

компонентов в 5–6 раз выше. Отсюда следует важный для металлогенических построений вывод — прямой доступ мантийных магм к палеоповерхности не может обеспечить генерацию рудообразующих флюидов. Для этого требуется обязательный этап мантийно-корового взаимодействия с последующей дифференциацией малоглубинных коровых магматических очагов и их взаимодействием с вмещающей средой, что, в конечном счете, обеспечивает генерацию гидротермальных металлоносных флюидов. Генерируемые этими малоглубинными очагами металлоносные флюиды, как показывает практика, формируют области интенсивного рудообразования вблизи палеоповерхности (1–3 км) при $P = 0,1–3,0$ кбар и $T = 100–500$ °С. В итоге формируются долго действующие литосферные колонны магматического вещества, которые по мере продвижения их в кору обогащаются летучими компонентами, генерируют рудное вещество и являются источниками тепловой и волновой энергии.

Проекция такой колонны-кластера на современную поверхность представляет собой условный центр минерагенического таксона в ранге провинции и должна являться предметом «охоты» при обзорном и мелко-масштабном геолого-геохимическом картировании. Более мелкие «мишени» этой иерархической фрактальной структуры представлены локальными областями интенсивного рудообразования вблизи палеоповерхности при минимальных значениях P и T — параметров вмещающих толщ.

На рис. 4 показан пример районирования мегаблоков докембрийского фундамента Арктической зоны РФ с проецированием над ними минерагенических провинций Au и УВ. Из рис. 4б видно, что известная Au-рудная провинция приурочена к краевой части стабильного докембрийского мегаблока, а УВ провинция — к зоне растяжения между стабильными мегаблоками фундамента.

Выявление центров минерагенических таксонов при составлении обзорных и мелко-масштабных геохимических карт рекомендуется проводить с помощью инновационной технологии структурно-геохимического анализа [2], в основе которой лежит способ локализации центрального ядра всей иерархической ореольной системы с убыванием остальных таксонов по мере удаления их от ядра. Опыту анализа структуры геохимических полей исследуемой территории российской Арктики (рис. 2б) посвящена статья С.А. Григорова и других в этом номере журнала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геохимическое картирование циркумполярной Арктики: научная парадигма, технология, предварительные результаты / А.А. Кременецкий [и др.] // Разведка и охрана недр. - 2015. - № 6. — С. 8–21.
2. Григоров, С.А. Нелинейная структура геохимического поля рудообразующей системы (структурная геохимия) / С.А. Григоров. — М.: ИМГРЭ, 2015. — 149 с.
3. Новые геологические данные, обосновывающие континентальную природу области Центрально-Арктических поднятий / А.Ф. Морозов [и др.] // Региональная геология и металлогения. — 2013. — № 53. — С. 34–55.
4. Природа воды гидротермальных растворов / Г.Б. Наумов [и др.] // Зап. РМО. — 2012. - Ч. СХLI, № 5. — С. 75–88.

5. Шкодзинский, В.С. Глобальная петрология по современным данным о горячей гетерогенной аккреции Земли / В.С. Шкодзинский. — Якутск: Издательский дом СВФУ, 2018. — 244 с.
6. Щеглов, А.Д. / Нелинейная металлогения и глубины Земли / А.Д. Щеглов [и др.] — М.: Наука, 1985. — 325 с.
7. Khudoley, A. Proterozoic supercontinental restorations: Constraints from provenance studies of Mesoproterozoic to Cambrian clastic rocks, eastern Siberian Craton / A. Khudoley [et al.] // Precambrian Res. — 2014. — Vol. 259. — P. 78–94.
8. Miller, E.L. New insights into Arctic paleogeography and tectonics from U-Pb detrital zircon geochronology / E.L. Miller [et al.] // Tectonics. — 2006. — Vol. 25, № 3. — P. 1–19.

© Коллектив авторов, 2019

Кременецкий Александр Александрович // nauka@imgre.ru
 Веремеева Людмила Ивановна // verli@yandex.ru
 Полякова Татьяна Николаевна // imgre2010@yandex.ru
 Граменицкая Полина Николаевна // polina-gramenitskaya@mail.ru

УДК 550.4.02.

Григоров С.А., Кременецкий А.А., Спиридонов И.Г.,
 Пилицын А.Г. (ФГБУ «ИМГРЭ»)

СТРУКТУРНО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ АРКТИЧЕСКОГО СЕКТОРА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Оценка минерагенического потенциала территорий базируется на нелинейных процессах ореолообразования в режиме самоорганизации. На основе структурно-геохимического районирования российской Арктики выделены ранжированные ряды таксонов I и II порядков, установлена синхронно-зональная структура геохимического поля в ранге рудного района и дана количественная оценка прогнозных ресурсов Au. Ключевые слова: рудно-магматические системы, геохимическая зональность, локализация аномалий геохимического поля, минерагенический потенциал.

Grigorov S.A., Kremenetskiy A.A., Spiridonov I.G., Pilityn A.G. (IMGRE)

STRUCTURAL-GEOCHEMICAL ZONING OF THE ARCTIC SECTOR OF THE RUSSIAN FEDERATION

The assessment of the minerogenic potential of the territories is based upon nonlinear halo-forming processes acting in the mode of self-organization. Based on structural-geochemical zoning of the Russian Arctic, the ranked taxa series of I and II orders, the synchronous zonal structure of the geochemical fields of the ore region rank, and a quantitative assessment of the predicted gold resources are presented. Keywords: ore-magmatic systems, geochemical zonality, localization of geochemical anomalies, minerogenic potential.

В основе прогнозирования минерагенического потенциала территорий традиционно лежит вещественно-геологическая и структурно-тектоническая основа, положение точек размещения МПИ и контуры геохимических ореолов в концентрациях, превышающих значение фоновых содержаний. При этом связь между

этими разнородными формами проявления геологической материи устанавливается на основе визуальной оценки пространственной близости. Насколько продуктивен такой подход можно судить по эффективности открытия новых перспективных площадей и месторождений. Их не просто мало, а непозволительно мало в контексте роста потребления минеральных ресурсов во всем мире. Проблема лежит в невысоком соответствии традиционных прогнозно-поисковых моделей и реальной действительности. Традиционное представление об ореолообразовании и рудообразовании, связи этих процессов с геологическими и тектоническими — требуют новых объяснений и пересмотра исторически сложившихся взглядов.

Фактический материал, характеризующий строение геохимических полей в связи с разномасштабными минерагеническими и рудными объектами, обнаруживает новые подходы, способные существенно пересмотреть «геохимический фактор» в системе минерагенического районирования, поисков месторождений и прогнозирования рудного потенциала. В основе новаций лежат закономерности, обнаруженные в процессе анализа строения геохимических полей, отражающих рудные объекты в таксонометрическом ряду: минерагеническая область — рудный район — рудный узел — рудное поле — рудная зона — рудное тело [1]. Новый подход базируется на нелинейных (динамических) процессах ореолообразования в ходе развития рудообразующей системы в режиме и по законам самоорганизации [3]. С этих позиций сформулировано альтернативное определение аномальности геохимического поля (ГП). *Аномалией является высокоупорядоченная структура геохимического поля, отражающая рудные объекты в естественных границах таксонов иерархического ряда: рудный столб — рудное тело — рудная зона — рудный блок — рудное поле — рудный узел — рудный район — минерагеническая область — минерагеническая зона — минерагеническая провинция — мегаблок.*

В процессе самоорганизации формируется единый морфоструктурный облик аномалий ГП, представленный концентрически-зональными системами в контексте фрактальной структуры. *Фрактальная структура* — дробная система, таксоны которой обладают свойствами подобия. Физические размеры таксонов (аномалий ГП) пропорциональны ресурсам и запасам полезных ископаемых, заключенных в их пределах, и являются основой относительного ранжирования минерагенического потенциала локализованных и нелокализованных аномалий ГП. Главный таксон фрактального ряда занимает центральное положение и содержит около 70 % ресурсов и запасов и реализуется в виде собранной или разложенной в ряд, симметричной относительно центрального таксона, русской матрешки. Каждый таксон обладает морфоструктурным подобием в контексте концентрической *геохимической зональности двух видов — центробежной и центростремительной. Центростремительный тип* зональности образуется в объеме рудообразующей камеры за счет

внутренних источников энергии и отражает этап концентрации химических элементов — образование собственно месторождений (<1 % от объема ГП рудного узла). Исторически сложившиеся представления о строении геохимических полей основаны на фактическом материале, характеризующем масштаб рудных зон — рудных тел. *Центробежный тип* зональности образуется в процессе диссипации (рассеяния) вещества и энергии за счет внешних источников энергии (>99 % от общего объема ГП). Несмотря на сходное морфоструктурное выражение и зачастую близкие концентрации элементов в ореолах, их интерпретация существенно отличается. Максимальные концентрации в замкнутой системе рудообразующей камеры указывают на положение продуктивного ядра системы. Концентрация химических элементов в ореолах диссипирующей (открытой) системы позволяет идентифицировать энергетическое ядро, но не указывает на положение месторождений, характеризуя лишь относительный минерагенический потенциал. Особое место занимает *синхронная* зональность, обусловленная структурными формами в виде пар, триад и реже полей химических элементов без наложений и секущих взаимоотношений, складывая общую картину зональной конструкции наподобие пазлов в пространстве концентрических структур.

Синхронно-зональные взаимоотношения сохраняются на всех уровнях организации системы — от мегаблоков 1-го порядка планетарного масштаба до рудных зон и тел [2]. Этот факт требует кардинального пересмотра традиционных представлений об ореолообразовании и рудообразовании, включая использование и форму представления геохимических данных для построения минерагенических карт, прогнозирования и управления МСБ как в общем, так и в частном порядке. Постоянство «формы» сопровождается бесконечным разнообразием элементного наполнения всех таксонов системы, формирующего *латеральную* зональность. Очевидно, с этим и связана ограниченность структурных форм рудных месторождений полезных ископаемых и неповторимое разнообразие минерального содержания.

Локализованная аномалия геохимического поля — высокоупорядоченная структура, отражающая рудные объекты в естественных границах; является пространственным обоснованием для применения оценок запасов и ресурсов искомым химическим элементам и соединений в системе: рудный столб ($A+B+C_1$) — рудное тело ($C_1+C_2+P_1$) — рудная зона (P_1) — рудное поле (P_2) — рудный узел (P_3).

Ресурсы $P_3 = \Sigma P_2 = \Sigma P_1 = \Sigma C_1 + C_2(P_1)$.

В этом случае прогнозные ресурсы имеют привязку к конкретным природным объектам, а не являются функцией изученности, как это фактически сложилось в современной практике. Помимо этого, единый подход к пространственной локализации искомым объектам служит основанием для оценки полноты поисковой изученности и разведанности на каждом иерархическом уровне организации ГП.

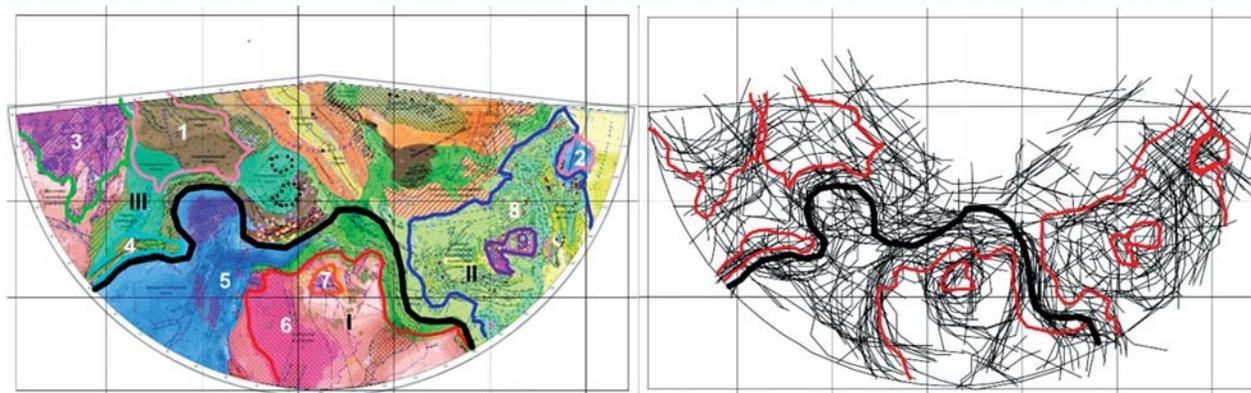


Рис. 1. Карта структурно-геохимического районирования Арктического сектора РФ на структурно-тектонической карте м-ба 1:15 000 000 (ВСЕГЕИ, 2016 г.). Структуры геохимических полей первого порядка: I — Центральный Мегаблок, II — Восточный Мегаблок, III — Западный Мегаблок. Структурно-тектонические основания (центры) геохимических полей второго порядка в ранге минерагенических провинций, отражающие: 1 — Южно- и Северобаренцевские впадины + Свальбардскую плиту, 2 — Берингово-морской бассейн, 3 — Балтийский щит, 4 — Уралско-Новоземельскую складчатую систему, 5 — тектонически активированную осевую область фундамента Западно-Сибирской плиты, 6 — Сибирскую платформу, 7 — Анабарский щит, 8 — Верхояно-Колымский аккреционно-надвиговый пояс + Охотско-Чукотский Вулканический Пояс, 9 — Приколымский горст-антиклинорий + Омолонский массив. Справа на фоне структурно-тектонических границ основания приведена аддитивная схема структурно-геохимических ограничителей 42-х элементов на площади Арктического сектора РФ. Тектонические и геохимические границы имеют почти полное совпадение

В большинстве случаев локализованные аномалии имеют трехзвенное строение, представляющее собой относительно концентрированное ядро, последовательно окруженное областью «выноса» и областью фронтального концентрирования. Однако в ряде случаев «ядро» не обнаруживается по техническим причинам (вид опробования, масса проб, размерность минерала-носителя и т.п.), и тогда аномалия необоснованно получает отрицательную оценку.

Нелокализованная аномалия геохимического поля — упорядоченная структура, отражающая минерагенические объекты в естественной последовательности: рудный район — минерагеническая область — минерагеническая зона — минерагеническая провинция — мегаблок. Аномалии этого типа не указывают на пространственное положение подчиненных таксонов, а являются основанием для общего планирования развития МСБ.

В качестве критериев относительной оценки минерагенического потенциала служит степень структурной упорядоченности аномалии ГП и физические размеры. В основе технологии лежит графический способ локализации таксонов ореольной системы, отражающих искомые минерагенические и рудные объекты, который позиционируется как структурная геохимия.

В пространстве Арктического сектора РФ концентрическая геохимическая зональность сформирована относительно крупных тектонических форм — выступов и компенсационных прогибов фундамента. Выступы фундамента сопровождаются геохимическим спектром рудных элементов, а с прогибами связаны углеводородные формации. В структурах ГП 40 элементов разных геохимических групп и распространенности локализуются три геохимических мегаблока — Центральный, Восточный и Западный (рис. 1). Наивысшей структурной упорядоченностью обладает Центральный мегаблок, обладающий фрактальной

структурой (собранный «матрешка») в контексте концентрической зональности. Восточный мегаблок имеет моноструктурное строение по сравнению с дробной структурой Западного мегаблока, характеризуя относительный энергетический и минерагенический приоритет. Тектономагматические основания мегаблоков образуют фрактальную структуру, которая погружается на восток и запад, отражая разные уровни эрозионного среза древних построек относительно наиболее эродированного Центрального мегаблока, который является главным таксоном ореолообразующей системы Арктического сектора. Структуры ГП всех (из проанализированных) элементов гармонично сочетаются между собой, заполняя все пространство сектора. Целостное представление о структурных взаимоотношениях элементов иллюстрируется на примере высоколиквидных металлов и кремния (рис. 2).

Ранжированный ряд таксонов ГП 1-го порядка и геохимическая специализация имеют следующий вид: Центральный (Cu, Au, W, Ni, Co, Sb, алмазы) — Восточный (Au, Ag, Pb, Cu, Mo, Sb) — Западный (Pb, Zn, Cu, W, Ni, Co, Sb, алмазы). Мегаблоки не оконтурены по периметру, уходя за пределы Арктического сектора, поэтому их полная сравнительная характеристика не имеет должного обоснования. Однако очевидно, что Центральный мегаблок, связанный с северным сегментом Сибирского кратона, имеет явный приоритет по размерам и энергетическому потенциалу и распространяется на большую часть центральной Сибири. Обращает на себя внимание близкий элементный состав спектра геохимической специализации мегаблоков, что указывает, наравне с феноменом синхронной зональности, на единую «геохимическую матрицу» исходного ГП в планетарном масштабе. С более крупными тектоническими постройками (Сибирская платформа и Балтийский щит) закономерно размещены алмазоносные провинции как следствие наиболее

мощных энергетических поступлений. Синхронно-зональные ГП золота, свинца, меди, никеля, вольфрама и цинка образуют концентрические структуры относительно древних выступов фундамента, заполняя пространства мегаблоков и характеризуя относительный приоритет того или иного элемента. При этом

минерагенический приоритет не связан с уровнем концентрации элементов. Так, максимумы содержания золота тяготеют к Балтийскому щиту, а Норильский рудный район вообще не отражен в ореолах никеля (красный квадрат на ГП никеля, рис. 2). Эти примеры красноречиво характеризуют традиционный способ

локализации аномалий, который автоматически переносится с масштаба месторождений (рудных зон — рудных тел) на масштабы минерагенических таксонов и формирует ложные объекты целеполагания (в том числе при составлении прогнозно-геохимических карт мелких масштабов!).

В рассматриваемом случае концентрация химических элементов не является признаком аномальности и не может служить аргументом для минерагенических и металлогенических построений. В противовес — комплексные структурно-геохимические критерии прямо указывают на приоритет золотоносности в пределах Восточного мегаблока в обрамлении тектонического ядра Центрального и Западного мегаблоков. На минерагенический приоритет никеленосности указывает концентрически-зональная структура ГП никеля относительно Сибирской платформы. Синхронно-зональные медь и вольфрам, свинец и цинк тяготеют к северным широтам Западного мегаблока.

Породообразующий кремний участвует в геохимическом строении Арктического сектора РФ наравне с рудными элементами, несмотря на несопоставимый уровень содержаний в геохимических пробах находится в синхронно-зональной связи с никелем и не имеет пространственной увязки с вещественным составом вмещающих пород. Исключением является локальная структура ГП Анабарского щита, где концент-

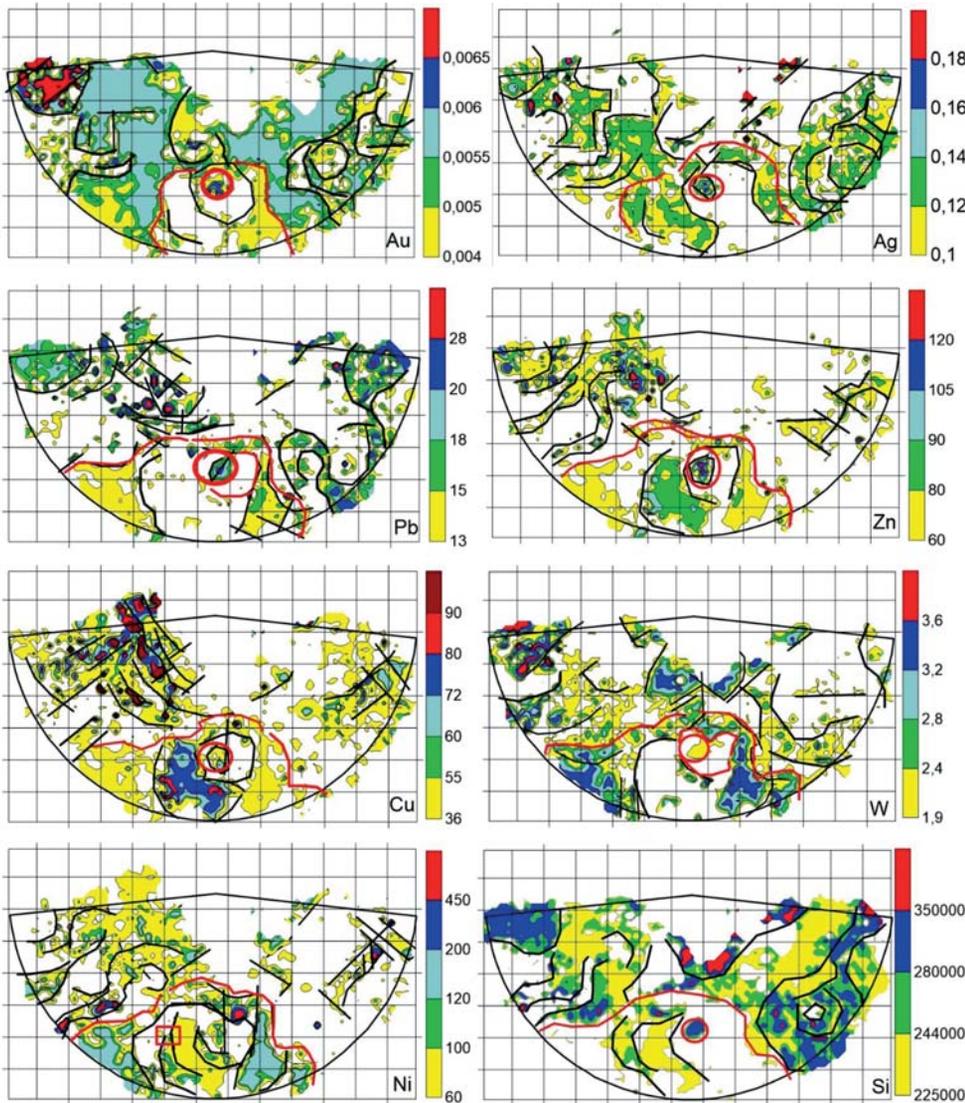


Рис. 2. Структуры геохимических полей высоколиквидных металлов (в г/т) и кремния в Арктическом секторе РФ (в г/т)

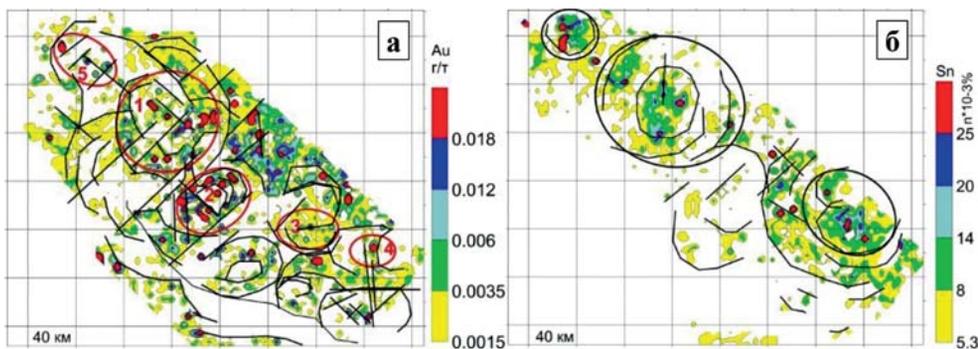


Рис. 3. Отражение рудных узлов (а) и основания рудно-магматических систем (б) в структурах геохимических полей золота и олова в пределах Анойской Зоны Чукотки

рируется подавляющее большинство элементов (красная окружность на рис. 2). Этот феномен может быть обусловлен «прессованием» в энергетическом канале по типу «плюма». Подобные структуры обнаружены и детально опоискованы на Колыме [1].

Иллюстрацией, характеризующей междууровневую связь ГП, служит пример структурно-геохимического районирования на площади Анюйской золотоносной зоны (в ранге рудного района), примыкающей на северо-востоке к тектоническому ядру Восточного мегаблока (рис. 3а). В синхронно-зональных геохимических полях золото/олово отражены размеры и пространственное положение Анюйской золотоносной зоны, в составе которой локализованы золоторудные узлы в виде островных конструкций (Au) и очаговые структуры (Sn) основания РМС; олово позиционируется как индикатор близости к материнским интрузивным телам (рис. 3б). Золотоносная зона разделена поперечной структурой на две части. На западном фланге золоторудные узлы в ГП отражены концентрически-зональными структурами с «оловянным» центром и «золотым» обрамлением с преобладающей «золотой» специализацией. На восточном фланге в условиях «оловянной» специализации золото размещено в виде кольцевых структур подчиненной размерности на периферии «магматического» центра.

Количественная оценка прогнозных ресурсов золота базируется на сравнении с эталоном, в качестве которого выступает Тенькинская золотоносная зона с известными месторождениями и прогнозными ресурсами в количестве $n \cdot 1000$ т золота. Размеры сравниваемых золотоносных зон сопоставимы, что дает основание оценить *нелокализованные* прогнозные ресурсы золота кат. P₃ Анюйской зоны в количестве $n \cdot 1000$ т.

Последовательное укрупнение масштаба геохимических поисков неизбежно приводит к локализации таксонов ГП, отражающих рудные зоны и рудные тела.

Выводы

Планетарное геохимическое поле рассматривается как самодостаточное явление, подобное физическим полям (магнитное, гравитационное, электромагнитное и т.п.) и имеет сферическую структуру, соответствующую структуре Земного Шара.

В основе ореолообразования лежит пространственная дифференциация под воздействием эндогенной энергии, деформирующая первичное ГП (синхронные структуры) и трансформирующая (концентрические структуры) первичное поле в процессе диссипации. Центры дифференциации и трансформации ГП *совпадают* с выступами фундамента и магматическими центрами РМС разных масштабов в *необратимом* процессе самоорганизации, порождая иерархическую систему (фрактальную структуру) и концентрическую зональность.

Самоорганизация таксонов геохимического поля исключает возможность образования какой-либо иной морфоструктурной конфигурации и типов геохимической зональности.

Последовательное картирование таксонов ореолообразующей системы обеспечивает надежную идентификацию искомым объектов на всех стадиях ГРП и *неизбежно* приводит к открытию месторождений.

Изложенный фактический материал служит основанием для пересмотра традиционных основ применения геохимической информации в научных и прикладных целях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григоров, С.А. Структура геохимического поля рудообразующей системы / С.А. Григоров. — М.: ИМГРЭ, 2014. — 143 с.
2. Григоров, С.А. Структуры геохимических полей как инструмент локализации и ранжирования рудных объектов на стадии средне-масштабных поисков / С.А. Григоров // Разведка и охрана недр. — 2018. — № 9 — С. 18–22.
3. Пригожин, И. Время, хаос, квант / И. Пригожин, И. Стенгерс. — М.: Прогресс, 1994 — 272 с.

© Коллектив авторов, 2019

Григоров Сергей Александрович // grigorovrim@mail.ru
Кременецкий Александр Александрович // nauka@imgre.ru
Спиридонов Игорь Геннадьевич // imgre@imgre.ru
Пилицын Алексей Гаврилович // allexpil@yandex.ru

УДК 550.84:553.44

Миляев С.А., Кряжев С.Г., Виленкина Ю.В.
(ФГБУ «ЦНИГРИ»)

ПОИСКИ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В СЛОЖНЫХ ЛАНДШАФТНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБСТАНОВКАХ ПО НАЛОЖЕННЫМ ОРЕОЛАМ РАССЕЯНИЯ

*Показаны возможности применения новой технологии литохимических поисков глубокозалегающих полиметаллических месторождений в различных ландшафтных и геологических обстановках. Приводятся конкретные примеры из практики поисковых работ. **Ключевые слова:** метод литохимических поисков, полиметаллические месторождения.*

Milyaev S.A., Kryazhev S.G., Vilenkina Yu.V. (TSNIGRI)
SEARCH OF POLYMETALLIC FIELDS IN DIFFICULT
LANDSCAPE AND GEOLOGICAL SITUATIONS ON THE
IMPOSED DISPERSION AURAS

*The possibilities of application of new technology of lithochemical prospecting for deep-seated polymetallic deposits in various landscape and geological settings are shown. Specific examples from the practice of search operations are given. **Keywords:** method of lithochemical prospecting, polymetallic deposits.*

Основной тенденцией в развитии поисковой геохимии является замена традиционного валового анализа литохимических проб анализом подвижных форм химических элементов и их соединений в почвах. Этим достигается решение основной задачи глубинной геохимии, которая заключается в выявлении и интерпретации очень слабых экзогенных геохимических сигнала-