



Г.В. Демура
д-р геол.-мин. наук
РГГРУ
профессор
gennady_demoura@mail.ru

Пути повышения эффективности и качества геофизических работ на рудных месторождениях*

В статье рассматриваются возможности улучшения качества и эффективности геофизических работ путем внедрения современных технологий, систематизации имеющейся геофизической информации, проходящей экспертную оценку

The article discusses possibilities of improving the quality and efficiency of geophysical work by implementing modern technologies, systematize available geophysical information passing an expert assessment

Ключевые слова: геофизические методы, условия применимости, количественные характеристики, влияние условий

Keywords: geophysical methods, applicability, quantitative characteristics, the influence of the conditions

После перехода России от социалистической формы хозяйственных отношений к капиталистической в сфере недропользования отмечается заметное снижение роли геофизических методов разведки, эффективности и качества при работах, проводимых в пределах рудных полей и месторождений, а также в оценке запасов.

Эта тенденция наиболее четко выявляется в итоговых документах геологоразведочного производства – современных ТЭО, в представляемых геофизических материалах в ГКЗ и ТКЗ. В последние годы уменьшается число целевых геологических задач, решаемых геофизическими методами, зачастую отсутствует

анализ предпосылок по выбору геофизического комплекса, даже при условии наличия прямых эффектов для их постановки. Чаще всего на местах используется старая, иногда не сертифицированная и переделанная аппаратная база, игнорируются известные методические рекомендации и требования к проведению геофизических работ, слаб, иногда формален, метрологический контроль и т.п.

Нарушаются проверенные долговременным опытом принципы последовательных приближений и аналогии, лежащие в основе комплексирования геофизических методов (сети съемок и их точность, выбор надежной аппаратуры и методики работ, обработки и интерпретации, в том числе объемного моделирования, не изучаются гидрогеологические

* Статья первая. Продолжение следует.

условия, не проводится геофизическое опробование и другие важные практические задачи). Как следствие этого процесса, сокращаются ассигнования на разработку современной отечественной геофизической аппаратуры, которая зачастую берется в лизинговое пользование или приобретается у зарубежных производителей, активно развивающих производственные мощности практически во всех сферах геологоразведки. Если 30–40 лет тому назад в отечественной рудной геофизике были развиты и внедрены новые методы наземных, скважинных и подземных исследований, а в зарубежных кампаниях они почти не использовались, то в настоящее время последние по уровню использования методов (особенно в нефтяной геофизике) существенно опережают наше геологоразведочное производство. В таких условиях только путем создания современной, технологичной и высокоточной цифровой аппаратуры, использования систем радарной топографии и *GPS*, геоинформационных систем обработки и интерпретации геофизических данных, а также обучения и подготовки квалифицированных специалистов можно повысить эффективность и качество геофизических работ на рудных месторождениях.

При проведении экспертизы геофизических материалов необходима оценка качества выполненных геофизических работ и достоверности полученной информации, а также ее использования при подсчете запасов. Эффективность применения геофизических методов в части получения дополнительной информации о геологическом строении месторождения рассматривается по результатам всех видов ГРП на площади и более детально при подсчете запасов, в основном, методами ГИС, результатами геологического и геофизического опробования.

Требования к геофизическим материалам, представляемым на рассмотрение в ГКЗ, изложены в соответствующем приказе (2006 г.).

К ним следует добавить крайне важный **метрологический раздел** по всем видам геофизических работ и применяемой аппаратуры.

Однако общий характер этих требований позволяет авторам ТЭО субъективно подходить как к содержанию, так и к форме включаемых в отчеты геофизических материалов. Вследствие этого полнота и их содержание иногда оказываются недостаточными для заключения о достоверности результатов геофизических работ. Именно поэтому возникает необходимость использования количественных (не описательных) характеристик геофизических методов, которые позволят бо-

лее объективно оценить качество и эффективность геофизических работ.

Следует напомнить, что к достоинствам геофизических методов, обеспечивающим их широкое внедрение в практику геологоразведки, относят следующие основные позиции:

- возможность получения информации о местоположении залегающих на глубине месторождений ПИ, перекрытых наносами любого происхождения и мощности;
- уточнение геологического строения и структуры месторождения, поиски слепых рудных тел на основе объемной, объективной, достоверной и воспроизводимой информации, позволяющей проследить рудные тела в пространстве между разведочными скважинами и горными выработками;
- возможность количественной оценки содержаний ПИ, изучение гидрогеологических условий месторождения и его дальнейшего освоения;
- возможность оценки перспективы освоения месторождений на глубину путем создания объемных моделей с оценкой прогнозных ресурсов и запасов.

Безусловно, наиболее эффективно перечисленные целевые геологические задачи решаются в комплексе с геологическими, гидрогеологическими, геохимическими и горно-буровыми работами, приводящими к оценке и подсчету запасов по соответствующим категориям.

Однако в настоящее время роль геофизических методов заметно снижается, а в ТЭО, представляемых на рассмотрение в ГКЗ, практически не рассматриваются:

- вопросы, связанные с выбором оптимального геофизического комплекса;
- изменчивость физических свойств горных пород и руд, особенно, на глубинах, доступных для эксплуатации – в **верхней части геологического разреза** (вертикальная зональность, анизотропия, зоны гипергенеза и пр.), а также их влияние на характеристики геофизических полей в площадном, скважинном и подземном вариантах;
- выбор оптимальных геофизических сетей и планирование точности съемок;
- условия проведения работ и выбор соответствующей аппаратуры, методики работ и пр.
- современные подходы к обработке и интерпретации геофизических данных на основе компьютерных технологий.

В основном применяются типовые, но все же усеченные и не всегда обоснованные сочетания методов, причем некоторые из них до сих пор не освоены методически (например метод ТСМК на месторождениях железных руд;

в Заимандровском районе Кольского полуострова, КМА, Урале и Амурской области, при котором измеряется лишь вертикальная составляющая магнитного поля, а также группа ядерно-физических методов, успешно развивавшаяся в 60–80-е годы прошлого столетия).

Часто, несмотря на прямые предпосылки постановки магниторазведки, детально не изучаются магнитные свойства железных руд на хорошо известных и разрабатываемых железорудных месторождениях при освоении более глубоких горизонтов, не показываются результаты более качественных ранних геофизических исследований. Представляемые работы не содержат результатов **современных опытных работ** по изучению изменчивости петрофизических, ядерно-физических и магнитных свойств руд на глубину, выбора геофизического комплекса методов, улучшения качества геофизического опробования (природа магнетизма, фазовый состав ферромагнетиков и их точки Кюри, влияние остаточной намагниченности и магнитной анизотропии).

Не наблюдается значимого прогресса в этой же части и на рудных полях и месторождениях других видов сырья: отсутствует необходимая современная сертифицированная аппаратная база для производства работ, а старая пришла в негодность, прекратили существование известные ранее лаборатории по изучению физических свойств горных пород и многое другое. Крайне редко применяются геоэлектрхимические методы (КСПК, БСПК, ЧИМ), а ранее использовавшиеся методы на поисково-оценочной стадии необоснованно отвергаются на разведочной стадии. Например, несмотря на явную необходимость применения ЯФМ для геофизического опробования руд серебряно-полиметаллического месторождения Прогноз в Якутии и применявшегося комплекса РРК на ранней, поисково-оценочной стадии (1990-е гг.), сейчас, на разведочной стадии, этот комплекс был исключен, причем совершенно необоснованно.

Успехи – заметно возросла роль метода вызванной поляризации для поисков вкрапленного сульфидного оруденения (в том числе в томографическом варианте с помощью многоэлектродного профилирования). В частности, на золото-медном месторождении меднопорфировых руд (месторождение Наседкино, Могочинский район, Бурятия) метод ВП был основным при поисково-оценочных и разведочных работах. При этом вкрапленные порфировые руды по плотности, магнитной восприимчивости и электропроводности не различаются от вмещающих оруденение горных пород.

В последние годы в мировой практике отмечается явный прогресс в повышении геологической эффективности высокоточной цифровой магниторазведки при изучении геологического строения верхней части геологического разреза на глубинах, доступных для эксплуатации рудных месторождений ПИ. Особое значение этого метода связывается с изучением территорий развития древних архейских и палеопротерозойских пород, на которых применение большинства геофизических методов не приводит к получению предметных результатов. В частности, практически бесперспективна постановка таких методов как гравиразведка и сейсморазведка, по большей части, из-за близости плотностных и скоростных характеристик этих образований. По условиям ведения работ и физическим предпосылкам мал геологический эффект площадной электроразведки, особенно контактных методов, что подтверждается относительно малыми объемами работ и неоднозначностью интерпретации ее результатов. Результативность электроразведки повышается в случае комплексного проведения работ и, чаще всего, в аэроварианте дипольного индуктивного профилирования (ДИП), метода переходных процессов (МПП), с обязательным использованием магнитного канала, особенно на территориях развития зеленокаменных поясов, примыкающих к щитам, при поисках медно-никелевого и других типов оруденения.

Несмотря на реальные возможности геофизического комплекса и полученные ранее значимые результаты, инвесторы отказываются от проведения геофизических работ, даже в условиях наличия прямых предпосылок их постановки, в большей мере, по экономическим соображениям. Слаба также теоретическая подготовка и отсутствие практического опыта современных отечественных менеджеров, работающих в геологоразведке.

Безусловно, имеются и положительные результаты освоения перспективных территорий на основе использования современных высокоточных и цифровых геофизических исследований, использующих лизинговую аппаратную базу, отечественные и зарубежные компьютерные технологии при обработке и интерпретации данных комплекса методов. Такие работы проводятся при прогнозных и детальных исследованиях, например, ОАО «Аэрогеофизика» по территориям, Урала, Сибири, Дальнего Востока и другим регионам РФ.

Для улучшения качества и эффективности геофизических работ, представляемых на экспертизу ТЭО, приведем более детально реко-

мендации в части обоснования и проведения геофизических работ по следующим позициям.

1. Условия применимости геофизических методов

Успешное применение того или иного геофизического метода определяется следующими условиями: а) заметным различием физических свойств целевых геологических объектов и вмещающей среды; б) благоприятными геометрическими параметрами целевых геологических объектов (форма, элементы залегания, достаточно большие размеры); в) относительно низким уровнем помех. Знание этих условий позволяют создавать физико-геологические модели (ФГМ) целевых геологических объектов, которые должны быть основой проектирования геофизических работ, выбора геофизического комплекса, сетей и точности методов, методики работ, использования соответствующей аппаратной базы, проведения обработки и интерпретации полученных материалов.

Под ФГМ понимается систематизированное описание целевых геологических объектов (ЦГО), подлежащих обнаружению и последующей оценке в геофизических полях с заданной точностью и надежностью.

В зависимости от стадийности проведения работ к целевым объектам можно отнести рудные провинции, узлы, поля, рудопроявления, месторождения, отдельные рудные тела и залежи. В первом приближении в систематизированное описание входят физические свойства горных пород, геометрия целевых объектов, геофизические поля и геологические представления (геологические и скважинные разрезы), причем на стадии разведки описание может быть расширено в зависимости от поставленных целевых геологических задач. Знания этих параметров позволяют решать прямые задачи, проводить сравнения с натурными моделями по опорным разрезам и площадям с последующим выбором геофизических методов, обосновать методику их проведения и более однозначную интерпретацию полученных результатов.

Такие модели задаются для наихудших условий ведения геофизических работ (минимальной мощности и протяженности целевого объекта и петрофизических параметров, с учетом рельефа, ландшафтных условий местности, максимальной мощности перекрывающих отложений и оценкой влияния шумовых составляющих различной природы, осложняющих интерпретацию полученных результатов).

Именно представление таких моделей позволяет снять многочисленные вопросы геофизической экспертизы ТЭО.

К сожалению, проведение физико-геологического моделирования на практике используется крайне редко, а выбор методов, часто бездоказательно, констатируется в виде «по опыту и результатам аналогичных исследований», причем этот опыт и его результаты, как правило, в ТЭО не показываются. Иногда материал даже заимствуется из сопредельных территорий (особенно, при проведении аэрогеофизики), а затем автоматически переносится и используется в проведении более детальных наземных исследований (например, на Кондерской платиноносной кальдере по этой причине до сих пор не изучены физические свойства горных пород массива). Реальные предложения о необходимости проведения современной детальной цифровой магнитной съемки по площади в 40 км² и проведения моделирования по алгоритмам автоматизированной системы КОСКАД-3Д инвесторами отвергаются в надежде на эвристическое нахождение коренного месторождения геохимическими и буровыми методами.

Стадийная система геологоразведочного процесса последовательно использует применение методов аэро- и наземной (структурной) геофизики в соответствующих масштабах (геологическое картирование, поисково-оценочные и разведочные работы), но работы зачастую не увязываются в рамках строгой координатной привязки полученных материалов и при последующем обобщении приводят к серьезным ошибкам в прогнозе и развитии более детальных работ.

Имеются недостатки и в проведении геофизических исследований в скважинах (ГИС) при разведке и эксплуатации месторождений, в части обоснования и использования комплекса методов и интерпретации полученных данных, а иногда более продуктивные ранее методы попросту бездоказательно отвергаются. Старые результаты до сих пор представляются в ГКЗ в аналоговой форме, трудно читаемы и не всегда удовлетворительно интерпретированы.

На разведочной стадии возникает необходимость более широкого внедрения геофизического опробования с определениями содержаний полезных компонентов, в том числе с использованием ядерно-физических методов (ЯФМ), а также шахтно-рудничной (подземной) геофизики, материалы которых могли быть полезны в подсчете запасов месторождений.

Следует также напомнить, по каким причинам геофизическим методам отдается предпочтение:

- геофизические измерения проводятся в естественных условиях на неизменных

геологических объектах, что позволяет изучать не сохраняющиеся в кернах зоны интенсивного дробления, водонасыщенности и пр.;

- геофизические измерения, чаще всего, покрывают большие объемы и комплексы горных пород, руд и рудных включений, что позволяет наиболее полно изучать геологические разрезы на глубину в наземном варианте, по скважинам и в межскважинном, шахтно-скважинном пространстве.

- изучаемое геологическое пространство опосредованно изучается с помощью почти непрерывной, достоверной и воспроизводимой геофизической характеристики, что позволяет определять местоположение целевых объектов, их размеры, форму и содержания элементов.

2. Количественные характеристики методов разведочной геофизики

До настоящего времени в практике проведения геофизических работ при оценке их эффективности и качества не используются количественные оценки, позволяющие в числовом виде оценить возможности каждого метода и их сочетаний при выполнении конкретного целевого геологического задания. Для этих целей предлагается использование следующих характеристик геофизических методов:

- **надежность метода**, которая определяется по вероятности правильного заключения о наличии целевого объекта (рудного объекта, пласта, структуры, тектонического нарушения и пр.) или необходимого его свойства (состава, содержания полезного компонента, его кондиционности и пр.);

- **точность метода** при решении целевой задачи, которая определяется обратной величиной ошибки пространственного положения целевого объекта;

- **спектр решаемых задач**, определяемый числом задач, которые могут быть одновременно решены методом (при заданном пороге надежности и точности), причем в зависимости от условий ведения работ их количество может меняться;

- **помехоустойчивость метода к изменению условий ведения работ**, определяемая способностью метода сохранять максимальные значения надежности, точности и спектра решаемых задач, при изменении условий ведения работ от благоприятных до неблагоприятных ситуаций;

- **дальность (глубинность) исследований**, которая определяется расстоянием, на котором величина аномального эффекта от целевого объекта выше величины естественных и искусственных шумов-помех;

- **производительность (скорость) съемки** выражается количеством физических измерений (при заданном шаге) или площади (при заданном масштабе), которые могут быть изучены в единицу времени;

Рекомендуется также проведение исследований по устойчивости решения целевой геологической задачи при изменении вещественных, структурных и ландшафтно-морфологических факторов на основе количественных оценок изменчивости перечисленных параметров в зависимости от условий ведения работ. Для этих целей можно использовать **параметр контрастности аномалий**, рассчитываемый как отношение разности максимального значения поля и фона к общей дисперсии наблюдаемого поля. Определение этого параметра можно проводить на известных разноуровнево залегающих рудных объектах, в конкретном районе, на натуральных моделях (ФГМ).

Для количественной оценки большинства перечисленных количественных характеристик геофизических методов рекомендуется использовать энергетическое отношение аномалия/помеха в зависимости от надежности обнаружения целевых геологических объектов для критерия идеального наблюдателя, Неймана – Пирсона и др. варианты.

Количественными критериями оценки качества ФГМ могут быть расчеты корреляционных функций при подборе. Оптимальной ФГМ считается та, у которой корреляционные оценки между наблюдаемыми геофизическими полями и модельными расчетами максимальны. В расчетах используют выборки значений геофизических параметров (петрофизические свойства горных пород, остаточные уровни геофизических полей при исключении влияния глубоко залегающих границ раздела др.). На участках с установленной природой целевого объекта, соответствующей вмещающей среде (рудная задача), создаются:

- выборки (петрофизические свойства, наблюдаемые поля), оформляемые в виде вариационных кривых, либо гистограмм;

- оценивается иерархическая значимость каждого метода;

- проводится выбор рационального комплекса на основе оценок геологической и геолого-экономической эффективности.

Более плодотворно эта задача решается на опорных пересечениях (разрезах) целевых объектов, в том числе и по глубине – скважинным разрезам (ГИС). Скважинные разрезы можно также отнести к натурным физико-геологическим моделям, причем, целесообразно более активно внедрять пространственную

корреляцию между ними и использовать комплексные алгоритмы классификации и распознавания образов при интерпретации.

Наиболее полным образом выбор рационального геофизического комплекса может быть проведен путем расчета геолого-экономической эффективности, для чего используют функции потерь, оценки геологической эффективности и экономические показатели.

Для оценки геологической эффективности без учета экономических затрат на проведение геофизических работ можно использовать параметр надежности разделения целевых геологических объектов. Расчет базируется на проверке статистических гипотез, при этом оценка имеет вероятностный характер. Для этого оценивают надежность разделения объектов 2 классов (руда и вмещающая среда), соответственно гипотезам Н1 и Н2 путем учета ошибок первого и второго рода. Под надежностью обнаружения объекта понимается вероятность его правильного обнаружения. Для наиболее часто применяемого критерия максимального правдоподобия, при котором вероятности ошибок I рода (ошибка обнаружения ложного объекта) и II рода (ошибка пропуска объекта) полагаются равными, надежность обнаружения объекта γ определяется через интеграл вероятности Φ :

$$\gamma = (1/\sqrt{2\pi}) \int_{-\infty}^{\sqrt{\rho}/2} e^{-x^2/2} dx = \Phi(\sqrt{\rho}/2)$$

где ρ – энергетическое отношение сигнал/помеха, равное для некоррелированной и нормально распределенной помехи с нулевым средним и дисперсией σ^2 : $\rho = \overline{s^2} / \sigma^2$ – энергетическое отношение аномалия/помеха, причем $\overline{s^2} = (1/m) \sum_{i=1}^m s_i^2$ – дисперсия сигнала, m – число значений сигнала (число аномальных значений в пределах объекта).

Количественное соотношение между надежностью обнаружения объекта γ и энергетическим отношением сигнал/помеха ρ приведено в виде ряда значений этой зависимости в **табл. 1** и приведено на **рис. 1**.

Ошибки первого и второго рода определяют по вариационным кривым геофизических признаков (физические свойства поля), полученных при натурном моделировании в пределах опорных пересечений и в скважинах над целевыми объектами (выборки по уровням полей) и вмещающими горными породами. Ошибки первого и второго рода определяются площадью их пересечения. Подобный расчет можно провести также и при проведении геолого-геофизического картирования

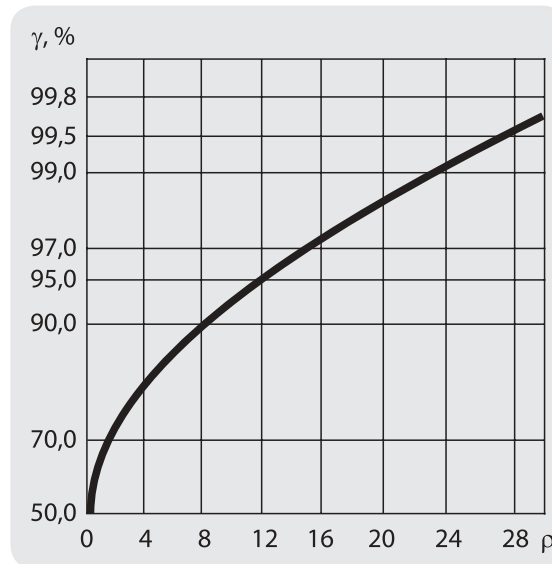


Рис. 1.
Зависимость надежности обнаружения аномалии γ от энергетического отношения ρ

Соотношение между надежностью обнаружения объекта и энергетическим отношением сигнал/помеха

Таблица 1

| | | | | | | | | |
|-----|------|------|------|------|------|------|-------|----------------|
| 0 | 2 | 4 | 8 | 11 | 16 | 20 | 25 | 27 – γ |
| 0,5 | 0,76 | 0,84 | 0,92 | 0,95 | 0,98 | 0,99 | 0,994 | 0,995 – ρ |

М классов горных пород, которые считаются маркирующими.

Энергетическое отношение сигнал/помеха позволяет установить иерархическую значимость конкурирующих геофизических методов. При этом оценивается геологическая эффективность методов, обеспечивающая наиболее полное решение поставленной задачи. Увеличение надежности обнаружения этих объектов может быть достигнуто также путем использования данных комплекса различных полей (признаков), что является принципиально важным моментом при конструировании функций потерь для различных сочетаний (комплекса) геофизических методов.

3. Изменчивость петрофизических предпосылок и влияние условий ведения геофизических работ на глубинах, доступных для эксплуатации в ВЧР

Обобщенные данные измерений физических свойств основных групп горных пород, развитых в рудных узлах, районах, полях и месторождениях, позволяют лишь предварительным образом оценить возможности их идентификации

в геофизических полях различной природы. Причем, следует учитывать факт существенного изменения петрофизических свойств в верхней части геологических разрезов (ВЧР), особенно для глубин, доступных для эксплуатации большинства рудных месторождений, где воздействуют многообразные природно-техногенные процессы (гипергенез, механическое и физико-химическое выветривание, мерзлота, таликовые зоны, воздействие поверхностных вод и многое другое).

При таких воздействиях занижаются основные параметры физических свойств горных пород:

- магнитная восприимчивость и намагниченность за счет перехода магнитных минералов (ферромагнетиков) в слабомагнитные и немагнитные минералы (лимонит, гематит и др.);
- плотность горных пород за счет физико-химического выветривания, трещиноватости, пористости и влажности, малого статического давления и пр.;
- электрическое сопротивление существенно уменьшается за счет тех же факторов и влияния зон водообмена, природной и техногенной минерализации вод и пр.;
- нарушается радиоактивное равновесие (преимущественно в ряду урана-радия-радо-на) за счет различных геохимических процессов и зон геохимических барьеров, приводящих к изменению концентрации радиоактивных элементов и радиоактивности;
- по тем же причинам существенно уменьшаются скорости распространения упругих волн.

Все это свидетельствует о том, что более точные результаты изучения физических свойств различных по составу горных пород и руд можно получить только в их естественном залегании, а измерения на образцах (лабораторные) дают возможность лишь приближенно оценить возможности применения того или иного геофизического метода. По этим причинам представляется более сложной и решение задачи получения достоверной и однозначной информации по результатам геофизических работ за счет суперпозиции полей, а также проявляемой в геофизических полях различной природы и осложненных продуктивной шумовой составляющей, связанной, в том числе с рудными объектами в ВЧР.

С другой стороны, в зонах развития вечной мерзлоты, **характерной для России**, существенно увеличивается электрическое сопротивление мерзлых пород и скорости распространения упругих волн, причем остаются почти неизменными параметры плотности коренных горных пород, намагниченности и радиоактивности.

Здесь на результаты интерпретации наземной рудной электроразведки существенно влияют таликовые зоны, глубина сезонного промерзания и оттаивания грунтов, экспозиция склонов, растительный покров, наличие солифлюкационных террас, курумов и оползней на склонах и приводораздельных частях, условия заземления, наличие блуждающих токов от действующих предприятий и пр. Возникают трудности заземлений в контактной электроразведке, а оттаивание поверхностного слоя приводит к распространению тока по поверхности земли. Этим усиливается влияние поверхностных неоднородностей, а интерпретация разрезов, типа А, с хорошо проводящим первым слоем, по большей части, крайне не однозначна. Перечисленные моменты приводят к необходимости ввода соответствующих поправок и коррекции при обработке исходных данных и исключения их влияния на результаты интерпретации, поэтому в таких случаях отдается предпочтение бесконтактным способам электроразведки. Однако и в этих методах, например в широко используемом дипольном электромагнитном профилировании (ДЭМП) на объектах Республики Саха, Бурятии и др. регионах, влияние перечисленных факторов велико и их практически трудно исключить из рассмотрения при интерпретации результатов.

Следует также учесть, что в классической и рудной геофизике, изучающей глубинное геологическое строение Земли, при обработке и интерпретации, как правило, исключаются из рассмотрения аномалии, связанные с ВЧР.

Чаще всего они принимаются за **шумовую составляющую**, которая зачастую является основным информационным полем при поисково-разведочных работах. Поэтому, только путем проведения высокоточных, детальных и комплексных цифровых геофизических съемок можно повысить эффективность и качество геофизических работ за счет выделения слабых аномалий, которые связаны с малыми по размерам и, в основном, слабоконтрастными по своим физическим свойствам целевыми геологическими объектами. Выделение таких аномалий возможно даже на фоне интенсивных аномальных потенциальных полей в магнито-разведке и гравиразведке. Для них отношение сигнал/помеха соизмеримо или эквивалентно уровню помех, которые вызваны различными факторами (аппаратурными, природными и техногенными). Выделение таких аномалий достигается применением статистических приемов обработки и интерпретации на основе корреляционно-спектрального комплексного анализа геофизических данных. ●