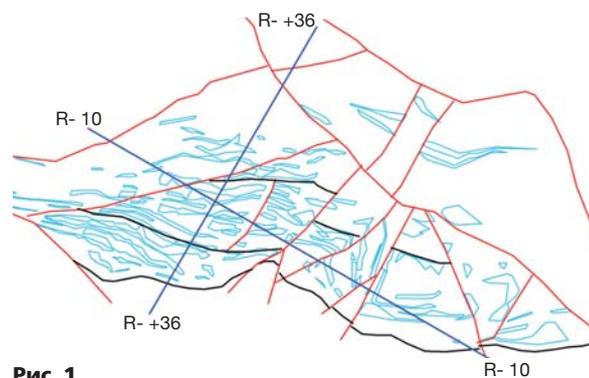


Рис. 1. Структура Северной рудной залежи и контуры рудных тел на поверхности, ограниченные по бортовому содержанию 0,4 г/т
1. Тектонические границы.
2. Литологические границы.

слагают монотонную, моноклиналичную толщу в крыле крупной антиклинальной постройки, инъецированную относительно редкими дайками кварцевых порфиров. Рудные тела выделяются исключительно по данным опробования и преимущественно залегают согласно слоистости вмещающих пород. Однако в ряде случаев рудные тела занимают секущее положение, располагаясь вдоль блокирующих тектонических нарушений различной ориентировки. Тектонические нарушения распространены столь широко, что выбор приоритетных тектонических структур для построения структурной

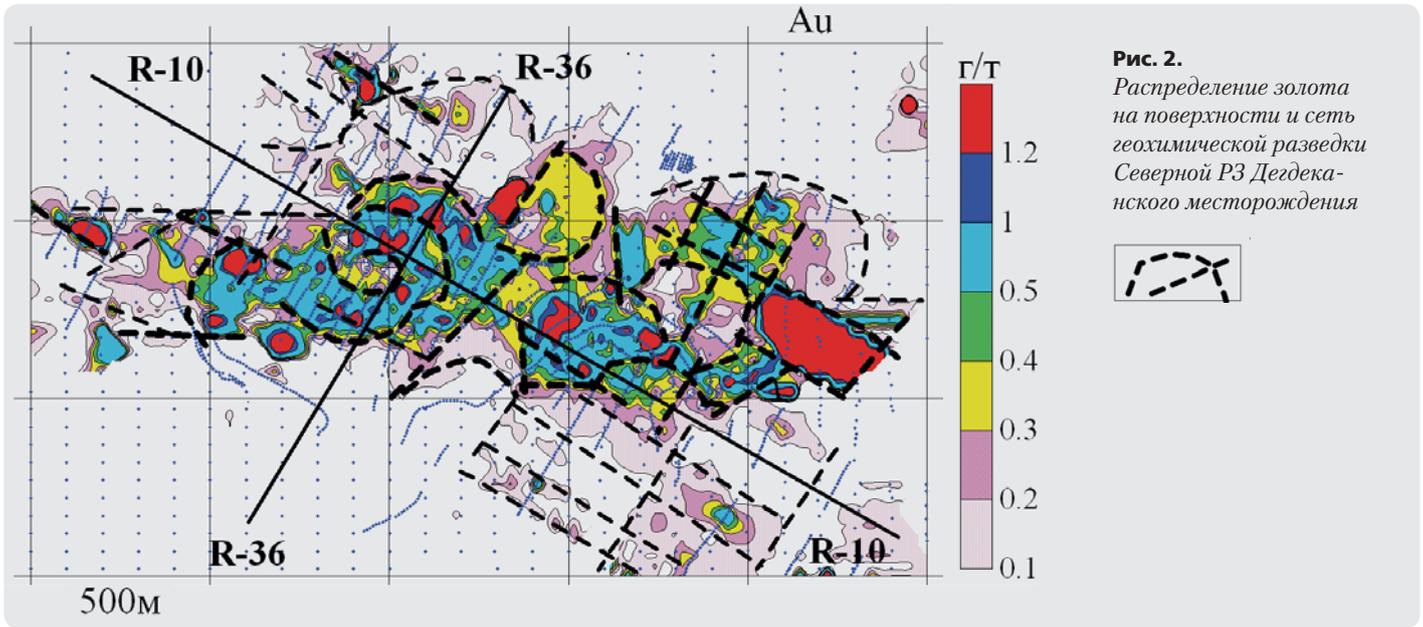


Рис. 2.
Распределение золота на поверхности и сеть геохимической разведки Северной РЗ Дегдеканского месторождения

модели на основе прямых наблюдений становится весьма проблематичным.

Модель Северной рудной залежи (РЗ) Дегдеканского месторождения построена по данным геохимической разведки. Для этой цели выполнено геохимическое опробование коренных пород на поверхности по регулярной сети 100x50 м (копуши), в канавах и на глубину до 500 м по сети детальной разведки 40x40–80 м (рис. 2). Геохимическая база данных представлена точечными пробами из копушей и поисковых скважин и композитными пробами из равных навесок истертых рудных проб из канав и разведочных скважин секциями 10–12 м.

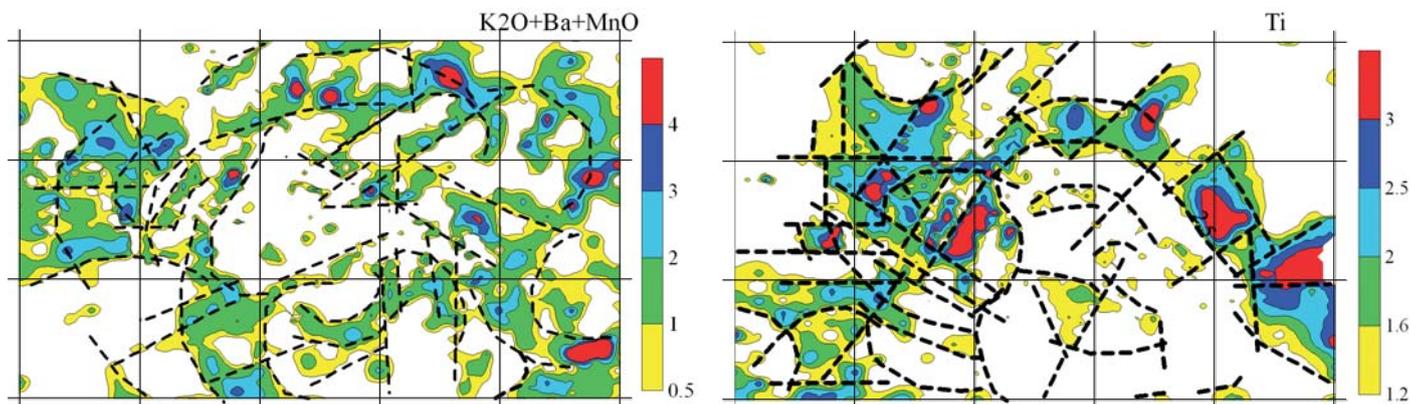
Все пробы прошли анализ на отечественном спектрометре «Спектрон-МАХ-GV» на окислы (SiO₂, K₂O, MnO, FeO+Fe₂O₃) и РРА на As, Cu, Zn, Pb, Ba, Ca, Zr, Sr, W, Ni, Cd, Sb. Содержание золота определено пробирным способом в пробах длиной 2–3 м на всю длину горных выработок и точечных проб из копушей. Для моделирования использованы нормированные значения. Процедура нормирования выполнена по формуле Сиспр. = (Сi – Сср.гарм.) – стандартное отклонение с предварительной урезкой пиковых содержаний. Содержания золота приняты по данным пробирного анализа, в г/т.

Основное назначение геохимической модели рудной залежи (РЗ) – обоснование жесткого каркаса блочной модели для статистического подсчета запасов золота. Необходимость нестандартного подхода к обоснованию оболочек блочной модели объясняется отсутствием визуализируемых геологических критериев для построения каркаса и сложным внутренним строением рудной залежи.

Геохимические данные позволили с высокой достоверностью построить обобщенный контур рудной залежи в пределах рудообразующей камеры, определить пространственное положение геологических неоднородностей контролирующих распределение рудных и сопутствующих химических элементов, определить элементы залегания РЗ и оценить полностью ее разведанности.

В структурах геохимических полей указанных химических элементов сочетаются кольцевые (дуговые) и линейные структурные элементы, отражающие их пространственные взаимоотношения и, следовательно, первичную геохимическую зональность. Структурообразующими факторами служат физико-химические барьеры на фронтах поступательно-возвратного и конвективного энергомасспереноса минерального вещества, открытые трещинно-поровые пространства и блокирующие структурно-геологические элементы (литология и дизъюнктивная тектоника). Детальность исследования позволяет рассмотреть структуру ГП на двух сопряженных иерархических уровнях: месторождение – рудная залежь.

Анализ структуры ГП на поверхности предшествует оценочным работам. Целевым назначением геохимического моделирования на поисковой стадии является определение общих границ рудообразующей камеры на уровне месторождения и оценка полноты поисковой изученности на поверхности, определение пространственного положения рудовмещающих и рудоконтролирующих (блокирующих) геологических структур,



обоснование направления и плотности буровой разведочной сети.

По структурным приоритетам химические элементы и соединения могут быть разбиты на три основные группы. Элементы первой группы – Ti, Ba, K₂O, сумма окислов Fe, MnO – образуют кольцевую структуру в виде тора (1500x800 м), в центре которой расположена золоторудная залежь (рис. 2, 3). Универсальными структурно-геохимическими характеристиками обладает аддитивное геохимическое поле (K₂O+Ba+MnO), формирующее внешнее обрамление рудообразующей камеры, за пределы которого промышленное золотое оруденение не выходит.

Элементы второй группы – Ni, Cu, Zn, Pb, Ba, Ca, Zr, Sr, W, Cd, Sb образуют кольцевую зонально-волновую структуру, заполняя все пространство рудообразующей камеры. Они принимают участие как в формировании фронтальной области «тора», так и в формировании «ядра» кольцевой структуры ГП (рис. 4).

Третья группа химических элементов – золото и мышьяк тяготеют к «ядру» кольцевой структуры ГП, отражая рудную залежь.

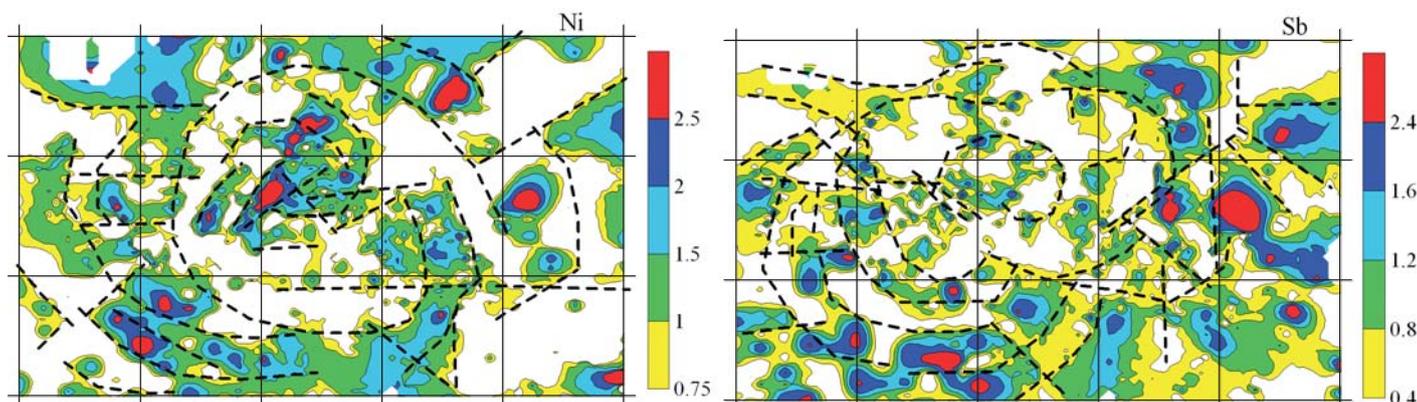
Пространственные взаимоотношения между элементами отражают различные типы геохимической зональности. Помимо очевидных проявлений центробежной и центростремительной зональности выделяется

циклическая геохимическая зональность, обусловленная энергомасспереносом минерального вещества в проницаемых трещинно-поровых структурах внутри рудообразующей камеры. Центробежно-центростремительный (вихревой) тип зональности иллюстрируют ГП никеля и титана (рис. 3, 4). При сопоставлении структур ГП этих элементов обнаруживается высокая парная отрицательная корреляционная связь в закрученном по спирали «потоке», отражающем конвективный энергомассперенос в пространстве рудообразующей камеры. Элементы «вихревой» зональности хорошо заметны в структурах ГП всех других элементов.

Циклическая геохимическая зональность проявлена ритмичным чередованием линейных участков относительно высоких и низких содержаний химических элементов с соответствующими зональными соотношениями между ними. Среди линейных ограничителей ГП преобладают северо-западные и северо-восточные, определяющие пространственное размещение золота и сопутствующих элементов. При этом следует отметить, что и те и другие контролирующие структуры имеют по два генеральных направления, отражая динамику изменения плана тектонических деформаций в процессе рудообразования в объеме рудообразующей камеры. Крутые

Рис. 3. «Центробежная» структура ГП Северной РЗ Дегдеканского месторождения

Рис. 4. «Центробежно-центростремительная» структура ГП Дегдеканского месторождения



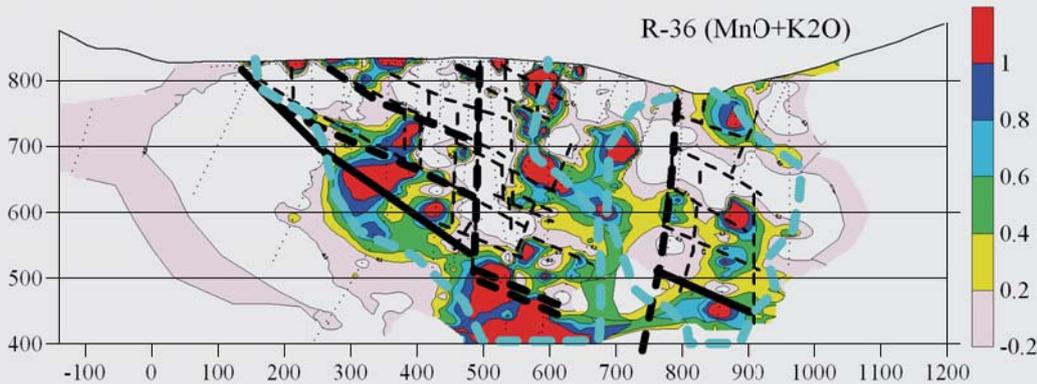


Рис. 5.
«Центробежная» структура аддитивного ГП окиси марганца и окиси калия в поперечном разрезе по линии +36

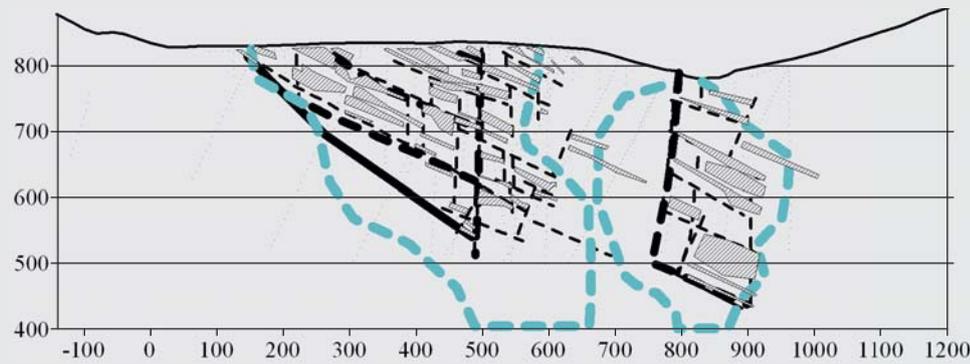


Рис. 6.
Блочная модель распределения золота при бортовом содержании 0,4 г/т в поперечном разрезе по линии +36

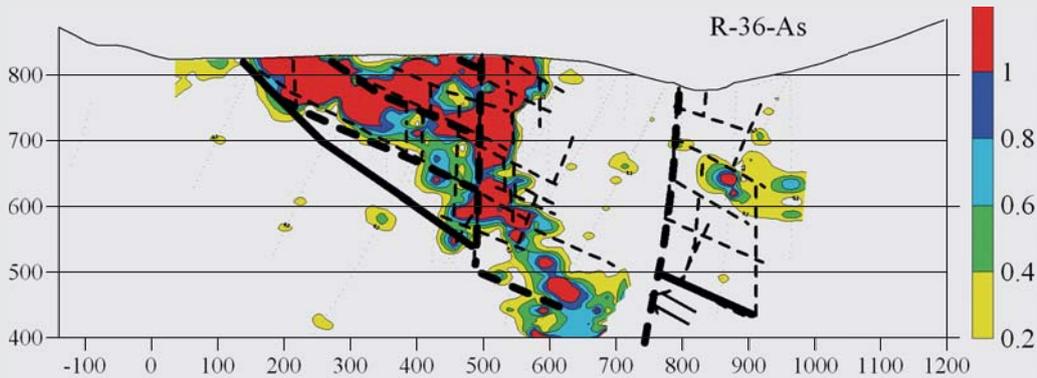
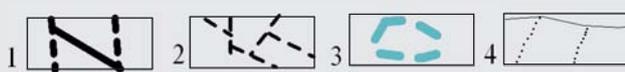


Рис. 7.
«Центростремительная» структура ГП мышьяка в поперечном разрезе по линии +36



1. Основные границы тектонического каркаса и литологические границы. 2. Рудоконтролирующие границы. 3. Границы рудообразующих камер. 4. Трассы скважин КБ и точки геохимического опробования.

структуры соответствуют стартовому положению тектонических разрывов диагональной системы в начале рудообразующего процесса, а относительно пологие сформировались на финальной стадии рудообразования (после купирования первых!). Меньшую роль играют тектонические структуры ортогональной системы, среди которых преобладают широтные. Литологические границы имеют субширотную (запад-северо-западную) ориентировку.

Склонение (погружение) рудообразующей камеры определяется по асимметрии

структуры ГП типичного «верхнерудного» элемента – сурьмы. Более высокая продуктивность ореолов сурьмы на южном и восточном обрамлении рудообразующей камеры указывает на север-северо-западное склонение золотого оруденения.

Таким образом, анализ структуры ГП северной залежи Дегдеканского месторождения на поисковой стадии позволяет сделать обоснованные выводы о физических размерах и пространственном положении золотого оруденения, увидеть основные элементы неоднородности

рудной залежи и оптимизировать направление разведочной сети вкрест основному северо-западному структурному направлению с учетом склонения в северных румбах.

Размеры рудных «блоков» составляют примерно 700x500 м. Начальная плотность разведочной сети принята 160x80 м из расчета создания 3–4 сечений в каждом рудном блоке для оценки золотого оруденения на глубину до 500 м.

Представление о строении ГП в объеме рудообразующей камеры раскрывается в поперечных и продольных разведочных сечениях. Для иллюстрации использованы два разведочных сечения через центральную область месторождения (рис. 2).

В поперечном разрезе по линии +36 вскрыта двухкамерная рудообразующая система, отраженная «центробежными» структурами аддитивного ГП (рис. 5).

Наиболее продуктивное золотое оруденение размещено в «ядре» основной «центробежной» структуры (рис. 8) и коррелируется с «центростремительным» ГП мышьяка (рис. 9). Меньшая по размерам рудообразующая камера имеет «слепое» залегание и расположена по склонению рудовмещающей структуры.

Подобные «сателлитные» рудообразующие камеры обрамляют по периметру «ядро» рудообразующей системы и представляют собой убывающий фрактальный ряд, каждый последующий таксон которого, имеет подчиненное значение, кратно уменьшаясь на каждом «шаге». Установленная закономерность фрактальной соподчиненности в строении рудообразующей камеры имеет важное диагностическое значение, поскольку, во-первых, ориентирует исследователя на поиски «ядра» системы, а во-вторых, позволяет минимизировать ошибки при прогнозировании масштабов оруденения, включая «слепое» и перекрытое.

Убывающий фрактальный ряд рудных таксонов является следствием самоорганизующейся рудообразующей системы и может служить универсальным критерием оценки рудоносности на всех стадиях ГРР.

Оценка структурной позиции золотого оруденения основывается на принципе оценки минимальной изменчивости того или иного структурно-геохимического фактора в плоскости разреза. На рассматриваемом разрезе таким структурным фактором служит выдержанная ориентировка линейных ограничителей ГП практически всех элементов, имеющих склонение в северных румбах, что согласуется с результатами структурного анализа ГП на

поверхности. Это направление и принято в качестве основного структурного критерия при оконтуривании рудных тел по лимитам бортового содержания золота.

Аналогичная ситуация обнаруживается при структурном анализе ГП в продольном разрезе по линии 10 (рис. 8–10).

В плоскости разреза обнаруживаются два таксона фрактального ряда, соответствующие двум рудным блокам (рис. 8, 9, 10). Западный рудный блок занимает центральную позицию и менее эродирован. Восточный рудный блок занимает фланговую позицию, более эродирован и имеет меньшую продуктивность.

Контрастное ГП «центробежного» типа в сочетании с «центростремительным» ГП мышьяка свидетельствует о полноте геологической изученности Северной рудной залежи. В данном разрезе золотое оруденение оценено в полном объеме. Следует прогнозировать структурный перерыв на западном фланге (по склонению) и сателлитный рудный таксон на глубине. По восстанию оруденение выклинивается.

Рудоконтролирующие структуры полого погружаются в северо-западном направлении при относительно широком развитии блокирующих структур встречного полого погружения и горизонтального положения (в плоскости разреза), которые служат естественными ограничителями и должны учитываться при выборе вариантов оконтуривания.

Помимо практических выводов и прикладного значения анализ структуры ГП месторождения раскрывает универсальный механизм формирования рудообразующей камеры. Процесс рудообразования включает в себя последовательное заполнение открытого трещинно-порового пространства в замкнутом объеме рудообразующей камеры. На первом этапе происходит формирование внешней оболочки рудообразующей камеры в процессе центробежного развития системы, конвективный энергомассперенос и заполнение рудовмещающей камеры продуктами гидротермальной деятельности. На завершающем этапе происходят автоматическая концентрация остаточных продуктов и формирование продуктивной фазы рудообразования в «ядре» системы.

Выводы

1. В процессе геохимической разведки установлены физические размеры, морфология, внутреннее строение и условия залегания Северной рудной залежи Дегдеканского месторождения.
2. Граничными геохимическими критериями локализации промышленного золотого

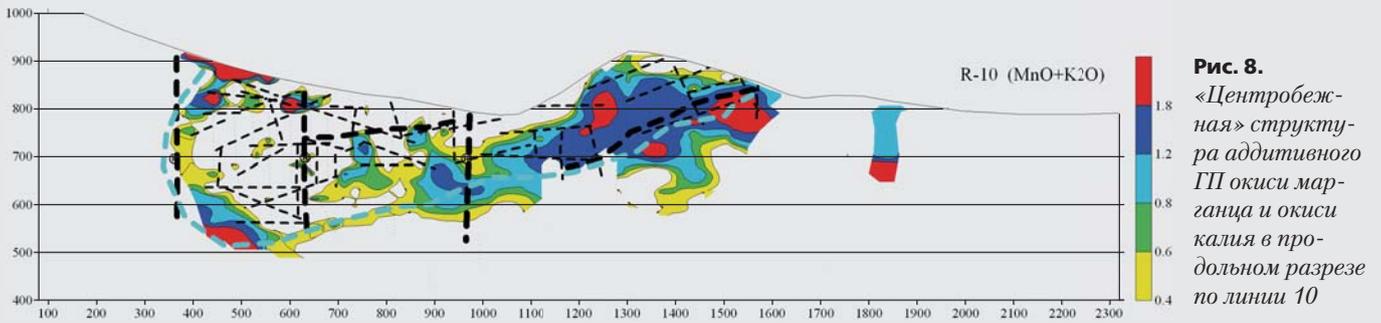


Рис. 8. «Центробежная» структура аддитивного ГП окиси марганца и окиси калия в продольном разрезе по линии 10

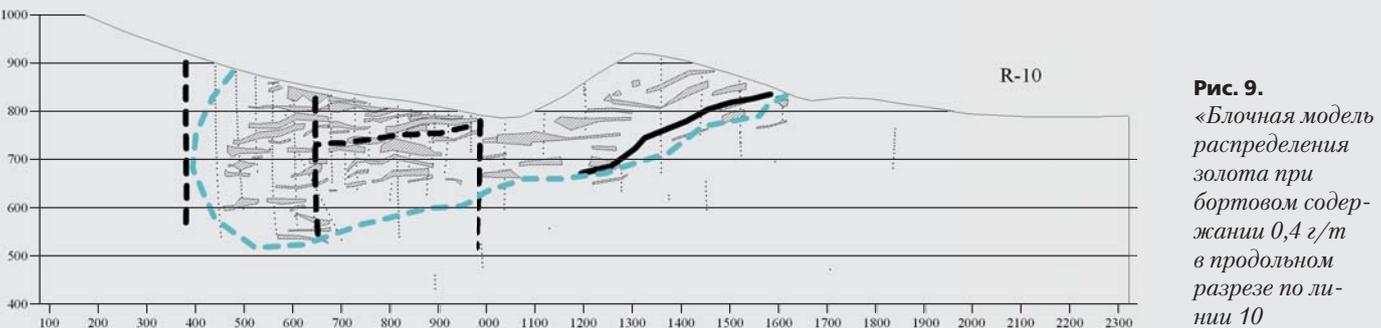


Рис. 9. «Блочная модель» распределения золота при бортовом содержании 0,4 г/т в продольном разрезе по линии 10

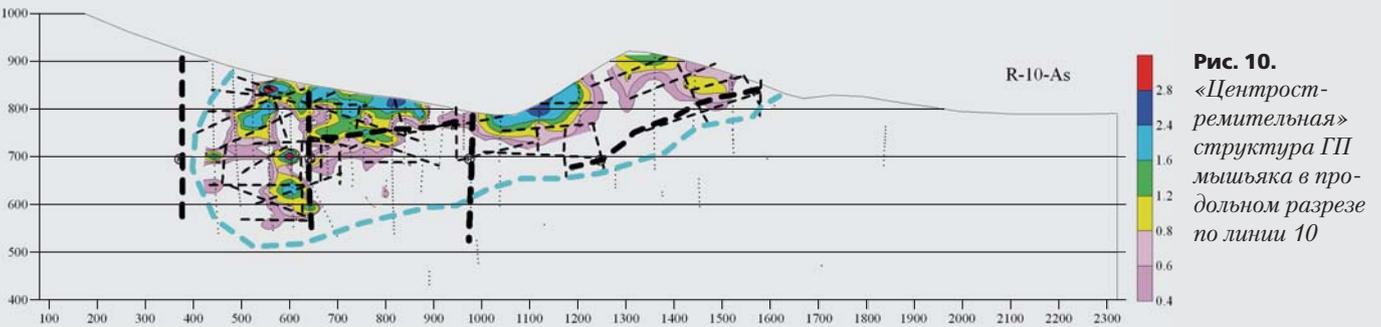


Рис. 10. «Центростремительная» структура ГП мышьяка в продольном разрезе по линии 10

оруденения является контур аддитивного ГП золота и мышьяка, обрамленный (по периметру) аддитивным геохимическим «тором» окиси марганца и окиси калия.

3. Установлено, что Северная рудная залежь Дегдеканского месторождения полностью околонтурена в плане, по падению и склонению.

4. Рудная залежь состоит из двух рудных блоков, разделенных рудоподводящей структурой северо-восточной ориентировки.

5. Золотосульфидное (арсенипиритовый тип) оруденение сформировано на заключительном этапе рудообразования в «ядре» рудообразующей камеры. Основная роль в локализации промышленного оруденения принадлежит тектоническим трещинно-поровым структурам северо-западной ориентировки при блокирующем влиянии северо-восточных и субширотных тектонических структур. Заметную роль в пространственном размещении золотого оруденения играют дуговые структурные элементы ГП, образованные

конвективными потоками в пределах локальных рудообразующих камер.

6. Иерархическая модель Дегдеканской рудообразующей системы дает основание представлять геохимическое и тектоническое поле рудного объекта как дискретную фрактальную самоорганизующуюся структуру, закономерное строение которой повторяется на каждом иерархическом уровне.

7. Структурное моделирование геохимических полей гидротермальных рудных месторождений на стадии оценки рудных месторождений позволяет картировать в геологическом пространстве рудообразующие камеры, что способствует оптимизации поисковых и оценочных работ, оценке полноты изученности рудного объекта и обоснованию прогнозных оценок локализованных ресурсов категории Р2 и Р1 на стадии поисков; обоснованию экстраполяции запасов категории С2 на стадии оценки.

8. В структурах геохимических полей рудных и породообразующих химических элементов

в объеме рудообразующей камеры отражены структурно-тектонические (геологические) неоднородности, определяющие пространственную позицию оруденения и сопутствующих комплексов химических элементов, что способствует обоснованию оптимальной геометрии разведочной сети.

9. В структурах геохимических полей рудных элементов отражены парагенетические комплексы химических элементов на всех этапах его формирования, способствующие обоснованию генетической и промышленной типизации рудных объектов.

10. Формирование тектонических напряжений и формирование внутрирудной тектоники в объеме рудообразующей камеры обусловлено циклическими изменениями физико-химических параметров, вызванными самоорганизующимся поступательно-возвратным процессом рудообразования.

11. Моделирование структур геохимических полей на уровне месторождений и рудных залежей (рудных зон и тел) позволяет глубже разобраться в генезисе гидротермальных месторождений и способствует дальнейшему развитию теоретических основ рудообразования. 

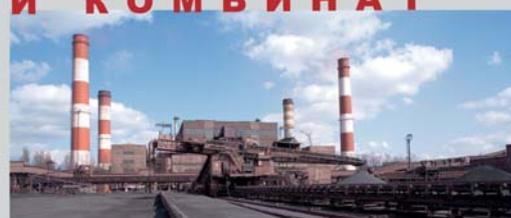
Использованная литература

1. Григоров С.А. Геохимическая зональность рудообразующей камеры на примере Дегдеканского золоторудного месторождения// Разведка и охрана недр. 2009. № 1. С. 12-16.
2. Григоров С.А. Генезис и динамика формирования Наталкинского золоторудного месторождения по данным системного анализа геохимического поля// Руды и металлы. 2006. № 3. С. 44-48.
3. Григоров С.А. Структурный метод интерпретации геохимических данных применительно к локализации ресурсов категории Р3 и Р2// Разведка и охрана недр. 2008. №4-5. С. 58-66.
4. Григоров С.А. Отражение в геохимическом поле рудообразующей системы, как объекта геохимических поисков// Разведка и охрана недр. 2009. №5. С. 8-13.
5. Иванюк Г.Ю., Горяинов П.М. Самоорганизация рудных комплексов// М.: Геокарт-Геос, 2009. С. 355-372.
6. Моисеенко В.Г. Вопросы наногеохимии золота// Сборник «Наногеохимия золота». С. 6-30. Владивосток, 2008.

МИХАЙЛОВСКИЙ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫЙ КОМБИНАТ

Михайловский ГОК входит в состав холдинга «МЕТАЛЛОИНВЕСТ» - крупнейшей горно-металлургической компании в России. Михайловский ГОК сегодня - это современный высокотехнологичный производственный комплекс, использующий в своей работе новейшие оборудование и технику, а также передовые технологии добычи и переработки железной руды.

■ Доля ОАО «Михайловский ГОК» в общероссийском производстве железорудного сырья.



ООО УК «МЕТАЛЛОИНВЕСТ»
119034, г. Москва, Коробейников пер.,
дом 1, стр. 1а,
тел.: + 7 (495) 981-5555, факс: + 7 (495) 981-9992,
mail: info@metinvest.com

ОАО «Михайловский ГОК»
307170, Курская область, г. Железногорск,
ул. Ленина, д. 21,
тел.: +7 (47148) 9 41 05, факс: +7 (47148) 4 64 96,
www.mgok.ru