

УДК 550.83

ОСНОВЫ МЕТОДИКИ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ПОИСКАХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

© 2013 Т. А. Келоев¹, проф., д.т.н., И. Н. Гудиева², доц.

¹Центр геофизических исследований Владикавказского научного центра РАН
РСО-А, Россия, 362002, Владикавказ, Маркова, 93а, e-mail: cgi_ras@mail.ru,

²Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный
технологический университет), Россия, 362021, РСО-Алания, г. Владикавказ,
ул. Николаева, 44, e-mail: info@skgmi-gtu.ru

Выполнен анализ используемых геофизических методов, используемых при поисках рудных месторождений и предложена методика комплексирования данных для уточнения известных геологических поисково-прогнозных критериев и установления собственно геофизических критериев (как прямых, так и косвенных), определяющих взаимосвязь рудных объектов и характерных элементов физических полей.

Ключевые слова: геофизическое поле, земная кора, интрузии.

Решение любой геологической задачи сводится к выделению того или иного геологического объекта среди вмещающей среды, определению его геометрических форм и вещественного состава. Выделение геологических объектов геофизическими методами возможно в том случае, если исследуемый объект и вмещающая его среда обладают различными физическими свойствами. В этом случае над ними наблюдаются различные по величине и форме физические поля (магнитное, гравитационное, электрическое, радиоактивное и др.).

Между геологическим строением объекта и геофизическим полем над ним существует прямое соответствие, так как они отражают строение одного и того же участка Земной коры.

Если участок сложен какой-то одной горной породой (однородной средой), характеризующейся по всему объему одинаковыми значениями физических свойств, то и величина геофизического поля во всех пунктах будет одинаковой. Если в однородной среде присутствуют жилы, дайки, пласты, интрузии или рудные тела, отличающиеся по физическим свойствам друг от друга и от вмещающих пород, то величина геофизического поля над таким участком резко меняется (рис. 1).

Под комплексным ведением геофизических работ подразумевается проведение различных видов исследований с соблюдением определенной последовательности с целью эффективного решения геологических задач. Эффективное решение задачи предполагает получение геологической информации для обоснования геологического заключения и выводов о целесообразности (или наоборот) проведения геологоразведочных работ последующей стадии.

Один из аспектов комплексирования геофизических методов, характерных для их применения в рудных провинциях определяет сочетание геофизических и сопровождающих их методов внутри одного комплекса, так называемое внутреннее

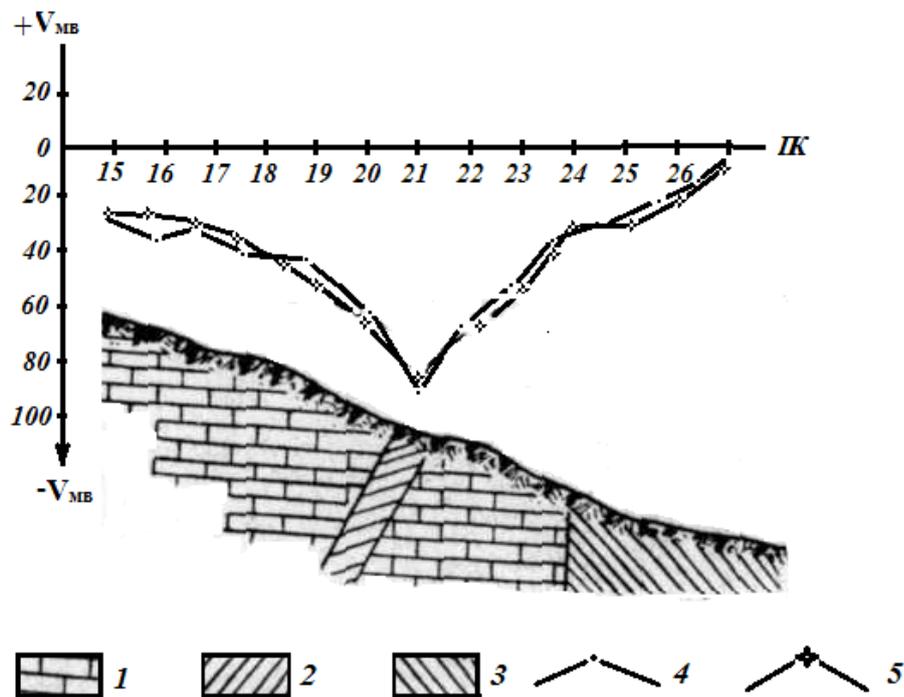


Рис. 1. Графики потенциала естественного поля над полиметаллической жилой. 1 – известняк; 2 – сланцы; 3 – полиметаллическая жила; 4-5 – графики потенциала, снятые в разное время

комплексирование. Входящие в этот комплекс методы нацелены на решение одних и тех же задач, основаны на одном представлении о физико-геологической модели объекта, применяются одновременно или в определенной последовательности на протяжении одного-двух полевых сезонов. Информация, полученная с помощью этих методов, позволяет сформировать общее геологическое заключение и выводы о целесообразности, направлении и содержании последующих геолого-геофизических исследований (рис. 2) [Бородовой, 1984].

Методика анализа геофизических полей основана на комплексной интерпретации геофизических материалов и совместном использовании имеющихся геологических и геофизических данных, что позволяет учитывать особенности глубинного строения земной коры и элементы внутренней структуры крупных ее блоков (рис. 3).

Изучение особенностей глубинного строения земной коры необходимо для установления связей между строением верхних структурных этажей и глубинными структурами и происходящими в них глубинными процессами, а также для научно обоснованного металлогенического прогнозирования, учитывающего эти связи.

Методика анализа геофизических полей с целью изучения глубинного строения земной коры предусматривает построение основных поверхностей раздела, определение пространственного положения глубинных разломов, изучение характера проявления магматизма и установление границы размещения нижних кромок интрузий (рис. 4).

Вторым элементом глубинного строения земной коры, который находит четкое отражение в физических полях, является интрузивный магматизм. Интрузии гипер-

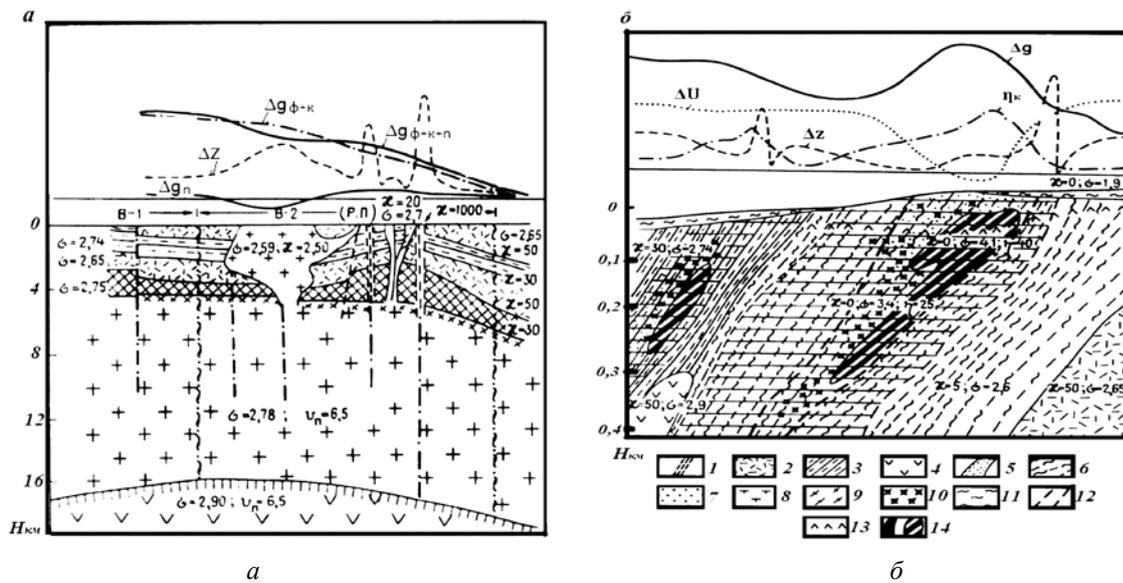


Рис. 2. Физико-геологические модели рудного района (а) и рудного поля (б).
 1 – поверхность К, 2 – поверхность каледонского фундамента; 3 – «базальтовый» слой;
 4 – «гранитный» слой; 5 – эффузивно-пирокластические образования кислого состав; 6 – кварц-
 альбитофиры и их туфы; 7 – песчаники, конгломераты; 8 – пиритизация границы рудных
 объектов; 10 – интрузии гранитоидов; 11 – зоны смятия; 12 – глубинные разломы; 13 – сланцы,
 алевролиты; 14 – порфириты и их туфы.

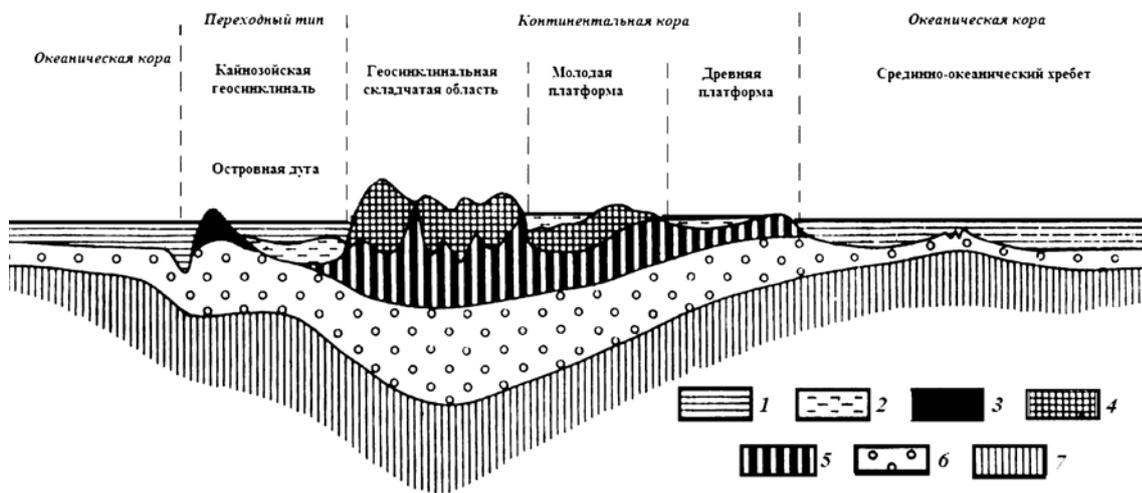


Рис. 3. Основные типы строения земной коры.
 1 – виды океанов; 2 – недислоцированные осадки; 3 – молодые вулканические породы;
 4-консолидированные комплексы; 5 – гранитно-метаморфический слой; 6 – базальтовый
 (гранулит-базитовый слой; 7 – мантия.

базитов, габбро-диоритов, сиенитов и щелочным формациям отвечают определенные гравитационные и магнитные поля (рис. 5).

Это позволило сделать приближенный количественный расчет объемов интродированных масс и, таким образом, получить информацию о качественном и коли-

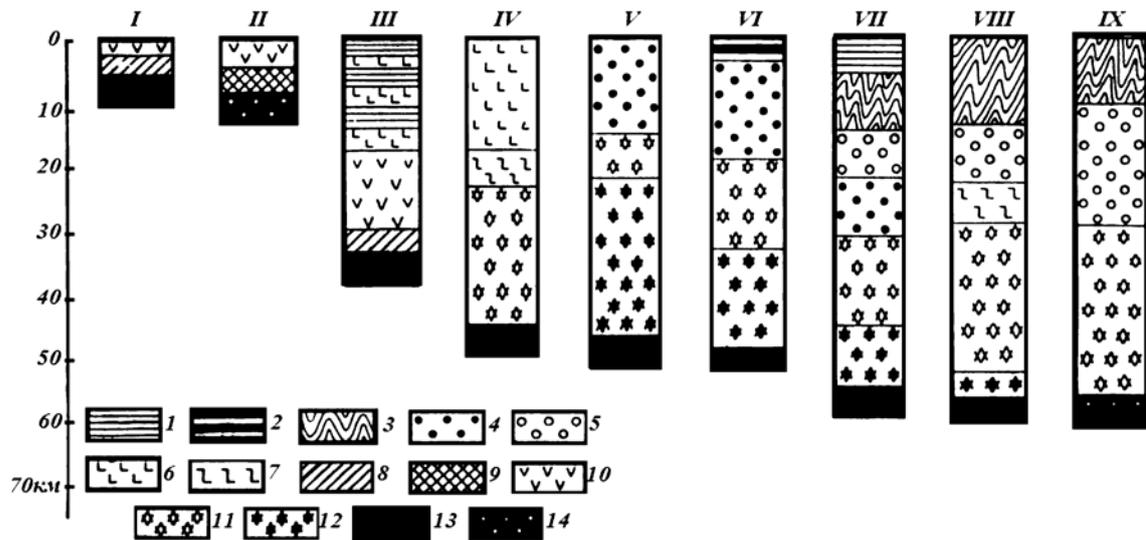


Рис. 4. Структура океанического и континентального типов коры в пределах главнейших структурных элементов.

I – абиссальные равнины океана; II – срединно-океанические хребты; III – новейшие геосинклинали; IV – островные дуги; V – щиты древних платформ; VI – плиты древних платформ; VII – койлогены; VIII – фанерозойские геосинклинали; IX – современные органические поднятия.

Осадочный слой: 1 – ненарушенный сиалический, 2 – симатический, 3 – складчатые геосинклинальные комплексы; гранитно-метаморфический слой: 4 – амфиболитовая фация метаморфизма, 5 – зеленосланцевая фация метаморфизма; диоритовый слой:

6 – неметаморфизованные андезиты, 7 – андезиты, метаморфизованные до состояния зеленых сланцев; базальтовый слой: 8 – первичная (гравитационная) кора, не переработанная метаморфизмом, 9 – та же кора, претерпевшая зеленокаменное изменение, 10 – неметаморфизованный базальт вулканической коры, 11–13 – базальт, метаморфизованный до стадии амфиболита (11), гранулита и эклогита (12); мантия: 13 – перидотит, 14 – серпентинизированный перидотит.

чественном (по площади) распределении интрузий в отдельных геотектонических блоках. В результате геолого-геофизической диагностики выделяются, во-первых, полосовые линейные гравимагнитные аномалии, характеризующие геологические формации непосредственно в пределах разлома, и, во-вторых, «градиентные аномалии», обусловленные изменением геологической ситуации в контактирующих блоках с их взаимными перемещениями. Наиболее надежный геофизический метод, определяющий глубину проникновения нарушения в кору, – сейсмический. Менее точными, однако, вполне пригодными для подобных построений, являются результаты количественной интерпретации гравитационных аномалий типа «ступень». Направление и угол падения разломов достаточно достоверно определяются сейсморазведкой и менее уверенно (особенно угол падения) – гравимагнитной съемкой (рис. 6).

В геофизических полях находят отражение также форма интрузий, размеры, глубина и условия залегания. Интрузивные массивы консолидируются в виде тел различной формы, среди которых наиболее распространены батолиты, штоки, пластовые залежи, лакколиты. Над батолитами кислого и щелочного состава практически всегда наблюдаются отрицательные гравитационные аномалии. Над межформационными или пластовыми интрузиями (при прочих равных условиях) гравитационные аномалии могут отсутствовать или проявляться весьма слабо. Интенсив-

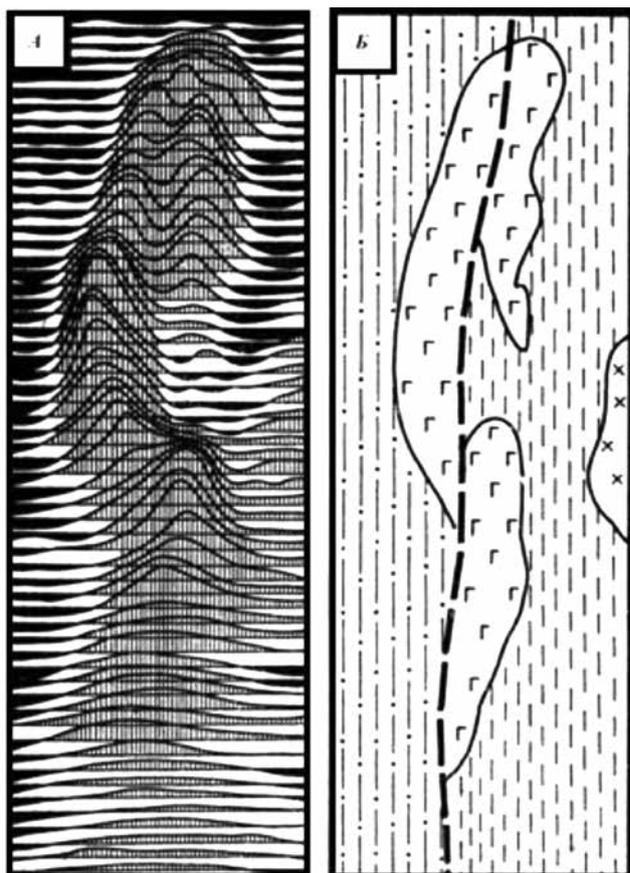


Рис.5. Магнитные аномалии над основными интрузиями в зоне разлома.
 А – графики магнитного поля; Б – геологическая схема (жирный пунктир – разлом, вдоль него три интрузии)

ные максимумы гравитационного и магнитного полей характерны для батолитов основного и ультраосновного состава. Основным способом изучения морфологии интрузивных массивов является количественная интерпретация гравитационных аномалий (рис. 7).

Один из приемов морфологического анализа интрузивных тел по геофизическим материалам – построение так называемых морфоструктурных объемных карт по данным количественной интерпретации гравитационных аномалий. Наблюдаемая над интрузивным массивом аномалия гравитационного поля в плане «рассекается» несколькими интерпретационными профилями вкрест и по простирацию объекта, по которым снимаются значения аномалий силы тяжести (Δg). В основу количественной интерпретации положен принцип корреляционных зависимостей между структурами наблюдаемого аномального гравитационного поля и теоретического поля над рядом правильных геометрических тел. По каждому интерпретационному профилю устанавливаются форма и положение объекта, глубина залегания его верхней кромки, глубина расположения нижней границы, элементы залегания, величина избыточной плотности. Результаты интерпретации по отдельным пересечениям сводятся воедино на морфоструктурных схемах.

Интрузивные образования находят свое отражение и в волновых полях, исследуемых сейсморазведкой. Пологие поверхности крупных интрузивных массивов иногда представляют собой четко выраженные отражающие и преломляющие границы.

Эффузивные комплексы отличаются пестротой петрографического состава, широким набором формационных типов, разнообразным отражением в физиче-

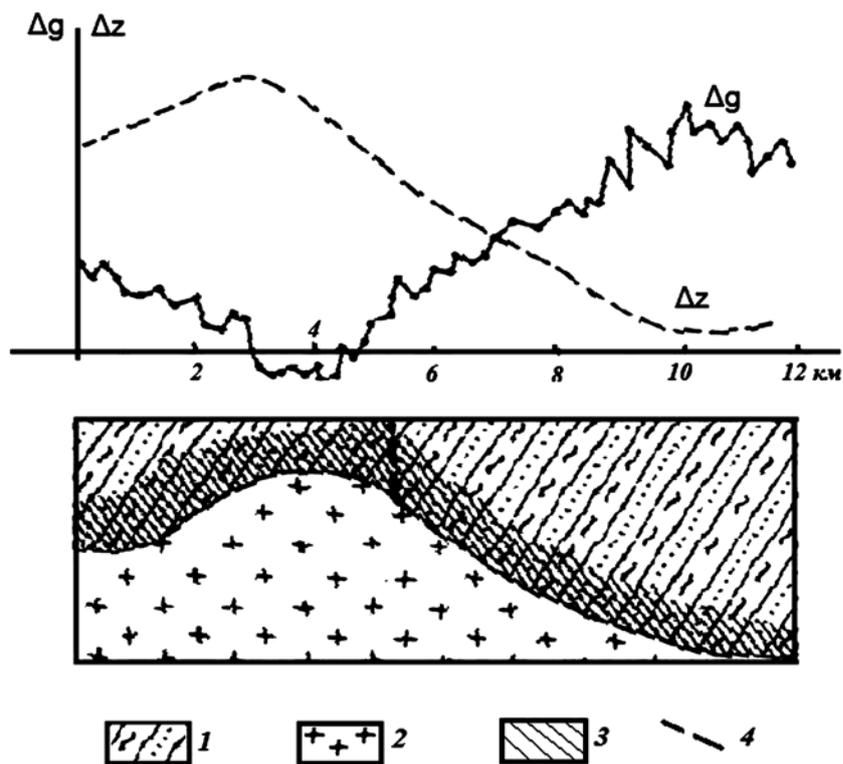


Рис. 6. Графики ΔZ и Δg над нескрытой гранитной интрузией.
 1 – песчаники и сланцы силура; 2 – лейкократовые пермские граниты;
 3 – зоны ороговикования; 4 – рудное тело

ских полях. Положительными магнитными и повышенными гравитационными полями характеризуются эффузивные аналоги габброидов-диабазы, спилиты и вариолиты. Пониженные магнитные и гравитационные поля в большинстве случаев соответствуют эффузивным аналогам кислых и средних пород, а закономерные интенсивно варьирующие поля, как правило, соответствуют областям эффузивов смешанного состава.

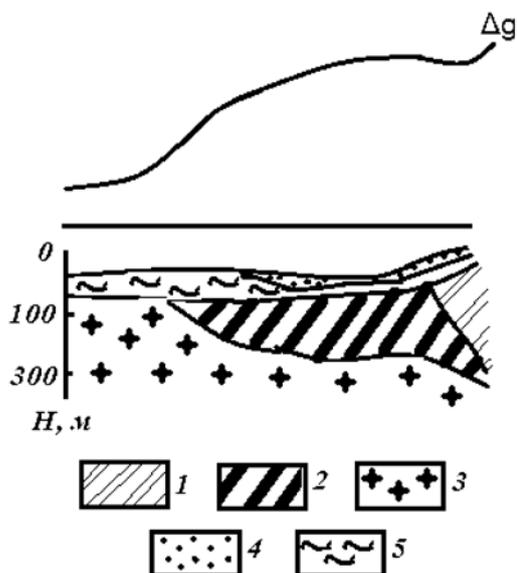


Рис. 7. График Δg над роговиками.
 1 – песчаники, алевролиты;
 2 – ороговики, ороговикованные песчаники,
 алевролиты; 3 – граниты; 4 – современные
 отложения; 5 – сланцы, песчаники, известняки
 палеоген-неогена

Таким образом, в результате комплексной интерпретации геофизических полей над магнитогенными образованиями представляется возможным: а) расширить контуры интрузивных массивов, выявить не вскрытые эрозией глубинные тела, определив при этом их наиболее вероятный петрохимический состав; б) рассчитать глубины залегания пространственных частей не вскрытых интрузивов, приближенно оценить положение их нижних кромок, форму и элементы залегания, а также примерный возраст; в) выделить пояса интрузивных пород различного состава, увязав их положение с глубинной тектоникой региона, выяснить принадлежность определенных интрузивных комплексов к тому или иному формационному магматическому типу; г) выявить общие закономерности пространственно-временного распределения эндогенного оруденения в связи с определенными комплексами интрузий, их морфологическими особенностями; д) установить площади распространения и состав эффузивных образований, их структурные условия залегания и мощность.

Осадочные и метаморфические образования в геофизических полях отражаются менее разнообразно, чем вулканогенные. Умеренные пониженные магнитные и гравитационные поля характерны для осадочных образований ($\sigma = 2,9 \text{ г/см}^3$; $\chi = 0$). Более уверенно осадочные образования дифференцируются по электрическим свойствам (от 100 до 1500 Ом·м) или граничным скоростям распространения упругих волн ($V = 2\text{-}6 \text{ км/с}$). Метаморфические разности основных пород среднего и кислого состава, а также метаморфическим образованиям по осадочным отложениям соответствуют, как правило, спокойные гравитационные и магнитные поля (рис. 8).

Глубинные разломы выделяются по следующим наиболее типичным геофизическим критериям: а) полосовые линейные гравитационные и магнитные аномалии, характеризующие геологические формации непосредственно в пределах разлома; б) «градиентные» аномалии гравимагнитного поля, обусловленные различием состава пород контактирующих блоков; в) гравитационные аномалии типа ступней в зонах крупных перемещений масс вдоль разлома; г) смена характера гравитационных и магнитных полей (направления простирания), вызванная различием геологического строения блоков; д) линейные зоны пониженного магнитного поля, обусловленные изменением магнитных свойств однотипных пород в зоне разлома; ж) резкая смена геосейсмических условий: потеря корреляции сейсмических волн, изменение их динамических особенностей, уменьшение граничных скоростей, наличие точек дифракции; з) резкие изменения геоэлектрических условий: смена типов кривых ВЭЗ, ДЭЗ, ЗПС, нарушение залегания опорных и маркирующих горизонтов, линейные аномалии естественного электромагнитного поля.

Для классификации разломов по глубине их проникновения в земную кору используют следующие материалы: карты поверхностей раздела земной коры, карту интрузивного магматизма, геологические карты различных масштабов, карты наблюдаемых и трансформированных геофизических полей, геосейсмические и геоэлектрические разрезы, карты палеогеографических и палеотектонических реконструкций. Направление падения и угол наклона разлома наиболее достоверно определяются методами сейсморазведки. Если сейсмические материалы отсутствуют, для установления элементов залегания разломов используются данные гравиразведки и магниторазведки. В результате комплексных исследований устанавливается его местоположение, амплитуда смещения блоков, направление падения плоскости нарушений, часто угол падения. Направление падения разломов определяется

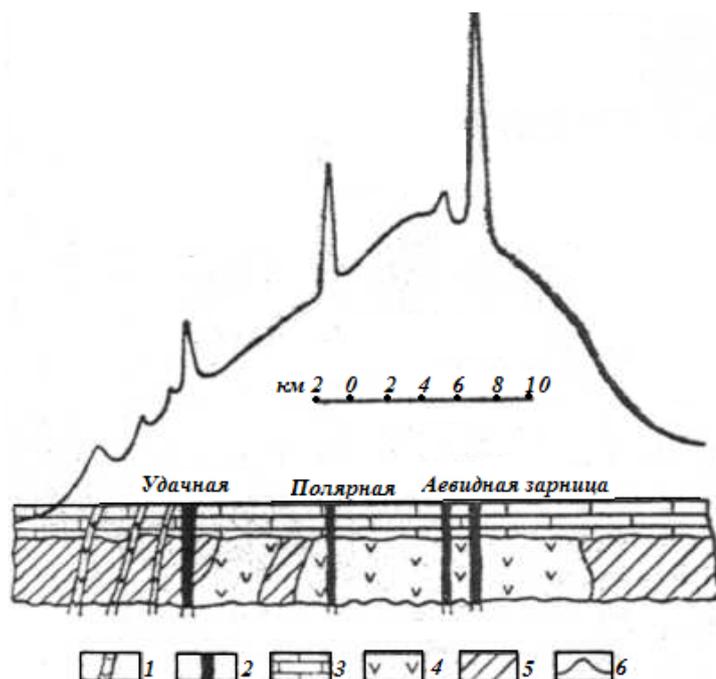


Рис. 8. Выделение кимберлитовых трубок среди магнитных сланцев фундамента платформы аэромагнитной съемкой. 1- дайки основных пород; 2 – кимберлитовые трубки; 3 – карбонатные породы; 4 – магнитные кристаллические сланцы фундамента платформы – ортопороды; 5 – пара-породы, немагнитные кристаллические сланцы; 6 – кривая ΔT на высоте 100 м.

при этом довольно устойчиво, угол падения – приблизительно [Мишин, 1974].

Срединные массивы (глыбы) – жесткие, стабилизированные структуры более древние, чем окружающие или прилегающие складчатые сооружения. Наиболее часты случаи обтекания гравитационными и магнитными аномалиями участков поля, отвечающих глыбам. Если массив не интродуцирован в значительной степени кислыми магмами, ему отвечает положительная гравитационная аномалия, что может быть объяснено наличием более древних (и часто более плотных) образований и нередко сокращенной мощностью земной коры. Если массив сильно интродуцирован гранитоидами, можно наблюдать мозаичное гравитационное поле с четко выраженными отрицательными аномалиями над интрузиями и характерное дифференцированное по интенсивности магнитное поле.

Внутренние поднятия (складчатые, складчато-глыбовые) характеризуются общностью структурного плана с окружающими их складчатыми сооружениями. Это обуславливает ориентировку гравитационных и магнитных аномалий над ними, согласную с общей ориентированностью аномалий всей складчатой системы. В зависимости от состава формаций, слагающих поднятие и окружающие его складки, намечаются прямые и обратные связи структур с физическими полями. При прямой связи поднятия отвечает относительно повышенное гравитационное поле. Это объясняется участием в их строении наиболее древних в районе образований, являющихся, как правило, более плотными.

Обратные связи часто вызваны наличием в районе мощных толщ более молодых эффузивных образований (основного состава), которые отличаются относительно повышенной плотностью. В магнитном поле проявления внутренних поднятий разнообразны и в основном зависят от распределения в разрезе магматических и осадочных образований и от их магнитных свойств. В сейсмических и электрических

полях структуры проявляются в виде поднятий опорных и маркирующих горизонтов [Бусыгин, Мирошниченко].

Внутренние прогибы (синклинали, наложенные мульды, грабен-синклинали, опущенные блоки) в физических полях отражаются различно. Синклинальные структуры складчатых зон всегда сопряжены со структурой противоположного знака, поэтому приведенные выше геолого-геофизические критерии выделения внутренних поднятий применимы и для внутренних прогибов, но в обратной последовательности. Синклинальные структуры и наложенные мульды отмечаются, как правило, аномалиями пониженных значений силы тяжести. Гравитационные минимумы над синклиналями, сложенными терригенными образованиями, нередко усиливаются за счет влияния крупных интрузий гранитоидов батолитового типа, подстилающих синклинали. Если синклинальные структуры выполнены образованиями, более плотными (основные эффузивы и их туфы), чем подстилающие породы, над ними наблюдается интенсивное положительное гравитационное поле с максимальными значениями над зонами наибольшего прогибания. Им же отвечает и повышенное магнитное поле. Пониженное магнитное поле можно наблюдать над синклиналями и мульдами, сложенными мощными осадочными толщами или эффузивами кислого состава. Наиболее полную информацию о структурных условиях внутренних прогибов можно получить в результате сейсморазведки и комплексного анализа геофизических данных (рис. 9).

Комплексное использование геологических и геофизических материалов в рудных районах позволяет отметить закономерности размещения рудных полезных ископаемых в связи с особенностями глубинного строения этих районов: положением основных границ раздела земной коры, интрузивным магматизмом, глубинными разломами, наиболее крупными структурными элементами.

Многие рудные пояса и рудные поля находятся в пределах интрузивных поясов и размещаются в интрузивных и около интрузивных зонах. Пояса гипербазитов, тяготеющие к глубинным разломам четко выделяются положительными гравитационными и магнитными аномалиями. Установление их положения позволяет определить площади для поисков месторождений хромитов, сульфидных медно-никелевых и силикатных никелевых руд, асбеста, талька, магнезита. Перспективными на многие эндогенные месторождения железа, полиметаллов, меди, золота, редких металлов и других полезных ископаемых, являются площади гранитоидных поясов, четко выделяемые аномальными гравитационными и магнитными аномалиями. Так, меднорудные и железорудные месторождения располагаются часто в пределах поясов раннегерцинских гранитоидов, а полиметаллические и редкометальные чаще тяготеют к поясам средне-позднегерцинских гранитоидов и узлам их пересечения.

Анализ связи глубинных разломов с размещением эндогенных рудных месторождений показал, что глубинные разломы первого порядка, проникающие на всю мощность земной коры и представляющие собой линейно вытянутые протяженные зоны больших градиентов и смены характерных особенностей гравитационных и магнитных полей. Сами по себе не являются рудоконтролирующими. Рудные пояса, как правило, контролируются разломами второго и третьего порядков, а размещение рудных полей и месторождений – нарушениями, определяющими крупные разломы.

Металлогеническую специализацию той или иной провинции во многом определяют крупные структурные элементы: срединные массивы, внутренние поднятия

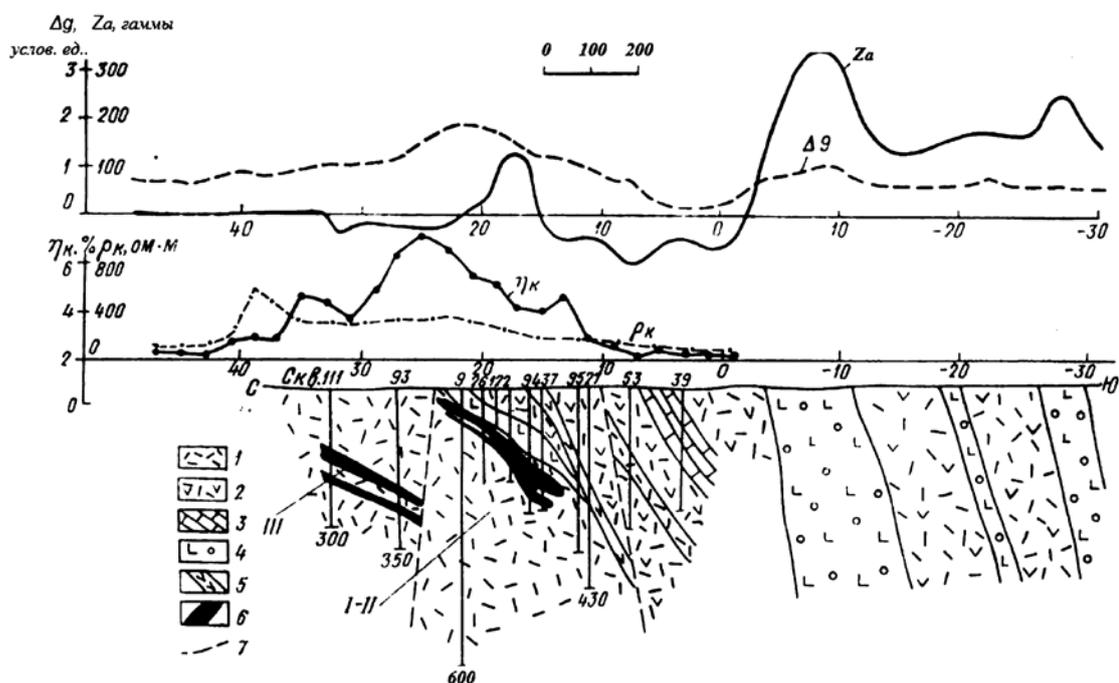


Рис. 9. Результаты исследований методами вызванной поляризации, грави- и магнитометрии.
 1 – альбитофиры и их туфы; 2 – андезитовые, дацитовые порфириды; 3 – известняки;
 4 – диабазы и их туфы; 5 – дайки габбро-диабазов; 6 – рудные тела; 7 – тектонические нарушения.

и прогибы. Для срединных массивов характерно проявление редкометального, золоторудного, меднопорфирового оруденения. Для внутренних поднятий характерны никеленосные пояса, медноколчеданные, полиметаллические месторождения. К внутренним прогибам тяготеют месторождения медистых песчаников, железорудные пояса.

Следовательно, по результатам анализа геофизических данных, опираясь на достоверные геологические материалы, можно прогнозировать размещение месторождений полезных ископаемых, выделить перспективные площади для их поисков. Геофизические данные могут быть использованы также для уточнения известных геологических поисково-прогнозных критериев и установления собственно геофизических критериев (как прямых, так и косвенных), определяющих взаимосвязь рудных объектов и характерных элементов физических полей.

Список литературы

1. Бородовой В. В. Геофизические исследования в рудных провинциях – М: «Недра», 1984 г. – 259 с.
2. Бусыгин Б. С., Мирошниченко Л. В. Распознавание образов при геолого-геофизическом прогнозировании. Издательство ДГУ, 1991-168 с.
3. Мишин Л. Т. Геофизические и геохимические методы поисков и оценки эндогенных месторождений олова – Ленинград: «Недра», 1974 г. – 224 с.

THE BASES OF THE AGGREGATION METHODS OF GEOPHYSICAL INVESTIGATIONS IN SEARCH OF ORE DEPOSITS

T. A. Keloev¹, Sc. Doctor. (Techn.), prof., I. N. Gudieva², Docent

¹Center of Geophysical Investigations of VSC RAS and RNO-A, Markova str. 93a, Vladikavkaz, Russia, 362002., e-mail: cgi_ras@mail.ru, ²North-Caucasus Mining Metallurgical Institute (State Technical University), Nikolaeva str. 44, Vladikavkaz, RNO-Alania, Russia, 362021, e-mail: info@skgmi-gtu.ru/

The analysis of geophysical methods used in search of ore deposits is performed and the technique of the data aggregation to specify the known geological prospecting and prognosis criteria and determine the geophysical criteria (both direct and indirect) that define the relationship of ore objects and characteristic elements of physical fields is proposed.

Key words: Geophysical field, the Earth's crust, intrusions/