

руд, содержащих высокие концентрации золота и серебра, и их отдельное от других руд обогащение с привлечением отсадочных машин. Необходимо отрегулировать реагентный режим селективного обогащения руд с целью создания благоприятных условий для перевода минеральных форм золота и серебра в медный концентрат. Привлекательность именно этого направления заключается в том, что максимальное извлечение попутных компонентов будет способствовать повышению экономической рентабельности переработки рудного сырья. Самое главное, что это наиболее быстрый и экономичный способ, так как не нужно строить новых фабрик (используется прежнее оборудование). Меняются только идеи, заложенные в технологические схемы, да докупается некоторая часть оборудования, затраты на которое не сравнимы со строительством новых

фабрик. В последующем необходимо внедрить гидрометаллургические методы переработки медноколчеданных руд. Это будет способствовать увеличению комплексности переработки рудного сырья и резкому возрастанию процента извлечения основных, редких и благородных металлов в ценные продукты, позволит переработать большие запасы металлов в хвостохранилищах обогащательных фабрик. Все вместе это приведет к оздоровлению экологической ситуации в районах горнорудных предприятий.

Исследования медноколчеданных руд Башкортостана и продуктов их обогащения позволяют говорить о необходимости и возможности повышения комплексности переработки рудного сырья. Наши утверждения подтверждаются опытом работы многих горно-обогатительных предприятий, как в России, так и в мире.

***И. А. Хайретдинов, О. М. Петров, А. П. Калташев,  
Н. А. Андриянова, Н. П. Кононенко***

## **ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СЛЕДСТВИЯ ИЗ ЭЛЕКТРОГЕОХИМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РУДООБРАЗОВАНИЯ**

С 1990 г. ЭГХ-модели применялись нами при прогнозе и поисках месторождений колчеданной формации. В Зауралье мы изучали рудоконтролирующие кольцевые структуры (РКС) рудных районов: Баймакская, Подольская, Октябрьская, Гайская и Учалинская. Огромный объем проанализированного материала позволил сформулировать систему взаимосвязанных положений, которые мы оцениваем как наиболее существенные следствия фундаментального значения. Они суммируют самое важное для понимания особенностей образования и пространственного размещения месторождений.

Наши материалы получены комплексными исследованиями с использованием сведений о геологии, планов геофизического картирования (с особым вниманием к результатам гравитационной, магнитной съемки и метода вызванной поляризации), геохимического опробования поверхности и керны поисковых и съемочных скважин, планов расположения месторождений и рудных проявлений. К комплексу методов мы предъявляли следующие требования: 1) причинные связи собираемых сведений должны быть понятными, 2) они обязаны дополнять друг друга, и 3) должны контролировать достоверность материалов каждого метода в отдельности.

С формальных позиций наша работа продолжает направление геологии рудных месторождений, возглавляемое И. Н. Томсоном. Однако причины возникновения РКС, методика их выявления, изучения, описания и объяснения нами трактуются в значительной мере иначе.

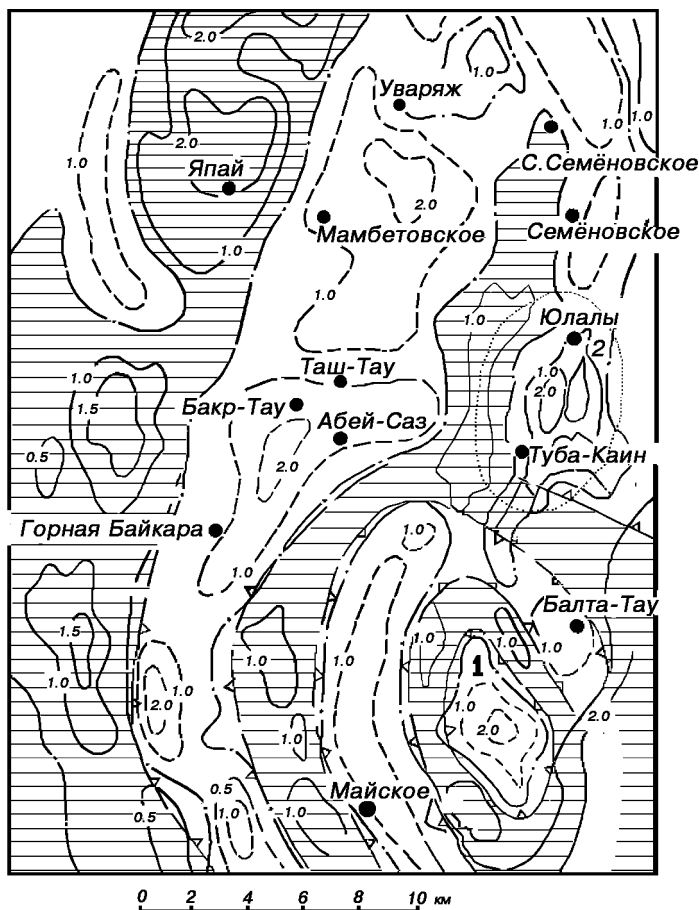
Фундаментальные итоги наших исследований, подкрепленные примерами Первомайского и Ахуново-Верхнеуральского рудообразующих ЕП (рис. 1, 2), можно свести к следующим положениям.

**1. Любые процессы рудообразования, впрочем, как и все иные геологические события, возникают**

**и протекают в естественных силовых полях. Роль их изначально первостепенна.** В геологии учет структуры естественных силовых полей, вскрывающей условия рудообразования, обязателен.

**2. Рудонакопление обусловлено естественным электрическим полем (ЕП).** Это утверждение повторяет положение физики о фундаментальных силовых полях и детально объяснялось в наших публикациях. ЕП возникают не как следствие гипергенеза, а как первопричина образования и изменения пород и руд. ЕП при минерализации во всех деталях своего строения стремилось к достижению равновесия с вмещающими породами. Это означает, что породы подвергались изменениям, метаморфизму соответственно их положению в ЕП: в зоне катодных реакций — в относительно восстановительных условиях, а в анодной — окислительных и т. д. Так ЕП «впечатывает» свою структуру в толщу пород, придавая им свойства составляющих электрохимической ячейки. Последняя при каждой активизации вмещающей среды ЕП «пробуждается» и принимает участие в переносе, перераспределении элементов, формировании зональности. Поскольку ЕП охватывает объем пород, значительно превышающий зону рудоконцентрации, силовые линии обеспечивают электрофоретическое извлечение элементов для рудных минералов из всех пород, охваченных ЕП. Это означает, что в любом виде рудообразования велика, хотя и не равнозначна, роль: процессов латераль-секреционного типа и, как источника металлов, — вмещающих пород на разных глубинных интервалах. Это положение часто фигурирует в публикациях, например, у Дое Виссе, Г. Б. Наумова и других.

**3. Любой тепломассоперенос сопровождается естественным электрическим полем торовидной формы и строения.** Под «тепломассопереносом» имеется



**Рис.1.** Схематическое строение Первомайской кольцевой структуры по данным гравиметрии, геохимическому опробованию и карте месторождений и рудопроявлений

1—центр Первомайской КС, 2—центр дочерней Юлалинской КС; горизонтальная штриховка—зоны положительного значения силы тяжести

в виду миграция любых жидких или газообразных сред, в том числе гидротермы, сольфатары, фумаролы и пр. Срезы земной поверхностью тора в изотропной среде выявляют его концентрическое (кольцевое) строение. Если каналы теплопереноса плоские, то и строение их поперечного сечения зональное, линзовидное, концентрическое. Направления, соответствующие в торе меридианам, подобны направлениям силовых линий; положение параллелей сравнимо с изопотенциалами или изоконцентрами элементов (при постоянной форме нахождения последних в миграционных потоках).

**4. Торевидные ЕП возникают задолго до проявлений магматизма и активно существуют значительное время после завершения периода магматических процессов, оказывая влияние на протекающие во вмещающей толще диагенные, катагенные и прочие процессы.** В Ахуновско-Верхнеуральской кольцевой структуре (КС) ЕП начало действовать в период формирования вмещающих пород (в ордовике—девоне) и продолжало активную жизнь, по крайней мере, до карбона—перми при становлении гранитных интрузий. То есть КС образована силовыми полями, по времени проявления в значительной мере вторичными относи-

тельно вмещающей среды, хотя эти поля возникли одновременно с толщей пород, в которой они находятся.

**5. Центральная часть южноуральских КС обычно занята породами, отличающимися аномалиями пониженной плотности; ее окружает кольцевая зона с положительными аномалиями поля силы тяжести.** Далее это чередование может повторяться еще 2–3 раза. Подобное строение КС свидетельствует о попеременном чередовании кольцевых зон, которым свойственны признаки катодных и анодных областей. То есть силовым линиям тора («меридианам») характерно строение, типичное для диполь-дипольных цепочек. В малых размерах продукты работы подобных торов известны геологам как «кольца Лизеганга».

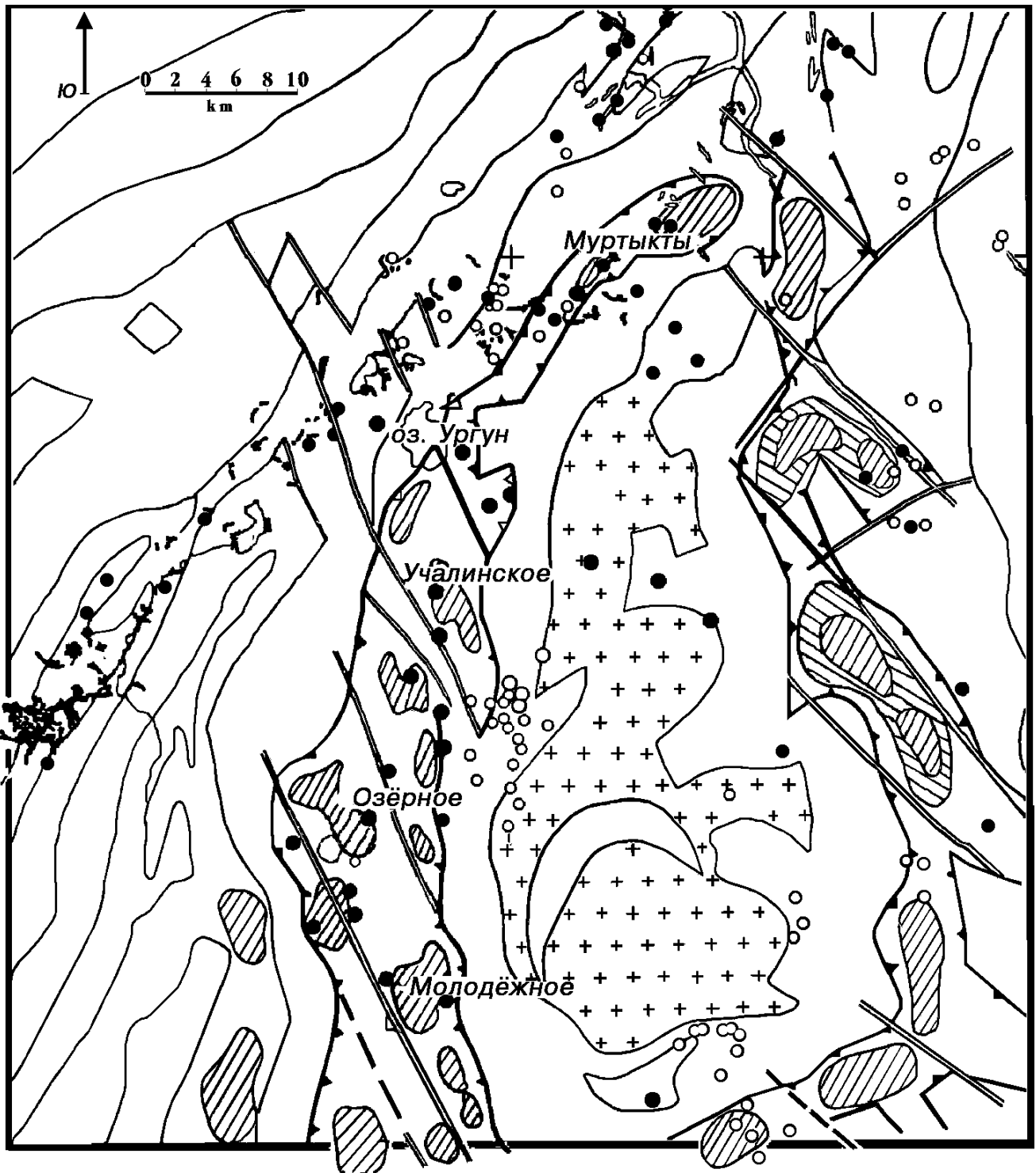
**6. Магнитные и рудные минералы образуются к катодной области.** На колчеданных месторождениях это сульфидные тела. Анодные зоны в процессах становления рудных тел участвуют как источник металлов, а поэтому сохраняют ценность поискового признака, возникая парагенно с рудоносной зоной. В анодных зонах возможно накопление полезных компонентов, мигрирующих в виде анионов. Это касается, в частности, золота, образующего и анионные и катионные комплексы.

**7. Из катодных зон выносятся крупные анионы, а из анодных— в эквивалентных количествах мелкие катионы.** В итоге повышается пористость пород катодных областей и компактность анодных (около колчеданных тел— в виде роговиков и яшмоидов). В учении о скарнах нередко этот процесс называют «биметасоматозом», в сущности же это— электрохимическое взаимодействие между анодной и катодной зонами. Так решается «проблема пространства» и обуславливается возникновение концентрической системы трещин, часть которых может быть занята жильными телами.

**8. В зоне катодных реакций протекают эндотермические, а в анодных областях экзотермические реакции.** Экзотермические реакции питают энергией эндотермические процессы. При этом неизбежны потери, рассеяние тепла. Поэтому зоны анодных реакций должны охватывать значительно большие объемы пород, чем катодные. То есть зоны околорудных изменений (имея в виду расположение части их ниже уровня эрозионного среза) должны быть по площади и объему всегда больше зоны рудной минерализации.

**9. Зонам катодных реакций свойственна более высокая проводимость, чем анодным.** Это положение не требует доказательств.

**10. Тороидальное ЕП ответственно за геохимическую зональность КС и за металлогеническую специализацию кольцевых зон.** Процесс формирования зональности, вероятно, не ограничен периодом рудоконцентрации, зональность «совершенствуется» длительное время позже, вероятно— поныне. Решающая роль ЕП обнаруживает себя единообразным строением геохимической зональности на месторождениях разной металлической



**Рис. 2.** Схема строения Ахуново-Верхнеуральской рудоконтролирующей кольцевой структуры по материалам гравитационной съемки, карты месторождений (•) и рудопроявлений (o)

Центр КС занят гранитами (+++). Косой штриховкой показаны положительные гравитационные аномалии, объединяющая их кольцевая зона вмещает практически все колчеданные месторождения. На западе черным цветом неправильными телами обозначены отработанные россыпные месторождения золота. Жирные линии северо-западного и северо-восточного направления –

специализации («универсальным рядом геохимической зональности»).

**11.** КС, возникая в гетерогенной, позже дислоцированной толще вокруг канала теплопереноса, совпадаю-

щего с пересечением (или утыканием одна в другую) линейных тектонически ослабленных зон, всегда имеет сложное строение. В кольцевых зонах возможно появление КС второго, а вероятно — третьего и более, порядка.

Все это, плюс электрохимическая поляризация между зонами дробления и вмещающими породами, самих зон дробления по простиранию и прочее означает, что форма КС может значительно отличаться от окружности, очертания ее могут быть весьма прихотливыми, а минерализация может быть интенсивно проявлена по одну сторону КС и убого выражена на другом фланге.

**12. Рудная минерализация (медноколчеданная, полиметалльно-колчеданная, золото-колчеданная и прочая) формируется в пределах одной КС одновременно, многостадийно, но на разных расстояниях от центра КС.** То есть рудные месторождения разной специализации следует рассматривать как фации единой колчеданной формации, а саму КС как единый рудный узел.

**13. Крупные КС, расположенные на границе двух разных геодинамических территорий, охватывающие две различающиеся структурно-формационные или структурно-фациальные зоны, обычно включают разные по металлической специализации рудопроявления и месторождения, в составе руд которых отражаются характерные особенности состава и событий в этих геодинамических обстановках.** Приведенное положение теоретически ясное и не требует особых доказательств. Оно представляет одну из причин поляризации процессов в КС. Применительно, например, к КС типа Ахуново-Верхнеуральской это означает, что западная ее половина формировалась на базальтоидном основании, а восточная, вероятно, частично на гранитоидном (террейнового происхождения?), а поэтому эти половины могут отличаться друг от друга по геохимическим свойствам рудной минерализации. Сибайская КС, видимо, захватывает западной половиной площадь развития ультрабазитов, что влечет за собой появление в колчеданных рудах повышенных содержаний кобальта, никеля

и иных элементов, свойственных ультраосновным магмам. Восточная же часть ее остается в толще вулканогенно-осадочных пород и содержит месторождения присущих им «классических» колчеданных руд. Подобные КС перераспределяют элементы разных источников, в роли которых выступают вмещающие породы, что усложняет распознавание формационной принадлежности части месторождений и рудопроявлений КС.

**14. Концентрированная рудная минерализация связана с участками скачкообразного изменения окислительно-восстановительного потенциала среды.** На месторождениях уральского типа горизонт этого скачка Eh-потенциала в субмаринных условиях расположен над дном. Рудный материал в таких условиях успевает покинуть жерловую зону и выпадает в удалении от нее. В вулканических структурах, например, андского типа — обычно на платформе — скачок Eh-потенциала, кладущий начало рудонакоплению, приурочен к более глубоким зонам, и металлы выпадают в жерле. В этом случае в центре КС будет размещена положительная гравитационная аномалия, тогда как в уральском типе центр занят гравитационным минимумом.

**15. Рудообразующие ЕП (РЕП) существуют длительно, градиенты их уменьшаются и эффективность участия в процессах минерализации снижается в спокойные периоды и возрастает при активизации; РЕП охватывает и более молодые породы, не только коренные, но и рыхлого чехла, воздействуя на формирование структуры «экзогенных», «вторичных» геохимических ореолов.** Поэтому особенности строения последних несут сведения об изначальной среде рудообразования, а элементные ореолы в рыхлом чехле могут быть обособлены во вторичные лишь при некоторых условиях и должны использоваться при прогнозной оценке перспектив площади.