

М. В. СЕМЕНОВ

**ОСНОВЫ ПОИСКОВ
И ИЗУЧЕНИЯ
КОЛЧЕДАННО-
ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ
РУДНЫХ ПОЛЕЙ
ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ
МЕТОДАМИ**

НЕДРА

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ «ГЕОТЕХНИКА»
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
МЕТОДИКИ И ТЕХНИКИ РАЗВЕДКИ

М. В. СЕМЕНОВ

1227

ОСНОВЫ ПОИСКОВ
И ИЗУЧЕНИЯ
КОЛЧЕДАННО-
ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ
РУДНЫХ ПОЛЕЙ
ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ
МЕТОДАМИ



Ленинград. «НЕДРА». Ленинградское отделение. 1975



Семенов М. В. Основы поисков и изучения колчеданно-полиметаллических рудных полей геофизическими методами. Л., «Недра», 1975. 152 с. (М-во геологии СССР. Всесоюз. науч.-исслед. ин-т методики и техники разведки НПО «Геотехника»).

В книге освещены генетические, морфологические и физические особенности колчеданно-полиметаллических рудных полей, имеющие значение при изучении последних геофизическими методами. Приводятся описания геофизических аномалий, наблюдающихся на рудных полях разных родов, и их геолого-геофизические классификационные признаки. Разобраны методы поисков глубокозалегающих рудных месторождений, в том числе метод вызванной поляризации (с большими разносами питающих электродов). Рассмотрены возможности методов естественного электрического поля, заряда и метода изучения электрических полей от энергоустановок рудников для изучения морфологии рудных скоплений в рудных полях III рода, имеющих разветвления.

Книга является первой сводной работой, посвященной поискам и изучению рудных полей геофизическими методами, и может представлять интерес для геологов и геофизиков, занятых поисками и разведкой колчеданно-полиметаллических и медных месторождений.

Табл. 4, ил. 48, список лит. 116 назв.

Научный редактор

д-р геол.-минер. наук *В. А. КОМАРОВ*

ПРЕДИСЛОВИЕ

В конце 30-х годов XX столетия в СССР возникло и ныне успешно развивается направление исследований, предметом которых являются рудные поля, рассматриваемые как продукты процессов постмагматической гидротермальной деятельности. Ввиду необходимости значительного расширения сырьевой базы промышленности, именно крупные рудные поля уже в ближайшие годы станут, вероятно, основными предметами поиска, изучения и эксплуатации. Настоящая книга является первой сводной работой, посвященной поискам и изучению рудных полей геофизическими методами. Исползованный в ней материал получен в основном на колчеданно-полиметаллических рудных полях, поэтому сделанные выводы и рекомендации можно считать предварительными. В то же время есть основания полагать, что многие геологические и геофизические характеристики, а также принципы поисков и изучения рудных полей большинства гидротермальных месторождений будут близки. В этой связи книга может быть полезной для будущих исследователей рудных полей.

В книге использованы результаты исследований, проведенных автором в период 1963—1973 гг. в СНИИГГИМС и ВИТР, а также анализ и обобщение фондовых материалов Восточно-Казахстанского и Западно-Сибирского территориальных геологических управлений и опубликованных статей многих авторов. В сборе материалов большую помощь автору оказали Ю. А. Калашников, Н. А. Гладков, В. С. Моисеев, сотрудники многих производственных организаций системы Министерства геологии СССР, в том числе Ю. В. Синдяев, И. А. Розенфарб, Г. П. Нахтигаль, В. Е. Голубцов, А. М. Ярославцев, Я. В. Маркушин, Б. Г. Ишунин, И. С. Чуприна, А. А. Сафроненко и другие.

При постановке работы и в ходе ее выполнения автор пользовался советами и помощью П. Ф. Иванкина, В. С. Суркова, Н. И. Сафронова и А. С. Семенова. Ряд ценных критических замечаний и советов автор получил от В. А. Комарова и С. С. Мещерякова при просмотре рукописи. Большую помощь в оформлении рукописи автору оказали Е. В. Марковская и С. И. Афанасьева.

Всем указанным лицам и организациям автор выражает свою глубокую признательность.

Бурный рост промышленности сопровождается возрастающим потреблением минерального сырья, в том числе цветных металлов, основным источником которых служат руды колчеданно-полиметаллических месторождений. Так, по К. Р. Арангуа [2], мировая добыча металлов в 1950—1960 гг. по сравнению с 1890—1900 гг. увеличилась по меди в 8 раз, по свинцу в 3 раза, по цинку в 7 раз.

Рост добычи полезных ископаемых требует непрерывного пополнения запасов руд, однако открытие новых богатых месторождений с течением времени встречает все большие трудности. Последнее влечет за собой снижение требований к среднему содержанию металлов в руде и повышение их к общим запасам металлов в месторождении. Например, по В. И. Смирнову [103], среднее мировое содержание меди в добываемой руде с 5% в 1890 г. снизилось до 2% в 1910 г. и до 1% в 1970 г. По данным Восточно-Казахстанского территориального геологического управления (ВКТГУ) промышленное содержание свинца в добываемых рудах алтайских месторождений с 9,7 в 1917 г. уменьшилось до 1,2% в 1965 г. С падением среднего содержания металла в руде ежегодное приращение разведанных запасов руд увеличивается в каждом новом пятилетии, однако уже сегодня нужды горнорудных предприятий Алтая в руде удовлетворяются не полностью, а месторождения Среднего и Южного Урала обеспечивают лишь около трети потребности в руде Уральских медеплавильных комбинатов.

Оценка еще не выявленных запасов руд, с содержанием свинца не ниже 0,2%, проведенная в ВИТР по методу Н. И. Сафронова [85], показывает, что в основных рудных районах Алтая на глубинах до 300—500 м уже выявлено более половины запасов руд в месторождениях, считающихся сегодня пригодными для добычи. При существующем ежегодном приросте запасов все не выявленные еще рудные тела будут разведаны в течение 15—20 лет, если предположить, что ни уровень добычи и потребления, ни среднее содержание суммы металлов в руде существенно не изменятся за это время. Следовательно, можно ожидать, что в будущем на глубинах до 300—500 м больше не останется неразведанных рудных тел с концентрацией металлов, считающейся сегодня кондиционной.

Если тенденция снижения среднего содержания металлов в рудах не изменится, в будущем в старых рудных районах сырьем для горнорудных предприятий будут служить породы с содержанием суммы металлов около 1%. Объектом поисков и разведки станут минерализованные участки, гораздо более крупные по размерам, чем нынешние рудные тела, и отличающиеся от последних низким средним содержанием суммы металлов. Другим резервом сырьевой базы промышленности будут, по-видимому, служить сравнительно глубоко расположенные (0,5—2 км) крупные месторождения, как вскрытые эрозией на уровне своих непромышленных первичных ореолов, так и не выходящие на эрозионный срез [46].

Поиски и разведка глубокозалегающих месторождений полезных ископаемых, осуществляемые комплексом геологических, технических, геофизических и геохимических методов и средств, сопровождаются большими трудностями, дорого стоят и в целом все еще малоэффективны.

В целях совершенствования комплекса трудами большого коллектива сотрудников ВИТР, возглавляемого Н. И. Сафроновым, в содружестве с Восточно-Казахстанским, Западно-Сибирским и Центрально-Казахстанским территориальными геологическими управлениями к 1962 г. был разработан ряд скважинных геофизических методов, опробована и внедрена комплексная методика поисков перекрытого или глубокозалегающего оруденения [10, 77, 84]. Однако, несмотря на некоторые успехи, задачу создания комплексной методики поисков и разведки крупных глубокозалегающих рудных тел еще нельзя считать целиком выполненной. До сих пор эффективность комплексных геолого-геофизических поисков руд цветных металлов недостаточна, и поиски на практике все еще осуществляются главным образом путем бурения глубоких поисковых скважин.

Одна из причин такой ситуации, по-видимому, состоит в том, что в силу исторически сложившихся обстоятельств развития рудной геофизики в качестве предмета поисков и изучения ее методами фигурирует «рудное тело», рассматриваемое геофизиками как геологическое образование, отличающееся от вмещающей среды не кондициями извлекаемого полезного ископаемого, а теми или иными физическими свойствами.

В основе методов рудной геофизики лежит связь между физическими свойствами рудного тела, его формой, размерами, глубиной и условиями залегания и величиной и характером аномального физического поля, картируемого в окрестностях рудного тела на поверхности земли, в скважинах и горных выработках или в воздухе. Предполагается обычно, что рудное тело резко отличается от вмещающей среды по тому или иному физическому свойству и, кроме того, лежит на сравнительно небольшом расстоянии от области наблюдения. Поиски даже неглубоко залегающих рудных тел, обладающих небольшими размерами, затруд-

нены высоким уровнем «нормальных» или мешающих полей, обусловленных неравномерной мощностью рыхлых отложений, физическими или физико-химическими особенностями и неоднородностями вмещающих пород, работой промышленных установок, атмосферными, космическими, геоморфологическими, климатическими условиями наблюдений и другими причинами.

С другой стороны, взаимоотношения промышленных рудных тел между собой и их положение относительно эрозионного среза могут быть самыми различными, причем нередко они таковы, что аномальный эффект одного тела усложняется и затушевывается эффектом от других тел и сопутствующих мелких рудных скоплений. Таким образом, ожидаемой геофизиком четкости отношения аномалия — рудное тело не устанавливается, и поисковые возможности геофизических методов оцениваются отрицательно. Видимо, не приходится рассчитывать на непосредственную фиксацию аномальных физических полей на поверхности земли от отдельных, даже крупных рудных тел, расположенных на глубине 500—2000 м.

Очевидно, назрела необходимость теоретически и методически подготовиться к замене объекта геофизических исследований — рудного тела — другим, более крупным природным объектом. Опыт геофизических работ подсказывает, каким должен быть этот новый объект геофизических исследований.

Изучаемые методами геофизики физические поля создаются сложными совокупностями природных объектов — крупных и мелких рудных скоплений, зон околорудных измененных пород, ореолов рассеянной минерализации, магматических тел и различных образований вмещающей среды, т. е. так называемыми рудными полями. Как правило, промышленные месторождения (рудные тела) и обширные зоны измененных пород встречаются не изолированно, а входят в состав рудных полей [48]. По-видимому, именно крупные рудные поля должны стать основным предметом поисков и последующей разведки через 10—20 лет.

Очевидно, рудные поля являются теми природными металлогеническими единицами, которыми выражается объективно существующая прерывистость оруденения в пространстве. В практике металлогенических исследований и прогнозирования оруденения, как и при геологоразведочных работах, в последние 10—15 лет именно рудное поле все чаще начинает выступать в качестве естественного объекта поисков и оценки [27].

Поскольку рудные тела по своим размерам в десятки раз меньше рудных полей, современные геофизические методики, разработанные для поисков и изучения рудных тел, как правило, неприменимы для поисков и объемного картирования рудных полей. Несмотря на значительный опыт геофизического изучения рудных регионов и огромное количество выявленных в них аномалий, мы, в сущности, не имеем достаточно определенных представлений о геофизических аномалиях, отвечающих целым рудным полям.

Из сказанного следует, что теория и практика методов рудной геофизики в определенном отношении стали отставать от металлогенической теории и нужд геологоразведочной практики, которыми доказано, что обособленные рудные тела почти всегда являются лишь малыми частями рудных полей. Для дальнейшего развития рудной геофизики необходимо знать, каковы особенности геофизических аномалий от рудных полей в целом и от их крупных частей, знать геологические особенности рудных полей различных генетических и морфологических типов и уметь использовать эти особенности для правильного геологического истолкования геофизических аномалий, для создания новых эффективных методов и методик обнаружения глубокозалегающих рудных полей и изучения их внутреннего строения и выявления в них промышленных рудных тел.

До последнего времени в создании и развитии методики поисков и изучения рудных полей геофизическими методами были сделаны только первые шаги [19, 33, 39, 60, 61, 94, 100].

В настоящей работе рассмотрены колчеданно-полиметаллические, и в меньшей степени медные и сульфидно-касситеритовые рудные поля и связанные с ними месторождения, залегающие в силикатных эффузивно-осадочных породах. При этом наибольшее внимание уделено тем из них, которые по форме напоминают плоские, лентообразные тела. Это прежде всего объекты Рудного Алтая и отчасти Урала, Салаирского кряжа, Центрального Казахстана, Дальнего Востока, Средней Азии.

В публикуемой работе автор освещает следующие вопросы.

1. Геологические особенности рудных полей колчеданно-полиметаллического типа, влияющие на эффективность и результаты применения геофизических методов при их поисках и изучении. Особое внимание обращено на генетические и морфологические особенности и промышленную перспективность рудных полей.

2. Характерные признаки геофизических аномалий для рудных полей в целом, а также для их крупных составных частей, с целью выбора геофизических методов или их сочетаний для поисков рудных полей на значительных глубинах, оценки и разбраковки последних по промышленной перспективности и изучения внутреннего строения.

3. Полученные во время исследований методические выводы и рекомендации, имеющие практическое значение.

РУДНОЕ ПОЛЕ КАК ПРЕДМЕТ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

§ 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНЫ

В геологической литературе известно немало трудов, рассматривающих происхождение, строение, свойства и классификацию таких сложных и многосторонних явлений, как рудное поле и рудное месторождение [5, 9, 11, 27, 29, 37, 38, 47, 48, 50, 113, 114 и др.]. Очевидно, именно в силу сложности и противоречивости этих явлений, а также недостаточной их изученности разные авторы в одни и те же понятия и термины нередко вкладывают различный смысл.

Под *месторождением* понимается геологическое тело или тела, содержащие скопление полезного ископаемого в таких количествах и концентрациях, которые позволяют с экономической выгодой эксплуатировать их имеющимися техническими средствами. Таким образом, это — геолого-экономическое понятие. Геологическим термином, равнозначным месторождению, но лишенным его экономического аспекта, может служить, по-видимому, *рудное скопление* (или *рудное образование*), т. е. геологическое тело или тела, содержащие скопления рудных минералов (в любых превышающих кларки количествах).

Понятие *рудное поле* возникло в СССР более 30 лет назад как определение естественной составной части металлогенических провинций и поясов. (В капиталистических странах понятие о рудном поле практически не применяется [38].) А. Г. Бетехтин [5], введя это понятие в науку, рассматривал рудное поле как «совокупность месторождений, генетически связанных с каким-либо данным массивом изверженных пород, вскрытых на поверхности, или залегающих вблизи него». Ф. И. Вольфсон [11] ввиду сложности установления во многих случаях характера связи оруденения с интрузиями считал это определение А. Г. Бетехтина пригодным только для рудных полей магматических и пегматитовых рудных скоплений.

Многими исследователями понятия рудное образование и рудное поле воспринимаются как синонимы, но так как первое не включает в себя структурных особенностей локализации руд, термин рудное поле чаще употребляется при структурно-геологических исследованиях.

Д. И. Щербаков [114] считал рудным полем «совокупность генетически связанных рудных проявлений, сравнительно тесно группирующихся в пределах определенной площади, в прямой зависимости от ее строения». В. М. Крейтер [49] рудным полем (узлом, группой) назвал «участок земной коры, включающий серию пространственно-сближенных, одновозрастных или близких по времени образования и генетически родственных эндогенных месторождений (а также, возможно, еще не обнаруженных или скрытых аналогичных месторождений), обычно отделенных от других рудоносных участков большими пространствами, на которых часто развиты обильные мелкие проявления минерализации, но промысленные накопления отсутствуют». В определении В. М. Крейтера нет указания на единый процесс, приведший к образованию рудного поля. В понимании Е. Т. Шаталова [113], «рудное поле представляет сравнительно небольшую рудоносную площадь с одновременными или близкими по возрасту генетически связанными между собой сближенными рудными месторождениями и рудными телами, приуроченными к локальным тектоническим элементам, к участкам с благоприятными для оруденения вмещающими породами или генетически связанными с какими-либо телами изверженных пород, вскрытыми на поверхности или залегающими вблизи нее».

А. С. Великий [9] справедливо отметил отсутствие правильного и общепринятого представления о рудном поле. Под последним он понимал «минерализованный участок земной коры, в котором возникновение и локализация руды обусловлены особенностями строения отдельных частей региональных (крупных) тектонических структур, влияющих на образование и размещение рудных поясов, а также развивающимися на их фоне локальными (относительно более мелкими) структурами и отдельными массивами магматических пород».

Наконец, следует отметить появление работ, в которых рудное поле представлено как генетически единое целое: определенный рудно-магматический комплекс, характеризующийся единством источника и общностью термодинамических условий внедрения остаточных магм и гидротермальных струй, чем определяется морфология рудного поля и изменения ее элементов на разных уровнях глубины. Развитию этих идей посвящены статьи Г. Л. Поспелова [68, 69] и П. Ф. Иванкина [27, 29, 31 и др.]. По-видимому, именно наличие рудных скоплений и проявлений и специфических магматических образований превращает какой-либо участок земной коры в рудное поле. Поэтому мы считаем правильным понимать под рудным полем геологический объект, состоящий из генетически родственных рудных тел и скоплений, зон гидротермально измененных, минерализованных пород и малых магматических образований, представляющих собой фазы отщепления из общего магматического очага и использовавших в своем движении общие каналы. Эти объекты обычно отделены друг от

друга большими неминерализованными пространствами. Принятое нами понятие рудное поле близко к тому, которое вкладывали в этот термин А. Г. Бетехтин и Д. И. Щербаков и отличается от его представления В. М. Крейтером, А. В. Королевым и П. А. Шехтманом [44], Е. Т. Шаталовым и А. С. Великим.

В. М. Крейтер, А. С. Великий и другие исследователи, выдвигающие в определении понятия рудное поле на первое место участок земной коры, подразумевают под *структурой рудного поля* всю совокупность структурных элементов вмещающей рудное образование геологической среды, т. е. структуры участка земной коры, и через них — форму определяемых ими рудных скоплений.

П. Ф. Иванкин, выдвигающий на первое место в понятии рудное поле именно рудное образование последнего, представляет под *структурой рудного поля* взаимосвязь основных частей рудного поля, т. е. рудных тел и скоплений и зон измененных пород. Последнее определение можно считать наиболее правильным. Ниже мы во избежание путаницы понятий будем оперировать терминами *структура участка рудного поля*, понимая под ней структуру того участка земной коры, в котором находится рудное образование, и *фигура рудного поля* — трехмерная пространственная фигура, которая образована поверхностью, отделяющей все скопления рудных минералов и окружающие их гидротермально измененные, минерализованные породы в рудном поле от неминерализованных, неизмененных вмещающих пород.

Фигура рудного поля во многом зависит от элементов структуры участка рудного поля, так как последние контролируют пути движения гидротерм, а следовательно, положение и форму отдельных рудных скоплений, рудных тел, зон измененных пород и их взаимосвязь. Однако важно то, что рудные тела, скопления и зоны измененных пород занимают обычно далеко не весь объем того или иного элемента структуры участка рудного поля. Кроме того, геофизическими методами структуры участка рудного поля и его рудные образования (и их части) нередко обнаруживаются, прослеживаются и диагностируются как самостоятельные объекты, характеризующиеся отличными друг от друга физическими свойствами и полями.

Ветвь рудного поля — это пространственно изолированная часть общей фигуры рудного поля, включающая одно или несколько скоплений рудных минералов (в том числе рудных тел) и окружающих их гидротермально измененных пород, образованных в результате действия отдельной гидротермальной струи, отделившейся в данной структуре от общего исходного гидротермального потока.

Очевидно, требует пояснения также термин *рудное поле колчеданно-полиметаллического типа*. В литературе известно лишь несколько работ, касающихся классификации рудных полей [9, 11, 37, 38, 42, 44, 47]. В большинстве из них систематизируются фактически не сами рудные поля, а структуры участков рудных

полей. М. А. Карасиком [38] предложены принципы построения естественной генетической классификации рудных полей, основанной на их характерных признаках. Все послемагматические рудные поля поделены им на классы: пегматитовый, контактовый и гидротермальный, которые в свою очередь подразделяются на типы по геохимическим комплексам (характерным минеральным и химическим парагенезисам). Однако детально классификация разработана только для контактовых железорудных и гидротермальных сурьмяно-ртутных рудных полей. Общей удовлетворительной классификации рудных полей пока не разработано.

Поскольку месторождения являются важнейшими составными частями рудных полей, автор обратился к одной из многочисленных классификаций месторождений для того, чтобы пояснить смысл примененного термина рудные поля колчеданно-полиметаллического типа. И. Г. Магакьян [50] делит все месторождения на классы по ведущему добываемому металлу, выделяя затем в каждом классе генетические типы месторождений и рудные формации. Под рудными полями колчеданно-полиметаллического типа в настоящей работе понимаются такие, месторождения в которых относятся И. Г. Магакьяном к медным типа среднетемпературной гидротермальной формации колчеданных месторождений (Урал и Чингиз-Тау) или к свинцовым, цинковым и серебряным типа среднетемпературной гидротермальной формации полиметаллических месторождений (Алтай и Салаирский край).

Другие встречающиеся в книге понятия и термины употреблены в их общепринятом значении или их смысл пояснен в тексте.

§ 2. ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ РУДНЫХ ПОЛЕЙ КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ТИПА

Изучению геологии колчеданно-полиметаллических месторождений посвящены работы А. Н. Заварицкого, А. В. Пэка, С. Н. Иванова, А. А. Амирасланова, Г. С. Лабазина, В. П. Нехорошева, М. А. Усова, Н. Н. Курека, С. С. Смирнова, П. Ф. Иванкина и других исследователей. С середины нашего столетия начали накапливаться также данные по геофизической характеристике колчеданно-полиметаллических месторождений и районов их распространения. Эту геофизическую информацию не всегда удавалось увязать с представлениями о строении и происхождении месторождений и рудоносных площадей. Часто оставались неясными масштабы аномальных физических полей вблизи рудных месторождений, не увязывающиеся с размерами известных рудных тел, или причины появления обширных региональных аномалий на участках без промышленной, а иногда и вообще без видимой минерализации. Не хватало теоретического обобщения, своего рода стержня, который позволил бы связать всю накоп-

ленную геологическую и геофизическую информацию в стройную, логически цельную систему представлений.

Для автора таким ключом к пониманию материала явилось развиваемое П. Ф. Иванкиным учение о происхождении, морфологии и особенностях геологического строения рудных полей [27, 28, 31, 32]. В основу взглядов П. Ф. Иванкина положен анализ данных, полученных по более чем 50 детально разведанным до глубины 1000—1500 м рудным полям Урала, Рудного Алтая, Салаирского кряжа, Чингиз-Тау, Забайкалья и некоторых других районов. Рассмотрим характерные геологические особенности рудных полей, влияющие на возникновение и характер связанных с ними физических полей.

Характер отделения гидротермальных растворов от материнской интрузии

По П. Ф. Иванкину [27], существует зависимость между морфологией рудного поля, процессом его формирования и типом источника постмагматических растворов. Из скрытого на глубине источника тепловая энергия, магма и гидротермальные растворы перемещаются по наиболее доступным путям в направлении наименьшего давления извне. Этот поток взаимодействует с вмещающей его геологической средой и занимает определенное пространство в ней. Геометрия этого пространства прямо связана с термодинамическими свойствами потока, разветвляющегося по мере его направленного движения и затухающего на каких-то расстояниях от источника, а также со структурными, литологическими и физико-химическими свойствами геологической среды, в которую проникает этот поток. По характеру взаимоотношений гидротермального оруденения с материнскими интрузиями можно выделить три рода рудных полей.

Рудные поля I рода являются ореольными или бескорневыми (рис. 1). Они формируются на ранних стадиях остывания внедрившегося магматического тела в условиях широкого фронта отделения растворов по всей или части поверхности материнского интрузива. Растворы обычно обогащены водой, летучими и рудными компонентами. Минерализация вмещающих пород происходит вблизи места отделения растворов от магмы. В результате образуются широкие ореолы вкрапленной минерализации, обычно без локальных рудных скоплений или месторождений. Поля I рода имеют неправильные очертания и типичны для апикальных частей малоглубинных рудоносных интрузий. Они образуют чехлы измененных пород и рассеянной минерализации на более или менее обширных пространствах над погребенными интрузиями или линейно вытянутые полосы неравномерной мощности вдоль границ вскрытых эрозией интрузий. Минерализация слабо контролируется структурами вмещающей среды.

Примером рудного поля I рода может служить область пород, протягивающаяся на несколько десятков километров полосой шириной 2—3 км вдоль выхода на современный эрозионный срез крупного Акшийрак-Сарыджазского гранитоидного массива в Киргизии [54] и представленных вторичными кремнистыми образованиями с рассеянной сульфидной, возможно графитовой и местами оловянной минерализацией. Обеленные, окварцованные, пиритизированные, со следами полиметаллической минерализации

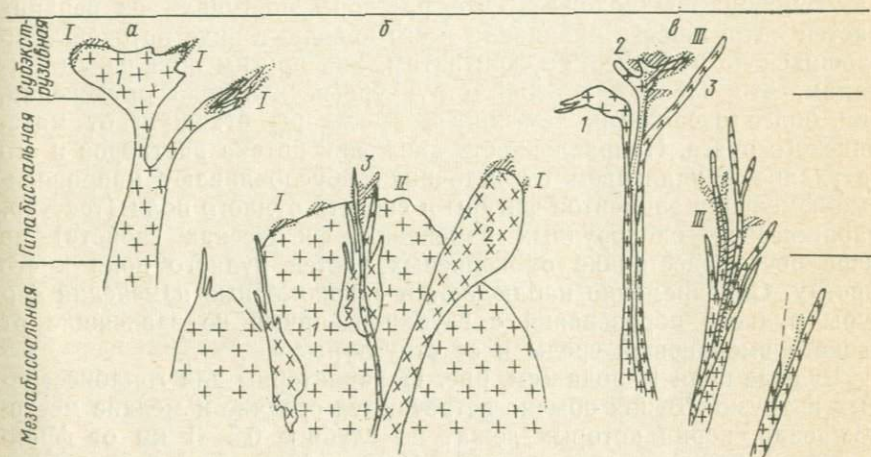


Рис. 1. Отношение постмагматических рудных полей разного рода к материнским магматическим комплексам (по П. Ф. Иванкину).

I, II, III — рудные поля I, II и III рода (заштрихованы);

а — однофазные субвулканические интрузии штоково-лакколлитовой и силловой субфаций; б — многофазные плагийгранит-гранодиоритовые и гранитные плутоны батолитовой и штоковой субфаций (1, 2, 3 — разные фазы комплекса); в — рудоносный комплекс малых интрузий двух- и трехфазного строения.

породы, наблюдающиеся в районе Рулихинского месторождения на Рудном Алтае в контакте с апофизой крупного Межовского гранитоидного массива, также относятся к рудному полю I рода (более детальное описание их приведено в главе II).

Среди типичных рудных полей I рода рассматриваемого генетического типа пока неизвестно заслуживающих внимания промышленных месторождений. Однако для рудных полей I рода характерны обширные, достаточно интенсивные аномалии ряда геофизических и геохимических методов. Эти аномалии сопутствуют геологическим поисковым признакам: зонам измененных пород (с ожелезнением, обелением, окварцеванием, серицитизацией и хлоритизацией), иногда с видимой вкрапленностью рудных минералов. Дело еще более осложняется, когда на крупное рудное поле I рода наложено оруденение иного рода. В этом случае локальные аномалии, свойственные интересующим нас объектам, трудно отделимы от физических полей, характерных для рудных полей I

рода. Поэтому необходимо понимание геофизиком природы аномального объекта и его промышленных перспектив и правильное определение рода рудного поля.

Рудные поля II рода — это системы рудных тел, окружающих их зон гидротермально измененных пород и поздних магматических отщеплений (даек, штоков, силлов), имеющие общие корни, или рудо- и магомподводящие каналы, уходящие внутрь крупного интрузива, производными которого все они являются. По характеру отношений оруденения с материнскими интрузивами можно предположить, что растворы поступали из верхних частей интрузивов и проникали в его кровлю в виде потоков, двигавшихся по нарушениям, контактам или другим локальным каналам, что влекло за собой структурный контроль оруденения, тем более очевидный, чем дальше растворы отходили от материнского очага. Направленность движения потока растворов и его затухание с удалением от источника обуславливают направленные изменения элементов фигуры и свойств рудного поля (текстур, парагенезиса, окolorудных изменений, физических свойств) по мере роста расстояния от корневых частей рудного поля к его фронту. Одновременно наблюдаются закономерные изменения фигуры рудного образования с глубиной, прямо не зависящие от свойств вмещающей среды и ее структуры.

Рудные поля II рода (см. рис. 1) характерны для гипабиссальных интрузий. В них обычно встречаются средние и мелкие месторождения, корни которых лежат на глубине 0,5—1 км от фронтальных частей рудных полей. Им свойственны сравнительно большие горизонтальные размеры и часто изометрические очертания в плане, рассредоточенная минерализация, наличие нескольких корней в пределах одного рудного поля (объединенного по внешнему контуру измененных пород). Часто наблюдается наложение рудного поля II рода на рудное поле I рода, причем поле II рода формировалось в более позднюю фазу оруденения. Типичными представителями рудных полей II рода могут служить на Рудном Алтае поля Змеиногорского и Потенциального месторождений, а также рудные поля Салаирского кряжа.

По-видимому, эволюция магматических комплексов часто идет таким образом, что остаточные очаги с течением времени, по мере застывания интрузива, опускаются вниз, при этом их потенциальная рудоносность возрастает. Чем глубже погружается остаточный очаг, тем неопределеннее становится связь оруденения с магматическим комплексом. Поздние серии жильных интрузий в этих условиях приобретают черты самостоятельных малых интрузий.

К рудным полям III рода П. Ф. Иванкин относит системы рудных тел и окружающих их измененных пород, сопровождающиеся самостоятельными сериями малых интрузий, которые объединены одними и теми же структурами и до глубин 1—2 км не имеют явной связи с известными крупными плутонами (см. рис. 1). Потоки гидротерм были компактными, очень протяженны-

ми и приуроченными к явным тектоническим зонам. Размеры рудных полей III рода довольно велики. Известные для них месторождения достигают в длину нескольких километров (на Рудном Алтае Белоусовское до 6, Зыряновское до 3, Дегтярское на Урале до 4,5 км); зоны измененных пород нередко достигают десяти и более километров (Иртышское рудное поле — 11 км). Наиболее крупные рудные поля имеют обычно и самые глубокие корни, предположительно до 2—4 км от современного эрозионного среза; ныне некоторые из них уже прослежены бурением на глубину до километра и более, причем руды не оконтурены еще снизу. Месторождениям в пределах рудных полей III рода обычно свойственны сближенность и лентовидный облик рудных тел, сравнительно узкие, но протяженные по простиранию ореолы изменений и вкрапленников вокруг тел, частые разветвления зон измененных пород и рудных тел по направлению от корней поля.

Рудные поля III рода содержат обычно самые крупные промышленные месторождения. В частности, на Рудном Алтае к ним относятся Лениногорское, Тишинское, Зыряновское, Березовское, Новоберезовское, Иртышское, Белоусовское, Золотушинское, Орловское месторождения. На Урале — это Дегтярское, им. XIX Партсъезда и другие месторождения [27].

Итак, проблема отыскания крупных промышленных глубоко-залегающих месторождений сводится к обнаружению рудных полей III, отчасти II рода и отделению их от полей I рода.

Морфология рудных тел и скоплений

Морфологические особенности рудных скоплений в настоящее время изучены довольно полно на базе фактических данных современной разведочной практики [27]. Наряду с очевидным и широко известным влиянием различного рода рудовмещающих структур на форму рудных скоплений выявилась важная зависимость ее от внутренних свойств самого гидротермального рудообразующего потока. Фигура рудных полей II и III рода описывается поверхностью, которая отделяет от вмещающей среды всю систему рудных тел, непромышленных рудных скоплений и зон гидротермально измененных пород, объединенных общностью источника. (Избегая гипотетичности в геометрических построениях, часто эту поверхность проводят по внешнему контуру разведанных рудных тел, так как именно они надежно картируются на разведочных документах.) В фигуре рудного поля выделяют: корневую часть — сравнительно узкий рудоподводящий канал, служивший источником поступления гидротерм в структуры вмещающей среды; центральную часть, где сконцентрированы основные массы рудного вещества, и фронтальную часть, где количество рудных тел, их объемы и мощности быстро уменьшаются на сравнительно коротких расстояниях (по направлению движения гид-

ротермальных потоков). В последней происходит выклинивание тел, переход их в зоны забалансовой минерализации, затем в зоны рассеянной вкрапленности, пиритизации, и далее в зоны измененных пород с ореолами минерализации, фиксирующимися лишь геохимическими приемами, и наконец, полное выклинивание рудного поля.

Подавляющая масса рудного вещества отлагается в центральной части рудного поля в области, где происходит расширение и разветвление потока гидротермальных растворов, формировавших рудное поле. Среди многих десятков изученных рудных полей пока не известно ни одного случая, когда бы основные массы руд сосредоточивались в области корня рудного поля. Обычно не встречается крупных рудных тел и во фронтальных частях рудного поля. Как правило, рудные тела и скопления и их совокупности, отстоящие иногда в верхних горизонтах рудных полей II и III рода на значительных расстояниях друг от друга (сотни метров — первые километры), с глубиной сближаются, частично сливаются и затем соединяются в один рудоподводящий канал.

Аналогично ведут себя зоны гидротермально измененных пород, а также дайки и штоки интрузивных пород, связанные с рудами парагенетически и общностью путей. В корнях рудных полей и по мере приближения к ним наблюдается более или менее быстрое выклинивание рудных тел и скоплений. Разветвление рудных тел и систем минерализованных зон всегда идет в направлении от корня к фронту поля. В этом же направлении увеличивается количество тел, наблюдаемых в погоризонтальных сечениях. Явление разветвления рудных тел вверх давно подметили американские геологи. По Г. И. Мак-Кинстри [51], причина этого явления заключается в следующем: «Гидротермальная минерализация в каком-либо руднике или районе должна отражать положение путей растворов, по которым они поднимаются от своего источника до поверхности, т. е. путей наименьшего сопротивления в теле породы. А эти последние в свою очередь, по крайней мере геометрически, отражают структурные особенности массы породы... Поэтому различные структурные и минералогические типы могут представлять собой отдельные части единой системы. Для обозначений таких соотношений Грейтон, Беррел и другие применяли термин «рудные пучки» к группе рудных тел, которые могли отличаться друг от друга по структуре, но были связаны между собой и имели тенденцию к разветвлению вверх, подобно ветвям дерева».

Трехмерная геометрическая модель фигуры рудного образования полей II и III рода внешне напоминает конус или веер (рис. 2). Длина поля измеряется вдоль его оси от фронта к корневой части. Лишь в редких случаях она совпадает с его вертикальной протяженностью, так как рудные поля, подобно магматическим телам, обычно располагаются в геологических структурах наклонно.

Как показали исследования П. Ф. Иванкина [27], фигуры однокорневых полей могут быть разделены на несколько характер-

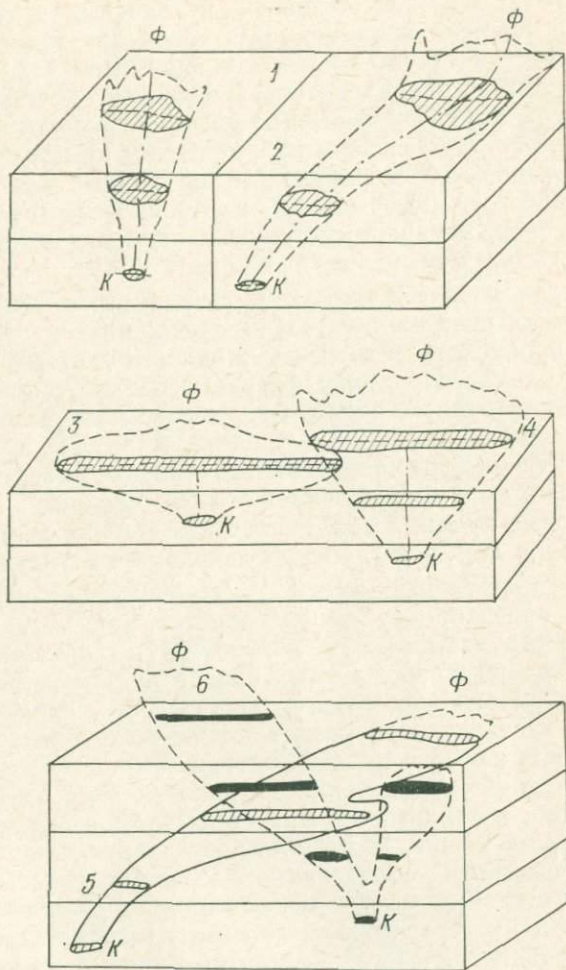


Рис. 2. Некоторые характерные фигуры постмагматических однокорневых рудных полей (по П. Ф. Иванкину).

1 — коническое крутонаклонное рудное поле типа «взрывных воронок»; 2 — коническое умеренно наклонное одностороннее рудное поле; 3 и 4 — плоские двусторонние симметричные рудные поля с разной вертикальной протяженностью (3 — дегтярский тип и 4 — тишинский тип); 5 — плоское одностороннее рудное поле; 6 — плоское двустороннее рудное поле с резко выраженной асимметрией; К — корень, Ф — фронт рудного поля; заштрихованы (залиты) — погоризонтные сечения рудных полей.

ных типов по признаку их уплощенности. Простейшим является конический тип поля (см. рис. 2). Геометрическим образом фигуры такого поля служит конус или умеренно уплощенный конус.

Широко распространены плоские и комбинированной формы поля.

Рудные поля с плоскими фигурами типичны для зон тектонических разломов и других линейных рудоносных структур, которым присуща хорошая проницаемость пород для эндогенных жидкостей в плоскости структуры. Однако при сравнительном изучении многих полей установлено, что указанные жидкости в плоскости структуры могут вести себя по-разному: распространяться по зоне в стороны по двум разным направлениям по простиранию, создавая протяженные двусторонние плоские рудные поля, напоминающие по форме веер (Дегтярское), или преимущественно в одном направлении, формируя асимметричные односторонние лентовидные рудные поля (Иртышское).

Рудные поля конического или пирамидального облика возникают в условиях сред, сравнительно однородных в отношении их способности пропускать эндогенные жидкости в стороны от рудоподводящего канала. Подобные фигуры особенно типичны для полиметаллических рудных полей, сформированных в мощных карбонатных толщах (Забайкалье, Средняя Азия). В вулканогенно-осадочных умеренно дислоцированных толщах, нарушенных дорудными разломами, формируются более сложные, комбинированные по форме рудные поля, однако и в данном случае горизонтальные сечения фигур с глубиной закономерно уменьшаются.

Фигуры рудных полей имеют в основном не вертикальную или крутую ориентировку в пространстве (рис. 3), а умеренно или даже полого наклоненную к горизонту: углы падения длинных осей фигур некоторых рудных полей, например Зыряновского или Березовско-Новоберезовского, близки к 30° . Вследствие этого фронтальная часть рудного поля в плане часто оказывается смещенной относительно его корней в сторону на 1—3 км, а для Белоусовского рудного поля, например, даже на 5—6 км [32]. По мере приближения к корням, ось фигуры рудного поля приобретает, как правило, положение, более близкое к вертикальному. Интенсивный метасоматоз и образование массивных, богатых руд происходят в центральных частях рудного поля, а рассеянной, бедной минерализации — в его прифронтальных частях. Одновременно меняется минеральный состав руд от высокотемпературных (пирротин, арсенопирит) в прикорневых частях к низкотемпературным (барит, галенит, сфалерит) во фронтальных частях рудных полей.

По В. М. Крейтеру [48], плоские рудные тела, залегающие в крутопадающих линейных структурах, в районах развития колчеданно-полиметаллических месторождений составляют примерно 70% от их общего числа. По этой причине в последующих главах мы основное внимание уделили методике поисков и разведки именно плоских крутопадающих рудных полей, для которых очень велика рудоконтролирующая роль структурно-тектонических (реже — литологических) элементов вмещающей среды.

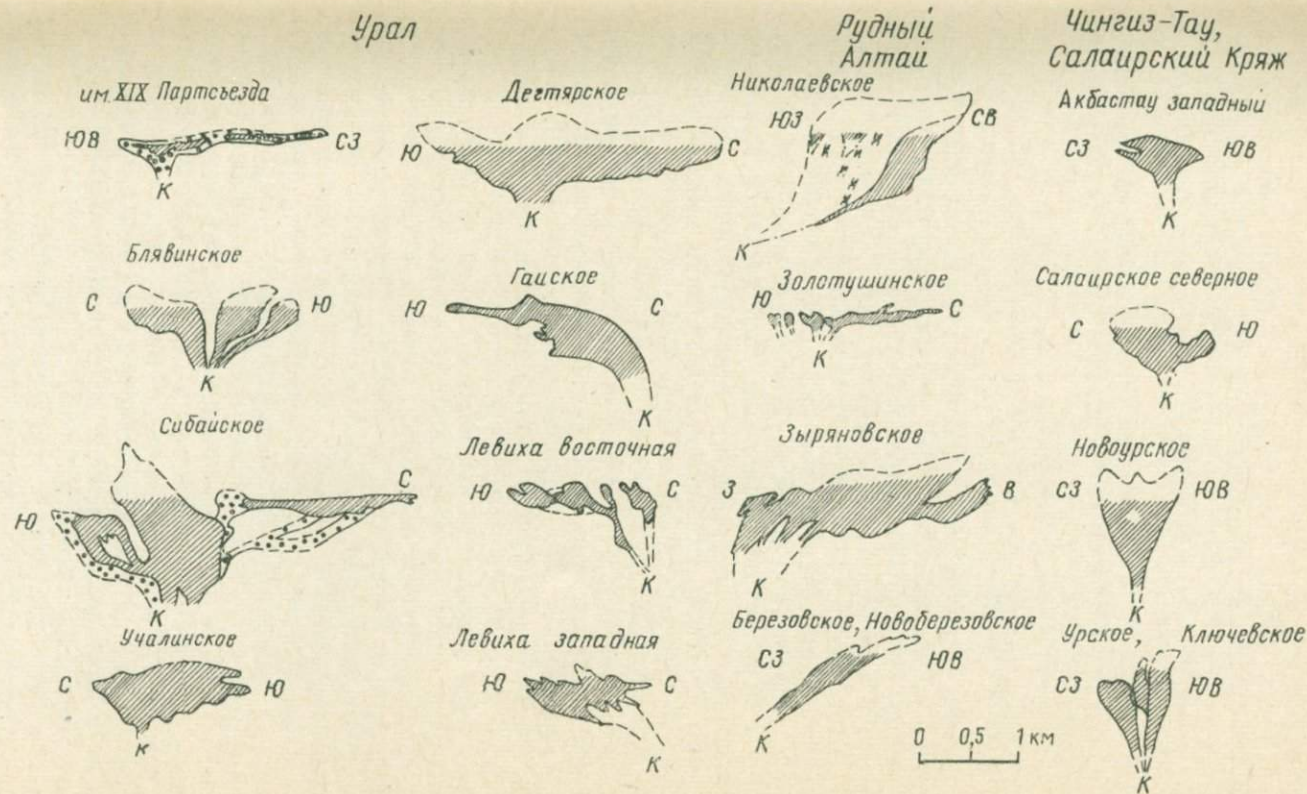


Рис. 3. Фигуры рудных полей колчеданно-полиметаллического типа СССР (в проекции на продольную вертикальную плоскость, по П. Ф. Иванкину).

Заштрихованы неэродированные части рудных тел поля; точками помечены вкрапленные руды; сплошные линии — достоверные, пунктирные — предполагаемые границы фигуры поля; К — корень рудного поля.

Среди рудных полей II рода относительно часто встречаются так называемые многокорневые, в которых несколько рудных тел и скоплений характерной веерообразной формы располагаются рядом друг с другом в одной или серии сближенных рудоконтролирующих структур. Примером могут служить рудные поля Салаирского кряжа (Урское, Салаирское), а также Рудного Алтая (Змеиногорское).

Как сказано выше, рудные поля I рода имеют чехлообразные фигуры, которые определяются особенностями кровли материнских интрузий.

Зональность рудных полей

Для рудных полей рассматриваемого типа зональность лучше всего изучена на Рудном Алтае. П. Ф. Иванкин, В. С. Кузечный и П. В. Иншин [32] считают, что для Алтайских рудных полей и месторождений характерны околотинтрузивная, «сквозная-эволюционная» и локальная (внутренняя) зональности. Для рудных полей в целом характерны первые два вида зональности. В случае прямой генетической связи оруденения с интрузивами (рудные поля I и II рода) рудопроявления располагаются закономерно по отношению к поверхности интрузивов и их состав, а также состав и степень околорудных изменений вмещающих пород зависят от расстояния от материнской интрузии. Применительно к рудным формациям Алтая такая околотинтрузивная зональность характерна для скарново-сульфидных рудопроявлений, приуроченных к экзоконтактам гранитоидных массивов Змеиногорского комплекса, а также пропиито-кварцевых, меднопорфировых и среднетемпературных полиметаллических проявлений, приуроченных к добабазальтовым порфировым интрузиям.

Общая схема зональности по мере удаления от интрузии может быть представлена в следующем виде: ближняя зона — роговики и скарны (гранат, пироксен, эпидот, актинолит), средняя — кварциты и пропилиты и дальняя — низкотемпературные зеленокаменные изменения. Сульфидные минералы в рудных полях I рода присутствуют во всех зонах, однако халькопирит отлагается преимущественно в полях развития вторичных кварцитов, пирит — в пропилитах, галенит и сфалерит — в пропилитах и в зеленокаменной зоне. В роговиках и скарнах сульфиды ассоциируют с магнетитом и больших скоплений здесь не дают. Минералы свинца и цинка накладываются на указанные зоны в поздний этап постмагматической деятельности. Более часто они встречаются в связи с кварцитами и пропилитами в случае порфировых интрузий, и в наиболее удаленной зеленокаменной зоне вокруг интрузивов Змеиногорского комплекса.

Иные условия определяют зональность в рудных полях III рода, где оруденение имеет парагенетическую связь с магматическими породами. Именно такой вид «сквозной-эволюционной» зо-

нальности наблюдается на всех наиболее крупных месторождениях Рудного Алтая. Пространственно связанные с рудами малые интрузии предшествовали отложению руд и к моменту рудообразования уже остывали. Влияние температурного поля интрузива в местах рудоотложения, по-видимому, было невелико. Зональность в рудных полях III рода отражает эволюцию тех растворов, которые проходили большие расстояния в условиях мало меняющейся температуры, постепенно понижающегося давления и значительных изменений состава и строения вмещающих толщ.

По мнению названных исследователей, на месторождениях Алтая удастся проследить ряд парагенезисов минералов, характерных для рудопроявлений, крайними членами которого являются медно-пирротиновые (наиболее высокотемпературные) и барит-полиметаллические (наиболее низкотемпературные).

Верхняя зона этого ряда представлена такими гидротермальными минералами, как хлорит, карбонаты, кварц, барит. Здесь же располагаются залежи типичных богатых полиметаллических руд с соотношением металлов медь:свинец:цинк, равным 1:2:5, и такими элементами-спутниками этих металлов, как сурьма, золото, серебро, кадмий, селен, теллур. Вниз по падению рудного поля примерно на протяжении 1 км (как на Березовском месторождении) верхняя зона переходит в среднюю, для которой характерны такие минералы, как серицит, кварц, хлорит. Кварц-серицит-хлоритовые породы в той или иной мере пропитаны тонко рассеянным пиритом, однако значительные его скопления, вплоть до крупных серноколчеданных тел, характерны для области, переходной от средней зоны к верхней.

В средней зоне размещаются типичные колчеданные медно-цинковые руды (Белюсовское, Иртышское месторождения), для которых указанное выше отношение металлов равно 1:0,5:3. Для руд характерно относительно повышенное содержание мышьяка и пониженное сурьмы, золота, серебра, теллуридов.

В нижней зоне околорудные измененные породы представлены кордиерит-антофиллитовыми породами с биотитом, кварцем, хлоритом, пиритом. Их мощности обычно невелики. Руды представлены халькопирит-пирротиновыми залежами с массивной текстурой, с пиритом, магнетитом, арсенопиритом и небольшими примесями кобальта, титана, свинца, с отношением указанных металлов 1:0:0,1. Золото, серебро, кадмий и другие обычные спутники полиметаллического оруденения для месторождений этой зоны (например, Карчигинского и др.) не характерны.

Указанная схема с теми или иными поправками справедлива и для некоторых иных генетических типов рудных полей. Например, Г. С. Головкин [21] описывает следующую зональность для сульфидно-касситеритовых месторождений Комсомольского оловорудного района (входящих в состав рудных полей II рода). Первый тип парагенезиса (арсенопирит, пирротин): абсолютные отметки высоты залегания руд для зоны наиболее низкие в районе; много

интрузий вокруг месторождений, удаление от интрузий наименьшее; температура образования сульфидов 260—330° С. Второй тип парагенезиса (халькопирит, сфалерит): абсолютные отметки средние; интрузий вокруг мало; температура образования сульфидов 220—260° С. Третий тип парагенезиса (галенит, сфалерит, карбонаты): максимальные отметки для месторождений; интрузий нет; температура образования сульфидов 120—230° С.

Сходная с алтайской зональность описана А. И. Кулагашевым [64] для полиметаллических рудных полей Забайкалья, залегающих в основном в карбонатных породах. По мере удаления от рудоподводящего канала происходит закономерная смена в пространстве преимущественно пирит-пирротин-арсенопиритовых массивных руд на пирит-арсенопиритовые, затем на пирит-сфалеритовые и далее на галенит-сфалерит-сульфоантимонитовые с преимущественно прожилково-вкрапленной текстурой. От глубоких горизонтов к фронту рудного поля постепенно уменьшается роль колчеданов (арсенопирита, пирротина) и возрастает роль галенита и сульфосолей.

На физические свойства горных пород и руд оказывают влияние не столько качественный состав рудной минерализации, сколько количественные и текстурные особенности последней. Общая схема текстурной зональности в рудных полях II и III рода проста: залежи, представленные в основном массивными или прожилковыми рудами, окружены ореолами рассеянной вкрапленной минерализации. Для плоских фигур рудных полей наименьшие мощности ореола вкрапленной минерализации характерны для направлений, перпендикулярных к плоскости рудовмещающей структуры. В самой же плоскости структуры наибольшее распространение ореолов наблюдается по направлению движения потока гидротермальных растворов, а размеры ореолов по перпендикуляру к этому направлению (в плоскости структуры) имеют величину, среднюю между двумя первыми. Массивные, сливные текстуры преимущественно характерны для нижней зоны, где размещены медно-пирротиновые тела. В средней зоне рудные тела могут иметь как массивные, так и прожилково-вкрапленные текстуры. Массивные текстуры наблюдаются и в колчеданных телах в области перехода в верхнюю зону. Однако даже тела с промышленным содержанием полезных компонентов в верхней зоне чаще всего имеют вкрапленную или прожилково-вкрапленную текстуру, реже гнездовую или массивную.

Пространственное положение, мощности и размеры массивного оруденения в фигуре рудного поля Степного месторождения Рудного Алтая видны на рис. 4. Массивные руды наибольшей мощности приурочены к центральным частям фигуры, к области, где размеры оруденения в поперечном сечении максимальны. Фланговые, фронтальные и прикорневые участки в фигуре рудного поля бедны массивными рудами, и мощности последних по направлениям к этим участкам сокращаются. Со всех сторон массивные

руды окружены вкрапленными и прожилково-вкрапленными рудами, а также рассеянной минерализацией и участками гидротермально измененных пород.

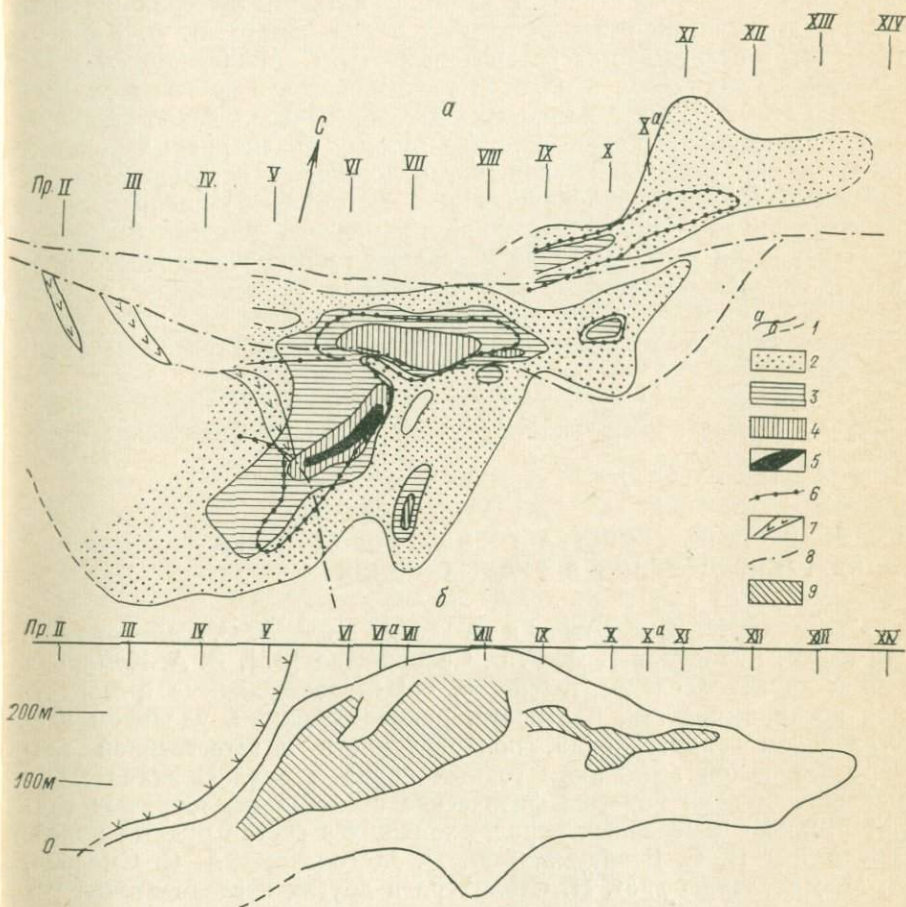


Рис. 4. Проекция на горизонтальную (а) и продольную вертикальную (б) плоскости рудных тел Степного рудного поля (по А. А. Потапову).

1 — достоверные (а) и предполагаемые (б) контуры рудных тел; мощность тел, м: 2 — до 10, 3 — до 20, 4 — до 30, 5 — до 40; 6 — проекция контура массивных руд в плане; 7 — дайки диабазов; 8 — разломы; 9 — проекция на вертикальную плоскость массивных руд.

Размеры зон околорудных измененных сульфидизированных пород отражают мощность, масштабность гидротермальной деятельности родоначального магматического очага и для рудных полей II и III рода колчеданно-пожиметаллического типа достигают тысячи метров вкрест простирания и нескольких тысяч метров по простиранию.

Очевидно, минеральная и, следовательно, химическая зональность в рудных полях оказывает решающее значение на возможности и эффективность применения геохимических методов при поисках и разведке рудных полей. Изучение геохимических особенностей некоторых типов контактово-метасоматических железорудных и сурьмяно-ртутных рудных полей начато М. А. Карасиком [38], а сульфидно-касситеритовых — С. С. Мещеряковым [36]. Однако, по-видимому, в области геохимического изучения рудных полей разных родов сделано еще далеко не все. Такие вопросы, как геохимическая характеристика рудных полей разных родов и генетических типов и их зон, число, состав и взаимоотношения элементов-индикаторов оруденения и их объемное распределение в фигуре рудных полей, методика применения геохимических исследований на разных этапах и стадиях геологоразведочного процесса, способы обработки, изображения и истолкования результатов геохимических исследований рудных полей, еще ждут своего решения и должны явиться предметами самостоятельных исследований.

Меньшее, но все же существенное влияние оказывают минеральный состав и зональность рудных полей на физические свойства горных пород.

§ 3. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД И РУД И ИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ В РУДНЫХ ПОЛЯХ

В трудах Н. Б. Дортман и ее коллег [108], А. С. Семенова [88, 91, 93], В. А. Мейера [53], Г. Б. Свешникова [87], В. А. Комарова [40] и других исследователей [56, 66] сведены данные о магнитной восприимчивости, плотности, радиоактивности, удельном электрическом сопротивлении, поляризуемости и естественной электрохимической активности горных пород и руд. В значительно меньшей степени изучены физические свойства окolorудных гидротермально измененных пород, входящих в состав рудных полей. Трудami П. С. Ревякина, Л. П. Жоголева, А. С. Смелова, А. М. Ярославцева, М. Н. Столпнера и других исследователей установлено, что процессы гидротермальной проработки горных пород, такие как зеленокаменные изменения, серицитизация, хлоритизация, каолинизация, приводят к уменьшению магнитной восприимчивости, отчасти плотности и удельного электрического сопротивления пород. Процессы окварцевания, баритизации, карбонатизации влекут за собой увеличение удельного электрического сопротивления пород. Окварцевание снижает естественную радиоактивность пород, а привнос калия, урана и тория увеличивают ее. Сульфидная и магнетитовая минерализация, в том числе вкрапленная, значительно увеличивает плотность и поляризуемость пород, особенно руд. К увеличению магнитной восприимчивости приводят магнетитовая или пирротиновая минерализация

пород. Сульфидизация в зависимости от ее текстурных особенностей и количества в той или иной мере уменьшает удельное электрическое сопротивление пород, что особенно сильно сказывается на сопротивлении массивных и прожилковых руд.

Некоторые исследователи [115] обратили внимание на возможность применения магниторазведки для выделения зон гидротермально измененных пород, входящих в состав рудных полей. Эти породы в благоприятных условиях отмечаются обширными областями пониженных значений напряженности магнитного поля на фоне переменных и более высоких величин, характерных для окружающих неизмененных вмещающих пород. Каждые 10% содержания вкрапленности рудных минералов повышают плотность породы на $0,2-0,3 \text{ г/см}^3$, что достаточно для появления значительных аномалий ускорения силы тяжести, в случае больших объемов горных пород с такой вкрапленностью. Это обуславливает большую перспективность применения высокоточной гравиразведки в исследованиях рудных полей. В настоящее время гравиразведка применяется в основном для изучения структур и геологического картирования в рудных районах и отчасти в шахтном варианте при детальной разведке месторождений цветных металлов.

Повышение поляризуемости* и естественной электрохимической активности и снижение удельного электрического сопротивления руд и измененных пород по сравнению с вмещающими породами обусловило широкое применение при изучении рудных полей методов вызванной поляризации, естественного электрического поля, заряда на постоянном или переменном токе и других электроразведочных методов.

Остановимся несколько подробнее на распределении физических свойств в пределах рудных полей.

Как показано выше, морфология, состав руд и измененных пород, текстура руд и другие качества рудного поля обусловлены термодинамическими свойствами сформировавшего его гидротермального потока и изменяются от глубоких частей рудного поля к верхним. Есть основания предполагать, что физические свойства пород и руд также должны закономерно изменяться от глубоких горизонтов рудного поля к его фронтальным частям и в плоскости каждого его сечения от центральной части потока к периферии. Отличие физических свойств в некоторой точке внутри месторождения от свойств вмещающей среды связано с интенсивностью одного или нескольких гидротермальных процессов, протекавших в этой точке.

Распределение физических свойств в объеме рудных полей и месторождений слабо освещено в литературе. Работы в этом на-

* Всюду ниже значения кажущейся поляризуемости даны для времени измерения через 0,5 сек после выключения поляризующего тока и времени зарядки 1—3 мин.

правлении начаты на Урале, где группой исследователей по результатам каротажа КС и измерений плотности образцов изучалось распределение удельного электрического сопротивления и плотности пород вокруг колчеданных рудных тел нескольких месторождений [73, 76, 105].

Нами [36] проведено изучение распределения отдельных физических свойств нескольких сульфидно-касситеритовых (в Комсомольском рудном районе) и полиметаллических (на Рудном Алтае) рудных полей. Задачей исследований являлось установление характера изменений физических свойств в объеме минерализованных зон этих рудных полей и выявление связи между пространственным распределением тех или иных физических свойств и морфологией рудных тел или зон минерализации.

Объемное распределение физических свойств изучалось путем обобщения каротажных диаграмм. Поскольку бурение осуществлялось главным образом в пределах промышленных рудных тел, сведения об объемном распределении физических свойств относятся преимущественно к месторождениям, заключенным в изучавшихся рудных полях. По данным токового каротажа (ТК) или каротажа методом скользящих контактов (МСК) определялась так называемая *относительная электрическая проводимость* пород, под которой понимается отношение силы тока в данной точке скважины к средней фоновой силе тока по скважине, наблюдающейся в неизменных вмещающих породах, равное в первом приближении отношению некоторой эффективной проводимости пород в данной точке к средней фоновой проводимости неизменных вмещающих пород.

По диаграммам гамма-каротажа (ГК) изучалось отношение интенсивности радиоактивности в некоторой точке скважины к среднему фоновому ее значению в неизменных породах по скважине, которое, по-видимому, связано с интенсивностью процесса выноса из данной породы калия, тория и урана и привнесом в нее кварца.

Методика обработки материалов каротажа и построения разрезов с данными относительной электрической проводимости и относительной естественной радиоактивности изложены в статье [36].

В Комсомольском рудном районе наиболее полные сведения об объемном распределении указанных параметров получены на одном из крупнейших в районе Перевальном рудном поле. Последнее представляет собой минерализованную линейно-вытянутую зону трещиноватости и дробления, находящуюся в пределах рудоносной полосы субмеридионального простиранья. Рудоносная зона залегает среди слабодислоцированных песчаников юрского возраста и полого их перекрывающих эффузивов мелового возраста. Зона минерализации Северная, на которой проводились работы (рис. 5), сложена кварцем, турмалином, серицитом, эпидотом, а также содержит касситерит, сульфиды и вольфрамит.

В рудах установлена тесная пространственная связь между скоплениями касситерита и сульфидов [21].

В плоскости падения Северной зоны оконтурены два рудных тела: южное, выходящее на эрозионный срез, и северное, слепое.

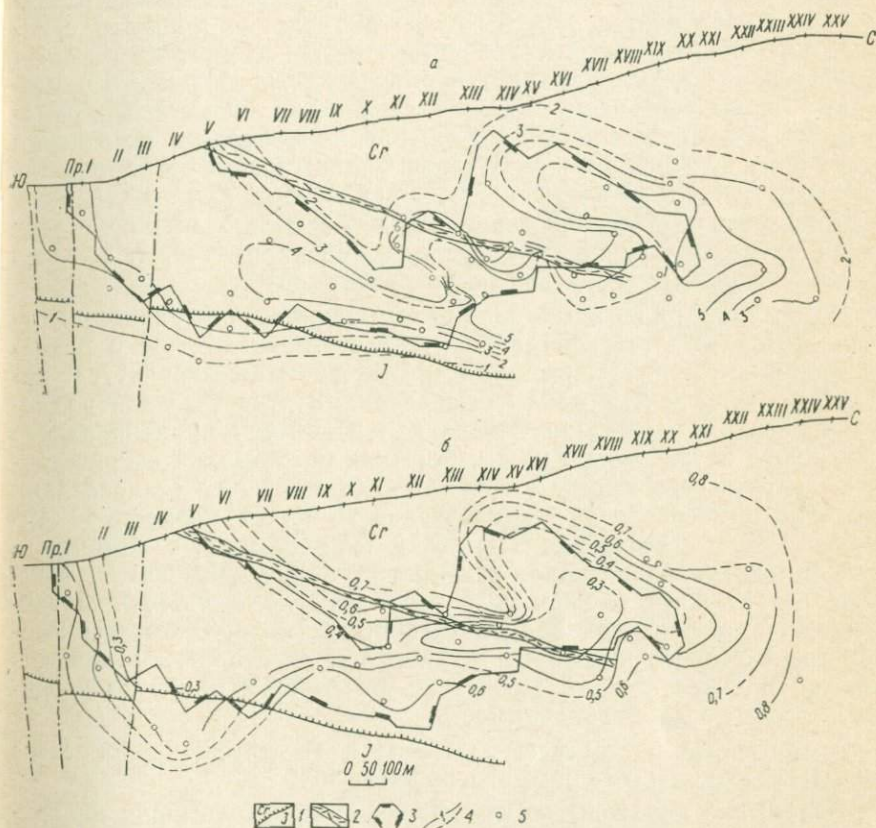


Рис. 5. Схематические продольные разрезы Северной зоны Перевального рудного поля с изолиниями относительной электрической проводимости (а) и относительной естественной радиоактивности (б) (геологическая основа по Ю. И. Бакулину).

1 — граница меловых и юрских пород; 2 — туфы кварцевых порфиров; 3 — контур промышленного оловянного оруденения; 4 — изолинии относительных параметров — прослеженные и предполагаемые (пунктир); 5 — точки пересечения зоны оруденения скважинами.

Каждое рудное тело в продольном разрезе имеет линзовидную форму и северное склонение. Тела сливаются на глубине, в районе Пр. XII—XIV.

На продольном разрезе Северной зоны с изолиниями относительной электрической проводимости (см. рис. 5, а) выделяются два участка зоны, отмечающиеся повышенной величиной этого

параметра: первый, расположенный между Пр. I—X, где установлена относительная проводимость в 2—4 раза выше фоновой, и второй — между Пр. XI—XXV с относительной проводимостью в 5—6 раз более высокой, чем у вмещающих пород. Первая аномалия соответствует южному рудному телу, вторая — северному, а также участку их сочленения и, видимо, прикорневой части рудного поля, вне рудных тел. Контуры аномальных областей с повышенной относительной проводимостью во фронтальной части рудного поля близки к контуру промышленного оловянного оруденения. Видно северное склонение каждой из аномальных областей, их сближение на глубину и слияние в области сочленения рудных тел, у Пр. XII—XV. На рис. 5, а изолинии относительной проводимости не замкнуты снизу в районе Пр. XIV—XXII. Этот участок зоны не разведан скважинами. Возможно, именно в этот район продолжается на глубину зона минерализации, т. е. здесь должна находиться корневая часть рудного поля.

На рис. 5, б приведен тот же разрез зоны, но с изолиниями относительной естественной радиоактивности. Так же как в рассмотренном выше примере, выделяются два аномальных участка, характеризующиеся пониженными значениями относительной радиоактивности. Их очертания близки как к контуру промышленного оловянного оруденения, так и к очертаниям аномалий относительной электрической проводимости. Однако в отличие от последних изолинии относительной радиоактивности почти полностью замкнуты снизу в районе Пр. XII—XXII. По-видимому, в этом месте степень окварцевания пород зоны на глубину уменьшается. Контуры разведанных оловорудных тел примерно совпадают с изолиниями относительной радиоактивности 0,4—0,6. Элементы морфологии северного и южного рудных тел по изолиниям относительной радиоактивности видны так же хорошо, как и по изолиниям относительной проводимости.

Аналогичные результаты получены и по другим рудоносным зонам Комсомольского рудного района [36].

Обобщение каротажных диаграмм метода скользящих контактов выполнено также на рудных полях Алтая. На разрезе рудного поля месторождения Габриэль, залегающего в линейной крутопадающей структуре (рис. 6), на усредненных графиках МСК выделяются повышенными значениями силы тока три участка, отчетливо прослеживающиеся от скважины к скважине, причем вниз по разрезу относительная проводимость растет. Один из них соответствует основному рудному телу месторождения, которое характеризуется наиболее высокими значениями относительной проводимости в разрезе и наиболее широкими интервалами повышенных значений ее по стволам скважин. На рис. 7 приведен продольный разрез рудного поля в плоскости падения основного рудного тела, спроектированный на вертикальную плоскость. На разрезе указана величина относительной проводимости в точках

пересечения основного рудного тела скважинами и проведены изолинии этого параметра. Изолинии оконтуривают разведанную часть рудного тела с флангов и сверху, но остаются открытыми внизу, в области, где рудоносная структура обрывается Сигнальным надвигом. В районе скв. 361 наблюдаются самые высокие значения относительной проводимости, и, возможно, здесь находится центр рудного тела. Картина изолиний относительной проводимости свидетельствует о крутом склонении рудного тела на юго-восток в плоскости падения структуры.

На рудном поле Камышинского месторождения, расположенном в пологозалегающей структуре, обобщены диаграммы МСК по 17 скважинам. Данные по 8 из них вдоль Пр. XIII приведены на рис. 8. Область повышенных значений относительной проводимости, погружаясь на юго-восток, охватывает все известные рудные тела месторождения. Очевидно, рудоносные растворы поднимались из глубин по разлому, находящемуся восточнее скв. 80, и распространялись от него вверх и к западу, вплоть до разлома вблизи скв. 70. К последнему зона измененных пород, оконтуренная изолинией 2, разветвляется и выклинивается, степень изменения пород, отражающаяся в величине относительной проводимости,

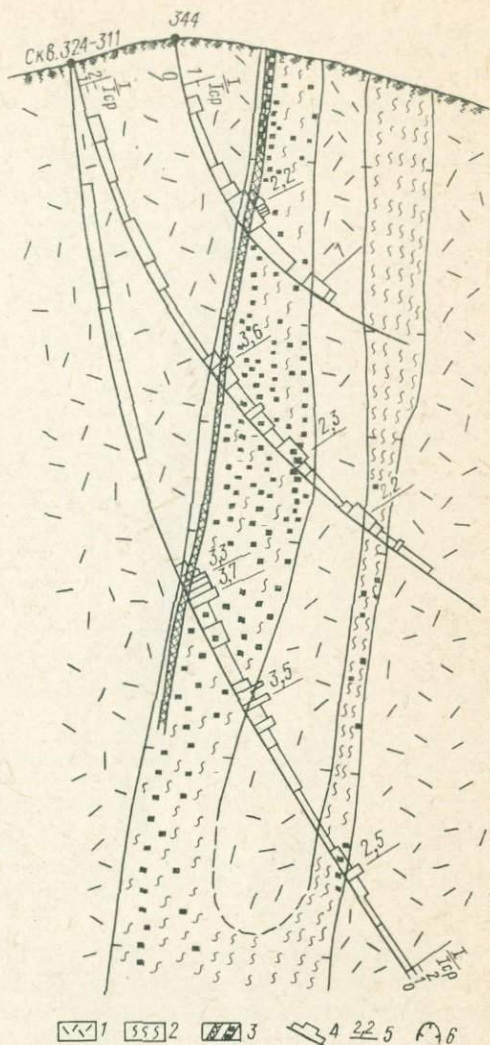


Рис. 6. Схематический разрез по Пр. 0 рудного поля месторождения Габриэль с усредненными графиками отношения силы тока по данным каротажа МСК к средней силе тока по безрудным участкам скважины (по материалам Лениногорской и Алтайской геофизических экспедиций ВКТГУ). 1 — эффузивно-осадочная толща; 2 — зона измененных пород рудного поля; 3 — рудное тело зоны вкрапленной сульфидной минерализации; 4 — усредненные графики силы тока; 5 — значения относительной электрической проводимости; 6 — границы фигуры рудного поля.

уменьшается. В плане основные рудные тела месторождения оконтуриваются изолинией относительной проводимости 1,5.

Изучение объемного распределения физических свойств в рудных полях начато недавно, и имеющихся данных, разумеется, недостаточно для окончательных выводов. Из приведенных и известных литературных материалов физические свойства в рудных

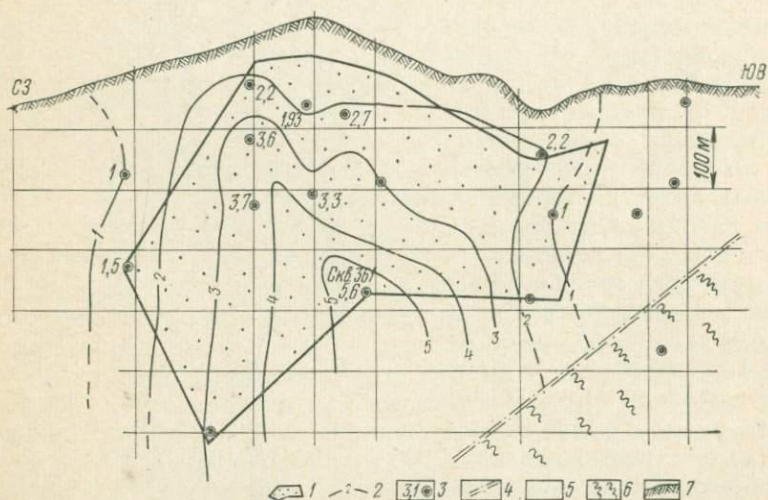


Рис. 7. Схематический продольный разрез рудного поля месторождения Габриэль с изолиниями относительной электрической проводимости (по материалам Лениногорской и Алтайской геофизических экспедиций ВКТГУ).

1 — разведанный контур рудного тела; 2 — изолинии относительной проводимости; 3 — точки пересечения рудного тела скважиной и значения относительной проводимости для нее; 4 — линия сечения зоны оруденения Сигнальным надвигом; 5 — измененные породы рудного поля; 6 — алевролиты; 7 — поверхность земли.

полях и заключенных в них рудных телах распределены крайне неравномерно, что обычно не принимается во внимание геофизиками при теоретических расчетах или интерпретации полевых материалов. Степень изменения пород в рудном поле, отражающаяся в отличии физических свойств измененных и вмещающих пород, максимальна в центральных частях рудных полей, как правило, в пределах промышленных рудных тел, и быстро затухает к фронтальным и боковым частям рудного поля.

Объемное распределение физических свойств в рудных полях II и III рода отражает их основные морфологические особенности, в частности позволяет выявить основные разветвления фигуры рудного поля, его корневую часть, пути движения основных гидротермальных потоков.

Все приведенные здесь и известные в литературе материалы относятся к месторождениям в рудных полях II и III рода.

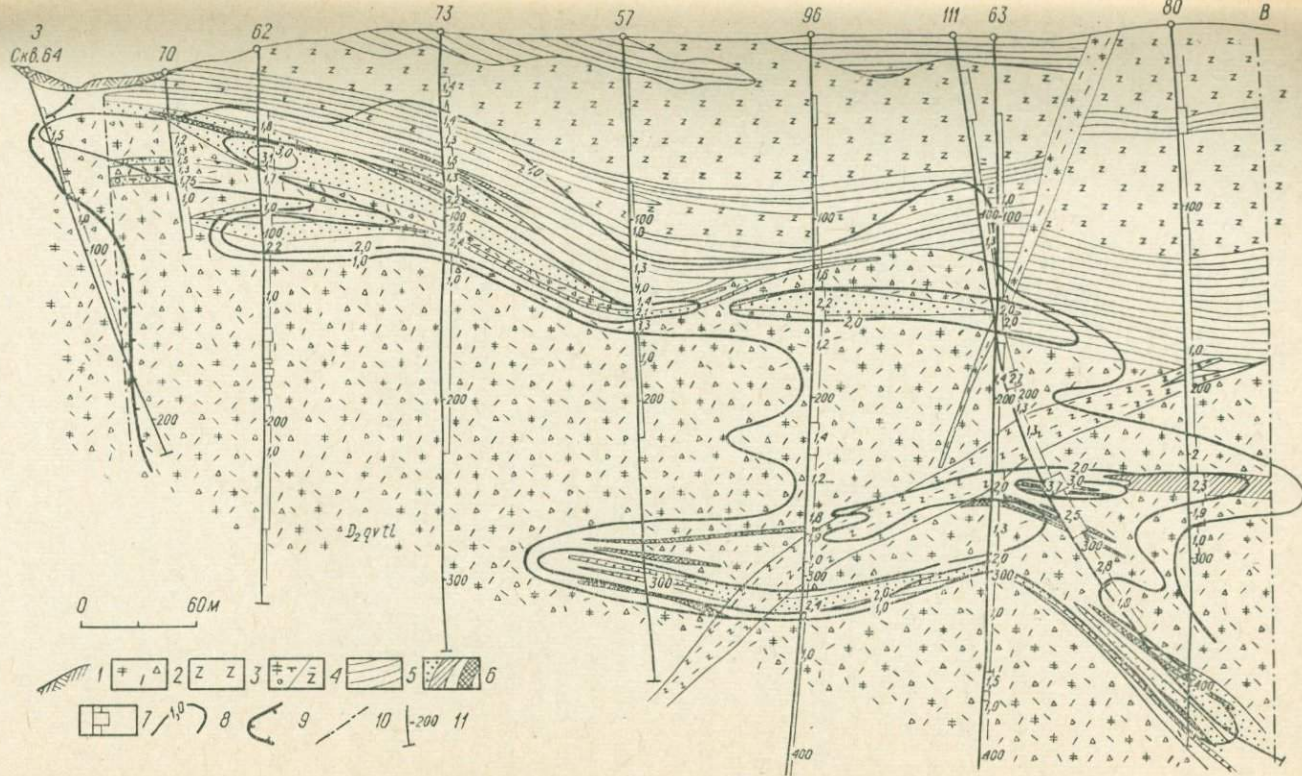


Рис. 8. Схематический геологический разрез по Пр. XIII рудного поля Камышинского месторождения с изолиниями относительной электрической проводимости (по М. В. Хандогину и М. В. Семенову).

1 — рыхлые отложения; 2 — туфы и лавы альбитофиров; 3 — диабазовые порфириты; 4 — дайки кислого и основного состава; 5 — алевриты; 6 — вкрапленные и прожилковые медноколчеданные руды; 7 — усредненные графики тока каротажа МСК; 8 — изолинии относительной электрической проводимости; 9 — западная граница рудного поля; 10 — разломы; 11 — скважины с отметками глубин.

В связи с малым объемом бурения и других исследований в рудных полях I рода, не содержащих промышленных рудных тел, практически нет сведений об объемном распределении физических свойств в рудных полях I рода. Этот недостаток должен быть устранен в ходе дальнейших исследований.

ВЫВОДЫ

Рудные поля представляют собой самостоятельные целые природные единицы; рудные тела и их совокупности являются закономерно связанными между собой отдельными частями рудных полей.

Важнейшие качества рудного поля — морфология рудных скоплений, состав, зональность, промышленная ценность — определяются его типом генезиса (или родом).

Наиболее распространенными формами совокупностей рудных скоплений в рудных полях II и III рода являются такие, как веерообразные или лентовидные.

Физические свойства пород и руд зависят от многих качеств рудных полей, их объемное распределение в пределах отдельных рудных тел и в целом рудного поля неравномерно и связано с морфологией рудных скоплений. Степень отличия физических свойств руд и вмещающих пород постепенно затухает от центральных частей рудных тел к вмещающим породам.

Наиболее различаются между собой качества рудных полей I и III рода. Можно предполагать, что они также резко отличаются и по своим физическим полям. Между ними существуют переходные формы: рудные поля II рода, как самостоятельные, так и наложенные на поля I рода.

Наиболее крупные промышленные колчеданно-полиметаллические месторождения входят в состав рудных полей III рода. Следовательно, проблема отыскания крупных глубокозалегающих месторождений заключается в обнаружении рудных полей III рода и их изучении.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ОБРАЗЫ РУДНЫХ ПОЛЕЙ

В главе I рассмотрены некоторые особенности рудных полей, имеющие значение при их исследованиях геофизическими методами. Покажем теперь отражение рудных полей как единого целого в совокупности наблюдаемых на них геофизическими методами физических полей, т. е. определим геофизические образы рудных полей разных родов. Одновременно рассмотрим, какие геофизические методы наиболее пригодны для поисков рудных полей и для выявления среди них наиболее перспективных в промышленном отношении рудных полей III рода.

Геофизические образы рудных полей изучались на примерах объектов Алтая, Урала, Салаирского кряжа и других районов СССР. В процессе исследований возникли трудности при определении границ фигур рудных полей. Дело в том, что геологоразведочные данные имеются, как правило, только о границах промышленных рудных тел. Зоны же измененных пород, ореолы минерализации и т. п. часто до конца не разведываются и недостаточно полно указываются на разведочных документах. В фигуру рудного поля, по определению, мы включали зоны измененных пород, руды и первичные ореолы, прослеженные геологически или с помощью геофизических методов. Тем не менее в проведении границ фигур осталась все же значительная доля неясности, поэтому ниже всюду границы фигур рудных полей указаны как предполагаемые.

§ 1. РУДНЫЕ ПОЛЯ АЛТАЯ

Камышинское

Камышинское рудное поле находится на правом берегу р. Убы, около г. Шемонаихи, и входит в состав одноименного рудного узла. Исследования на площади Камышинского рудного узла проведены геологами и геофизиками Восточно-Казахстанского геологического управления И. Д. Велигурой, В. А. Шевцовым, В. Д. Гузеевым, Я. Л. Гитлиным, В. Е. Голубцовым и другими.

Камышинский рудный узел (рис. 9) площадью около 40 км² сложен метаморфическими сланцами нижнего палеозоя, которые

несогласно перекрыты девонскими эффузивно-осадочными отложениями: известковистыми алевролитами, песчаниками, сланцами, туфами и лавами альбитофиров, диабазовыми порфиритами. С севера, запада и юго-запада территория узла ограничена Шемонаихинским и Кениговским гранитными массивами, с востока—

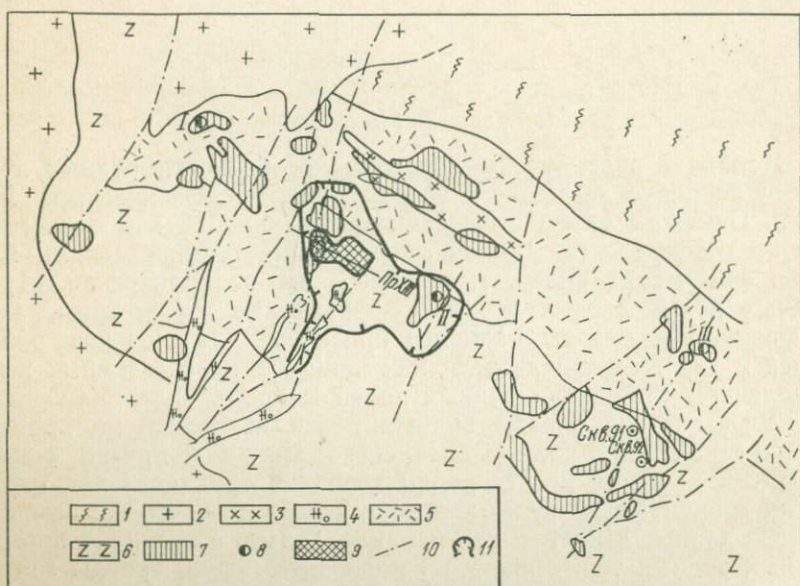


Рис. 9. Схематическая геологическая карта Камышинского рудного узла (по материалам И. Д. Велигуры, А. И. Утробина и других).

1—нижнепалеозойские метаморфические сланцы; 2—граниты, гранит-порфиры крупных массивов позднекарбового возраста; 3—кварцевые порфиры, интрузивные; 4—гранит-порфиры, плагиигранит-порфиры (малые интрузии позднекарбового возраста); 5—туфы и лавы альбитофиров, песчаники, аргиллиты таловской свиты; 6—алевролиты и диабазовые порфиры каменевской свиты; 7—ореолы меди, свинца и цинка в коренных породах с суммарным содержанием в 3—5 раз и более выше средних для данной породы; 8—рудопроявления: горы Трубкина (I), Старокамышинское (II), Сильково (III); 9—Камышинское месторождение; 10—разломы; 11—проекция на поверхность земли границ предполагаемой фигуры рудного поля.

долиной р. Убы. Палеозойские отложения имеют северо-западное простирание и юго-западное падение с углами 20—60°. Серией тектонических нарушений они разбиты на несколько блоков, сдвинутых друг относительно друга.

Рыхлые отложения перекрывают западную и в некоторой мере центральную части территории рудного узла (рис. 10), мощность их колеблется от 0—10 до 110 м.

На территории рудного узла известны: Камышинское рудное поле с одноименным месторождением и входящим в состав последнего Старокамышинским рудопроявлением (см. рис. 9), рудопроявления горы Трубкина и Сильково и ряд рудных точек.

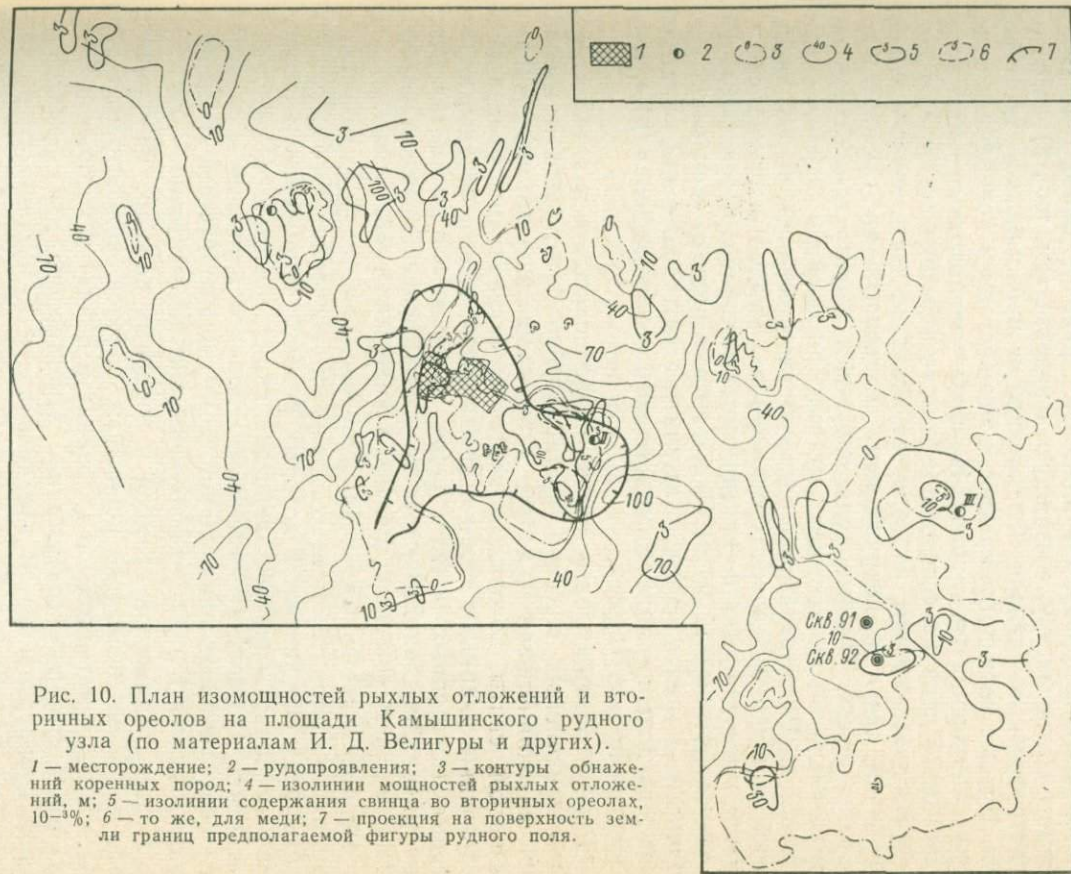


Рис. 10. План изомощностей рыхлых отложений и вторичных ореолов на площади Камышинского рудного узла (по материалам И. Д. Велигуры и других).

1 — месторождение; 2 — рудопроявления; 3 — контуры обнажений коренных пород; 4 — изолинии мощностей рыхлых отложений, м; 5 — изолинии содержания свинца во вторичных ореолах, 10⁻³%; 6 — то же, для меди; 7 — проекция на поверхность земли границ предполагаемой фигуры рудного поля.

Рудное поле Камышинского месторождения находится в тектоническом блоке, ограниченном серией нарушений, и приурочено к области контакта лав и туфов альбитофиров таловской свиты среднего девона и перекрывающих их алевролитов и диабазовых порфиритов каменевской свиты верхнего девона. Рудные тела месторождения образуют в плане (см. рис. 9) более или менее изометричную фигуру, состоящую в разрезе (см. рис. 8) из серии пластообразных линз с вкрапленной и прожилковой текстурой руд. Рудные тела погружаются к юго-востоку и подходят к одному из нарушений на глубине. Наиболее приподнятые части фигуры рудного поля на северо-западе и юго-востоке достаточно полно разведаны, южная, наиболее глубокая ее часть изучена слабо, но явной связи с интрузивными массивами на глубине пока не обнаружено. Рудные тела окружены зоной гидротермально измененных пород, несущих местами рассеянную вкрапленность сульфидов. Руды занимают ядерную часть небольшой антиклинальной складки в девонских отложениях. Рудное поле удалено от ближайшего гранитного массива на расстояние более 1 км. По своим масштабам (2100×1000 м), форме рудных скоплений, удаленности от гранитоидных интрузий и отсутствию с ними видимой связи оруденения поле Камышинского месторождения относится к рудным полям III рода.

Рудопроявление горы Трубкина расположено в экзоконтакте Шемонаихинского массива гранитов. Оно приурочено к небольшой антиклинальной складке, сложенной кислыми эффузивами таловской свиты, которые у контакта с гранитами превращены в роговики, скарны и вторичные кварциты, т. е. в породы, характерные для рудных полей I рода. Вкрапленная полиметаллическая минерализация локализуется в измененных породах, на эрозионном срезе она представлена в виде железной шляпы.

Рудопроявление Сильково приурочено к зонам дробления в кремнисто-глинистых и известковистых алевролитах березовской свиты среднего девона, в которых развито окремнение и скарнирование пород, сопровождающееся вкрапленностью сульфидов и магнетита. По составу измененных пород и близости к интрузии эти оба рудопроявления, по-видимому, можно отнести к мелким рудным полям I рода, хотя изучены они недостаточно.

Литогеохимической съемкой в коренных породах на площади узла выявлено несколько первичных ореолов, концентрация суммы основных металлов (меди, свинца и цинка) в которых в 3—10 раз выше фонового содержания, характерного для вмещающих пород данного района. В западной части Камышинского рудного поля (см. рис. 9) в районе разлома, где рудные тела подходят близко к поверхности земли, находится комплексный ореол меди, свинца, цинка, бария и серебра, концентрация которых превышает фоновую в 5—10 раз. Второй крупный ореол на рудном поле находится в районе Старокамышинского рудопроявления. Концен-

трация меди, свинца, цинка и бария превышает здесь фоновое содержание в 10 раз.

Рудопроявление горы Трубкина отмечено меньшим по площади, но также большой интенсивности ореолом меди, свинца и цинка. На рудопроявлении Сильково имеется три небольших сближенных между собой ореола с высокими концентрациями меди, свинца и цинка. Размеры каждого из них не превышают 500×150 м. Кроме перечисленных, ореолы одного, реже двух-трех металлов, иногда значительные по площади, отмечаются около рудных точек, над интрузией кварцевых порфиров нижнего карбона и над зоной роговиков и скарнов в экзоконтакте Шемонаихинского массива гранитов, к северу от рудного поля.

Вторичные ореолы свинца и меди отмечены (см. рис. 10) на Камышинском рудном поле, на всех рудопроявлениях, а также в районе горы Сильково (у скв. 91, 92) и в экзоконтактной зоне Шемонаихинского массива севернее рудного поля.

Таким образом, по размерам и интенсивности первичные и вторичные ореолы на Камышинском рудном поле ничем не отличаются от ореолов в других частях рудного узла, в частности на мелких рудопроявлениях (возможно, рудных полях I рода) в контакте Шемонаихинского массива. Единственным их отличием является комплексный состав: ореолы на рудном поле содержат четыре-пять элементов, в то время как на остальной части узла один-два, реже три элемента.

Изучение физических свойств пород Камышинского рудного поля проведено П. Ф. Агапкиным (ВКТГУ).

Неизменные породы рудного узла имеют плотность в пределах $2,5\text{--}2,7$ г/см³ (диабазы и диабазовые порфириды— $2,8$ г/см³), удельное электрическое сопротивление в пределах $600\text{--}1500$ ом·м, магнитную восприимчивость для эффузивно-осадочных пород $(50\div 100) \cdot 10^{-6}$ СГС, для диабазовых порфиритов около $1000 \cdot 10^{-6}$ СГС, поляризуемость $1\text{--}2\%$. Гидротермально измененные породы рудного поля, включая породы, образовавшиеся по диабазовым порфиритам каменевской свиты, обладают практически нулевой магнитной восприимчивостью, избыточной по отношению к вмещающим породам плотностью $0,1\text{--}0,3$ г/см³, поляризуемостью, достигающей 40% , и удельным электрическим сопротивлением в пределах $100\text{--}200$ ом·м.

Руды имеют избыточную плотность $1\text{--}1,6$ г/см³, низкое удельное сопротивление и высокую поляризуемость.

Магнитометрической съемкой (рис. 11), проведенной на территории узла, установлено, что над гидротермально измененными диабазовыми порфиритами в пределах рудного поля наблюдаются слабые отрицательные магнитные поля, в то время как вне его над теми же, но неизменными породами магнитное поле положительное. Высокие положительные значения магнитного поля наблюдаются также на севере и западе территории узла, над массивами гранитов.

При гравиметрических исследованиях на площади рудного поля установлено несколько локальных остаточных положительных аномалий ускорения силы тяжести (см. рис. 11). Две из них находятся непосредственно над Камышинским месторождением и Старокамышинским рудопроявлением. На других рудопроявлени-

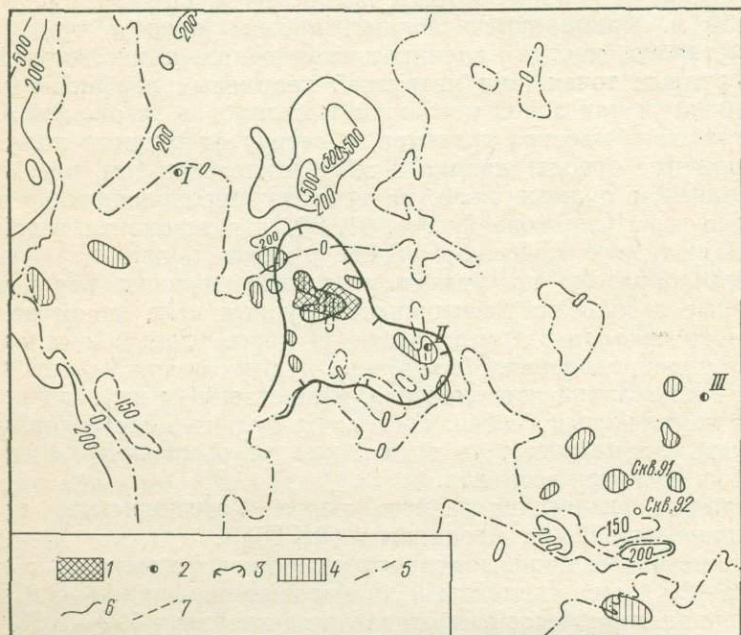


Рис. 11. Результаты грави- и магнитометрических исследований на территории Камышинского рудного узла (по материалам В. Д. Гузеева и других).

1 — Камышинское месторождение; 2 — рудопроявления; 3 — проекция на поверхность земли границ предполагаемой фигуры рудного поля; 4 — локальные остаточные положительные аномалии ускорения силы тяжести; 5 — нулевая, 6 — положительные и 7 — отрицательные изодинамы вертикальной составляющей магнитного поля в гаммах.

ях таких локальных гравиметрических аномалий не обнаружено. Еще несколько локальных остаточных аномалий неясной природы разбросаны по территории узла.

На большей части площади узла (рис. 12) наблюдаются нормальные поля кажущейся поляризуемости, не превышающие 1—1,5%. На Камышинском рудном поле установлена самая большая по площади (до 1300×300 м) и самая интенсивная (η_k до 8%) аномалия ВП. Она занимает всю центральную часть площади рудного поля и вытянута в северо-западном направлении вдоль контакта пород таловской и каменевской свит. Вторая по размерам неясной природы аномалия ВП находится у скв. 92. Анома-

для кажущейся поляризуемости интенсивностью до 4% и размером 500×150 м наблюдается на рудопроявлении горы Трубкина. Рудопроявление Сильково дает только небольшое повышение фона кажущейся поляризуемости пород до 2—2,5%. Низкие значения η_K и малые размеры аномалий, находящихся на свободной

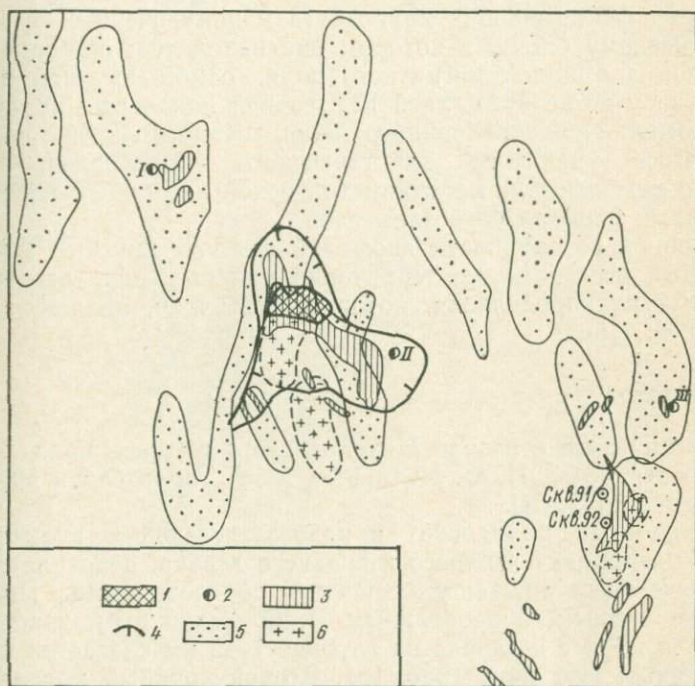


Рис. 12. Результаты электроразведочных работ на территории Камышинского рудного узла (по материалам В. Д. Гущева и других).

1 — Камышинское месторождение; 2 — рудопроявления; 3 — аномалии кажущейся поляризуемости ($\eta_K > 2,5\%$); 4 — проекция на поверхность земли предполагаемой фигуры рудного поля; 5, 6 — области с повышенными и пониженными по отношению к фону (600—800 ом·м) величинами удельного электрического сопротивления пород.

от наносов площади, свидетельствуют, по-видимому, о мелком масштабе этих рудопроявлений.

В пределах Камышинского рудного поля находится также одна из двух крупных областей с пониженными значениями кажущегося удельного электрического сопротивления пород (до 100—600 ом·м при фоне 600—1500 ом·м). Вторая такая же аномалия примыкает к площади рудного поля с юга (см. рис. 12). Небольшие участки с пониженным кажущимся удельным сопротивлением пород наблюдаются у скв. 92. Области повышенных относительно фона значений кажущегося удельного сопротивления

ния пород встречаются по всей территории рудного узла, в том числе и на рудопрооявлениях горы Трубкина и Сильково.

Значительных аномалий естественного электрического поля на площади узла нет.

Таким образом, Камышинское рудное поле характеризуется следующей совокупностью локальных геофизических аномалий, частично перекрывающих друг друга и приуроченных к тому же тектоническому блоку, в котором оно находится: обширной отрицательной аномалией магнитного поля, самой крупной и интенсивной на участке аномалией ВП, серией локальных положительных аномалий гравитационного поля, отрицательной аномалией кажущегося удельного электрического сопротивления пород, а также комплексной металлометрической аномалией содержаний в коренных породах 4—5 элементов.

Подобной совокупности аномалий нет над другими минерализованными участками на территории рудного узла, включая два известных рудопрооявления, которые, возможно, являются рудными полями I рода.

Николаевское

Геологическое строение Николаевского рудного поля детально описано в работах П. Ф. Иванкина, А. С. Тарантова и других исследователей [32, 34].

Рудное поле размещено в пологозалегающих вулканогенно-осадочных породах верхнего и среднего девона, подстилаемых метаморфическими нижнепалеозойскими образованиями. По геофизическим данным, обработанным П. С. Ревякиным, участок рудного поля на юге и западе на глубине 1—2 км слагается крупным интрузивным массивом (рис. 13). Второй крупный массив гранитоидов — Межовский — на северо-востоке участка выходит на поверхность земли. Вокруг этого массива установлены характерные приконтактные изменения (роговики, окварцованные породы), сопровождающиеся положительными аномалиями магнитного поля и небольшими металлометрическими аномалиями (т. е. наблюдаются признаки, характерные для рудных полей I рода).

Структура участка рудного поля определяется двумя крупными нарушениями, секущими породы девона: Карьерным взбросо-сдвигом и Долинным разломом. Менее крупные нарушения, сопрягаясь и пересекаясь в блоке между двумя крупными разломами, образовали сложный тектонический каркас, по которому проникали рудоносные растворы. По представлениям П. Ф. Иванкина и А. С. Тарантова [34], в позднегерцинское время по разломам поднялись небольшие интрузии порфиоров и порфиритов, а также гидротермальные растворы, вызвавшие окварцевание, хлоритизацию и серицитизацию вмещающих пород, а затем их рудную минерализацию, преимущественно висячем боку Карьерного взбросо-сдвига. Руды Николаевского месторождения (меднокол-

чеданные внизу и свинцово-цинковые с баритом в верхней части, преимущественно с массивной текстурой в основных телах) залегают в тектоническом каркасе, локализуясь среди туфов и лав

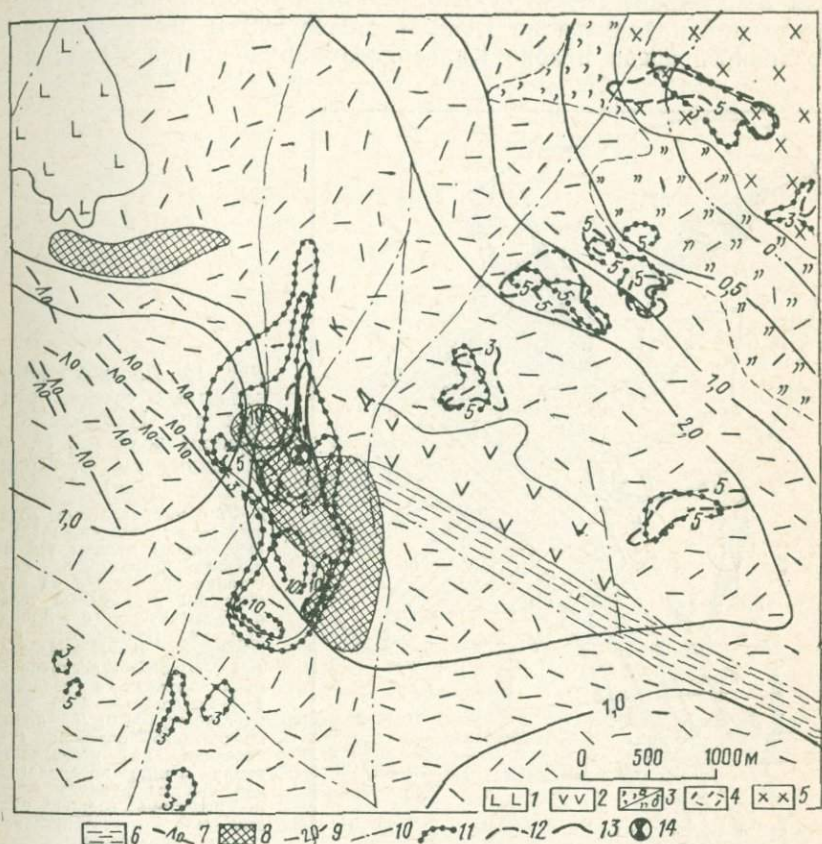


Рис. 13. Схема глубинного геологического строения участка Николаевского рудного поля по геофизическим данным (по П. С. Ревякину).

1 — габброиды; 2 — диабазовые и диоритовые порфириды; 3 — окварцованные (а) и ороговикованные (б) участки экзоконтакта Межевского массива и отвечающие им области магнитных аномалий; 4 — эффузивно-осадочные девонские породы; 5 — среднезернистые биотитовые лейкократовые граниты, адамеллиты, аплитовидные граниты (Межевский массив); 6 — зона рассланцевания пород; 7 — дайки диабазов, диабазовых порфиридов; 8 — области пониженных значений магнитного поля; 9 — глубины кровли интрузивов, км; 10 — разломы; 11, 12, 13 — изолинии контрастности ореолов свинца, цинка и меди в деловии; 14 — Николаевское рудное поле; К — Карьерный, Д — Долинный разломы.

альбитофиров таловской свиты среднедевонского возраста, близ пологопадающего на юг их контакта с диабазовыми порфиритами и аргиллитами каменевской свиты позднедевонского возраста.

Морфология рудного поля исследована А. С. Тарантовым [34]. На поверхности земли рудное поле представлено не менее чем пятью обособленными рудными телами (рис. 14), расположенными

к западу от Карьерного нарушения на площади $1 \times 0,5$ км. Уже на глубине 200—400 м некоторые тела объединяются и образуют одну весьма мощную залежь (рис. 15). В целом фигура рудного поля напоминает перевернутую многогранную пирамиду, вершина которой находится на глубине более 500 м от современного эрозионного среза в зоне Карьерного нарушения, а длинная ось

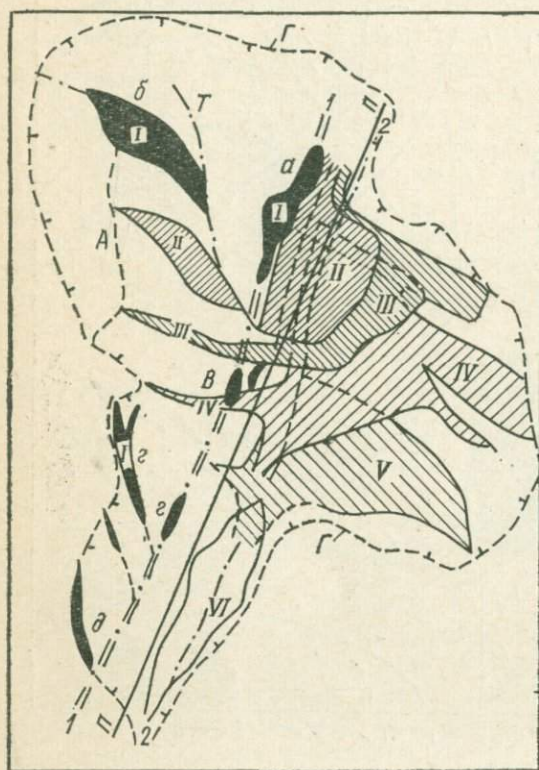


Рис. 14. Проекция погоризонтных сечений рудных тел Николаевского рудного поля (по П. Ф. Иванкину и А. С. Тарантову).

I—VI — погоризонтные сечения рудных тел через 100 м (*I* — выходы рудных тел на дневную поверхность, *VI* — сечение рудных тел на глубине 500 м); рудные тела: *а* — Крещенское, *б* — Западное; *в* — Покровское, *г* — Ильинское, *д* — Полуденное; *1—1* — выход на поверхность зоны Карьерного разлома; *2—2* — положение этой зоны на глубине 500 м; *П* — линия продольного разреза; *Г* — проекция на поверхность земли границ предполагаемой фигуры рудного поля; *А* — проекции границ рудных тел; *Т* — тектонические нарушения.

достигает 1200 м, протягиваясь вверх под углом около 40—45° вдоль плоскости нарушения.

По морфологии, масштабам, удаленности от интрузий и другим особенностям Николаевского рудное поле отнесено П. Ф. Иванкиным и А. С. Тарантовым к полям III рода.

Геофизические исследования проводились Алтайской геофизической экспедицией ВКТГУ и ВИРГ. Металлометрической съемкой в районе рудного поля (см. рис. 13) выявлен ряд ореолов свинца и цинка с содержанием металлов в 3—5 раз выше среднего фоновое в районе. Однако только вокруг рудного поля наблюдается комплексная аномалия меди, свинца и цинка с концентрацией металлов, в 5—10 раз превышающей фоновые содержания этих элементов.

Изучение физических свойств пород и руд Николаевского месторождения проведено П. Ф. Агапкиным (ВКГУ). Им установлено, что магнитная восприимчивость гидротермально измененных пород очень мала, избыточная плотность за счет эпидотизации и сульфидизации достигает $0,1-0,3 \text{ г/см}^3$. Поляризуемость измененных пород составляет $10-40\%$ при фоне $1-2\%$. Избыточная плотность руд достигает $1-1,6 \text{ г/см}^3$, а поляризуемость $45-50\%$.

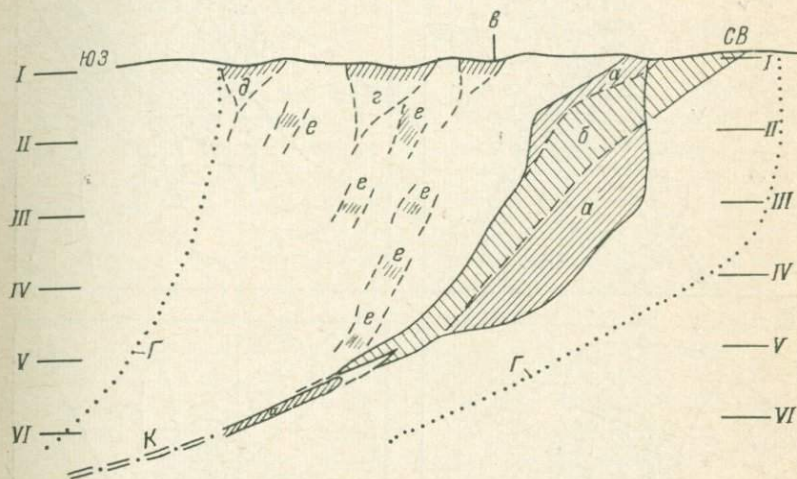


Рис. 15. Продольный вертикальный разрез через Николаевское рудное поле с проекцией на него рудных тел (по П. Ф. Иванкину и А. С. Тарантову).

а, б, в, г, д — рудные тела, горизонтальные проекции которых показаны на рис. 14; *е* — маломощные рудные тела, встреченные в висечном боку Карьерного разлома; *I—VI* — горизонты через 100 м; *Г* — границы фигуры рудного поля в плоскости разреза, *К* — Карьерный разлом.

Указанная выше избыточная плотность пород и руд создает над рудными телами и зоной околорудных изменений локальную остаточную положительную аномалию ускорения силы тяжести. Гравиметрической съемкой картируется также Карьерный разлом.

Магнитометрической съемкой (рис. 16) на рудном поле установлена область отрицательных плавноизменяющихся значений магнитного поля, что, по П. С. Ревякину, обусловлено развитием гидротермально измененных пород по диабазовым порфирикам каменевской свиты верхнего девона. Сульфидная минерализация в рудном поле (см. рис. 16) фиксируется аномалией кажущейся поляризуемости, интенсивностью до $7-8\%$ при фоне поляризуемости вмещающих пород $1,5-2\%$. Более высокие значения кажущейся поляризуемости наблюдаются в северной части рудного поля, где рудные тела подходят ближе всего к поверхности земли. К западу от Николаевского рудного поля наблюдается еще

одна аномалия ВП, которая размещена в области положительных значений магнитного поля и связана с малыми телами основных пород в купольной части экзоконтакта слепой гранитоидной интрузии. Интенсивность этой аномалии достигает 6%; она не сопро-

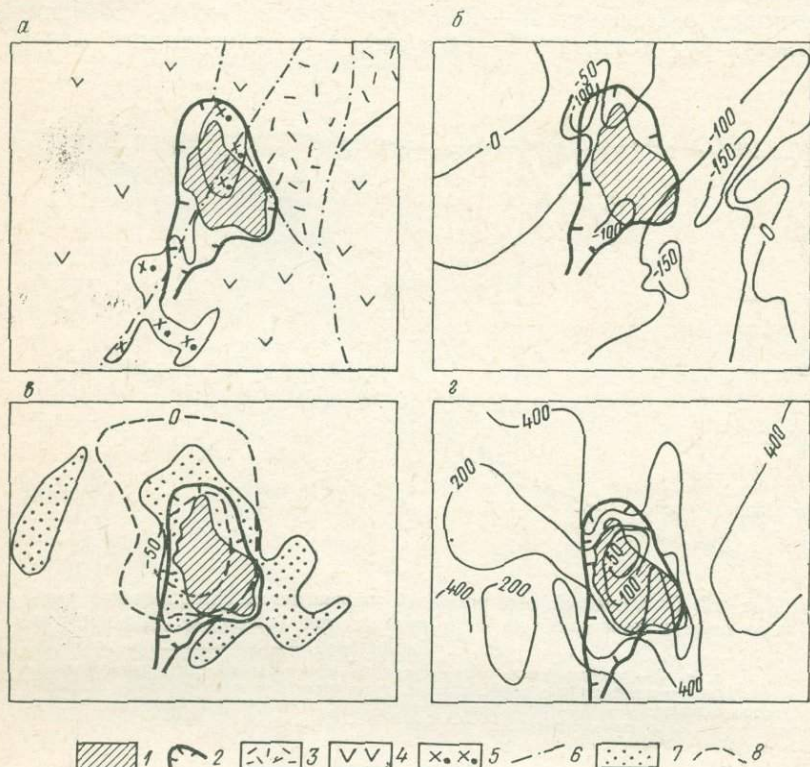


Рис. 16. Результаты геофизических исследований на Николаевском рудном поле (по материалам В. Д. Гузеева и других).

а — схематическая геологическая карта участка; б — план изодиаграм вертикальной составляющей магнитного поля в гаммах; в — план аномалий метода ВП и естественного электрического поля; г — план изодиаграм кажущегося удельного электрического сопротивления пород (установка срединного градиента), ом·м; 1 — проекция основных рудных тел на дневную поверхность; 2 — проекция предполагаемой фигуры рудного поля; 3 — среднедевонские альбитофиты, их туфы; 4 — верхнедевонские алевролиты, диабазовые порфиры; 5 — кварцевые порфиры, интрузивные; 6 — разломы; 7 — аномалии вызванной поляризации ($\eta_k > 2\%$); 8 — контуры аномалии потенциала естественного электрического поля, мв.

вождается ореолом повышенных содержаний металлов и, по-видимому, отображает проявление рассеянной пиритизации в экзоконтакте упомянутой интрузии.

Гидротермальные процессы на Николаевском месторождении способствовали уменьшению кажущегося удельного электрического сопротивления с 400—1000 ом·м (вмещающие породы) до 50—100 ом·м для измененных пород в северной части рудного

поля (см. рис. 16). Однако на участке рудного поля наблюдаются и другие области пониженных значений кажущегося удельного электрического сопротивления пород (200 и даже 100 ом·м), возникновение которых объяснить пока трудно.

На Николаевском рудном поле наблюдается отрицательная локальная аномалия естественного электрического поля (ЕП) размером 1100×700 м, интенсивностью до —100 мв, приуроченная к области выходов рудных тел на поверхность земли (см. рис. 16), т. е. так называемая аномалия ЕП I порядка [99].

Интересно проанализировать связь локальных аномалий разных методов с теми или иными элементами морфологии рудных залежей и структурой вмещающей среды. Наиболее изометричны в плане и территориально близко совпадают с проекцией на поверхность земли верхней части рудных тел три аномалии: локальная аномалия кажущегося удельного сопротивления со значениями, меньшими 100 ом·м в северной части рудного поля, аномалия содержания меди в делювии (см. рис. 13) и аномалия ЕП по изолинии —50 мв. Очевидно, эти три аномалии отражают непосредственно влияние рудных тел Николаевского месторождения.

Иной характер связи с месторождением имеют аномалия кажущейся поляризуемости и остаточная локальная отрицательная аномалия магнитного поля. Они обе вытянуты в северо-западном направлении, имеют размеры, большие, чем область проекции рудных тел на дневную поверхность. На участке между Карьерным и Долинным разломами обе аномалии размещаются вдоль контакта таловской и каменевской свит, последняя из которых, сложенная плотными плохо проницаемыми породами, служила экраном для рудообразующих растворов. По-видимому, причиной образования этих двух аномалий служили уже не рудные тела, а главным образом ореолы окolorудных измененных пород, которые, как сказано выше, имеют пониженную магнитную восприимчивость и повышенную поляризуемость. Промежуточное положение между рассмотренными выше примерами занимают: ореол свинца, который при близком к изометричному контуре несколько вытянут в северо-западном направлении, и аномалия кажущегося удельного электрического сопротивления по изолиниям 200—400 ом·м, уже отчетливо вытянутая в северо-западном направлении.

Поскольку на площади рудного поля крупные гранитоидные интрузии находятся на глубине более 1,5—2 км, по-видимому, нет оснований отыскивать какие-либо связи между характером геофизических аномалий и морфологией кровли интрузии.

В целом Николаевское рудное поле III рода характеризуется следующей совокупностью локальных геофизических аномалий, установленных над рудным полем в области пересечения Карьерного разлома и контакта пород таловской и каменевской свит: отрицательной аномалией магнитного поля, повышенными значениями кажущейся поляризуемости, отрицательной аномалией ес-

тественного электрического поля I порядка, интенсивным понижением кажущегося удельного электрического сопротивления пород, а также комплексной металлометрической аномалией содержания в делювии трех химических элементов.

Тушканихинское

Рассматриваемый объект находится в пределах Березовогорского рудного узла, геологическое строение которого изучалось сотрудниками Рудноалтайской экспедиции ЗСТГУ А. П. Беляевым, Е. Ф. Филатовым, К. И. Полтораковым и другими, а также сотрудниками геофизических партий АГЭ ЗСТГУ В. А. Белашом, А. Я. Давыдовым, Ю. В. Синдяевым, А. А. Сафроненко и другими. Сейсморазведочные работы на участке выполнены силами Института геологии и геофизики СО АН СССР (И. П. Михелев, Т. В. Нефедкина, А. В. Тригубов [57]).

Березовогорский рудный узел приурочен к узкой широтно вытянутой полосе пород среднего девона (рис. 17), которые представлены конгломератами, песчаниками, алевролитами, лавами и туфами среднего состава березовской свиты, эффузивно-пирокластическими образованиями таловской свиты и кислыми лавами и алевролитами шипуновской свиты. Девонские образования несогласно лежат на метаморфических сланцах нижнего палеозоя, слагая северное крыло Березовогорской синклинальной складки, которая замыкается на западе и ограничена с севера породами нижнего палеозоя, а с юга — лентовидным массивом гранитов змеиногорского комплекса.

В пределах рудного узла известны два рудных поля, включающие месторождения Тушканихинское и Майское (Березовогорское), и несколько рудопроявлений.

Тушканихинское рудное поле приурочено к тектонически ослабленной зоне контакта пород таловской и березовской свит. Рудная зона месторождения состоит из сближенных параллельных рудных тел, разделенных слабо минерализованными породами. Контакты рудных тел с зоной измененных пород нечеткие, с постепенным снижением интенсивности оруденения. На рис. 18 приведены прослеженные контуры основных рудных тел в плане, а на рис. 19 — в продольном разрезе, спроектированном на вертикальную плоскость.

Рудные тела начиная от разлома III протягиваются со слабым воздыманием к западу, причем их количество, мощность и протяженность на глубину к западу уменьшаются. Склонение тел, ближайших к разлому, более крутое. Возможно, рудное тело А, протягивающееся дальше всего на запад, в своей южной части еще полностью не вскрыто бурением. По форме рудных тел можно предполагать, что разлом, протягивающийся с юга от интрузии змеиногорских гранитов, служит рудоподводящим каналом для

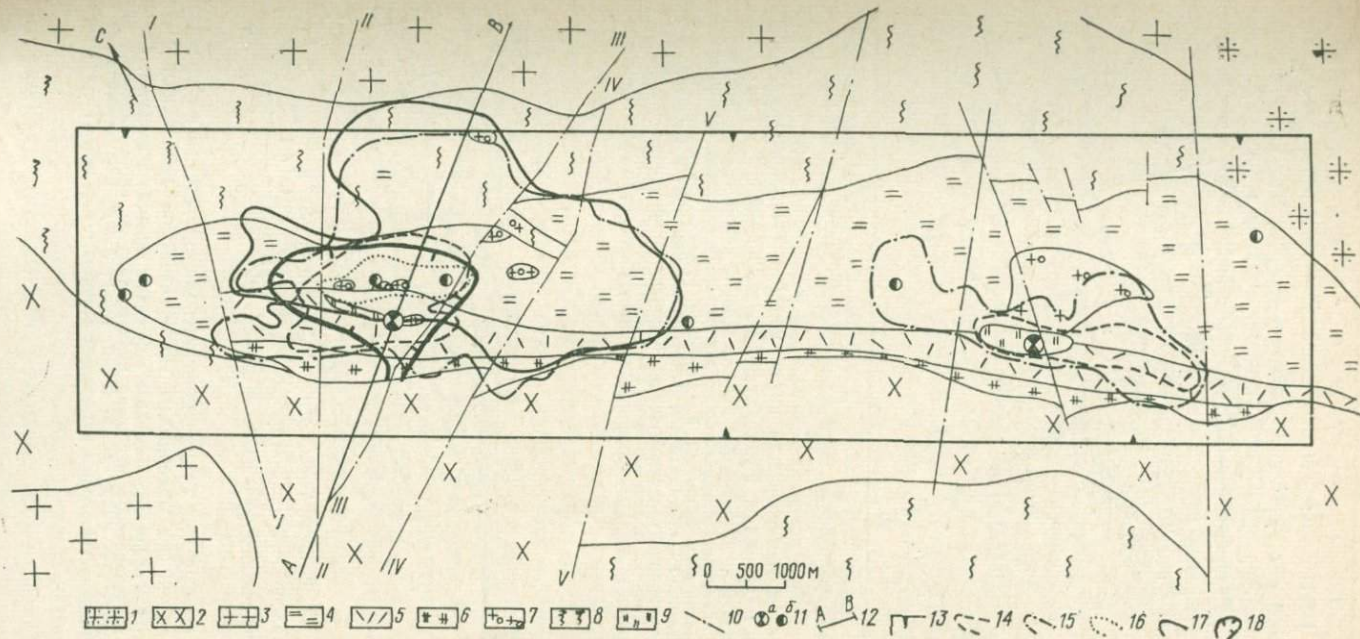


Рис. 17. Схематическая геологическая карта Березовогорского рудного узла.

Гранитоиды: 1 — калбинского комплекса; 2 — зменногогорского комплекса; 3 — девонские; 4 — эффузивно-осадочные отложения березовской свиты; 5 — кислые лавы и туфы таловской свиты; 6 — эффузивы шипуновской свиты; 7 — среднедевонские кварцевые порфиры субвулканические; 8 — метаморфические сланцы нижнего палеозоя; 9 — зоны измененных пород; 10 — разломы (римскими цифрами указаны их номера; 11 — месторождения (а) и рудопроявления (б); 12 — профиль сейсморазведочных работ; 13 — контур оцениваемой площади; 14 — контур аномалии ВП по съемке 1958 г.; 15 — контур площади с повышенным фоном кажущейся поляризуемости пород по съемке 1958 г.; 16 — контур аномалии ВП интенсивностью более 4% по съемке 1965 г.; 17 — контур площади с повышенной фоном кажущейся поляризуемости пород по съемке 1965 г.; 18 — проекция на поверхность земли границ предполагаемой фигуры рудного поля.

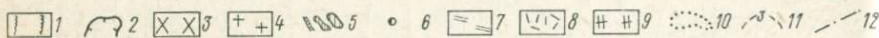
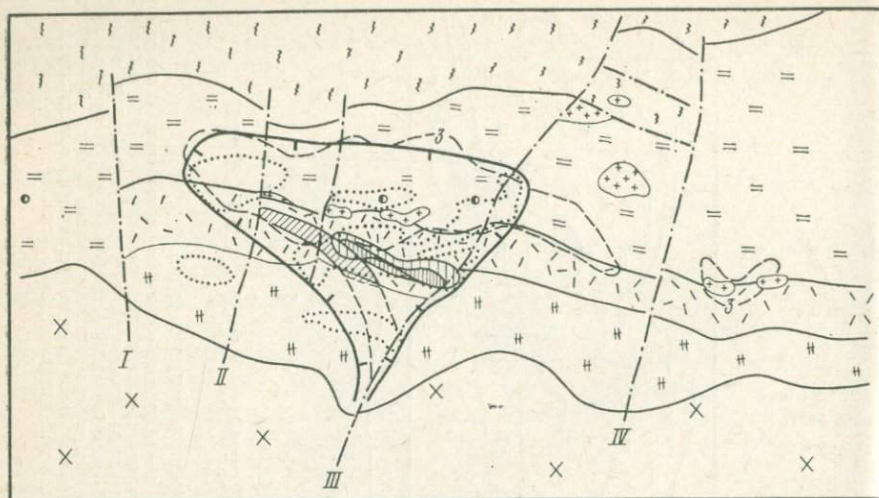


Рис. 18. Схематическая геологическая карта участка Тушканихинского рудного поля (по материалам Рудноалтайской экспедиции ЗСТГУ).

1 — метаморфические сланцы; 2 — проекция на поверхность земли границ предполагаемой фигуры рудного поля; 3 — граниты змеиногорского комплекса; 4 — кварцевые порфиры субвулканические среднедевонского возраста; 5 — проекции рудных тел на дневную поверхность; 6 — рудопроявления; 7 — конгломераты, алевролиты, порфириты березовской свиты; 8 — туфы и лавы альбитофиров таловской свиты; 9 — туфы и лавы среднего состава шипуновской свиты; 10 — ореолы в горных породах с содержанием суммы меди, свинца и цинка свыше 0,1%; 11 — аномалии кажущейся поляризуемости ($\eta_k > 3\%$); 12 — разломы.

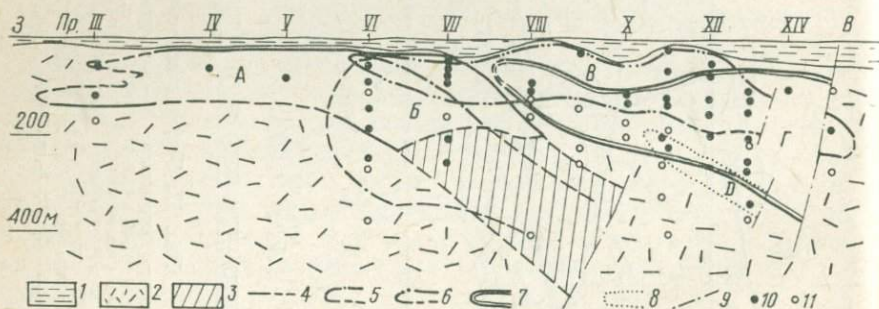


Рис. 19. Проекция рудных тел Тушканихинского месторождения на продольную вертикальную плоскость (по материалам Рудноалтайской экспедиции ЗСТГУ).

1 — рыхлые отложения; 2 — эффузивно-осадочные отложения девонского возраста; 3 — проекция предполагаемого неразведенного окончания рудного тела А; 4 — прослеженные и предполагаемые границы рудных тел; 5 — А; 6 — В; 7 — Г; 8 — Д; 9 — тектонические нарушения; точки пересечения скважинами рудоносной зоны: 10 — с рудой, 11 — безрудные.

Тушканихинского рудного поля. Руды месторождения существенно свинцово-цинковые с небольшим содержанием меди.

Участок рудного поля разбит серией тектонических нарушений на ряд блоков, причем некоторые из них сдвинуты друг относительно друга. Палеозойские породы почти на всей площади участка перекрыты мезо-кайнозойскими отложениями мощностью до 30—50 м. (Рудное поле Майского месторождения ввиду отсутствия для него некоторых материалов подробно не рассматривается).

Строение участка Тушканихинского рудного поля на глубину до верхней границы базальтового слоя изучено с помощью магнито-, грави- и сейсморазведочных работ [57]. В разрезе по профилю *AB* (см. рис. 17) до глубины 11 км зафиксирована неравномерная плотность отражающих площадок в разных частях разреза и различная степень упорядоченности их ориентировки. Авторы исследования [57] считают, что участки, где отражающие площадки отсутствуют, соответствуют более или менее однородным интрузиям гранитоидов, области же скопления площадок — это места, занятые блоками расслоенных докембрийских пород. Такое предположение подтверждается сопоставлением всех геофизических данных.

В рассматриваемом районе граниты по сравнению с нижнепалеозойскими породами отличаются повышенной магнитной восприимчивостью и пониженной плотностью ($2,65 \text{ г/см}^3$ против $2,7—2,9 \text{ г/см}^3$). Поэтому повышение гравитационного поля соответствует участкам наибольшей мощности нижнепалеозойских отложений, а уходящие на большую глубину гранитоидные массивы сопровождаются минимумами гравитационного поля и максимумами магнитного. Именно таким сочетанием полей отмечены части профиля *AB*, где на поверхности земли находятся граниты. По данным В. И. Любецкого и П. С. Ревякина, глубина кровли базальтового слоя на Рудном Алтае в центральной части Алейского антиклинория, где находится данный участок, составляет 8—10 км. Очевидно, на профиле *AB* нижняя полоса отражающих площадок на глубине около 10 км соответствует кровле базальтового слоя. Ниже нее никаких отражающих неоднородностей в среде не обнаружено. По рассмотренным материалам построен примерный геологический разрез по профилю *AB*, приведенный на рис. 20. По-видимому, в ряде мест блоки пород нижнего палеозоя прорываются гранитами предположительно тельбесского комплекса. Нижняя граница девонских пород на участке погружается к юго-западу до глубин порядка 1200—1300 м.

По данным магнитометрической съемки установлено, что девонские отложения между разломами II и V подстилаются магнитными породами, подходящими здесь к поверхности земли. Возможно, это наиболее приподнятая часть интрузии тельбесского комплекса, наблюдаемая в разрезе *AB* в районе пикетов от —9 до 99 (см. рис. 20). Верхние апофизы этой интрузии закартированы

на поверхности земли как рвущие девонские отложения субвулканические интрузии порфирового состава.

Карта результатов металлотрического опробования коренных пород узла в изолиниях содержания суммы металлов (меди, свинца и цинка) составлена Г. И. Полтораковым по материалам Рудноалтайской экспедиции ЗСТГУ (рис. 21). Аномалиями содержания суммы металлов более 0,3% отмечены Тушканихинское и

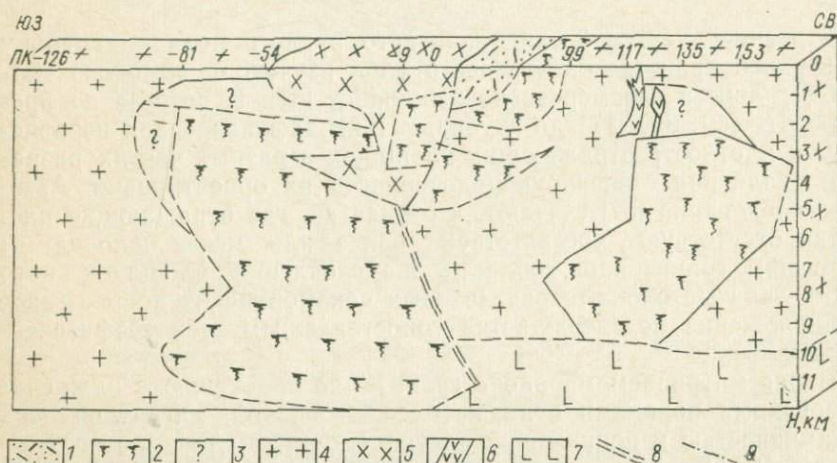
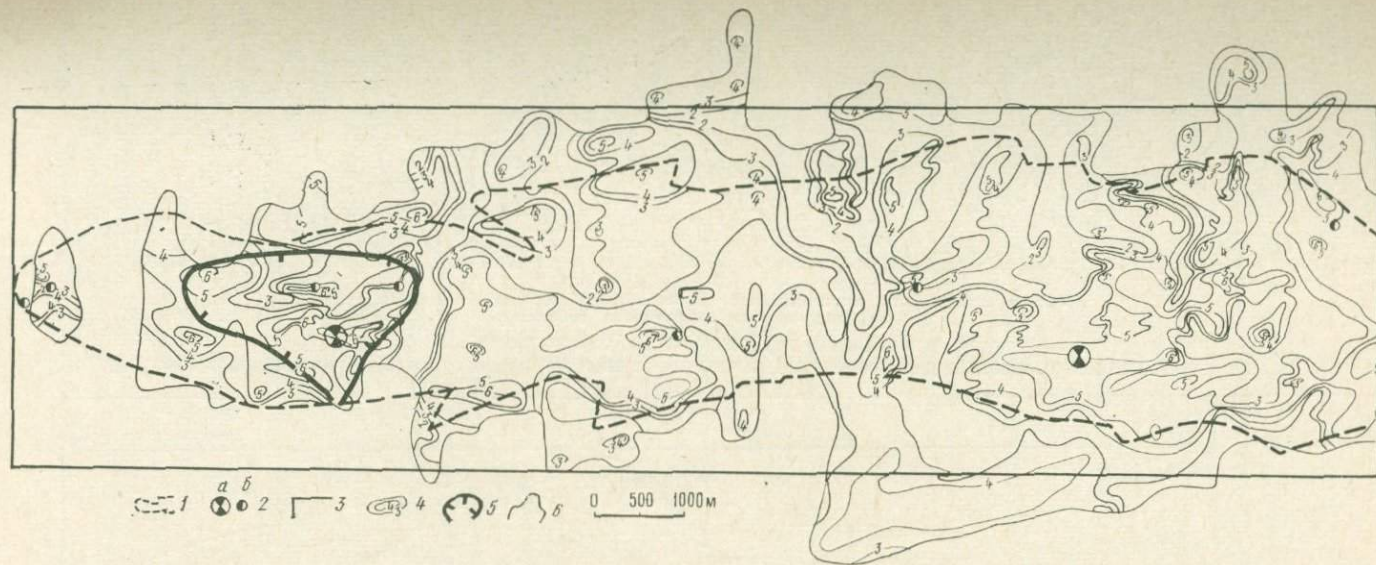


Рис. 20. Блок-диаграмма предполагаемого по геофизическим данным строения участка земной коры Березовогорского рудного узла по профилю АВ (по материалам А. В. Тригубова, Т. В. Нефедкиной и И. П. Михелева).

1 — эффузивно-осадочные отложения девонского возраста; 2 — метаморфические сланцы (ордовик?); 3 — блоки неизвестного состава и возраста; 4 — гранитоиды тельбесского комплекса; 5 — граниты змеингорского комплекса; 6 — предполагаемые интрузии основного состава; 7 — базальтовый слой; 8 — глубинный разлом; 9 — другие тектонические нарушения.

Майское рудные поля. Кроме того, наблюдаются еще две полосы аномалий содержания суммы металлов в породах: севернее Тушканихинского рудного поля, в районе контакта девонских и нижнепалеозойских пород, и близ контакта девонских пород с гранитами змеингорского комплекса. Отдельные небольшие по площади и разрозненные аномалии интенсивностью более 0,1—0,3% рассеяны по всей площади девонских пород и даже над нижнепалеозойскими отложениями. Местный фон содержания суммы металлов на участке достаточно высокий: области с содержанием от 0,03 до 0,1% занимают почти половину площади рудного узла.

Локальных аномалий магнитного и гравитационного полей на площади Тушканихинского рудного поля не обнаружено. Не установлено на нем и аномалии естественного электрического поля. На соседнем, Майском, рудном поле понижениями потенциала ЕП отмечены рудные тела Майского месторождения и прилегающего к нему рудопроявления. На Тушканихинском рудном



4*

Рис. 21. План первичных ореолов для площади Берзовогорского рудного узла (по материалам Рудноалтайской экспедиции ЗСТГУ).

1 — контур девонских отложений; 2 — месторождения (а) и рудопоявления (б); 3 — контур оцениваемой площади; 4 — изолинии концентраций суммы меди, свинца и цинка в коренных породах, %: 2 — $0.003 \div 0.01$, 3 — $0.01 \div 0.03$, 4 — $0.03 \div 0.1$, 5 — $0.1 \div 0.3$, 6 — 0.3 и более; 5 — проекция на поверхность земли границ предполагаемой фигуры рудного поля; 6 — контур металлометрической съемки.

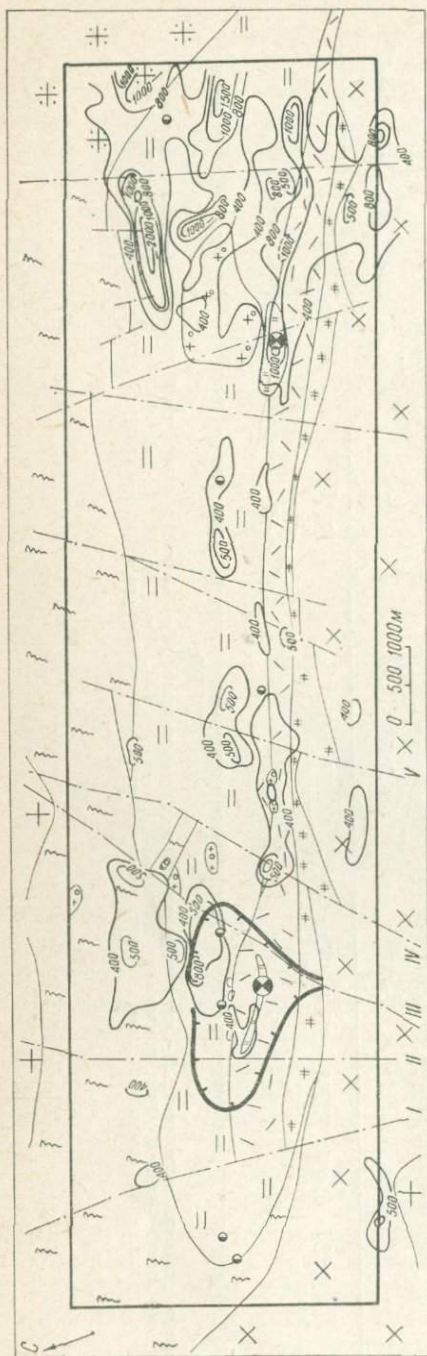


Рис. 22. План размещения участков с повышенными значениями удельного электрического сопротивления пород на площади Березовогорского рудного узла (по материалам В. А. Белаша).

поле, включая площади месторождения и металлометрической аномалии к северу от него, установлена аномалия ВП интенсивностью до 5—6%. Кроме того, на площади распространения девонских отложений между разломами II и V заметно повышение кажущейся поляризуемости пород до 2—2,5% (см. рис. 17). Выдержанный фон кажущейся поляризуемости (не выше 1%) наблюдается в центральной площади узла. На восточной половине участка аномалией ВП отмечено Майское месторождение и прилегающее к нему рудопоявление.

Наиболее высокие на территории рудного узла значения кажущегося удельного электрического сопротивления пород (1—2 тыс. ом·м) установлены в полосе девонских отложений восточнее Майского месторождения (рис. 22), вдоль контактов с массивами змеиногорских и пермских гранитов и на массиве последних. Полоса повышенных значений кажущегося удельного электрического сопротивления много шире площади Майского рудного поля. Природа этой аномалии не установлена. Можно предполагать, что она связана с ороговикованием пород в экзоконтакте гранитных массивов, которое, по

П. С. Ревякину, широко распространено на Рудном Алтае. На самом Майском месторождении значения кажущегося удельного сопротивления пород достигают 400—800 ом·м, что, возможно, связано с окварцеванием пород в области их гидротермальной проработки.

Области повышенных значений кажущегося удельного сопротивления (свыше 400 ом·м) известны также на площади к западу от разлома V (см. рис. 22). Две аномалии расположены непосредственно на участке Тушканихинского рудного поля. Наиболее крупная из них находится севернее Тушканихинского рудного поля на породах девона и нижнего палеозоя. Вторая аномалия, состоящая из двух частей, наблюдается над девонскими породами между разломами IV и V. Территориально эти аномалии совпадают с областями повышенного фона поляризуемости пород и, по-видимому, с областью размещения слепой интрузии гранитов предположительно тельбесского комплекса, картируемой магнито- и сейсморазведкой между разломами II—V.

Судя по приведенным геологическим и геофизическим материалам, в западной части Березовогорского рудного узла кроме рассматриваемого Тушканихинского рудного поля, которое по масштабам, морфологии рудных тел и близости его глубоких прикорневых частей к змеиногорским гранитам относится нами к рудным полям II рода, возможно существование еще не вскрытого буровыми работами рудного поля I рода на участках к северу и востоку от Тушканихинского.

Предполагаемое рудное поле I рода могло сформироваться в верхнем экзоконтакте слепой гранитоидной интрузии, существование которой отражается в магнито- и сейсморазведочных данных и проявляется в виде выходов субвулканических интрузий кварцевых порфиров, прорывающих девонские и ордовикские породы. Участки пород над интрузией, по-видимому, подверглись ороговикованию и пиритизации, с чем связано появление областей повышенного фона кажущейся поляризуемости и более высоких значений кажущегося удельного сопротивления девонских и ордовикских пород восточнее и севернее Тушканихинского рудного поля. Отсюда отсутствие связи между формой областей повышенных значений кажущейся поляризуемости и кажущегося удельного сопротивления пород и структурами вмещающей среды. Сделанное предположение объясняет также наличие разрозненных металлотрических аномалий, расположенных на площади с повышенными значениями фона ВП, в частности на отложениях нижнего палеозоя.

Само же Тушканихинское рудное поле II рода характеризуется следующей совокупностью локальных геофизических аномалий, вытянутых вдоль контактов пород рудоносной таловской свиты: обширной аномалией ВП, повышенными значениями кажущегося удельного электрического сопротивления, высоким содержанием в коренных породах меди, свинца и цинка. Большая интен-

сивность, приуроченность к породам таловской свиты и контроль размещения этих аномалий структурой вмещающей среды отличают их от сходных аномалий, находящихся вне площади рудного поля (за исключением участка Майского рудного поля, напоминающего Тушканихинское и отличающегося от последнего наличием отрицательной локальной аномалии естественного электрического поля II порядка).

Северо-Рулихинский участок

Геолого-геофизическое изучение участка рудного поля проведено под руководством Г. П. Нахтигала. Участок расположен юго-западнее крупного гранитоидного Межовского массива и находится между Таловским скарновым медно-магнетитовым и Рулихинским полиметаллическим месторождениями, примыкая к последнему с севера.

Участок (рис. 23) сложен вулканогенными отложениями таловской свиты среднедевонского возраста, которые на глубине 200—300 м подстилаются, а местами прорываются интрузией гранит-порфиров — кварцевых плагиопорфиров раннекарбонового возраста. Интрузия, судя по данным магниторазведки, подстилает девонские отложения почти на всей площади участка. На самом северо-западе его покровные альбитофиры таловской свиты сменяются субинтрузивными кварцевыми альбитофирами среднедевонского возраста. В центре участка с севера на юг проходит крупный глубинный Таловский разлом. Кварцевые альбитофиры таловской свиты образуют пологую куполообразную брахиантиклинальную складку. Длинная ось ее вытянута в северо-восточном направлении, а ядро прорвано в трех местах интрузией порфиров.

В экзоконтакте интрузии породы таловской свиты более или менее интенсивно гидротермально переработаны на значительной части площади участка. В одних местах кварцевые альбитофиры обелены и лимонитизированы, в других интенсивно хлоритизированы, серицитизированы, окварцованы, скарнированы. Отмечена обильная сульфидная, а иногда магнетитовая минерализация пород. Медно-магнетитовое оруденение на поверхности земли установлено в двух рудных точках на центральной апофизе интрузии между кварцевой жилой и Таловским разломом. В экзоконтакте южной апофизы интрузии встречена железная шляпа.

В скв. 81 и 74 наблюдается вкрапленность сульфидов меди и железа в измененных породах таловской свиты в экзоконтакте интрузии. Промышленных рудных скоплений на участке не обнаружено.

Таким образом, по составу измененных пород, отсутствию крупных рудных скоплений, рассеянному, без определенной формы характеру минерализации и размещению зоны измененных

пород непосредственно на контакте с интрузией рудное поле Северо-Рулихинского участка относится к I роду.

Изучение физических свойств пород участка рудного поля показало, что отложения таловской свиты и субвулканические альбитофиры среднего девона практически немагнитны. Повышенной магнитной восприимчивостью до $500 \cdot 10^{-6}$ СГС обладают интрузивные порфиры раннекарбонového возраста. Плотность всех пород, не подвергшихся минерализации $2,55-2,65$ г/см³, а их поляризуемость $1,4-2,2\%$. Гидротермально измененные породы с видимой вкрапленностью сульфидов имеют плотность до $2,69$ г/см³, поляризуемость до 10% , и обладают очень низкой магнитной восприимчивостью. В 1966 г. на участке проведены исследования методами ВП, ЕП, магнитометрии и выполнено металлометрическое опробование пород.

Вторичные ореолы меди, свинца, цинка, серебра и молибдена, с содержаниями элементов $(2 \div 100) \cdot 10^{-3}\%$ наблюдаются на всей площади участка (см. рис. 23, б) и характеризуются как породы таловской свиты, так и субвулканические образования и выходы интрузии порфиров. Ореолы частично выходят за пределы участка в северо-западном и юго-восточном направлениях. Размеры полосы ореолов составляют более 2000×1000 м. Первичные ореолы установлены на той же площади, где и вторичные, но они беднее по содержаниям элементов. Наиболее крупный комплексный вторичный ореол охватывает центральный выход интрузии порфиров с двумя известными рудными точками.

По данным магнитометрии (см. рис. 23, в) в центре участка фиксируется положительная аномалия вертикальной составляющей магнитного поля интенсивностью до $150-500$ гамм. Ее наличие связывается с купольной частью интрузии плагиигранит-порфиров, кровля которой по результатам интерпретации залегает на глубине около 300 м и подстилает практически весь участок. Размеры магнитной аномалии по изолинии 150 гамм более 1500×1000 м. Три выходящие на поверхность апофизы интрузии порфиров картируются повышенными значениями магнитного поля.

Обширная овальная аномалия кажущейся поляризуемости захватывает почти весь участок, затухая к его северному, восточному и западному краям (см. рис. 23, г). Интенсивность ее достигает $4-8\%$ при фоне менее 2% . На юг аномалия распространяется за пределы участка. Полоса наиболее высоких значений кажущейся поляризуемости протягивается вдоль простирания брахи-антиклинальной складки по ее юго-восточному крылу в северо-восточном направлении, но отдельные максимумы в пределах этой полосы вытянуты в северо-западном направлении. В целом, очевидно, аномалией ВП картируется зона измененных пород в экзоконтакте порфировой интрузии, вокруг ее купольной части.

Для площади участка характерны высокие значения кажущегося удельного электрического сопротивления пород в пределах $600-2000$ ом·м (см. рис. 23, д). В северо-западном направлении

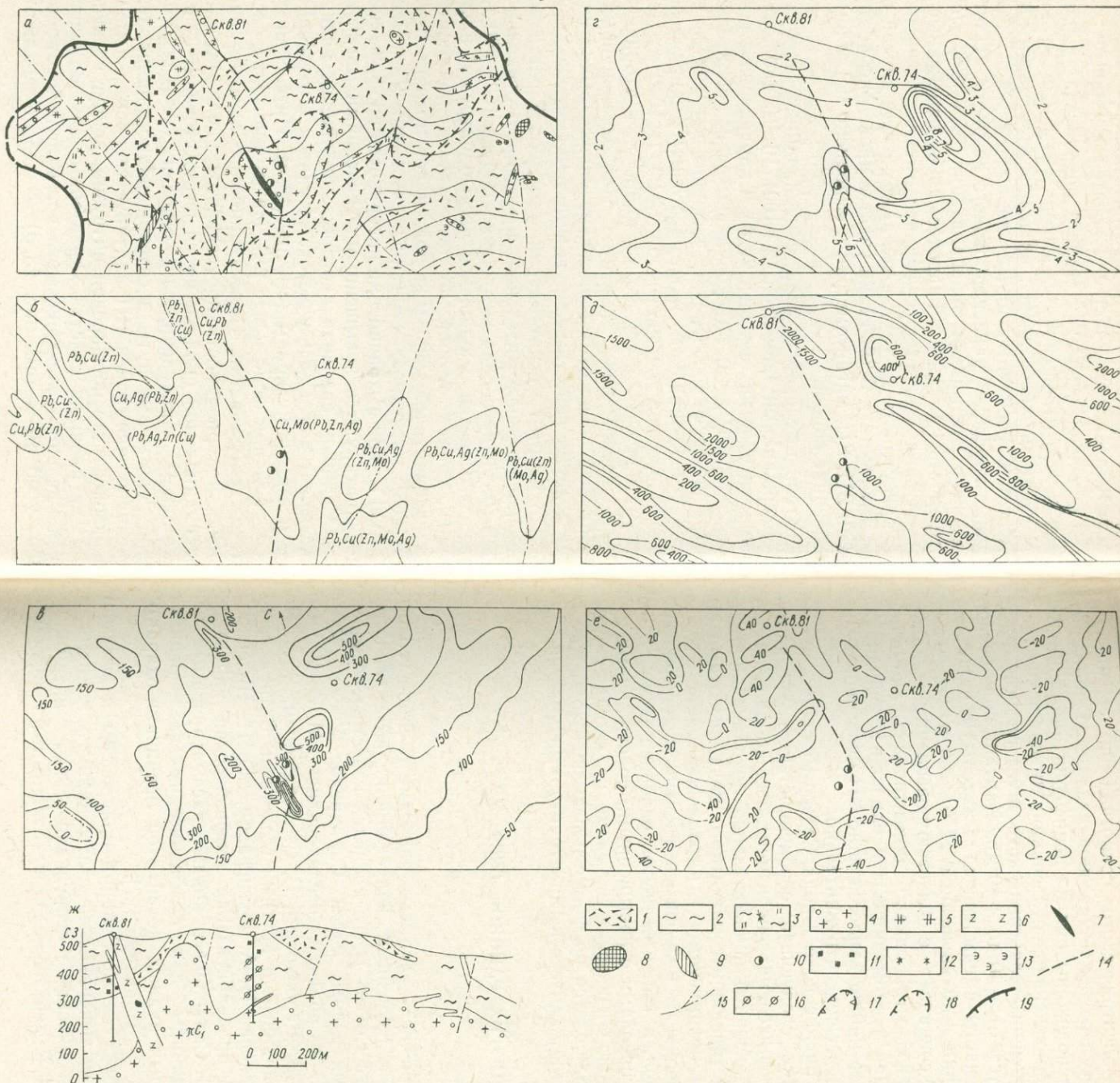


Рис. 23. Геолого-геофизическая характеристика Северо-Рулехинского рудного поля (по данным Алтайской геофизической экспедиции ВКГУ).

а — геологическая карта; б — карта вторичных ореолов (в скобках указаны второстепенные элементы в ореоле); в — план изодинам вертикальной составляющей напряженности магнитного поля, гаммы; г — план изолиний кажущейся поляризуемости, %; д — план изолиний кажущегося удельного электрического сопротивления, ом · м; е — план изолиний потенциала ЕП, мВ; ж — разрез через скв. 81 и 74; 1 — кварцевые альбитофиры и фельзиты таловской свиты; 2 — измененные и ожелезненные альбитофиры; 3 — хлоритизация, серицитизация, окварцевание и сканирование альбитофиров; 4 — плагиогранит-порфиры; 5 — субвулканические кварцевые альбитофиры; 6 — диабазы и диабазовые порфиры; 7 — кварцевая жила; 8 — железистые кварциты с магнетитом; 9 — железная шляпа; 10 — медно-магнетитовые рудные точки; 11 — пиритизация на поверхности земли; 12 — малахитизация; 13 — эпидотизация; 14 — Таловский разлом; 15 — другие разломы; 16 — вкрапленность сульфидов меди и железа в скважинах; предполагаемый контур слепой части интрузии по геофизическим данным на глубине, м: 17 — 100—200, 18 — 300—500; 19 — проекция на поверхность земли границ предполагаемой фигуры рудного поля.

участок пересекают три локальные аномалии с пониженными значениями удельного электрического сопротивления. Одна из них на юго-западе участка совпадает с зоной разлома. Природа двух других не ясна. Расположены они по периферии аномалии ВП, вряд ли связаны с интенсивной сульфидной минерализацией.

Значения естественного электрического поля на всей площади участка колеблется от -40 до $+40$ мВ. Картина поля беспорядочная, пятнистая, часты смены знаков. Размеры отрицательных аномалий по изолинии -40 мВ не более 250×100 м. На юге участка аномалия ЕП совпадает с областью повышенных значений кажущейся поляризуемости, однако ориентировка аномалий в них разная: широтная у аномалии ЕП и близкая к меридиональной у ВП. Объяснить наблюдающееся поле ЕП сульфидной минерализацией, на наш взгляд, затруднительно.

Таким образом, рудное поле I рода Северо-Рулихинского участка характеризуется следующей совокупностью геофизических аномалий, размещающихся на зоне измененных пород в экзоконтакте интрузии: интенсивной положительной локальной аномалией вертикальной составляющей магнитного поля, высокими значениями кажущейся поляризуемости на большей части площади рудного поля, повышенным кажущимся удельным электрическим сопротивлением пород, а также бедными, разбросанными по площади рудного поля ореолами с повышенными содержаниями 2—3 химических элементов. Физические аномалии на площади рудного поля слабо коррелируются по форме и размещению между собой и не контролируются известными структурами участка.

§ 2. РУДНЫЕ ПОЛЯ ДРУГИХ РАЙОНОВ СССР

Салаирский кряж

Район относится к числу закрытых наносами и слабо геологически и геофизически изученных колчеданно-полиметаллических провинций Советского Союза. В его пределах известны несколько детально разведанных рудных полей: Салаирское, Урское, Каменишинское и др. Эти объекты исследовались М. А. Усовым, Ф. Н. Шаховым, И. В. Дербиковым, В. С. Лабазиным, Г. Л. Поспеловым, П. Ф. Иванкиным и другими геологами. В трудах геофизиков Н. А. Гладкова, И. А. Розенфарба, Ю. И. Ивасько и других [19, 39] дана предварительная геофизическая характеристика рудных полей Салаирского кряжа, рассматриваемых как целые природные единицы при геофизических исследованиях. Морфология некоторых рудных полей этой провинции охарактеризована в книге П. Ф. Иванкина [27].

Большинство рудных полей Салаира приурочены к эффузивно-осадочным породам печеркинской свиты нижнего кембрия и, по-видимому, тесно связаны с субвулканическими интрузиями кварцевых порфиров и кератофиров, выходящими на современ-

ный эрозионный срез. Рудные поля размещены, как правило, в крупных антиклинальных структурах, находящихся в зонах сопряжения северо-западных региональных разломов с дизъюнктивными структурами северо-восточного направления.

Для всех рудных полей Салаирского кряжа характерно многокорневое строение. Так, Салаирское рудное поле представлено тремя пространственно обособленными группами месторождений: северной, центральной и южной; Урское рудное поле содержит три промышленных и два непромышленных месторождения (рис. 24) [27]. В пределах месторождений количество рудных тел велико в приповерхностных их частях и быстро уменьшается с глубиной. И наоборот, с глубиной растут объемы околорудных гидротермально измененных пород с вкрапленной минерализацией, что, возможно, указывает на существование на глубоких горизонтах рудных полей I рода, связанных со слепыми гранитоидными интрузиями. Указанные интрузии картируются, по данным И. А. Розенфарба, пониженными гравитационными полями (в пределах Салаирского и Урского рудных полей). Гравитационными ступенями в полях силы тяжести на этих же участках отмечаются крупные региональные разломы северо-западного простирания. Блоковая структура вмещающей среды фиксируется мелкими деталями как гравитационного, так и магнитного полей.

По данным Н. А. Гладкова [19], названные рудные поля проявляются в естественных и вызванных электрических полях в виде линейных вытянутых аномальных зон размерами до 10 км по простиранию и до 1—2 км вкрест простирания основных структур. В электроразведочных аномалиях рудные поля отмечаются как единое, но не однородное целое; физическими полями более высоких порядков картируются участки отдельных месторождений. Рудные поля и их детали находят отражение в результатах гравиразведочных работ в виде локальных положительных остаточных аномалий ускорения силы тяжести и их цепочек. Вокруг известных рудных полей и их отдельных частей установлены аномальные потоки рассеяния меди, цинка, свинца, бария, молибдена, серебра в природных водах. Однако в связи с развитием чехла рыхлых отложений мощностью от 5 до 50 м металлометрические исследования по рыхлым отложениям не фиксируют многих рудных полей. Вокруг некоторых из них, расположенных, как правило, на возвышенностях, установлены ореолы золота по логам, расходящимся от рудных полей в разных направлениях. По мнению А. Я. Булыникова [7], источником металла для россыпей являлись зоны окисления полиметаллических месторождений.

Южный Урал

Рудное поле и приуроченное к нему Александринское медно-цинковое месторождение расположены в пределах восточного борта Магнитогорского синклинория в полосе зеленокаменной формации Урала. В пределах участка рудного поля известны си-

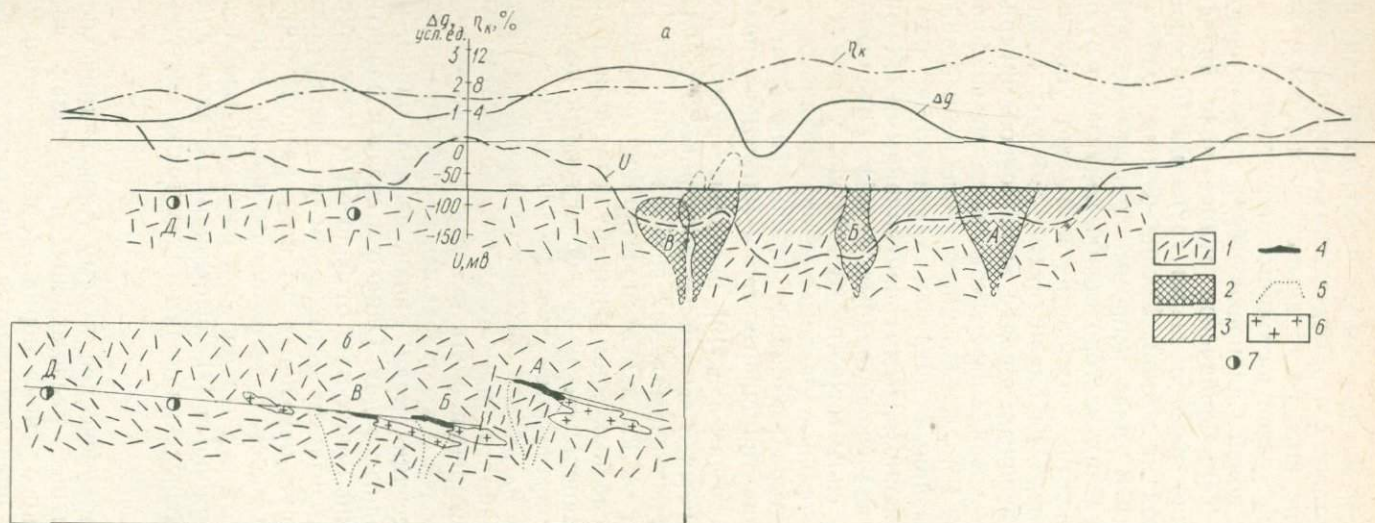


Рис. 24. Результаты геофизических исследований на Урском рудном поле (по Н. А. Гладкову).

a — продольный вертикальный разрез; b — план части рудного поля и местоположение профиля; месторождения: A — Новоурское; B — Самойловское; B — Белоключевское; рудопоявления: Γ — Копенное; D — Северное; 1 — измененные породы рудного поля; 2 — вертикальные проекции рудных тел; 3 — область интенсивной пирит-графитовой минерализации пород; 4 — выходы рудных тел на эрозионный срез; 5 — контуры горизонтальных проекций месторождений; 6 — кварцевые порфиры; 7 — рудопоявления; графики: η_k — кажущейся поляризуемости, %; Δg — приращения ускорения силы тяжести, усл. ед., U — потенциала естественного поля, мв.

лурийские и девонские породы, представленные альбитофирами и их туфами и туфобрекчиями, а также габбро-диабазы, миндалекаменными диабазы и их туфами. Породы смяты в брахиан-тиклинальную складку. Месторождение приурочено к южному крылу складки и локализуется в контакте двух свит, получивших название надрудной и подрудной толщ. Первая представлена переслаивающимися диабазы, туфами и туфопесчаниками смешанного состава, вторая — альбитофирами и их туфами, заполняющими ядерную часть структуры.

Тела медно-цинковых колчеданных руд имеют форму плоских изометричных в плане линз. Мощность тел колеблется от единиц до нескольких десятков метров. Текстура руд густовкрапленная, в лежащем боку рудных тел развита вкрапленность рудных минералов. Рассеянная пиритизация широко распространена в породах и ниже, и выше рудных тел. Участок на большей площади закрыт наносами мощностью до 10—20 м. Какой-либо связи оруде-нения с крупными интрузиями кислого состава на участке не наблюдается.

Геолого-геофизические исследования на участке рудного поля проведены Челябинским геологоразведочным трестом [111, 112].

Физические свойства пород рудного поля изучались на образцах керна скважин. Большинство пород надрудной и подрудной толщ слабо магнитны и имеют плотность 2,64—2,72 г/см³. К магнитным породам относятся диабазы и диабазовые порфиры со средней магнитной восприимчивостью около $2000 \cdot 10^{-6}$ СГС. Диабазы имеют также избыточную плотность по отношению к вмещающим породам до 0,3 г/см³. Поляризуемость всех указанных пород при отсутствии вкрапленности сульфидов не превышает 2,5%. Образцы колчеданных руд немагнитны, их плотность для сплошных разностей достигает 4,3—4,5 г/см³, а для вкрапленных — 3,0 г/см³. Средняя кажущаяся поляризуемость промышленных руд составляет 30%, поляризуемость окружающих их ореолов вкрапленников — 15—20%. Широкие ореолы гидротермально измененных пород с вкрапленностью сульфидов с объемным содержанием их до 5—10% обладают поляризуемостью 10—20% и избыточной плотностью 0,1—0,2 г/см³, что позволяет применять методы ВП и гравиразведки наряду с магнитометрией для картирования пород рудного поля.

Металлометрической съемкой в центре рудного поля (рис. 25) выявлены ореолы повышенной концентрации меди, цинка, свинца и серебра. На большей территории участка вне рудного поля наблюдаются ореолы одного, реже двух металлов. Комплексный ореол трех основных металлов — меди, цинка и свинца — установлен только на рудном поле, на барит-бурожелезняковом рудопроявлении. Зона сульфидной минерализации на рудном поле выявлена методом вызванной поляризации, аномалией интенсивностью до 3% при фоне поляризуемости вмещающих пород до 1,5—2,5%.

На плане изодинам вертикальной составляющей магнитного поля породы зеленокаменной полосы отмечаются положительными значениями (до 50—150 гамм), тогда как в пределах рудного

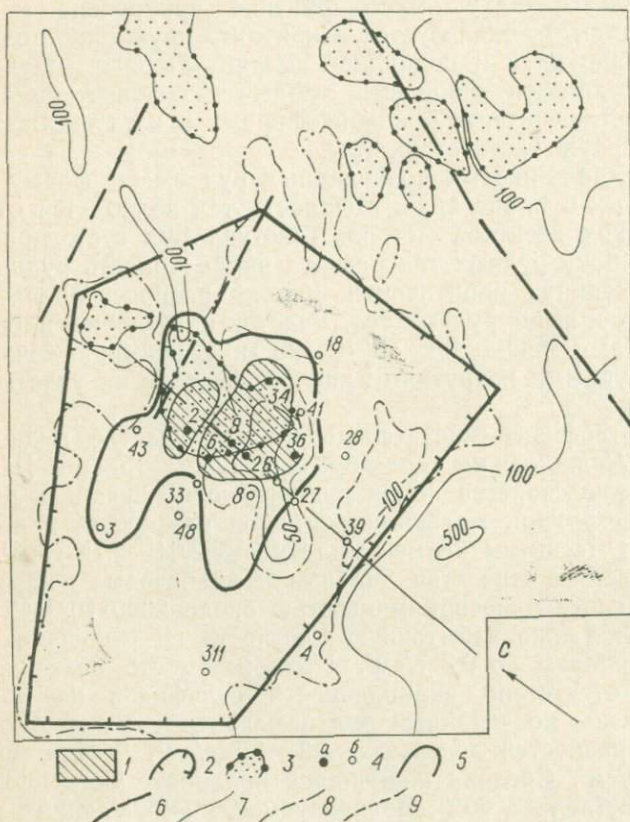


Рис. 25. Результаты геофизических исследований в эффузивно-осадочных породах зеленокаменной формации Урала на Александринском рудном поле (по материалам Челябинского геологоразведочного треста).

1 — проекции рудных тел; 2 — проекция предполагаемой фигуры рудного поля; 3 — ореолы меди, свинца и цинка в рыхлых отложениях; 4 — скважины рудные (а) и безрудные (б); 5 — контур аномалии кажущейся поляризуемости; 6 — тектонические нарушения; изодинамы вертикальной составляющей напряженности магнитного поля, гаммы; 7 — положительные, 8 — нулевая, 9 — отрицательные.

поля (см. рис. 25) наблюдаются пониженные спокойные отрицательные магнитные поля, охватывающие площадь, значительно большую контура промышленных рудных тел. На фоне отрицательного поля выделяются высокие положительные аномалии интенсивностью до 200—500 гамм над телами диабазов и габбро-диабазов. На рис. 26 приведены графики приращения ускорения

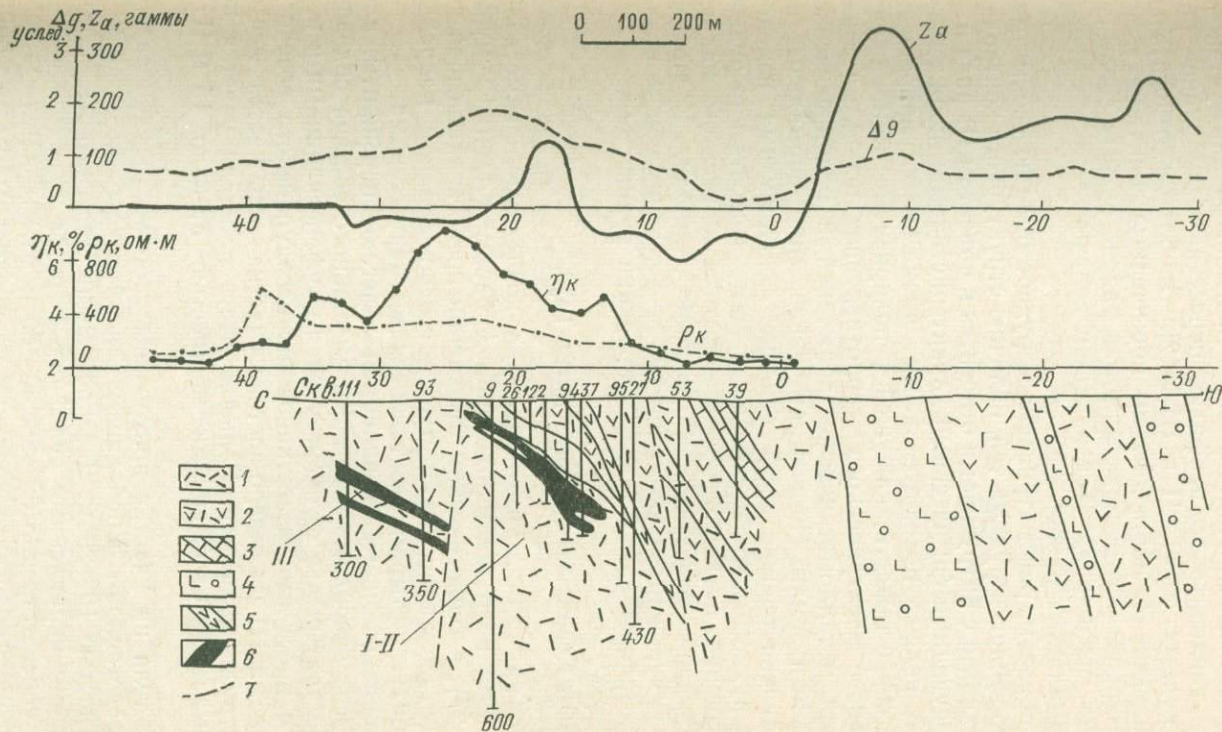


Рис. 26. Результаты исследований методами вызванной поляризации, грави- и магнитометрии вдоль профиля на Александринском месторождении (по О. М. Шаповалову).

1 — альбитофилы и их туфы; 2 — андезитовые, дацитовые порфиры; 3 — известняки; 4 — диабазы и их туфы; 5 — дайки габбро-диабазов; 6 — рудные тела; 7 — тектонические нарушения.

силы тяжести Δg , вертикальной составляющей напряженности магнитного поля Z_a , кажущейся поляризуемости η_k и кажущегося удельного электрического сопротивления ρ_k для установок срединного градиента по профилю, пересекающему рудное поле в районе рудных тел I—II и III [112]. В области относительно низких значений Z_a наблюдаются повышенные величины кажущейся поляризуемости с максимумом в районе рудных залежей и возрастание графика ρ_k . Над рудными залежами также отмечается и аномалия на кривой Δg .

Таким образом, рассматриваемое рудное поле по своим масштабам, морфологии рудных тел, наличию структурного контроля и отсутствию связи с интрузивами относится к объектам III рода и обладает следующими физическими характеристиками: пониженным магнитным полем, положительными аномалиями приращения ускорения силы тяжести, кажущейся поляризуемости и кажущегося удельного электрического сопротивления пород, а также комплексной металлометрической аномалией и рудопроявлением на поверхности земли. По-видимому, появление аномальных полей обусловлено прежде всего влиянием околорудных измененных пород рудного поля, и в меньшей степени собственно рудных тел. Размещение последних контролируется контактом надрудной и подрудной толщ в ядре брахиантиклинали. К этой же структуре приурочены и аномалии ВП и Δg , занимающие в плане большую площадь, чем контуры проекции рудных тел.

Центральный Казахстан (район Чингиз-Тау)

Участок, на котором находятся два колчеданно-полиметаллических рудных поля месторождений Акбастау (А) и Кусмурун (Б) (рис. 27), в геологическом отношении представляет собой антиклинальную складку, вытянутую в северо-западном направлении и разбитую четырьмя тектоническими нарушениями.

В центральной части антиклинали залегают порфириты, альбитофиры и мелкообломочные туфы смешанного состава ордовикского возраста. Крылья складок сложены туфопесчаниками и песчаниками с прослоями известняков нижнесилурийского возраста. Вдоль разлома III на северо-востоке участка обнажается ленто-видная интрузия диоритов. Большая часть площади участка перекрыта рыхлыми отложениями мощностью от 3 до 15 м [115, 116].

Рудные тела на участке приурочены к зонам рассланцевания пород и представляют собой линзы длиной до первых сотен метров и мощностью 10—20 м. Распространены агрегативные, густо-вкрапленные и вкрапленные сульфидные руды с содержаниями сульфидов соответственно 60—90, 30—60 и до 30%. Рудные тела месторождения Акбастау в проекции на продольный разрез образуют три самостоятельные характерные веерообразные фигуры. В пределах рудных полей вмещающие породы значительно гидро-

термально изменены: окварцованы, ожелезнены и осветлены. На поверхности земли в ряде мест выступают в виде холмов вторичные кварциты. Измененные породы вокруг рудных тел несут обильную пиритовую минерализацию. В рудах содержатся пирит,

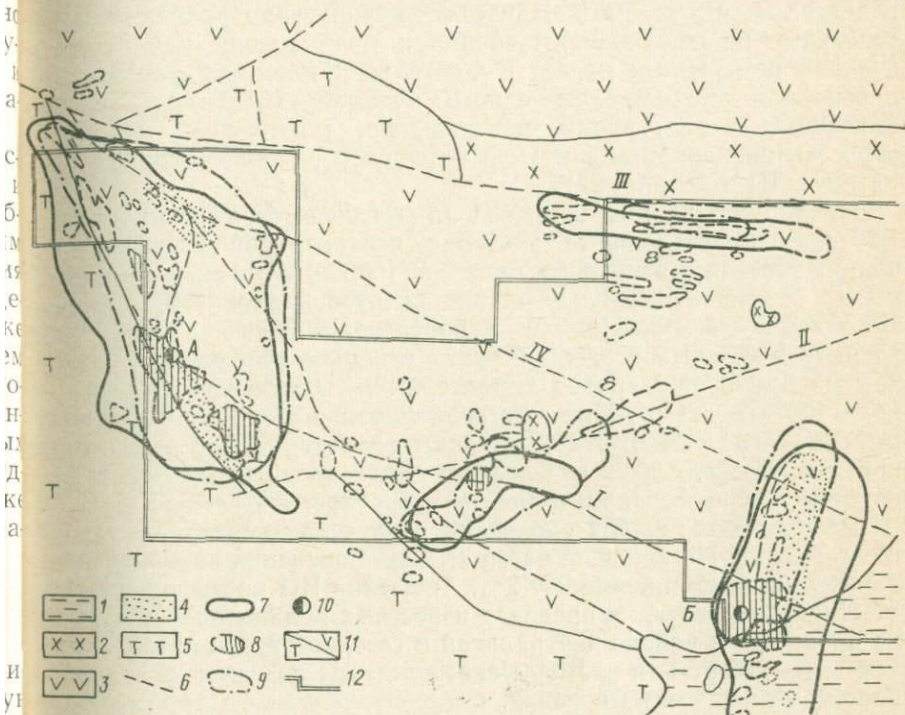


Рис. 27. План геофизических и геохимических аномалий на рудных полях в Казахстане (по А. М. Ярославцеву).

1 — четвертичные отложения; 2 — диориты; 3 — эффузивные породы смешанного состава; 4 — вторичные кварциты и гидротермально измененные породы; 5 — туфогенно-осадочные породы; 6 — крупные разломы; 7 — зоны низких спокойных магнитных полей; 8 — геохимические ореолы (комплексные ореолы заштрихованы); 9 — зоны аномалий БП; 10 — месторождения; 11 — геологические границы; 12 — контур площади, изученной методом БП; проекции предполагаемых фигур рудных полей месторождений А и Б совпадают с зонами низких магнитных полей.

халькопирит, сфалерит, галенит, ковеллин и борнит; из жильных минералов — барит и кварц.

Месторождения Акбастау и Кусмурун размещены в зоне крупного разлома I (который является главной структурой участка) в местах его пересечения с субмеридиональными тектоническими нарушениями и по масштабу и морфологии относятся к рудным полям II рода, причем первое является многокорневым.

Геофизические исследования на участке рудных полей велись сотрудниками Центральноказахстанской геофизической экспедиции (А. К. Аузин, А. М. Ярославцев), а позднее Южноказахстан-

ской (А. А. Хорсов) и Алтайской геофизическими экспедициями (О. А. Евстигнеев и другие).

Металлометрической съемкой выявлен ряд ореолов рассеяния меди и свинца, обычно небольших по площади и тяготеющих к определенным структурам. Наиболее крупные по размерам и интенсивные по содержаниям свинца и меди ореолы наблюдаются в зонах измененных пород. На остальной площади фиксируются в основном лишь ореолы одного металла. Их можно условно объединить в две группы: центральную, тяготеющую к области пересечения разломов I и II, и северную, расположенную в зоне разлома III (см. рис. 27).

На той же площади проведена магнитометрическая съемка. Высокие положительные значения вертикальной составляющей напряженности магнитного поля до 1000—1200 гамм установлены на северо-востоке участка над интрузией диоритов, частично выходящей на поверхность и протягивающейся на небольшой глубине к югу. На остальной части площади участка для неизмененных вмещающих пород характерны положительные магнитные поля 100—400 гамм. Низкими спокойными отрицательными полями (до —100 гамм) отмечены зоны гидротермально измененных пород в пределах двух известных рудных полей и в районах двух крупных групп металлометрических ореолов.

Работы методом ВП проведены в пределах контура, указанного на рис. 27. На большей части площади значения кажущейся поляризуемости не превышают 2%. Аномалии ВП интенсивностью до 5—25% установлены в пределах известных рудных полей, а также на площадях в районе центральной и северной групп ореолов, причем интенсивность и размеры аномалий ВП на известных рудных полях больше, чем на ореолах.

Отмеченные аномалиями ВП зоны сульфидной минерализации не фиксируются методом естественного электрического поля. Исключение составляет одно из неглубоко лежащих рудных тел месторождения Акбастау, где установлена аномалия естественного электрического поля интенсивностью до 80 мВ.

Из приведенных материалов видно, что рассмотренные рудные поля II рода характеризуются: обширными отрицательными спокойными магнитными полями и областями повышенных значений кажущейся поляризуемости, охватывающими всю площадь гидротермально измененных пород вокруг рудных скоплений. Наиболее интенсивные комплексные ореолы рассеяния металлов пространственно размещены внутри контуров аномальных площадей методами магнитометрии и ВП. Для аномалий ВП и магниторазведки характерны километровые размеры, особенно по простиранию.

Характерно также, что на рудном поле месторождения Акбастау аномалии геофизических методов приурочены к блоку пород, ограниченному с севера разломом IV, а с юго-запада контактом пород силура и ордовика. Вдоль этого же контакта расположены и металлометрические ореолы, а также полоса яшмокарцитов.

На втором рудном поле размещение геофизических аномалий и рудных тел контролируется тектоническими нарушениями I и IV и секущим их меридиональным разломом. На рудных полях, а также на центральной группе геохимических ореолов не устанавливается связи между морфологией геофизических аномалий и интрузиями. Только на северной группе ореолов имеющиеся там геофизические аномалии вытянуты вдоль выхода интрузии диоритов, что характерно для рудных полей I рода.

Узбекистан

Рудное поле в Узбекистане, включающее известное Алмалыкское месторождение меднопорфирового типа, находится в северном блоке Алмалыкского рудного района площадью 800 км², расположенного на северных склонах Кураминского хребта. Данное рудное поле не относится к колчеданно-полиметаллическому типу и рассматривается ниже в качестве примера, подтверждающего некоторую общность геологических и геофизических характеристик рудных полей колчеданно-полиметаллического и иных типов.

Геолого-геофизическое изучение Алмалыкского рудного района проведено сотрудниками Узбекского геофизического треста и треста Ташкентгеология Н. Б. Вольфсоном, А. Г. Хваловским, В. И. Могильниковым и другими под руководством В. Г. Гарьковца. Алмалыкский рудный район слагают преимущественно интрузивные и эффузивные породы и известняки. Район разделен на три крупных блока (северный, центральный и юго-восточный), расчлененные Бургундинским и Мисканским разломами. Рассматриваемое рудное поле (рис. 28) принадлежит к северному блоку, большая часть площади которого занята телом сиенитов с вплавленными в него ксенолитами известняков верхнедевонского возраста и телами кварцевых порфиров. В центральной части участка сиениты подстилаются и местами прорываются штоками нижнепермских гранодиорит-порфиров. Сиениты вокруг штоков и на некоторой окружающей их площади сильно изменены гидротермальными постмагматическими растворами: обелены, ожелезнены и местами пиритизированы. Гранодиорит-порфиры штоков изменены в значительно меньшей степени, местами они свежие. На контактах штоков и измененных сиенитов и наблюдается медно-порфировое с молибденом или медно-магнетитовое оруденение. Сопоставление геофизических материалов с данными буровой разведки и имеющимися сведениями о геологическом строении района привело его исследователей [12, 13, 18] к выводу о присутствии на участке рудного поля обширной глубинной интрузии гранодиорит-порфиров, вызвавшей интенсивную гидротермальную проработку сиенитов, слагающих ее кровлю, и последующую рудную минерализацию.

По-видимому, мы имеем здесь дело с типичным рудным полем I рода, образовавшимся в экзоконтакте интрузии гранодиорит-

порфиров, частично вскрытой в своих верхних, выступающих частях-штоках (см. рис. 28).

По характеру и величине магнитных полей участок рудного поля можно разделить на две области. Первая, сложенная измененными сиенитами, кварцевыми порфирами и штоками гранодиорит-порфиров, расположена в центральной части блока и ха-

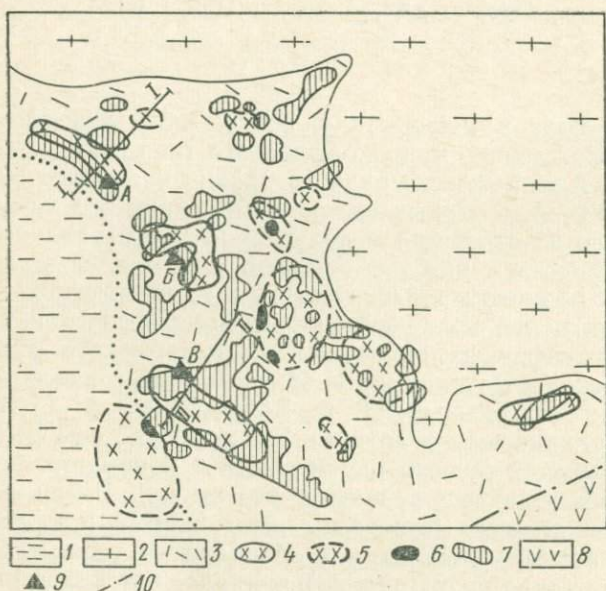


Рис. 28. Схема геологического строения участка Алмалыкского рудного поля (по Н. Б. Вольфсону, В. Г. Гарьковцу и А. Г. Хваловскому).

1 — рыхлые отложения; 2 — сиениты; 3 — гидротермально измененные породы рудного поля; 4 — контуры известных штоков гранодиорит-порфиров; 5 — контуры штоков гранодиорит-порфиров по геофизическим данным; 6 — участки, в пределах которых при обследовании геофизических аномалий выявлены выходы штоков гранодиорит-порфиров; 7 — ореолы рассеяния меди; 8 — эффузивы; 9 — медно-молибденовые месторождения (А, Б, В); 10 — разлом: I—I и II—II — профили.

рактеризуется спокойными низкими главным образом отрицательными магнитными полями. Контур области отрицательного аномального магнитного поля соответствует границам области гидротермально измененных пород. Вторая область, окаймляющая первую, совпадает с площадью распространения неизмененных сиенитов и характеризуется положительными достаточно высокими (до 500—1000 гамм и выше), резко меняющимися по площади магнитными полями. Как показало петрографическое изучение образцов пород, высокие значения магнитного поля над неизмененными сиенитами вызваны присутствием в последних акцессорного магнетита, в то время как в гидротермально измененных сиенитах магнетит переходит в немагнитные разности окислов железа.

В области низких величин магнитного поля над измененными сиенитами наблюдаются аномалии кажущейся поляризуемости, достигающие 10—25% и занимающие значительные площади. Большая часть из них обусловлена широко развитой в районе пиритизацией в гидротермально измененных сиенитах. Например, на участке к востоку от месторождения *В* и к северу от разлома (см. рис. 28) на всей площади с пониженным магнитным полем над измененными сиенитами наблюдается аномалия ВП. Скважины, глубиной до 300—350 м, заданные по аномалиям ВП на этом участке, на всем своем протяжении вскрывают вкрапленность пирита, не сопровождающуюся медной минерализацией. На неизмененных сиенитах наблюдается нормальный фон кажущейся поляризуемости, не превышающий 2—3%. Интенсивные локальные аномалии ВП установлены над известными рудными зонами Алмалыкского месторождения.

Область с пониженными значениями магнитного поля и аномалиями ВП не связана с какой-либо одной определенной структурой во вмещающих сиенитах и занимает лишь часть площади распространения сиенитов. В то же время, вне аномальной площади не известны штоки гранодиорит-порфиров. Все вышесказанное позволяет утверждать, что область распространения рудного поля I рода контролируется поверхностью интрузии гранодиорит-порфиров.

Известная в районе меднопорфировая промышленная минерализация контролируется областями контактов штоков гранодиорит-порфиров и вмещающих сиенитов. Все известные на площади рудного поля медные месторождения и рудопроявления, а также все ореолы рассеяния меди в делювии приурочены к экзоконтактовым участкам вскрытых эрозией или слепых штоков (см. рис. 28). Установлено, что над минерализованными штоками на фоне пониженных в основном отрицательных магнитных полей отмечаются слабые положительные локальные магнитные аномалии или непосредственно над штоками, магнитная восприимчивость которых в результате слабой гидротермальной проработки остается высокой, или в их экзоконтактах, как для штока *А* (рис. 29). В последнем случае магнитные аномалии выделяют зону медно-магнетитовой минерализации, содержащую до 10% магнетита гидротермального происхождения. На месторождении *А* это подтверждается высокими значениями магнитной восприимчивости рыхлых отложений и значительными содержаниями меди в делювии в пределах магнитной аномалии.

На месторождениях *Б* и *В* локальная магнитная аномалия соответствует контуру проекции штока гранодиорит-порфиров; над рудными зонами меднопорфировых руд отмечены низкие значения магнитной восприимчивости рыхлых отложений, аномалии ВП и ореолы меди, размещающиеся по периферии слабых магнитных аномалий. Само оруденение, так же как и в первом случае, располагается в экзоконтактах штоков. Приуроченность ло-

кальных аномалий ВП к периферии слабых магнитных аномалий, как на месторождении В, или их совмещение с магнитными аномалиями, как на месторождении А, служит указанием на связь их с медной минерализацией и позволяет отбраковывать аномалии ВП, вызванные площадной пиритизацией, характерной для рудного поля I рода.

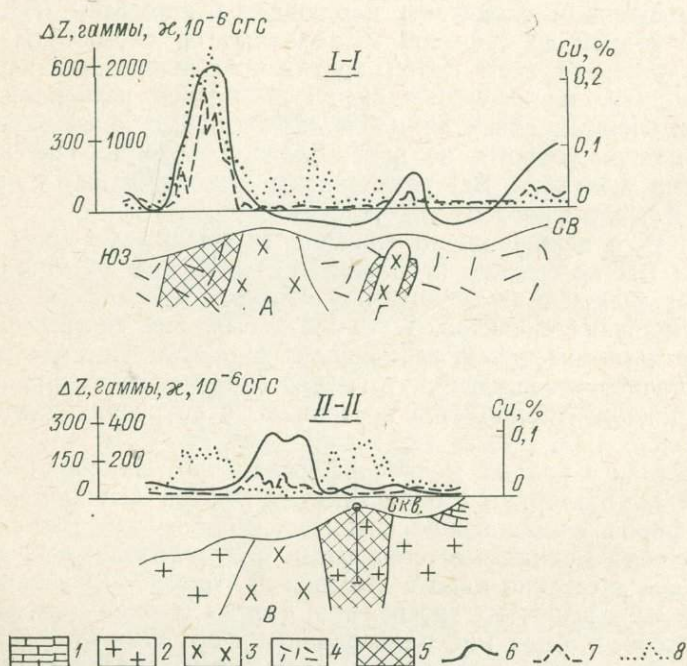


Рис. 29. Результаты геофизических работ на профилях Алмалыкского месторождения (по В. Г. Гарьковцу и А. Г. Хваловскому).

1 — известняки; 2 — кварцевые порфиры; 3 — штоки гранодиорит-порфиров (А, В, Г); 4 — гидротермально измененные спениты; 5 — рудные зоны; 6 — графики вертикальной составляющей напряженности аномального магнитного поля; 7 — графики величины магнитной восприимчивости пород; 8 — графики содержания меди в делювии; I и II — профили, указанные на рис. 28.

Таким образом, рассмотренное выше рудное поле меднопорфирового типа I рода характеризуется теми же чертами, что и подобные им поля колчеданно-полиметаллического типа: понижением магнитной восприимчивости гидротермально проработанных пород, не несущих магнетитовой минерализации, повышенной поляризуемостью измененных пород и контролем со стороны штоков гранодиорит-порфиров над размещением ореолов меди и аномалий ВП над ними. При этом выходы слепой интрузии гранодиорит-порфиров, в экзоконтакте которой развилось рудное поле, картируются повышенными положительными магнитными полями.

Рассматриваемое рудное поле приурочено к участку экзоконтакта Акшийрак-Сарыджазского массива биотитовых гранитов, сложенному гидротермально измененными известняками, песчаниками, алевролитами среднего карбона. Породы карбона образуют моноклиналиную складку с простираaniem $60-70^\circ$ и падением на северо-запад с углами $25-30^\circ$ (рис. 30). Вдоль контакта с гранитным интрузивом породы превращены в роговики и скарноиды [54]. Гранитный массив сопровождается многочисленными жилами аплитов, гранитов, гранит-порфиров. Многие жилы секут роговики и осадочные породы, скарнируя их. Местами на скарны и роговики наложена более поздняя гидротермальная кварц-турмалин-флюорит-касситеритовая минерализация с незначительным количеством сульфидов, иногда с промышленными содержаниями олова.

Роговики и скарноиды вдоль контакта массива гранитов образуют полосу шириной до 2 км. Вдоль всей полосы, на некотором расстоянии от контакта с интрузией, наблюдается пиритизация роговиков и менее измененных осадочных карбоновых пород. Полоса роговиков и скарноидов с пиритовой минерализацией является случаем ореольного бескорневого рудного поля I рода.

Акшийрак-Сарыджазский гранитный массив отличается от вмещающих пород пониженными величинами плотности и магнитной восприимчивости. Отрицательные гравитационные и магнитные аномалии протягиваются над массивом полосой вдоль его северного контакта с роговиками и перекрывающими их неизмененными осадочными породами, позволяя картировать положение контакта, скрытого позднейшими отложениями (см. рис. 30).

Роговики в непосредственной близости от контакта с гранитами имеют повышенное удельное электрическое сопротивление. Оно уменьшается по направлению от контакта (рис. 31).

Аномалия кажущейся поляризуемости, отражающая распространение сульфидной минерализации, прослежена в виде полосы шириной до 2 км, протягивающейся вдоль контакта гранитного массива на расстоянии 10 км. По простираанию аномалия не оконтурирована и, вероятно, протягивается и дальше вдоль контакта массива.

Таким образом, на этом рудном поле I рода в Киргизии мы наблюдаем характерные особенности физических полей, свойственные и для других рудных полей I рода: повышенные поля кажущейся поляризуемости и кажущегося удельного сопротивления, наблюдаемые над полосой приконтактных измененных пород, контроль размещения геофизических аномалий морфологией кровли интрузива, размеры геофизических аномалий, сопоставимые с размерами интрузии.

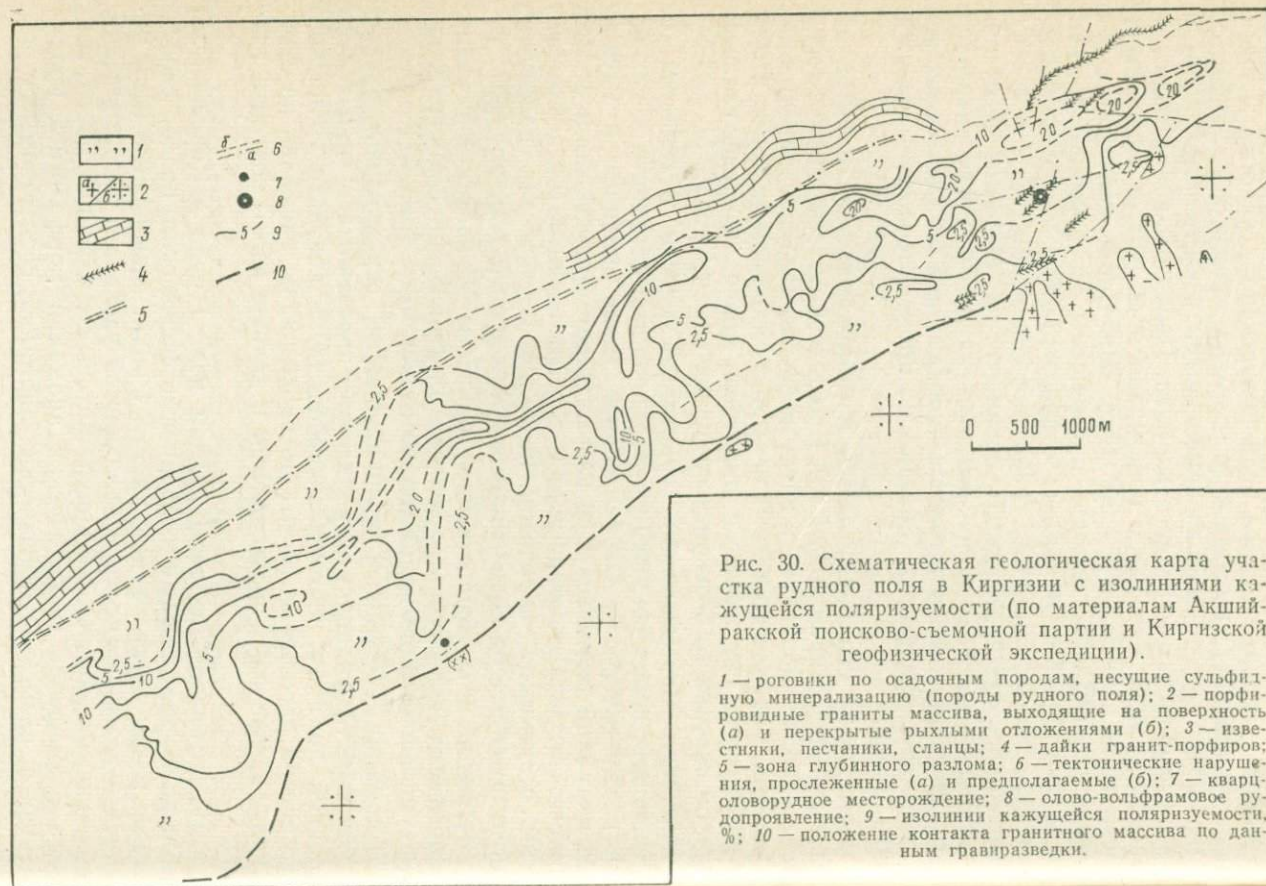


Рис. 30. Схематическая геологическая карта участка рудного поля в Киргизии с изолиниями кажущейся поляризуемости (по материалам Акиш-ракской поисково-съёмочной партии и Киргизской геофизической экспедиции).

1 — роговники по осадочным породам, несущие сульфидную минерализацию (породы рудного поля); 2 — порфировидные граниты массива, выходящие на поверхность (а) и перекрытые рыхлыми отложениями (б); 3 — известняки, песчаники, сланцы; 4 — дайки гранит-порфиров; 5 — зона глубинного разлома; 6 — тектонические нарушения, прослеженные (а) и предполагаемые (б); 7 — кварц-оловорудное месторождение; 8 — олово-вольфрамовое рудопроявление; 9 — изолинии кажущейся поляризуемости, %; 10 — положение контакта гранитного массива по данным гравirazведки.

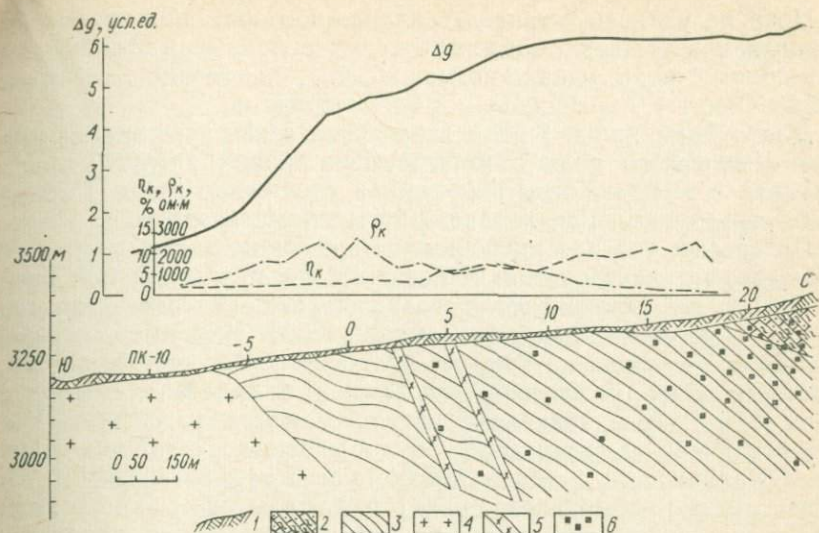


Рис. 31. Геологический разрез через рудное поле в Киргизии с результатами геофизических работ (по Ю. Б. Старостину).

1 — делювиальные отложения; 2 — известняки и сланцы, песчаники, алевролиты; 3 — роговики по осадочным породам с сульфидной минерализацией (породы рудного поля); 4 — порфиридные граниты; 5 — дайки гранит-порфиров; 6 — сульфидная минерализация.

§ 3. ОБОБЩЕННЫЕ ОБРАЗЫ РОДОВ РУДНЫХ ПОЛЕЙ

Собранные данные позволяют считать, что для рудных полей I рода характерны первичные ореолы пирита (т. е. железа и серы). Реже встречаются ореолы других элементов — меди, молибдена, свинца и цинка, образующие, как правило, бесформенные скопления; в ряде случаев (как, например, в районе Тушканихинского месторождения) ореолы развиваются на неблагоприятных для рудоотложения породах и не контролируются структурами или составом вмещающей среды.

В пределах рудных полей встречаются мелкие рудные тела, которые контролируются структурами или другими особенностями вмещающей среды (трещиноватостью, разломами или литологией), но, как правило, они не имеют промышленного значения (например, участок Южный в районе Чингиз-Тай).

Для рудных полей I рода чаще всего характерны аномалии кажущейся поляризуемости, а также положительные локальные магнитные поля и высокие значения кажущегося удельного электрического сопротивления пород. При этом повышенные магнитные поля создаются не измененными породами рудного поля, а подстилающими их интрузивными массивами. Измененные же породы, как правило, немагнитны и способны иногда создавать даже отрицательные аномалии магнитного поля, как, например, на Алмалыкском участке.

Пока не удалось установить каких-либо особенностей гравитационных и естественных электрических полей, свойственных рудным полям I рода, однако возможно, что это связано только с недостаточностью имеющихся у нас материалов.

Для рудных полей I рода характерна связь картины аномального физического поля с морфологией кровли интрузии или ее контакта с вмещающими породами и отсутствие связи с локальными структурами или литологией вмещающей среды.

Интересно, что рассмотренные выше общие черты геолого-геофизических характеристик встречаются на рудных полях, расположенных на экзоконтактах гранитоидных массивов, имеющих разную эндогенную рудную минерализацию. Например, в районе Каройского массива на Южном Алтае известны месторождения и рудопроявления медно-пирротинового и полиметаллического состава [52]. С Акшийракским гранитным массивом связано Учкешонское кварц-касситеритовое месторождение. На одном из участков Калбинского хребта (Казахстан) с рудным полем I рода связано медно-молибденовое [52], а в Алмалыкском районе медно-порфировое оруденение и т. д. Это обстоятельство наводит на мысль о существовании единого типа механизма, присущего ранней стадии послепорфировой деятельности, который отличается от процессов гидротермального рудообразования, характерных для более поздних стадий развития магматических очагов.

Следует добавить, что рассматривая рудные поля I рода, П. Ф. Иванкин [32] считает, что в будущем с совершенствованием технологии обогащения руд эти поля в ряде случаев могут стать крупными источниками сырья для предприятий цветной металлургии. Видимо, для цветных металлов (свинца, цинка, меди) рудные поля I рода по своему значению могут приблизиться к месторождениям меднопорфировых руд, из которых, как известно, добывается больше половины меди. Отсюда следует, что геолого-геофизические поиски, оконтуривание и изучение рудных полей I рода могут уже в близком будущем оказаться делом первой необходимости.

Необходимо отличать региональные аномалии ряда методов, прежде всего метода ВП, связанные с рудными полями I рода или с другими геологическими объектами, в частности с массивами серпентинитов, филлитовыми сланцами, с крупными зонами разломов и др. Надо сказать, что геофизические приемы для такого разделения пока не разработаны.

Для рудных полей II и III рода характерны первичные ореолы не менее чем из трех химических элементов: меди, свинца, цинка, серебра, бария и др. Размеры первичных ореолов в плане, как правило, составляют от $1 \times 0,3$ до 3×1 км. Размещение ореолов контролируется структурными или литологическими особенностями вмещающей среды.

Практически все рудные поля II и III рода находят отражение в аномалиях кажущейся поляризуемости с такими же размерами,

как и первичные ореолы; размещение их также более или менее четко контролируется структурными или литологическими особенностями вмещающей среды.

Для значительной части рудных полей II и III рода характерны локальные понижения магнитного поля, низкие значения удельного электрического сопротивления пород (за исключением случаев, когда рудные поля II рода наложены на поля I рода), а также локальные остаточные положительные гравитационные аномалии и отрицательные естественного электрического поля, причем для рудных полей II рода (особенно многокорневых) более характерны локальные аномалии естественного поля II порядка, а для рудных полей III рода — аномалии I порядка.

Рудным полям II и III рода не свойственна связь формы и размещения аномалий с морфологией кровли крупных интрузивных тел. Важной особенностью геофизических аномалий на рудных полях III рода является их изолированное положение, пространственная разобщенность с региональными аномалиями, обусловленными рудными полями I рода. Наложение аномалий от рудных полей разных родов наблюдается достаточно часто для полей II рода, примером чего может служить Тушканихинское месторождение.

Из вышесказанного вытекает, что различия в термодинамических условиях отделения и распространения рудообразующих растворов, сказывающиеся на геологических особенностях рудных полей разных родов [27, 31], приводят к заметным различиям в геофизических характеристиках, наблюдаемых на рудных полях разных родов.

ВЫВОДЫ

Рудные поля колчеданно-полиметаллического типа разных родов как нечто целое отражаются в совокупности наблюдаемых над ними физических полей, т. е. существуют геофизические образы рудных полей.

Геофизические образы рудных полей I рода отличаются от образов рудных полей II и особенно III рода. Это позволяет отыскивать для определенных металлогенических провинций геофизические поисковые и классификационные признаки рудных полей разных родов, которые могут быть использованы, в частности, для промышленной оценки площадей, опосредованных комплексом геолого-геофизических методов.

В поле ВП и полях некоторых других геофизических методов находят отражение подавляющее большинство рудных полей колчеданно-полиметаллического типа всех родов. По-видимому, метод ВП наиболее пригоден для отыскания рудных полей.

КЛАССИФИКАЦИОННЫЕ ПРИЗНАКИ РУДНЫХ ПОЛЕЙ

Выше показано, что геофизические образы рудных полей разных родов различны. Покажем теперь, как могут быть определены характерные признаки, позволяющие по их совокупности классифицировать рудные поля по родам так, чтобы указанное различие можно было выразить количественно.

Классификация рудных полей по родам в геологоразведочном производстве необходима при оценке рудоносности площадей, опоискованных комплексом геологических, геофизических и геохимических методов. Известные методы количественной прогнозной оценки опоискованных площадей заключаются в выборе и совместном учете признаков оруденения. Несмотря на большое число опубликованных работ, создание методики количественного прогнозирования наличия и экономической ценности месторождений на опоискованных площадях еще не завершено [6].

§ 1. ВЫБОР ПРИЗНАКОВ

В литературе по количественной оценке опоискованных площадей, как правило, рассматриваются только положительные признаки, несущие, по мнению авторов исследований, информацию о наличии оруденения. Признаки, указывающие на отсутствие оруденения, чаще всего в расчет не принимаются. При выборе признаков смешиваются понятия о благоприятной геологической обстановке (критериях) и о фактических признаках наличия процесса оруденения [48]. Общепринятой методики выбора признаков пока не разработано. В большинстве случаев они отбираются субъективно. В ряде работ предлагается формальный выбор признаков, без учета их геологической связи с оруденением (например, геоморфологические признаки). Методика формального выбора большого числа критериев и признаков в надежде позднее установить их информативность с помощью ЭВМ и отбраковать малоинформативные, как это сделано, например, Я. Ш. Флаксом [109], представляется малообоснованной и требующей лишних затрат труда и наличия многих эталонов для оценки информативности признаков.

По-видимому, правильнее выбирать критерии и признаки оруденения, анализируя литературные источники о закономерностях

размещения и проявления месторождений определенного генетического типа и отбирая те из них, которые наиболее часто попадали в поле зрения различных исследователей. Представляется также предпочтительным оценивать разной мерой критерии и признаки оруденения. Действительно, геологическая обстановка не является собственным качеством рудного поля или месторождения. Вместе с тем очевидно, что та или иная площадь не может быть правильно оценена без учета существующей на ней геологической обстановки, в которой, возможно, формировалось рудное поле.

Многие исследователи отмечают закономерности в распределении запасов по размерам месторождений и рудных тел. Так, В. И. Красников [46] отмечает, что 65% запасов рудных месторождений заключены в 7% главных, крупнейших месторождений. Б. Б. Евангулов [24] для оловянных месторождений Дальнего Востока установил, что около 75% всех запасов в четырех рудных районах сосредоточены в 2—8 месторождениях, что составляет 20—30% от их общего числа, причем в каждом из крупных месторождений олово содержится в немногих основных телах (10—30% от общего числа тел). По-видимому, можно согласиться с Б. Б. Евангуловым, что такое статистически установленное распределение запасов по главным месторождениям и основным рудным телам является отражением закона природы: сочетание всех благоприятных для рудообразования факторов встречается редко, но зато обеспечивает образование мощных скоплений руд.

К. И. Сатпаев [83] считал, что благоприятные для рудоотложения цветных металлов условия возникают при сочетании на одной и той же площади первично расслоенной эффузивно-осадочной среды, разрывных и складчатых структур и определенных магматических формаций. В случаях, когда в такой благоприятной обстановке протекают гидротермальные постмагматические процессы достаточного масштаба, возникают рудные месторождения.

В связи с изложенным, мы руководствовались следующими соображениями относительно критериев и признаков оруденения.

1. Поисковые признаки надо учитывать только на площадях с положительными геологическими критериями. Прочие участки исключаются из дальнейшей прогнозной оценки.

2. При оценке площадей по поисковым признакам целесообразно подразделить последние на обязательные и дополнительные. Например, в процессе формирования сульфидных колчеданно-полиметаллических рудных полей обязательно образование первичных сульфидных ореолов. Следовательно, проявление сульфидного ореола в геофизических полях можно рассматривать как необходимый или обязательный признак. Поэтому результаты поисковых работ, подлежащие оценке, должны включать материалы, полученные соответствующими обязательными методами. Территории, на которых в результате полноценной съемки не будет установлено обязательного признака, можно исключить из дальнейшей оценки.

3. Наличие обязательных признаков — необходимое, но недостаточное условие для существования месторождения и для положительной оценки площади, так как в пределах рудных районов, в частности на Рудном Алтае, проявления рудной минерализации могут относиться к разным рудным формациям, для большей части из которых не известно промышленных месторождений. Среди объектов даже потенциально перспективной рудной формации могут быть рудные проявления разных масштабов и с разными содержаниями полезных компонентов. Поэтому должны быть установлены и оценены дополнительные признаки, характерные для рудных полей I, II и III рода и все объекты с обязательными признаками должны быть разбракованы по родам рудных полей на основе комплексной оценки этих дополнительных признаков. Площади с заведомыми рудными полями I рода могут быть исключены из дальнейшего рассмотрения. Участки, включающие рудные поля II и III рода подлежат детальному оповеданию на наличие рудных тел и оценки их масштаба.

4. Необходимо отбирать признаки, характеризующие не только наличие, но и возможный масштаб оруденения. Некоторые исследователи отмечали, что размеры рудных тел связаны с размерами их первичных ореолов, которые могут служить признаком масштаба месторождений. Ю. В. Синдяев и автор [97, 101] указывают такую же связь размеров рудных тел и аномалий ВП на колчеданно-полиметаллических месторождениях. В связи с этим размеры геофизических аномалий и ореолов рассматриваются как возможные признаки масштаба рудных полей.

5. В. Г. Соловьев, В. М. Крейтер и многие другие считают, что на каждом месторождении имеется одна главная рудовмещающая структура. Известно, однако, что отнюдь не все сходные структуры рудоносны и что многие рудоносные структуры несут оруденение лишь в какой-то своей части. По-видимому, благоприятную структуру на ограниченной площади можно рассматривать как признак, но только в сочетании ее с другими признаками оруденения. Например, благоприятная для рудоотложения структура в пределах первичного сульфидного ореола — уже не просто благоприятный критерий, а дополнительное указание на место возможного оруденения, т. е. поисковый признак.

К. Н. Озеров [62] указал, что практически все месторождения Урала лежат в толщах альбитофиров и их туфов. По П. Ф. Иванкину [30], большинство месторождений Рудного Алтая также расположены в альбитофирах и их туфах таловской свиты среднего девона. По-видимому, благоприятный литологический горизонт при наличии прямых признаков оруденения (ореола, аномалии ВП) также можно рассматривать как поисковый признак, так как при прочих равных условиях такой горизонт является местом наиболее вероятного размещения оруденения. Вообще в ряде случаев сочетание на ограниченной площади критерия и поискового признака расценивалось нами как самостоятельный признак.

Фактические данные о характере физических полей на рудных полях приведены в главе II, кроме того, некоторые сведения о них даны в сводной табл. 1.

Анализ литературных источников, обобщающих условия рудоотложения в тех или иных районах, позволил установить критерии и признаки, наиболее часто попадавшие в поле зрения разных исследователей. К этому были добавлены наши данные о геофизических образах рудных полей. В результате было отобрано около 70 геологических, геохимических и геофизических критериев и признаков, информативность которых определялась уже конкретно для рудных полей разных родов Рудного Алтая как наиболее изученного района. (Здесь и ниже под «информативностью» понимается так называемая «разделительная информативность», указывающая на степень вероятности отнесения объекта с данным признаком к тому или иному классу.)

Информативность признака ΔI оценивалась по данным табл. 1 по формуле, предложенной Е. Б. Высокоостровской и Д. С. Зеленецким [17]:

$$\Delta I_i = \lg \frac{P_{1i}}{P_{2i}},$$

где P_1 — отношение числа объектов одного (интересующего нас) класса с данным i признаком к общему числу объектов того же класса; P_2 — отношение числа объектов другого (не интересующего нас) класса с тем же i признаком к общему числу объектов второго класса.

При этом в расчет принимались лишь объекты на Рудном Алтае, для которых по данному признаку были сведения о его наличии или отсутствии.

Объекты Рудного Алтая в табл. 1 разделены на 4 группы: отнесенные к рудным полям III рода; отнесенные к рудным полям II рода, расположенным достаточно изолированно, и по своей промышленной ценности приближающимся к рудным полям III рода, но отличающимся от них по морфологии и масштабам месторождений; отнесенные к рудным полям II рода, наложенным на поля I рода; и, наконец, отнесенные к рудным полям I рода. Расчет информативности проведен для первых двух групп вместе по отношению к совокупности двух последних.

Сведения по рудным полям Урала и других районов СССР в табл. 1 приведены для сравнения и указывают на общность признаков рудных полей одних и тех же родов в различных регионах страны.

Для всех 4 групп рудных полей Алтая общими положительными критериями являются:

— размещение оруденения в крупных синклинориях, сложенных породами средне- и позднедевонского возраста (характерно для 95—100% всех рудных полей);

Сводка критериев и признаков рудных полей

№ п/п	Критерии и признаки	Рудные поля Алтая				Рудные поля Урала		Рудные поля Чингиз-Тау, Салаирского края и других районов			Информативность признака для объектов Алтая
		III рода	II рода	I+II рода	I рода	II+III рода	I+II рода	II рода	I+II рода	I рода	
1	Оруденение:										
2	в березовской свите среднего девона и ее аналогах	3/12	4/11	2/5	0/14	—	—	—	—	—	—0,29
3	в таловской свите среднего девона и ее аналогах	7/12	7/11	2/5	2/14	—	—	—	—	—	+0,46
4	в других свитах верхнего и среднего девона	2/12	0/11	1/5	3/14	5/6	1/1	—	—	—	—0,40
5	в свитах нижнего карбона в туфах и лавах кислого состава	0/12	0/11	0/5	0/14	1/6	—	3/3	5/5	3/3	—
6	в туфах и лавах среднего и основного состава	10/12	9/11	3/5	3/14	6/7	0/1	2/3	3/5	0/3	+0,41
7	в известкостых породах в терригенных породах	0/12	0/11	0/5	0/14	1/7	1/1	0/3	0/5	0/3	—
8	в метаморфических сланцах или в гранитоидных массивах	0/12	0/11	0/5	8/14	0/7	0/1	0/3	0/5	0/3	—∞
9	в метаморфических сланцах или в гранитоидных массивах	2/12	2/11	2/5	3/14	0/7	0/1	0/3	1/5	1/3	—0,19
10	в региональной зоне смятия	0/12	0/11	0/5	0/14	0/7	0/1	1/3	1/5	2/3	—
11	в зоне регионального разлома	7/12	7/9	0/5	1/14	—	—	1/3	0/4	1/3	+1,10
12	в разломе (каркасе) высоких порядков	12/12	9/9	4/5	6/11	1/1	—	3/3	5/5	3/3	+0,20
13	в радиусе до 1 км от разлома высоких порядков	5/12	0/11	0/5	1/14	2/7	1/1	0/3	4/5	0/3	+0,61
14	в радиусе до 1 км от разлома высоких порядков	12/12	11/11	5/5	11/11	4/6	0/1	3/3	3/5	0/3	0
15	в контакте свит или в межформационном сырье	10/12	11/11	3/5	1/14	2/5	0/1	0/3	0/5	0/3	+0,63
16	в крупном антиклинории	1/12	0/6	1/5	0/14	0/7	0/1	3/3	1/1	2/2	+0,02
17	в крупном синклинории	9/10	0/6	4/5	14/14	4/4	1/1	0/3	3/4	0/2	—0,02
18	в локальной антиклинальной, брахиантиклинальной структуре вмещающей среды	10/12	4/7	1/5	4/13	4/5	0/1	2/3	4/5	0/3	+0,43
19	в моноклинальной структуре	2/12	3/7	3/5	8/13	1/5	1/1	1/3	0/5	1/3	—0,22
20	в локальной синклинальной структуре	0/12	0/7	1/5	0/13	0/5	0/1	0/3	0/5	0/3	—∞
21	на пересечении складчатой и разрывной структур	6/10	2/3	5/5	0/13	4/6	0/1	2/3	0/2	0/3	+0,35
22	на расстоянии до 500 м от крупной гранитоидной интрузии	0/12	0/11	2/5	7/14	0/6	1/1	0/2	2/2	2/2	—∞
23	на расстоянии 0,5—1 км	1/12	0/11	3/5	3/14	0/6	0/1	0/2	0/2	0/2	—0,75
24	на расстоянии 1—3 км	11/12	10/11	0/5	4/14	1/6	0/1	—	0/2	0/2	+0,66
25	на контакте (до 500 м) порфировой интрузии позднедевонского — раннекарбонного возраста с вмещающей средой	0/12	0/11	3/5	11/14	5/6	0/1	0/3	3/4	0/3	—∞
26	на расстоянии до 100 м от малых поздних порфировых интрузий, контролируемых структурами вмещающей среды	6/9	0/9	1/5	0/14	—	—	1/3	1/2	1/3	+0,80
27	на расстоянии 100—500 м	2/11	0/6	1/5	0/13	—	—	0/3	0/2	0/3	+0,32
28	на расстоянии свыше 500 м	0/9	1/4	0/5	1/11	—	—	0/1	0/2	0/3	+0,08
29	Плохопроницаемая толща в перекрывающей оруденение свите	9/10	6/11	1/3	3/4	6/6	1/1	2/3	0/4	0/1	+0,06
30	На площади аномалии ВП интенсивный горизонтальный градиент силы тяжести	8/8	9/9	0/1	1/5	—	—	—	3/3	1/1	+0,95
31	Зона окисления, баритизации, карбонатизации на поверхности земли	5/12	9/10	3/5	3/12	1/4	0/1	3/3	5/5	1/3	+0,25

№ п/п	Критерии и признаки	Рудные поля Алтая				Рудные поля Урала		Рудные поля Чингиз-Тау, Салаирского кряжа и других районов			Информативность признака для объек- тов Алтая
		III рода	II рода	I+II рода	I рода	II+III рода	I+II рода	II рода	I+II рода	I рода	
31	Зона хлоритизации, серицитизации, окварцевания	11/12	10/10	4/5	4/14	4/4	1/1	2/3	1/5	1/3	+0,36
32	Пиритизация вмещающих пород	9/9	6/6	5/5	7/14	4/4	0/1	3/3	5/5	2/3	+0,19
33	Наличие кварцевых жил	0/12	0/11	0/5	0/14	0/6	—	0/3	1/2	1/3	—
34	Зоны ороговикования или скарирования вмещающих пород	0/12	1/11	2/5	10/14	0/7	1/1	0/3	0/4	2/3	—1,17
	Размеры зоны измененных пород, м:										
35	от 0 до 1000×300 м	0/7	1/2	2/5	1/12	0/1	0/1	1/3	0/5	0/3	—0,18
36	от 1000×300 до 3000× ×1000 м	5/5	0/1	5/5	8/11	1/1	1/1	2/3	5/5	3/3	+0,08
37	Зона измененных пород приурочена к структуре вмещающей среды	9/10	5/5	3/5	1/11	4/4	0/1	3/3	4/5	0/3	+0,56
38	Зона измененных пород приурочена к контакту интрузии	1/10	0/5	2/5	10/11	0/7	1/1	0/3	1/5	3/3	—1,10
	Первичный ореол оруденения:										
39	из трех и более элементов	12/12	10/10	3/4	8/9	3/3	1/1	1/1	0/1	1/3	+0,07
40	из одного — двух элементов	0/12	0/10	1/4	1/9	0/3	0/1	0/1	1/1	0/3	—∞
	Приуроченность первичного ореола:										
41	к структуре вмещающей среды	7/8	5/5	3/4	1/8	2/2	0/1	1/1	1/1	0/3	+0,43
42	к контакту интрузии	1/8	0/5	1/4	7/8	0/3	1/1	0/1	0/1	1/2	—0,99
	Вторичный ореол:										
43	из трех и более элементов	3/7	7/10	2/4	2/12	2/3	0/1	0/3	4/5	0/2	+0,37
44	из одного — двух элементов	2/7	3/10	2/4	6/12	0/3	0/1	3/3	1/5	0/2	—0,23
45	Гидрохимический ореол (в радиусе до 2 км)	4/6	2/3	1/3	8/13	—	—	—	3/3	—	+0,07
46	Тепловая аномалия более 1°C на глубине 300 м	5/5	1/1	—	—	—	—	—	—	—	—
47	Геофизические поля от оруденения фиксируются на фоне аномалий от вмещающей среды	0/6	1/5	5/5	2/14	0/7	1/1	1/3	5/5	1/3	—0,66
48	Оруденение в эпицентре или на краю магнитной аномалии от крупного интрузивного массива	1/5	2/5	5/5	11/14	0/7	0/1	1/3	0/1	3/3	—0,46
49	Локальная отрицательная магнитная аномалия над оруденением	9/9	4/11	2/5	2/14	3/3	0/0	3/3	1/1	1/3	+0,46
50	Отсутствие локальной магнитной аномалии над оруденением	0/9	7/11	3/5	6/14	0/7	0/1	0/3	0/1	2/2	—0,14
51	Локальная положительная аномалия магнитного поля над оруденением (кроме связанных с дайками основного состава)	0/9	0/11	0/5	6/14	0/7	0/1	0/3	1/1	0/2	—∞
	Приуроченность локальной магнитной аномалии:										
52	к структуре вмещающей среды	8/9	4/11	—	1/14	3/3	0/0	3/3	1/1	0/2	+0,58
53	к контакту интрузии	1/9	0/11	0/5	8/14	0/1	—	0/3	1/1	0/2	—0,92
	Аномалия ВП площадью, м:										
54	до 1000×300	0/8	5/7	0/5	3/12	0/7	0/1	0/3	0/5	0/3	+0,27
55	от 1000×300 до 3000× ×1000	8/8	2/7	5/5	4/12	6/6	—	3/3	5/5	1/3	+0,09
56	Повышение фона поляризуемости вмещающих пород	0/8	1/6	3/5	4/12	1/7	0/1	1/3	0/5	0/3	—0,77

№ п/п	Критерии и признаки	Рудные поля Алтая				Рудные поля Урала		Рудные поля Чингиз-Тау, Салаирского края и других районов			Информативность признака для объектов Алтая
		III рода	II рода	I + II рода	I рода	II + III рода	I + II рода	II рода	I + II рода	I рода	
57	Региональная аномалия ВП на участке	0/7	0/6	1/5	3/13	0/7	0/1	1/3	5/5	3/3	—∞
58	Геофизические аномалии приуро- чены к структуре вмещающей среды	7/8	7/7	4/5	2/13	8/6	—	3/3	5/5	0/3	+0,42
59	Аномалия ВП, магнитная анома- лия приурочены к контакту интрузии	1/8	0/7	1/5	7/14	0/6	0/1	0/3	2/5	3/3	—0,80
60	Понижение удельного сопротив- ления над оруденением	4/6	10/11	1/5	1/12	5/6	—	2/2	1/4	0/2	+0,84
61	Повышение удельного сопротив- ления над оруденением	1/6	1/11	4/5	10/12	1/7	—	0/2	0/4	2/2	—0,83
62	Локальная остаточная положи- тельная аномалия силы тяже- сти над оруденением	3/3	1/1	—	2/8	5/5	—	—	3/3	0/2	+0,60
63	Аномалия метода заряда	8/8	4/7	—	—	0/1	—	3/3	—	—	—
64	Аномалия ЕП I порядка (пло- щадь свыше 1000×300 м) . . .	6/8	1/2	0/2	0/13	0/1	—	2/2	3/4	0/2	+∞
65	Аномалия ЕП II порядка	3/9	10/11	2/5	1/12	0/1	—	2/3	3/5	0/2	+0,56
66	Отсутствие аномалии ЕП над оруденением	2/9	1/11	3/5	11/12	1/1	—	0/3	2/5	2/2	—0,75
67	Аномалия метода переходных процессов (МПП)	2/2	6/6	—	1/1	3/4	—	1/1	0/1	—	—

— отсутствие объектов, по которым ניתן данный признак, в результате — число объектов, имеющих этот признак

— размещение оруденения в зонах региональных разломов (характерно для 100% рудных полей II и III рода и для 60% рудных полей I рода).

Общими отрицательными критериями являются: размещение оруденения или в метаморфических сланцах (ордовикского возраста), или в крупных гранитоидных массивах (змеиногорского и пермского комплексов), или в туфах и лавах основного и среднего состава девонского и во всех породах карбонового возраста.

Среди 67 изученных 6 признаков, являются, по-видимому, нехарактерными или малозначимыми для классификации рудных полей в условиях Рудного Алтая и могут быть в дальнейшем опущены. Это следующие признаки (см. табл. 1):

10—плохопроницаемая толща в перекрывающей оруденение свите;

16—оруденение в крупном антиклинории;

29—оруденение на расстоянии свыше 500 м от малых поздних порфировых интрузий;

33—наличие кварцевых жил;

35—размеры зоны измененных пород от 0 до 1000×300 м;

45—гидрохимический ореол.

Кроме того, признаки 32 и 57 дублируют другие и также в дальнейшем могут не учитываться. Из-за недостатка данных невозможно было оценить информативность признаков 46, 63 и 67. Из них признак 46 представляет с теоретической точки зрения несомненный интерес: он присутствует на всех изученных тепловым методом рудных полях III рода, и, по-видимому, должен отмечать наиболее крупные объекты. Следующие самостоятельные признаки отнесены к обязательным:

36—размеры зоны измененных пород от 1000×300 до 3000×1000 м;

39—первичный ореол из трех и более элементов;

55—аномалия ВП площадью от 1000×300 до 3000×1000 м.

Они характерны для 80—100% рудных полей II и III родов и для большинства полей I рода.

Из числа совпадающих обязательным можно считать признак 14—размещение оруденения в радиусе до 1 км от разломов высоких порядков (100% для рудных полей всех родов). Этот признак будет обязательным при наличии на участке аномалии ВП или первичного ореола из трех элементов и более.

Из сказанного следует, что метод ВП необходимо применять первым из обязательных методов, так как с его помощью наиболее легко отбраковываются территории, не имеющие обязательных признаков. Остальные обязательные признаки определяются впоследствии только на аномальных участках ВП. Характерной чертой обязательных признаков является то, что они малоинформативны, т. е. их применение для разделения рудных полей по родам неэффективно именно потому, что они обязательны для рудных полей всех родов.

Восемь признаков, обладающих высокой отрицательной информативностью, названы нами исключающими. Это (табл. 1):

7 — оруденение в известковистых породах;

20 — оруденение в локальной синклиналийной структуре;

23 — оруденение на расстоянии до 500 м от крупной гранитоидной интрузии;

26 — оруденение на контакте (до 500 м) порфировой интрузии позднедевонского — раннекаменноугольного возраста с вмещающей средой;

34 — зоны ороговикования или скарнирования вмещающих пород;

40 — первичный ореол из одного-двух элементов;

47 — геофизические поля от оруденения фиксируются на фоне аномалий от вмещающей среды;

51 — локальная положительная аномалия магнитного поля над оруденением (кроме связанных с дайками основного состава).

Появление на участке какого-либо или нескольких из указанных отрицательных признаков существенно снижает вероятность наличия объектов II или III рода, кроме относительно менее перспективных рудных полей II рода, наложенных на поля I рода.

Остальные признаки несут ту или иную положительную или отрицательную информацию о наличии на участке рудного поля II или III рода и могут быть использованы для оценки площади. При этом, по-видимому, признаки 27 и 28, 37 и 41, 38 и 42, 52 и 58, 53 и 59 можно попарно объединить, как дополняющие друг друга, с целью уменьшения числа признаков.

Наиболее информативными для классификации рудных полей ($>0,8$) оказались признаки 11, 22, 60 и 64. Относительно высокой информативностью (0,6—0,8) обладают признаки 13, 15, 25 и 62.

С учетом сделанных выше замечаний составлена окончательная таблица положительных и отрицательных критериев и признаков, отобранных и оцененных по информативности применительно к рудным полям Алтая, с помощью которой можно проводить классификацию выявленных рудных полей этого района по родам (табл. 2). Данные таблицы можно использовать при оценке площадей, опосредованных комплексом геолого-геофизических методов. В принципе таблица пригодна для классификации колчеданно-полиметаллических рудных полей и в других районах СССР, однако информативность признаков должна быть уточнена на основании данных по соответствующему району.

§ 2. КОМПЛЕКСНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЕРИИ ПРИЗНАКОВ

В литературных источниках отсутствует общепризнанная точка зрения на лучший способ математической оценки серии признаков оруденения. Комплексная оценка серии признаков осуществляется или путем решения задачи распознавания образов по различным алгоритмам (методом простого «голосования» [26], с

Критерии и признаки для объектов Рудного Алтая

№ п/п	Критерии и признаки*	Информативность признака	Характеристика признаков для объектов		
			I рода	II рода	III рода
Критерии					
1	Размещение оруденения в синклинариях, сложенных породами средне-позднедевонского возраста или в зонах региональных разломов	—	1	1	1
2	Размещение оруденения или в метаморфических сланцах, или гранитоидных массивах, или туфах и лавах основного и среднего состава девонского и во всех породах карбонового возраста	—	0	0	0
Обязательные признаки					
3	Аномалия ВП площадью от 1000×300 до 3000×1000 м	0	1	1	1
4	Первичный ореол из трех и более элементов	0	1-0	1	1
5	Размер зоны измененных пород, области пиритизации, ореола от 1×0,3 до 3×1 км	0	1-0	1	1
6	Оруденение в радиусе до 1 км от разлома высоких порядков	0	1	1	1
Исключающие признаки					
Оруденение:					
7	в известковистых осадочных породах	—1	1-0	0	0
8	в локальной синклинальной структуре	—1	1-0	0	0
9	на расстоянии до 500 м от крупной гранитоидной интрузии	—1	1-0	0-1	0
10	на контакте (до 500 м) порфировой интрузии позднедевонского — раннекарбонового возраста с вмещающей средой	—1	1	0	0
11	Зоны ороговикования или скарнирования вмещающих пород	—1	1-0	0	0
12	Первичный ореол из одного-двух элементов	—1	1-0	0	0
13	Региональная аномалия ВП на участке . .	—1	0-1	0	0
14	Локальная-положительная аномалия магнитного поля над оруденением (кроме связанных с дайками основного состава)	—1	0-1	0	0

* Сочетание обязательного признака с критерием рассматривается как самостоятельный признак оруденения.

Продолжение табл. 2

№ п/п	Критерии и признаки*	Информативность признака	Характерность признаков для объектов		
			I рода	II рода	III рода
	<i>Отрицательные признаки</i>				
15	Зона измененных пород приурочена к контакту интрузии	—1,10	1	0	0
16	Оруденение на расстоянии 0,5—1 км от гранитоидной интрузии	—0,75	1	0	0
17	Аномалия ВП, магнитная аномалия приурочены к контакту гранитоидной интрузии	—0,80	1	0	0
18	Повышение удельного сопротивления над оруденением	—0,83	1	0-1	0
	Оруденение:				
19	в березовской свите среднего девона и ее аналогах	—0,29	1	1-0	0
20	в шипуновской свите или других свитах верхнего и среднего девона	—0,40	1	0	0
21	в терригенных породах	—0,19	1-0	0	0
22	в моноклиальной структуре вмещающей среды	—0,22	1-0	1-0	0-1
23	Вторичный ореол из одного-двух элементов	—0,23	1	0	0
24	Оруденение в эпицентре или на краю магнитной аномалии от крупного интрузивного массива	—0,46	1	1	0
25	Отсутствие локальной магнитной аномалии над оруденением	—0,14	1	1-0	0
26	Повышение фона поляризуемости вмещающих пород	—0,77	1	0-1	0
27	Отсутствие аномалии ЕП над оруденением	—0,75	1	0	0
	<i>Положительные признаки</i>				
	Оруденение:				
28	в таловской свите среднего девона или ее аналогах	0,46	1-0	1	1
29	в туфах и лавах кислого состава	0,41	1-0	1	1
30	в разломе (каркасе) высоких порядков	0,61	0-1	0	1-0
31	в локальной антиклинальной, брахиантиклинальной структуре вмещающей среды	0,43	0	1	1
32	на пересечении складчатой и разрывной структур	0,35	0	1	1
33	Зона окисления, баритизации, карбонатизации на поверхности земли	0,25	0-1	1	1

Продолжение табл. 2

№ п/п	Критерии и признаки*	Информативность признака	Характерность признаков для объектов		
			I рода	II рода	III рода
34	Зона серицитизации, хлоритизации, окварцевания пород	0,36	0	1	1
35	Вторичный ореол из трех и более элементов	0,37	0	1	1
36	Зона измененных пород приурочена к структуре вмещающей среды	0,56	0	1	1
37	Геофизические аномалии приурочены к структуре вмещающей среды	0,42	0	1	1
38	Оруденение в контакте свит или межформационном срыве	0,63	0	1	1
39	На площади аномалии ВП интенсивный горизонтальный градиент силы тяжести	0,95	0	1	1
40	Оруденение на расстоянии 1—3 км от крупной гранитоидной интрузии	0,66	0	1	1
41	Над оруденением остаточная локальная положительная аномалия силы тяжести	0,60	0	1	1
42	Над оруденением понижение удельного сопротивления	0,84	0	1	1
43	Аномалия ЕП II порядка	0,56	0	1	0
44	Локальная отрицательная магнитная аномалия над оруденением	0,46	0	1-0	1
45	Оруденение на расстоянии до 100 м от малых поздних порфировых интрузий, контролируемых структурами вмещающей среды	0,80	0	0-1	1
46	Аномалия ЕП I порядка (площадь свыше 1000×300 м)	+∞	0	0-1	1
47	Тепловая аномалия более 1°С на глубине 300 м	—	—	—	1
48	Аномалия метода переходных процессов	—	—	1	1
49	Оруденение в региональной зоне смятия	1,10	0	1	1

Примечание. 1 — признак характерен; 0 — признак нехарактерен; прочерк — недостаток данных; 1-0 — возможно наличие или отсутствие признака (более вероятно наличие), 0-1 — то же, более вероятно отсутствие признака. Разделительная информативность равна десятичному логарифму отношения частоты встречи объектов II—III рода с данным признаком к частоте встречи объектов I рода или I—II рода с тем же признаком.

помощью дискриминантных функций [55], по самообучающимся программам типа «Кора-3» или «Образ-III ВИРГ» и т. д.), или путем оценки «веса» (информативности) отдельных признаков и вычисления суммарной информативности по их комплексу на данной единице площади или суммарной вероятности встречи оруденения на этой площади по теореме Байеса [4, 17].

Однако имеющиеся методики машинного распознавания образов недостаточно гибки, так как не учитывают изменений интенсивности и характера физических полей в зависимости от глубины залегания оруденения, мощности наносов, влияния боковых пород, поверхностных неоднородностей, промышленных помех и т. п.

По-видимому, в этой связи более целесообразно вести численную интерпретацию физических полей вплоть до получения сведений о форме и свойствах аномального объекта. Если это невозможно, достаточно ввести градации поля: «аномалия» и «не аномалия» но учитывать совпадения (сочетания) разных признаков.

Существенным недостатком методик распознавания образов является также необходимость иметь несколько десятков эталонных рудных и нерудных объектов для обучения ЭВМ по данной площади. Вследствие этого такие методики неприменимы на ограниченных площадях или на площадях, где отсутствуют выявленные объекты, способные служить эталонами.

Полнота информации о той или иной площади и, следовательно, возможность ее оценки может быть различной в зависимости от геологического строения площади и методов ее изучения, поскольку глубинность последних различна, особенно на площадях, закрытых наносами, и зависит от размеров искомых объектов и структур вмещающей среды. Кроме того, поскольку оруденение преимущественно развивается лишь в некоторых благоприятных вмещающих породах, а глубина распространения последних может быть весьма различной, данная территория может оказаться опоскованной или на всю глубину распространения благоприятных для оруденения вмещающих толщ, или только на некоторую глубину, или может быть вообще не опоскована из-за глубокого их залегания под наносами. Следовательно, до оценки площади необходимо определить степень ее изученности на глубину хотя бы некоторыми, наиболее важными поисковыми методами.

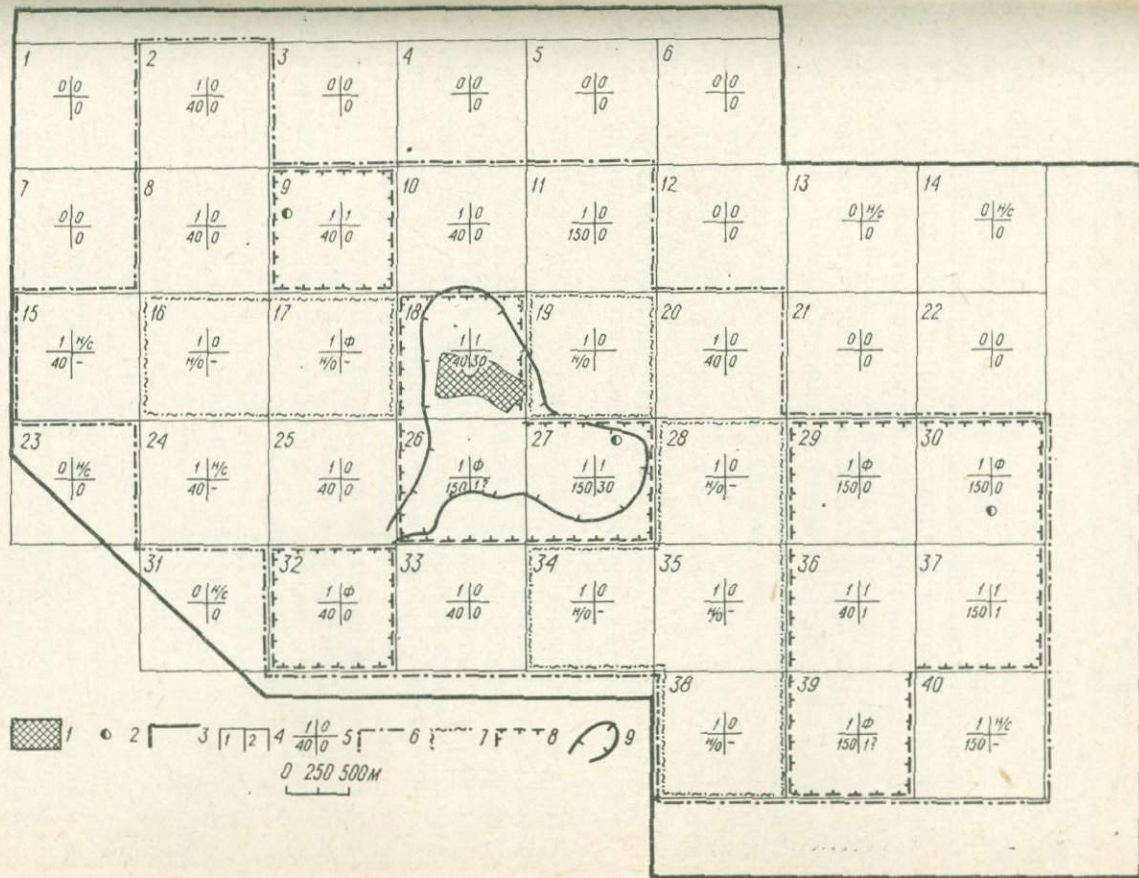
Для комплексной характеристики серии признаков на опоскованной площади можно использовать следующий упрощенный способ, сочетающий в себе элементы методов «ручного голосования», «распознавания образов» и «приращения информативности» [6, 17] и не требующий применения ЭВМ. Способ основан на использовании данных, подобных представленным в табл. 2. Для оценки площади предлагается такая последовательность операций.

По геологическим картам масштабов 1:50 000—1:10 000 исходную оцениваемую площадь разбивают на участки с благоприятными и отрицательными геологическими критериями. Для этого заданную площадь делят на квадраты со стороной 0,25—1 км (но не менее 1 см в масштабе карты). Квадратам, на которых более 50% площади заняты геологическими образованиями с отрицательными критериями, перечисленными выше, приписывают индекс 0, а квадратам с положительными критериями — индекс 1. Индексы проставляют во все квадраты на соответствующей карте-накладке (рис. 32) в верхнем левом углу оценочного креста, нанесенного в центре каждого квадрата. Площади с индексом 0 в дальнейшей оценке не участвуют.

Площадь с положительными критериями должна быть опоскована обязательным методом ВП, и затем на ней отыскиваются квадраты, на которых имеются аномалии ВП. Одновременно дол-

Рис. 32. Оценочная карта-накладка Камышинского рудного узла.

1 — месторождение; 2 — рудопоявления; 3 — контур площади рудного узла; 4 — оценочные квадраты и их номера; 5 — оценочные кресты; 6 — контур площади с положительными критериями; 7 — контур площади, не опоскованной методом ВП; 8 — контур площади, включенной в оценочную таблицу; 9 — проекция на поверхность земли границ предполагаемой фигуры рудного поля; н/с — нет сведений; н/о — квадрат не опоскован методом ВП; ф — повышенный фон поляризуемости пород в квадрате.



жна быть установлена глубина опоискования территории, за которую, по-видимому, можно принять условную глубинность метода ВП, оцениваемую нами примерно в 0,1 разности питающих электродов AB на территориях с мощностью наносов до 10 м и в 0,025 AB на территориях с мощностью наносов 10—100 м. Глубинность исследования методом ВП на данном квадрате сопоставляется с мощностью наносов. Если последняя больше, чем глубина исследования, данный квадрат считается непоискованным и ему приписывается индекс 0, который проставляется в левом нижнем углу оценочного креста на карте-накладке. Если она меньше глубины опоискования, последняя проставляется в том же углу вместо нуля. Такие квадраты считаются опоискованными до указанной глубины. Опоискованные квадраты, на которых есть аномалии ВП, занимающие более 50% площади квадрата, получают индекс 1, который проставляется в верхнем правом углу оценочного креста на карте-накладке. Квадраты, на которых нет аномалии ВП, получают индекс 0 и они в дальнейшем в оценке не участвуют, так как отсутствие одного обязательного признака означает, что вероятность обнаружения в этом квадрате до глубины исследования промышленных запасов руд близка к нулю.

На этих площадях с аномалиями ВП рассматривается наличие других обязательных и отсутствие исключающих признаков. Если в квадрате отсутствует какой-нибудь из обязательных признаков или имеется исключающий, ему приписывается индекс 0, проставляемый в нижнем правом углу оценочного креста. Это означает, что вероятность обнаружения промышленных запасов руд в этом квадрате близка к нулю. Отсутствие сведений о каком-либо признаке из-за того, что не проведена съемка, не означает, что его нет, а площадь в этом случае рассматривается как потенциально рудоносная и оценивается так же, как и площади со всеми обязательными признаками, по информативности дополнительных признаков.

Площади, имеющие аномалии ВП и обязательные признаки и не содержащие исключающих, оцениваются с помощью дополнительных признаков по результатам съемок соответствующих методов. Эта операция выполняется с помощью оценочной таблицы (ее форма приведена в табл. 3 на примере по оценке Камышинской площади). В графе каждого квадрата оценочной таблицы против соответствующего признака проставляется со своим знаком число информативности признака, если этот признак присутствует в квадрате, или 0, если таковой отсутствует. Числа информативности берутся из табл. 2.

Если сумма информативностей в графе больше нуля, то вероятна встреча в данном квадрате рудного поля II или III рода, если меньше нуля, то поля I рода.

Квадратам с предполагаемыми рудными полями I рода приписывается индекс 0, который проставляется в правом нижнем углу оценочного креста на карте-накладке в соответствующем квадрате. Для квадратов с суммой информативности больше нуля сле-

Оценка перспективности площади Камышинского рудного узла

№ признака по табл. 2	Информативность признака по табл. 2	Квадраты									
		9	18	26	27	29	30	32	36	37	39
<i>Критерии</i>											
1	—	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Обязательные признаки</i>											
3	0	1	1	Ф	1	Ф	Ф	Ф	1	1	1
4	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
5	0	1	1	1	1	0	0	—	1	1	1
6	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Исключающие признаки</i>											
7	—1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
8	—1	0	0	0	0	0	0	—	0	0	0
9	—1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
10	—1	1	0	0	0	0	0	—	0	0	1
11	—1	1	0	0	0	1	1	—	0	0	0
12	—1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
13	—1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	—1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Отрицательные признаки</i>											
15	—1,10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	—0,75	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
17	—0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	—0,83	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
19	—0,29	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
20	—0,40	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
21	—0,19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	—0,22	1	1	1	1	1	1	—	1	1	1
23	—0,23	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1
24	—0,46	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
25	—0,14	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0
26	—0,77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	—0,75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>Положительные признаки</i>											
28	+0,46	1	1	—	1	0	0	0	1	1	1
29	0,41	1	1	—	1	0	0	0	1	1	1
30	0,61	0	0	0	1	1	1	—	0	0	0
31	0,43	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
32	0,35	0	1	—	1	0	0	—	1	1	1
33	0,25	1	0	—	1	1	1	—	0	0	0
34	0,36	1	1	—	1	0	0	—	—	—	—

№ признака по табл. 2	Информативность признака по табл. 2	Квадраты									
		9	18	26	27	29	30	32	36	37	39
35	+0,37	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0
36	0,56	0	1	0	1	0	0	—	1	1	1
37	0,42	0	1	—	1	—	—	—	1	1	1
38	0,63	0	1	—	1	0	0	—	—	—	—
39	0,95	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
40	0,66	0	1	1	1	—	—	0	—	—	—
41	0,60	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0
42	0,84	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1
43	0,56	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
44	0,46	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1
45	0,80	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0
46	+∞	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
47	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
49	1,10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Квадрат должен быть исключен из оценки		1	—	?	—	1	1	1	—	—	?
Сумма баллов по методу „голосования“		—3	+12	+3	+13	—5	—2	—6	+2	+6	+3
Сумма информативности по всем признакам		—3,5	+6,7	+2,7	+6,7	—2,8	—1,6	—3,8	+1,4	+3,5	+1,1
Ожидаемый род рудного поля для квадрата		I	III	II	III	—	—	—	II	II	II
Ожидаемые запасы руды для квадрата, млн. т		0	30	1	30	0*	0*	0*	1	1	1

Примечание. 1 — есть признак в квадрате; 0 — нет признака; прочерк — нет данных; Ф — повышение фоновых значений ВП; I, II, III — род рудного поля; 0* — мелкая рудная точка; ? — недостаток данных.

дует рассмотреть по табл. 2, какими именно признаками в квадрате обусловлен результат. Наличие на данной площади таких признаков, как аномалия естественного поля I порядка, тепловая аномалия на глубине 300 м, локальная отрицательная аномалия магнитного поля (площадью не менее 1000×300 м), совпадающая по контуру с локальной аномалией ВП, наблюдающейся изолированно от других, наличие на участке поздних малых интрузий порфирового (плагиогранит-порфирового) состава, положение которых контролируется теми же структурами, что и оруденение, позволяет считать, что на данной площади вероятно встреча рудно-

го поля III рода. Наличие цепочек мелких по площади, но высокой интенсивности аномалий ЕП II порядка, отсутствие локальной отрицательной магнитной аномалии или малых интрузий, входящих в состав рудного поля, более характерно для объектов II рода.

Если род рудного поля определен, в правом нижнем углу оценочного креста на карте-накладке проставляется цифра прогнозных запасов, соответствующая средней определенной статистически величине, характерной для объектов данного рода рудного поля. Для 18 учтенных рудных полей II рода запасы руды колеблются от 0,1 до 5 млн. т и в среднем составляют 1,2 млн. т. Для 13 учтенных рудных полей III рода запасы руды варьируют в пределах от 1 до 120 млн. т и в среднем составляют 33 млн. т. Соответственно ожидаемые запасы для объекта II рода можно принимать порядка 1 млн. т, а для объекта III рода — 30 млн. т. Эти ожидаемые цифры и проставляются в правом нижнем углу оценочного квадрата. Если род рудного поля неопределенный, принимают, что более вероятно встретить рудное поле II рода с соответствующими прогнозными запасами.

В результате подобной операции могут быть выделены площади, подлежащие опoискованию горно-буровыми работами в первую очередь. К ним относятся квадраты с ожидаемыми рудными полями III рода. Площади с предполагаемыми полями II рода, расположенными изолированно, т. е. не наложенными на рудные поля I рода, подлежат опoискованию во вторую очередь; участки с рудными полями I рода, на которых возможны наложенные рудные поля II рода, должны быть опoискованы в третью очередь. Остальная территория до данной глубины опoискования, вероятно, бесперспективна.

§ 3. ПРИМЕР ОЦЕНКИ ПЛОЩАДИ

Камышинский рудный узел с одним месторождением, тремя рудопроявлениями и несколькими рудными точками был использован в качестве опытной площади для проверки работоспособности изложенной методики оценки площадей.

На геологической карте узла (см. рис. 9) была выделена подлежащая оценке площадь и разделена на 40 квадратов со стороной 1 км. Сначала площадь была разбракована по геологическим критериям: квадраты 1, 3, 4, 5, 6, 7, 12, 13, 14, 21, 22, 23, 31, занятые более чем на 50% гранитами или нижнепалеозойскими отложениями (отрицательные критерии), признаны неблагоприятными по критериям и получили индекс 0 в верхнем левом углу оценочного креста (см. рис. 32). Эти квадраты признаны не содержащими прогнозных запасов, что отражено индексом 0 в нижнем правом углу каждого соответствующего креста на карте-накладке. И действительно, как показано на карте рудного узла, эти квадраты не несут известного оруденения.

Остальные квадраты обладают необходимыми положительными критериями. Они располагаются в пределах синклиория, сло-

женного отложениями девонского возраста, и в зоне регионально-го разлома, проходящего вдоль участка в северо-западном направлении и частично залеченного Кениговским гранитным массивом. Эти квадраты получили индекс 1 в верхнем левом углу крестов на карте-накладке.

Большая часть оцениваемой площади, имеющей положительные критерии (см. рис. 32), покрыта съемкой методом ВП с разносами питающих электродов 1500 м. Была оценена степень опонискования площади этим методом. Для этого по карте мощности рыхлых отложений (см. рис. 10) выделены площади с мощностью наносов на большей части квадрата до 10 м (квадраты 11, 26, 27, 29, 30, 37, 39, 40), на которых глубина съемки ВП оценивается в 150 м (как 0,1 от $AB=1500$ м), и площади с преимущественной мощностью наносов до 40 м (квадраты 2, 8, 9, 18, 32, 33, 36), на которых глубина съемки оценивается в 40 м, т. е. только-только до коренных пород. Площади с мощностью наносов свыше 40 м (квадраты 16, 17, 19, 28, 34, 35, 38) признаны неопонискованными, а квадраты 10, 20, 25 опонискованы только частично до глубины 40 м. Оценка глубины опонискования представлена на карте-накладке в левых нижних углах оценочных крестов. На квадратах 13, 14, 15, 23, 24, 31, 40 съемка ВП не проведена.

Аномалии ВП на опонискованной площади установлены в квадратах 9 (рудопроявление горы Трубкина), 18 (Камышинское месторождение), 27 (Старокамышинское рудопроявление) и 36, 37, 39 (так называемая аномалия Сильково-II). Кроме того, повышение фона поляризуемости вмещающих пород с 1—1,5 до 2% установлено на недостаточно опонискованном квадрате 17, на квадратах 29, 30 (в районе известного рудопроявления Сильково-I) а также в квадратах 26 и 32. Последний нельзя считать удовлетворительно опонискованным, так как глубина исследования методом ВП явно мала (40 м), чтобы вести поиски в благоприятной для рудоотложения таловской свите, перекрытой непродуктивной каменевской. Исходя из вышесказанного, необходимо было бы покрыть квадраты 16, 17, 24, 25, 26, 31, 32 и, возможно, 33, 34, 28, 35, 38 съемкой методом ВП с большими разносами AB (около 4 км). На площади квадратов 16, 17, 24, 25 (Мостовский участок) такая съемка была в действительности выполнена в 1969 г. и на квадратах 17, 24 и 25 обнаружены аномалии ВП, что подтверждает принятые нами правила оценки глубины опонискования методом ВП.

В оценочную таблицу были отобраны квадраты 9, 18, 27, 36, 37, 39, имеющие аномалии ВП; они получили индекс 1 в верхнем правом углу оценочных крестов на карте-накладке. Квадраты 20, 29, 30, 32 с повышенным фоном ВП включены в таблицу в качестве площадей для сравнения и проверки эффективности оценочной методики (см. табл. 3).

Среди квадратов, включенных в оценочную таблицу, 9, 18, 20, 36, 37 имеют все обязательные признаки. На квадрате 26 отсут-

ствуется аномалия ВП (возможно, из-за недостаточной глубины опоскования), но присутствуют все остальные обязательные признаки.

В квадратах 29, 30, 32 отсутствуют по два обязательных признака, и они должны быть сразу признаны неперспективными. Кроме того, квадраты 9, 29, 30, 32 имеют исключющие признаки, сумму отрицательных признаков больше, чем сумма положительных, и, как следствие, отрицательную суммарную информативность. По-видимому, объект в квадрате 9 может быть отнесен к мелким рудопоявлениям в пределах рудного поля I рода, а объекты в квадратах 29, 30, 32 — к мелким рудным точкам. Все эти квадраты получают индекс 0 в правом нижнем углу оценочных крестов, что свидетельствует об отсутствии промышленных запасов руд.

Для квадратов 18, 27 и 36, 37, имеющих все обязательные признаки при отсутствии исключющих, сумма положительных признаков больше суммы отрицательных, а суммарная информативность положительная. Все эти квадраты, по-видимому, содержат объекты, которые можно отнести ко II и III роду рудных полей, причем по типу признаков или вероятному образу рудного поля на квадратах 18, 27 возможно наличие рудного поля III рода.

Особо надо оценивать квадраты 26 и 39. В первом нет аномалии ВП, что, вероятно, связано с высокой мощностью пород перекрывающей каменевской свиты, в то время как оруденение находится в отложениях таловской свиты, но налицо все остальные обязательные признаки, нет исключющих и сумма положительных признаков и информативностей больше, чем отрицательных. Этот квадрат следует считать недостаточно опоскованным, возможно, содержащим объект II или III рода. Квадрат 39 при наличии всех обязательных признаков имеет один исключющий: в его пределах есть порфировая интрузия с рвущими контактами с вмещающей средой. Однако она находится в стороне от аномалии ВП, заходящей в квадрат 39 из квадратов 36 и 37. Сумма положительных признаков и информативностей для них в квадрате 39 больше суммы отрицательных, и вероятно, его аномальную часть надо также отнести к площадям, содержащим объект II рода.

В соответствии с вышесказанным квадраты 18, 27 и 36, 37 признаны перспективными на оруденение. Они получают индексы: 30 (для квадратов 18 и 27) и 1 (для квадратов 36 и 37), которые проставляются в правых нижних углах крестов на карте-накладке и указывают наиболее вероятную среднюю цифру прогнозных запасов для данных площадей. В квадратах 18, 26 и 27, действительно, известно Камышинское рудное поле III рода, включающее промышленное Камышинское месторождение. Квадраты 36 и 37 геологически опоскованы еще недостаточно. Для квадратов 39 и 26 индекс 1 в правом нижнем углу проставлен условно, хотя эти площади, по-видимому, являются перспективными для поисковых работ в будущем.

ПОИСКИ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ РУДНЫХ ПОЛЕЙ

§ 1. МЕТОДЫ ПОИСКОВ

Выше показано, что рудные поля колчеданно-полиметаллического типа характеризуются тремя основными обязательными признаками: наличием зон измененных пород с размерами от $1 \times 0,1$ до 3×1 км и более, повышенной поляризуемостью части зоны оклорудных измененных пород, что проявляется в наличии аномалий вызванной поляризации примерно тех же размеров, и в наличии первичного ореола не менее чем из трех металлов (медь, свинец, цинк). В связи с обязательностью любого из этих признаков задача отыскания рудных полей заключается в выявлении объектов, обладающих любым одним из обязательных признаков рудного поля, с последующим отбором среди них тех, которые обладают остальными обязательными признаками. Таким образом, в первую очередь необходимо наиболее рациональным способом отыскать объекты, обладающие хотя бы одним обязательным признаком рудного поля.

Соответственно этой задаче определяются методы, которые могут быть использованы для обнаружения и оконтуривания глубокозалегающих рудных полей.

Наиболее универсальным способом обнаружения зон измененных пород, первичных ореолов, в том числе сульфидных, а также рудных тел и скоплений является бурение картировочных и глубоких поисковых скважин или проходка горных выработок. Однако при большой глубине залегания рудного поля этот способ дорог и его целесообразно заменить более дешевыми геохимическими или геофизическими приемами отыскания указанных составных частей рудных полей.

Геофизические и геохимические приемы в свою очередь не равноценны при решении поставленной задачи.

Входящие в состав рудных полей первичные ореолы удается обнаруживать и оконтуривать (непосредственно или через связанные с ними вторичные ореолы) литохимическим (металлометрическим) опробованием образцов пород на открытых площадях или в районах с мощностью наносов до 5—10 м. Однако при мощности наносов свыше 10 м выявить первичные ореолы без бурения картировочных или поисковых скважин невозможно, что снижает применимость этого метода для поисков глубокозалегающих

щих рудных полей. В настоящее время в ВИТР [1] разрабатываются новые физико-химические методы: так называемый метод по формам нахождения химических элементов (МПФ) и метод частичного извлечения металлов (ЧИМ), которые, как ожидается, позволят фиксировать ореолы при мощности наносов до 100—150 м; однако их разработка еще не завершена.

Некоторые зоны измененных пород, входящие в рудные поля, могут быть зафиксированы и оконтурены методом магнитометрии, если процессы гидротермальной проработки вмещающих пород сопровождались утерей ими части магнитной восприимчивости и если рудное поле находится на значительном расстоянии от массивов интрузивных пород, магнитные поля которых затушевывают аномалии от зоны измененных пород. При таких условиях, как показано в главе II, контуры магнитных аномалий над рудными полями наиболее совпадают с проекциями предполагаемых фигур рудных полей. Поскольку указанные выше условия выдерживаются далеко не на всех рудных полях, метод магнитометрии, очевидно, не может стать основным геофизическим средством обнаружения и оконтуривания глубокозалегающих рудных полей. По-видимому, мало пригодны для этой цели и методы гравиразведки и электроразведки на постоянном и переменном токе или метод естественного электрического поля, поскольку их аномалии на рудных полях связаны большей частью с рудными скоплениями. Эти аномалии малы по масштабам и интенсивности, иногда вообще отсутствуют; условия регистрации их ухудшаются с ростом глубины залегания искомого объекта или увеличением мощности наносов.

Метод вызванной поляризации если и не фиксирует аномалий от отдельных рудных тел, то позволяет обнаруживать и проследивать зоны околорудных измененных пород с сульфидной рассеянной вкрапленностью. По имеющимся данным, контуры аномалий ВП близки или несколько меньше контуров измененных пород, которые мы условились принимать за внешние границы рудных полей. Аномалии ВП регистрируются на 100% крупных рудных полей, в силу чего метод ВП является на сегодня важнейшим для поисков глубокозалегающих рудных полей. Как показали излагаемые ниже специальные исследования, этот метод пригоден для поисков зон измененных пород с сульфидными ореолами в рудных полях, при мощности хорошо проводящих рыхлых покровов (наносов) до 100—150 м или при глубине залегания этих зон в коренных породах до 300—500 м.

§ 2. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВЫЗВАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ДЛЯ ПОИСКОВ РУДНЫХ ПОЛЕЙ НА ПЛОЩАДЯХ, ПРИКРЫТЫХ НАНОСАМИ

Опыт работ ВИТР и производственных организаций в 1958—1962 гг. [10, 77] показал, что поиски зон сульфидной минерализации в рудных полях методом ВП с имевшимися тогда методиче-

скими и техническими средствами возможны при глубине залегания рудных полей под наносами до 30—50 м.

Рассмотрим применение метода ВП для обнаружения и оконтуривания рудных полей, перекрытых хорошо проводящими наносами (с отношением проводимости наносов и коренных пород от 3 до 100) мощностью до 100—150 м. Геологически задача сводится к обнаружению и оконтуриванию в указанных условиях той части зон окolorудных измененных пород, которые несут минерализацию с определенным минимальным содержанием сульфидов. Решение этой геологической задачи ставит в свою очередь непростую геофизическую задачу: обнаружить при сформулированных условиях аномалию кажущейся поляризуемости и дать ее геологическую интерпретацию. Ниже определены условия и предложен методический прием решения этой геофизической задачи.

Условия поисков под наносами зон сульфидной минерализации в рудных полях

Поскольку наши исследования касаются прежде всего пластовых или лентовидных объектов, размеры которых по простиранию и по падению во много раз превышают их горизонтальную мощность, теоретическое исследование возможности поисков зон сульфидной минерализации под наносами методом ВП проводится на примере вертикального, вытянутого по падению и неограниченного по простиранию пласта повышенной поляризуемости η_3 , имеющего конечное поперечное сечение (рис. 33). Удельное электрическое сопротивление пласта ρ_3 и вмещающей среды ρ_2 одинаковы, но больше ρ_1 наносов. Поляризуемость вмещающей среды η_2 не отличается от поляризуемости наносов η_1 . Поляризующее поле однородно, равно первичному (омическому) E_0 и ориентировано по оси x вкrest простирания пласта.

Формулы, выведенные для вычисления поля ВП $E_{\text{ВП}}(x)$ от такого пласта, ограниченного или неограниченного на глубину, приведены в работе [106]. По этим формулам для изучения влияния тех или иных параметров пласта и вмещающей среды на поле ВП были рассчитаны величины

$$\vartheta(x) = \frac{E_{\text{ВП}}(x)}{E_0 \gamma^*},$$

где $\eta^* = \eta_3 - \eta_2$ — избыточная поляризуемость пласта.

Поля ВП вычислены в точках $M(x/H_1)$, расположенных на поверхности земли по профилю, ориентированному вкrest простирания пласта [96]. Графики параметра $\vartheta(x)$, рассчитанные для определенных значений $\mu = \rho_2/\rho_1$, дают представление о полевых кривых кажущейся поляризуемости η_k , наблюдаемых в центральной части установки срединного градиента на профиле, где поля-

ризирующее поле в пределах тела и некоторого объема пород можно принять примерно однородным, поскольку [106]

$$\eta_k = \eta_1 + \vartheta(x)\eta_1^*.$$

Для одиночных пластов, выходящих под наносы, графики $\vartheta(x)$ имеют наибольший наклон к оси x в области проекции на нее границ пласта (рис. 34). Максимум градиента $\vartheta(x)$ [96] наблюдается в точке, где $x=a$, если

$$5 \geq a/H_1 \geq 1.$$

Для слепых пластов, не выходящих под наносы, точка максимального градиента $\vartheta(x)$ выходит за пределы проекции пласта.

При прочих равных условиях максимальная величина $\vartheta(x)$ над пластом тем больше, чем больше мощность пласта (рис. 35). Уменьшение удельного электрического сопротивления наносов приводит к резкому уменьшению аномалии ВП, выполаживанию графиков $\vartheta(x)$ и смещению отрицательных значений на них в сторону больших x . Максимальные значения $\vartheta(x)$ тем выше, чем больше протяженность пласта в глубину и чем ближе к поверхности находится его верхняя кромка.

Над тонкими пластами наблюдается узкий пикообразный максимум $\vartheta(x)$; над телами, имеющими значительную горизонтальную мощность, максимум $\vartheta(x)$ Π -образный. На графиках $\vartheta(x)$ для мощных пластов ($a \geq 5H_1$), имеющих небольшую протяженность в глубину, максимальные значения наблюдаются не в центре пласта, а близ его краев (см. рис. 35, а).

У протяженных в глубину пластов (см. рис. 35, б) во всех рассчитанных случаях максимум $\vartheta(x)$ был над центром пласта. Зависимость формы графиков $\vartheta(x)$ от глубины нижней кромки пласта при заданных величинах мощности пласта и отношения удельных сопротивлений коренных пород и наносов можно использовать для приближенной оценки размеров крутопадающего пласта в глубину с помощью палеток $\vartheta(x)/\vartheta(0)$ [96]. При их использовании параметры H_1 , μ и a для полевого объекта, обнаруженного по аномалии ВП, должны быть определены заранее: первые два по кривым ВЭЗ, а третий — по положению точек максимального

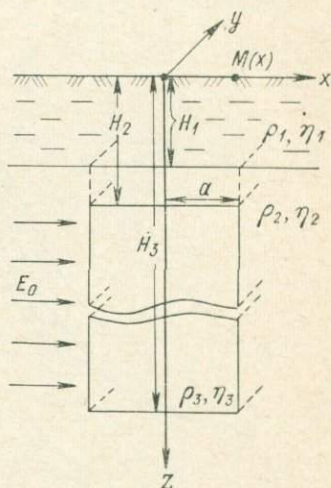


Рис. 33. Поляризующийся пласт, перекрытый наносами, в однородном электрическом поле E_0 .

ρ_1, ρ_2, ρ_3 и η_1, η_2, η_3 — удельное электрическое сопротивление и поляризуемость наносов, вмещающей среды и пласта; H_1 — мощность наносов; $H_2 = \rho H_1$ — глубина верхней кромки пласта; $H_3 = m H_1$ — глубина нижней кромки пласта; a — горизонтальная полумощность пласта; M — точка наблюдения.

градиента на кривой кажущейся поляризуемости. Затем полученный в поле график кажущейся поляризуемости должен быть пересчитан по формуле

$$\frac{\eta_k(x) - \eta_1}{\eta_k(0) - \eta_1} = \frac{\eta_{ан}(x)}{\eta_{ан}(0)} = \frac{\vartheta(x)}{\vartheta(0)},$$

где $\eta_k(0)$ — максимальное значение кажущейся поляризуемости над серединой пласта.

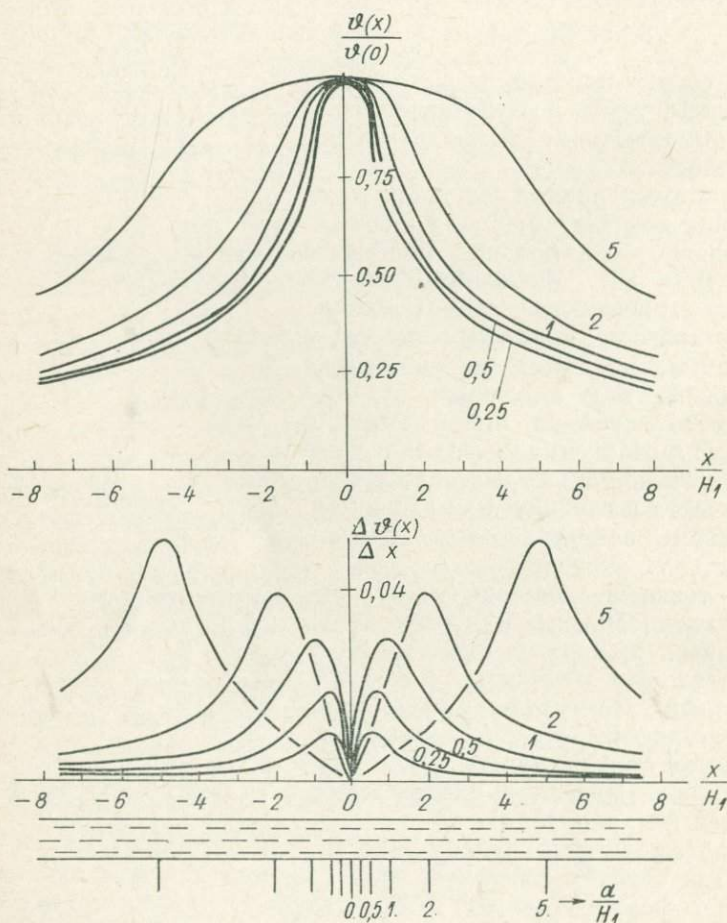


Рис. 34. Графики $\vartheta(x)/\vartheta(0)$ и $\Delta\vartheta(x)/\Delta x$ над перекрытыми наносами пластами различной мощности и бесконечной протяженности в глубину при $\mu=19$.

Величина полумощности пластов a/H_1 указана цифрами возле графиков.

Вычисленная величина отношения $\vartheta(x)/\vartheta(0)$ строится как функция x/H_1 в масштабе, принятом для построения палеток $\vartheta(x)/\vartheta(0)$. Перестроенный таким образом полевой график срав-

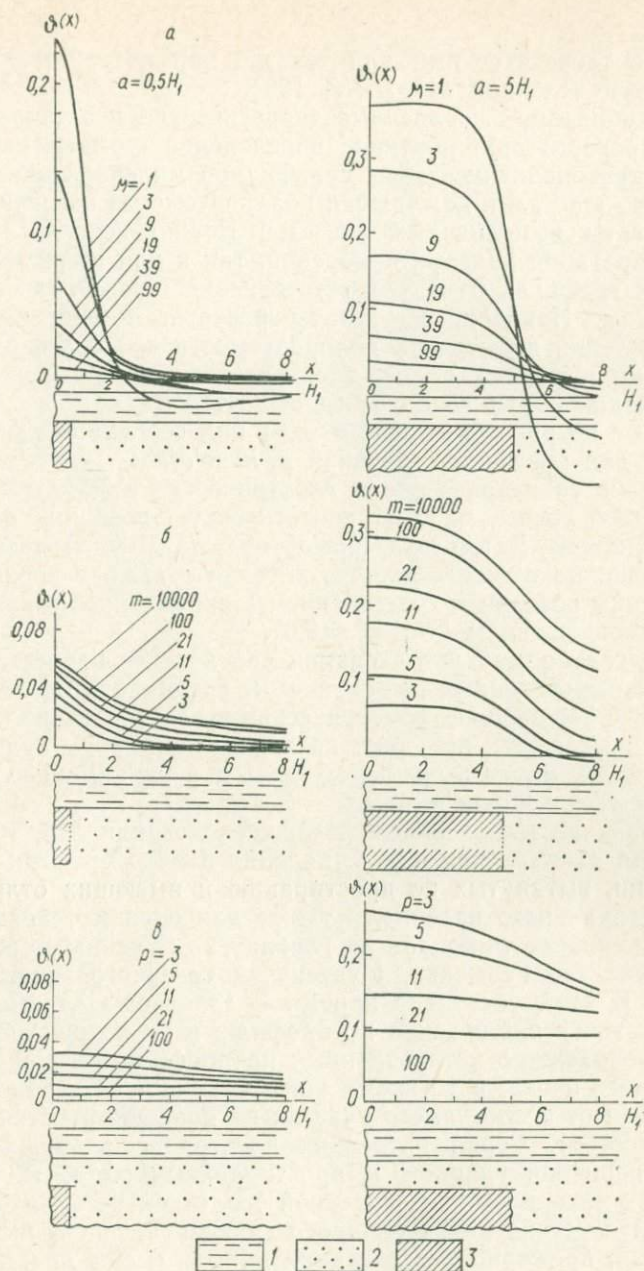


Рис. 35. Графики $\Phi(x)$ над пластами.

а — при различном соотношении μ удельного электрического сопротивления вмещающей пласт среды и наносов ($m=5$); б — при различных глубинах нижней кромки пластов ($\mu=19$, $H_2=mH_1$); в — при различных глубинах верхней кромки пластов ($\mu=19$, $m=10\,000$, $H_2=\rho H_1$).

1 — наносы; 2 — вмещающая среда; 3 — поляризующийся пласт.

нивается с теоретическими для тех же параметров μ и a/H_1 и отыскивается величина $m = H_3/H_1$ [96].

Таким образом, выполненные теоретические исследования позволяют провести приближенное определение геометрических параметров крутопадающей зоны сульфидной минерализации в рудном поле по аномалии кажущейся поляризуемости над ней.

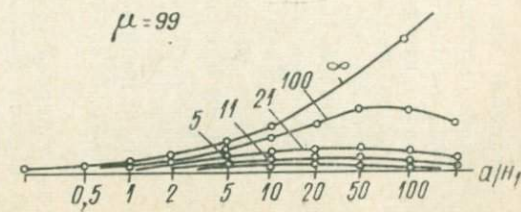
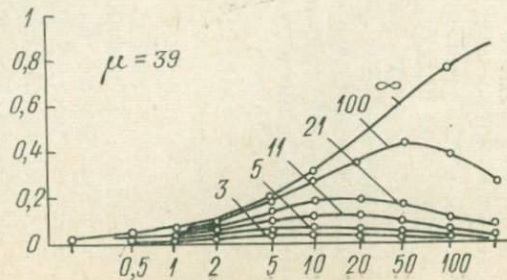
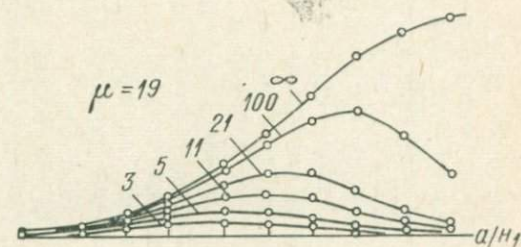
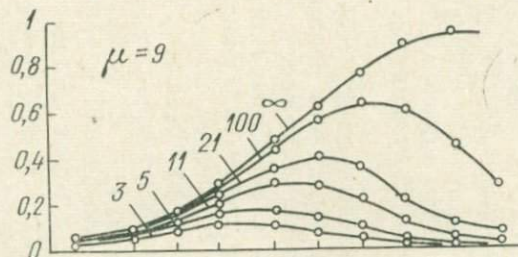
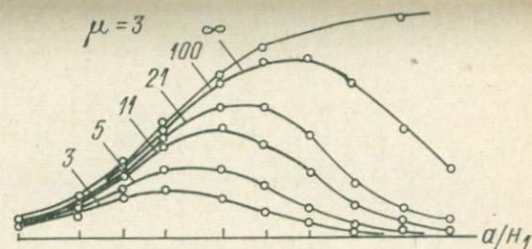
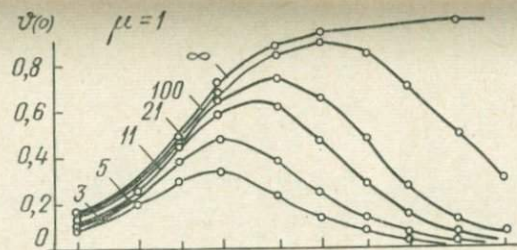
Результаты выполненных расчетов можно использовать как при интерпретации полевых измерений, так и для вычислений теоретических графиков $\vartheta(x)$, соответствующих одному или нескольким пластам. Наконец, результаты расчетов можно применить для определения избыточной поляризуемости зон сульфидной минерализации в рудных полях, электрические параметры которых найдены изложенным выше способом. Этой цели могут служить приведенные на рис. 36 величины $\vartheta(0)$ над серединой пласта, вычисленные для различных значений μ , m и a/H_1 .

Определив геометрические и электрические параметры пласта и вмещающей среды, находят теоретическую величину $\vartheta(0)$ над серединой пласта. Затем по формуле $\eta^* = \eta_{\text{ан}}(0)/\vartheta(0)$ находят избыточную поляризуемость пласта, которая в свою очередь связана со средним объемным содержанием ξ вкрапленности сульфидов в пласте соотношением [40] $\eta^* \approx 2,6\xi$.

Следовательно, при истолковании результатов наблюдений методом ВП, проведенных установками срединного градиента и ВЭЗ ВП, все важнейшие геометрические и электрические параметры для рудных полей, имеющих крутопадающие зоны сульфидной минерализации, могут быть определены и с их помощью подсчитаны запасы сульфидов в зонах.

Как показали выполненные нами исследования [98, 102], для определения направления и угла падения пластообразных зон минерализации, вытянутых по простиранию и имеющих отличающееся от вертикального падение, а также для оценки ориентировочной протяженности таких зон на глубину по падению может быть использована так называемая установка точечного зондирования (ТЗ ВП). В этой установке приемные электроды перемещаются от точки к точке наблюдения по профилю в ту и другую сторону от серии неподвижно установленных на профиле питающих электродов одного знака, в то время как питающий электрод другого знака удален от исследуемого участка на большое расстояние (на «бесконечность»). Серия питающих электродов размещается на профиле, перпендикулярном к простиранию пласта, так, чтобы один из них находился над серединой его, в центре аномалии ВП, полученной с установкой срединного градиента, два — около краев аномалии, примерно около границ пласта, и еще по два-три — в обе стороны от аномалии по профилю. Расстояние между электродами, особенно центральными, следует брать немного меньше, чем двойная глубина верхней кромки пласта в центре аномалии ВП. При работе с каждым из питающих электродов на профиле в отдельности приемные электроды перемещаются по профилю с

Рис. 36. Зависимость величины $\Phi(0)$ над серединой пласта от его горизонтальной полутолщины a (выраженной в долях H_1) при различных отношениях удельного электрического сопротивления вмещающей пласт среды и наносов μ . Индексы кривых — H_3/H_1 .



постоянным шагом до выхода в нормальный фон кажущейся поляризуемости.

Предложен простой графический прием определения положения верхней кромки и верхней боковой поверхности пласта по графикам кажущейся поляризуемости, полученным указанной установкой. На каждой кривой кажущейся поляризуемости отыскивается начало аномальной зоны, т. е. место отхода кривой от нормального фона на участке между питающим электродом и максимумом кривой. (За точку отхода иногда можно принять пересечение фоновой линии и касательной к кривой кажущейся поляризуемости). Радиусом, равным расстоянию от данного питающего электрода до точки отхода, с центром в точке размещения электрода на профиле на геологическом разрезе проводится дуга. Система таких дуг, проведенных из всех точек стояния электродов, как показано с помощью моделирования на установке МУСГ-I (рис. 37), очерчивает на разрезе линию, близкую к контуру верхней кромки и верхней боковой поверхности пласта, имеющего падение.

Точки пересечения нисходящих ветвей кривых кажущейся поляризуемости с фоновой линией на участках кривых за точками максимума по направлению от источника тока дают возможность провести дуги, очерчивающие снизу область, внутри которой находится поляризующееся тело, и, следовательно, позволяют оценивать возможную протяженность пласта на глубину. Такой прием не позволяет точно определять или очерчивать положение нижней поверхности пласта, но дает возможность достаточно надежно отбраковать ту часть разреза, где поляризованного тела заведомо быть не может (рис. 38).

Таким образом, выполненные теоретические исследования позволяют, с одной стороны, определять параметры зоны сульфидной минерализации в рудном поле по результатам наблюдений методом ВП и, с другой — по заданным параметрам вмещающей среды и зоны минерализации подсчитывать ожидаемую аномалию кажущейся поляризуемости. Последнее в свою очередь позволяет сделать некоторые выводы о возможностях применения метода ВП для поисков рудных полей, перекрытых наносами.

Например, по графикам на рис. 36 можно установить, что слепые пластообразные зоны сульфидной минерализации с избыточной поляризуемостью 10%, которая соответствует среднему объемному содержанию сульфидов в зоне около 3—4%, будут отмечены аномалией кажущейся поляризуемости, превышающей фон на 1%, и, следовательно, могут быть найдены методом ВП, если их горизонтальная мощность не меньше половины глубины их верхней кромки, протяженность на глубину велика и наносы отсутствуют.

Такие же по поляризуемости зоны, перекрытые наносами с 19-кратным превышением их проводимости над проводимостью вмещающих пород, могут быть отмечены аномалией ВП, если го-

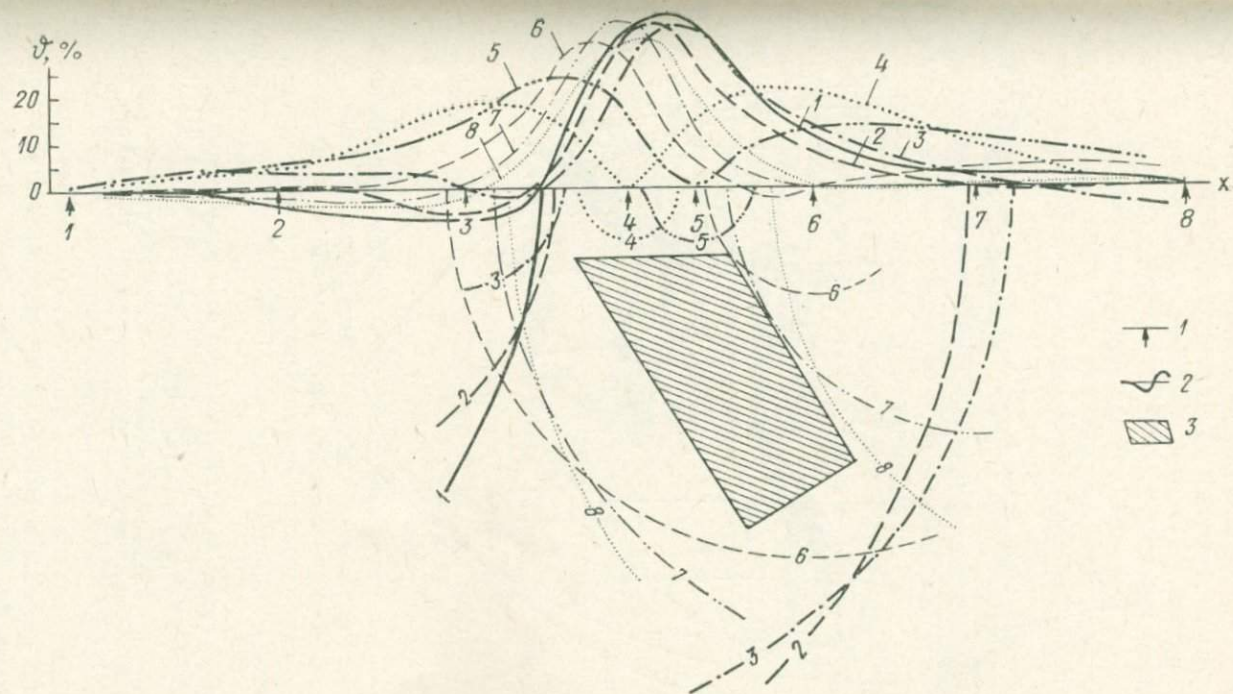


Рис. 37. Поперечный разрез вытянутого по простиранию пласта с графиками параметра ϑ для установки точечного зондирования.

Угол падения пласта 60° .

1 — места размещения источников тока на профиле x ; 2 — графики параметра ϑ ; 3 — контур сечения пласта плоскостью разреза; дуги вокруг сечения пласта помечены номерами источников тока, из которых, как из центров, они проведены.

ризонтальная мощность зоны в два раза больше мощности насосов.

Слепые зоны, перекрытые такими же наносами, имеющие глубину верхней кромки, равную 3—5 мощностям наносов, могут быть

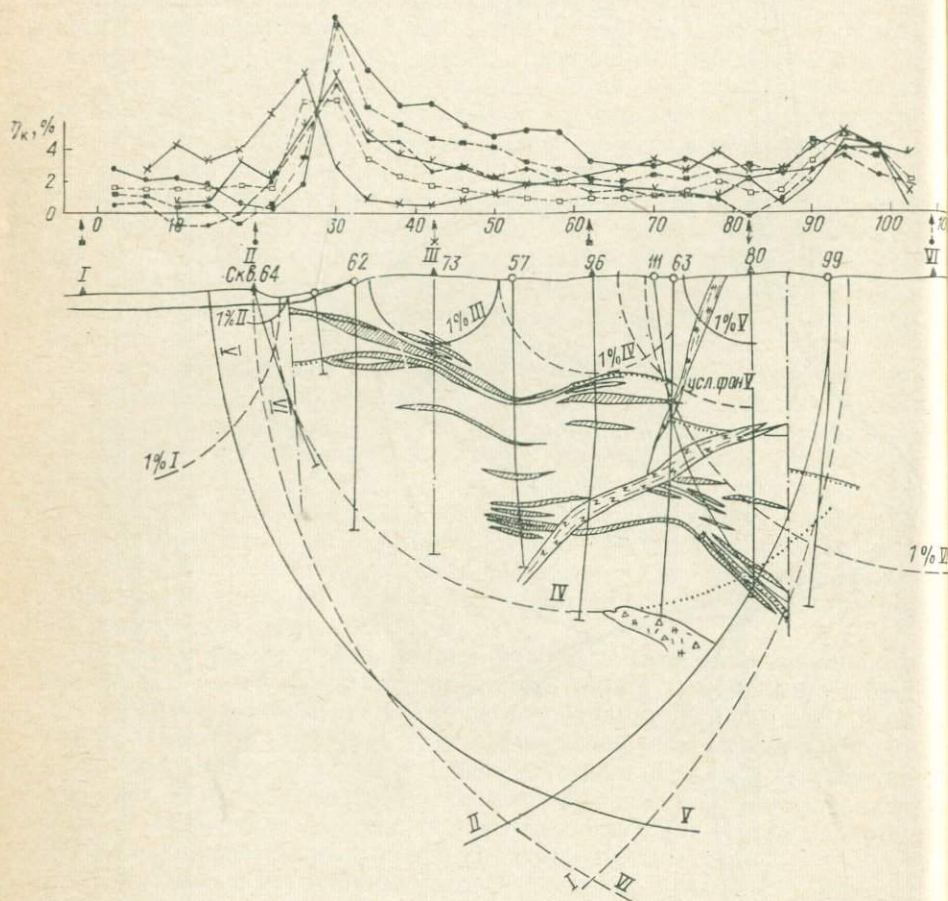


Рис. 38. Упрощенный разрез по Пр. XIII рудного поля Камышинского месторождения с результатами работ установкой точечных зондирований ВП (по материалам И. С. Чуприна).

Черные треугольники — места размещения источников тока на Пр. XIII; заштрихованы рудные тела и линзы, залегающие в девонских эффузивно-осадочных породах; дуги на разрезе рудных тел проведены с центрами в местах размещения тех электродов, номерами которых они помечены.

обнаружены по аномалии ВП, если их горизонтальная мощность в 4 раза больше мощности наносов. Это, в частности, означает, что крупные рудные поля, имеющие протяженные на глубину зоны рассеянной сульфидной минерализации с содержанием суль-

фидов 3—4% и горизонтальной мощностью, превышающей 300—400 м, что достаточно часто встречается на практике, можно обнаруживать и оконтуривать методом ВП под наносами мощностью до 100 м при глубинах верхней кромки зон от 100 до 300 м от поверхности земли, а при отсутствующих или плохо проводящих наносах при глубинах верхней кромки 300—500 м.

Для достижения таких результатов необходимо применять определенную методику полевых измерений, излагаемую ниже.

Методика поисков и область ее применения

Выбор методики работ при поисках погребенных под наносами зон сульфидной минерализации рудных полей определен следующими основными требованиями.

1. В процессе работ необходимо обеспечивать в достаточной мере однородное поляризующее поле в пределах той части зоны, которая влияет на результаты наблюдений. Расчетами установлено, что однородному полю соответствуют наибольшие возможные величины аномалий ВП от крупных протяженных в глубину объектов. Рассмотренные выше оценки ожидаемых величин аномалий ВП также выполнены для однородного поляризующего поля.

Однородное с точностью до 10—20% поляризующее поле в пределах части пласта, влияющей на результаты наблюдений, практически достигается, если пласт находится примерно посередине между питающими электродами в установке срединного градиента, величина разносов AB которых во много раз превышает мощность наносов и протяженность пласта на глубину:

H_3/H_1	AB/H_1
3	72—48
5	120—78
10	240—158

Приведенные цифры несколько занижены за счет приближений, но дают представление о порядке разносов питающей линии, требующихся для работы. Для примера укажем, что при мощности наносов 100 м и протяженности пластообразной зоны минерализации на глубину 300—500 м величина требуемых разносов AB достигает 5—7 км.

2. Методика работ должна обеспечить надежное отделение аномалий ВП сравнительно небольшой интенсивности от нормального фона поляризуемости вмещающих пород. Например, в условиях степной северо-западной части Алтая, практически полностью закрытой наносами переменной мощности, меняющегося состава и увлажненности, возможные колебания нормального фона от точки к точке наблюдения составляют от 0,2—0,5 до 1—2%. Следовательно, возможный диапазон колебаний фона соизмерим с величиной ожидаемых аномалий (1—2%). В этих условиях съемка по профилю с установкой срединного градиента позволит получить лишь очень усредненную величину фона. По-видимому, при

работе целесообразно сочетать съемку срединного градиента, как наиболее экономичный вид работ, с измерениями установкой ВЭЗ ВП, которая позволит точнее установить значение фона в точке наблюдения и величину аномалии ВП. По кривой кажущегося удельного сопротивления ВЭЗ одновременно можно определить соотношение удельных электрических сопротивлений наносов и коренных пород и мощность наносов в точке наблюдения.

3. Методика работ должна обеспечивать измерение достаточных по величине разностей потенциалов ВП при использовании существующей измерительной и генераторной аппаратуры (станций ВПС-63 и т. п.). При уровне изменений медленно меняющихся во времени естественных электрических помех 0,2—0,5 мВ/мин, имеющих место на Рудном Алтае, измеряемые разности потенциалов ВП, возбуждаемые импульсами тока разной полярности, должны составлять не менее 1 мВ. Расчеты и практика полевых работ показали, что для получения величин разности потенциалов ВП порядка 1 мВ при разностях питающих электродов AB 4 км и более достаточно применять величины разностей приемных электродов, равные 0,1—0,05 AB для условий, когда кажущееся удельное сопротивление среды равно 200—500 ом·м, наносов — 10—50 ом·м и сопротивление линии AB менее 100 ом.

4. Сеть съемки определяется условием, чтобы зона минерализации в рудном поле была отмечена хотя бы 2—3 точками на одном из профилей. Отсюда шаг исследований по профилям, задаваемым вкрест простираения предполагаемых рудных полей мощностью 300—500 м и длиной 1—3 км, которые, как будет показано ниже, могут быть объектами поисков с излагаемой методикой, должен быть порядка 100 м, а расстояние между профилями 0,5—1 км (редко 250 м).

Соответствующая перечисленным требованиям методика поисков рудных полей под наносами была предложена автором и Ю. В. Синдяевым и опробована ими на площадях в северо-западной части Рудного Алтая [94, 101]. Поиски рудных полей осуществляются путем площадной съемки методом ВП с установкой срединного градиента. Разносы питающих электродов AB равняются 4 км, длина приемной линии 100—200 м в зависимости от мощности и проводимости наносов и измеряемой разности потенциалов ВП, которая должна быть не менее 0,5—1 мВ. Шаг измерений по профилю 100 м, расстояние между профилями 250—500 м в зависимости от длины предполагаемого рудного поля. Профили ориентируются вкрест простираения структур участка рудного поля. Возбуждение поля ВП производится импульсами постоянного тока различной полярности, сила тока в AB возможно большая (20—25 а и более). Измерительная аппаратура — стандартная электроразведочная станция ВПС-63.

При обнаружении на исследуемой площади аномалии ВП (т. е. повышения значений кажущейся поляризуемости минимум на 50% относительно среднего фона поляризуемости пород на

участке) — в ее пределах выбирается один или несколько расчетно-интерпретационных профилей. На этих профилях ставятся ВЭЗ ВП в нормальном поле через 500 м, в аномальной зоне через 250 м, но так, чтобы в максимуме аномалии было обязательно выполнено ВЭЗ. По ВЭЗ уточняются значения нормального фона на участке, определяются мощности и проводимости наносов и коренных пород. Разносы ВЭЗ ориентируются по профилю.

На участках с наклонным или пологим падением структур на тех же профилях необходимо произвести исследования установкой точечных зондирований ВП.

Полученные данные используются для определения положения и размеров аномальной зоны, а данные по расчетным профилям — для определения геометрических и электрических параметров зоны минерализации (размеров, положения, поляризуемости, проводимости, содержания сульфидов).

Область применения рекомендуемой методики при поисках закрытых наносами зон сульфидной минерализации в рудных полях оценена на примере Рудного Алтая. Было определено, в каких реальных условиях имеется возможность получить аномалию кажущейся поляризуемости 1%, что составит не менее половины от средней по Алтаю поляризуемости вмещающих пород, достигающей 2%. С этой целью были рассмотрены материалы о соотношении удельных сопротивлений наносов и коренных пород по Рудному Алтаю, о величине избыточной поляризуемости и о размерах зон гидротермально измененных пород с сульфидной вкрапленностью в рудных полях [94].

Удельное электрическое сопротивление рыхлых отложений Алтая колеблется от 10 до 60 ом·м, составляя в среднем около 25—35 ом·м, а основные рудовмещающие эффузивно-осадочные и сланцевые толщи девона и ордовика имеют удельное электрическое сопротивление от 100—150 до 1000—5000 ом·м, в среднем около 500—600 ом·м. Интрузивные породы и известняки, в которых полиметаллическое оруденение на Рудном Алтае локализуется реже, чем в эффузивно-осадочной толще, обладают удельным сопротивлением от 700 до 6000 ом·м. По-видимому, для нас будет приемлемым считать, что соотношение удельных сопротивлений коренных пород и наносов на Рудном Алтае изменяется от 2—3 до 100, в большинстве случаев составляя 15—20. Поляризуемость зон гидротермально измененных пород с сульфидной вкрапленной минерализацией на Рудном Алтае составляет от 2 до 40% при фоне поляризуемости неминерализованных пород не выше 2—2,5%. Таким образом, при наших оценках избыточная поляризуемость зон измененных пород может быть принята равной в среднем 10—15%. С учетом принятых средних цифр, характеризующих поляризуемость и удельное электрическое сопротивление зон гидротермально измененных пород и перекрывающих их наносов ($\eta^* = 10\%$ и $\mu = 19$), из рис. 36 следует, что аномалия ВП интенсивностью 1% и более может быть получена, если горизонтальная

мощность зоны оруденения очень большого протяжения на глубину не менее чем в 2 раза больше мощности наносов. Следовательно, такая зона оруденения под наносами 100—150 м может быть найдена, если ее горизонтальная мощность не менее 300—400 м. Более мелкие зоны при съемке будут пропущены.

Как показано выше, горизонтальные размеры аномалий ВП пропорциональны размерам зон измененных пород, несущих сульфидную вкрапленность.

В табл. 4 сведены данные о количестве аномалий вызванной поляризации разных размеров на колчеданно-полиметаллических рудных объектах с различной промышленной ценностью, залегающих в силикатных породах. Генетический тип и единство условий залегания объектов оговаривается, так как есть основания предполагать, что для других типов рудных полей и условий их залегания существуют особые законы, управляющие масштабом окколрудных изменений. Примером могут служить рудные поля сульфидно-касситеритовых месторождений Комсомольского рудного района, на которых эти изменения и размеры аномалий ВП едва протягиваются на первые десятки метров от промышленных рудных тел.

Таблица 4

Количество аномалий вызванной поляризации на различного размера рудных объектах колчеданно-полиметаллического типа (по материалам В. А. Белаша, В. А. Комарова и других)

Характер объекта, с которым связана аномалия ВП	Число объектов всех размеров	Размеры объектов, м		
		свыше 2500 свыше 1000	свыше 1000 300—1000	до 1000 до 300
Все типы объектов	120	14	32	74
Из них:				
Рудные поля и узлы	10	8	2	0
Промышленные месторождения	19	0	15	4
Непромышленные рудопроявления	37	0	2	35
Геологически неизученные объекты	54	6	13	35

Примечание. В числителе — длина, в знаменателе — ширина объекта.

Из приведенных в табл. 4 данных следует, что для подавляющего большинства разведанных непромышленных рудопроявлений размеры аномалий ВП не превышают по длине 1000 м и по ширине 300 м. Аномалии на промышленных месторождениях характеризуются размерами в длину более 1000 м, а в ширину от 300 до 1000 м. Наконец, крупные рудные поля и узлы, включающие, как правило, одно или несколько промышленных месторождений

и серию рудопроявлений, характеризуются аномалиями ВП, превышающими по длине 2500 м и по ширине 1000 м.

По данным съемки ВЭЗ известно, что для Рудного Алтая к югу от широты г. Рубцовска мощность наносов не превышает 100—150 м.

Из вышесказанного вытекает, что в геоэлектрических условиях северо-западной части Рудного Алтая можно вести поиски крупных зон гидротермально измененных пород с рассеянной сульфидной минерализацией, входящих в состав рудных полей, так как зоны имеют горизонтальную мощность свыше 300 м, мощность перекрывающих их наносов не превышает 100—150 м, а удельное электрическое сопротивление наносов не более чем в 15—20 раз ниже сопротивления вмещающих оруденение пород.

Примеры применения метода ВП для поисков рудных полей на площадях, закрытых наносами

Работы с целью проверки рекомендованной методики поисков рудных полей методом ВП с большими разносами АВ проведены в Змеиногорском районе Рудного Алтая силами Третьяковской геофизической партии АГЭ ЗСТГУ на 5 участках: Тушканихинском, Орловском, Лазурско-Комиссаровском, Варшавском и Крюковском [101].

Результаты работ на Тушканихинском участке обсуждались выше, в главе II. Рудное поле там отмечено аномалией ВП, при мощности наносов на участке от 50 до 76 м. Рассмотрим результаты работ на Орловском и Варшавском участках.

Орловский участок. Рассматриваемый объект (рис. 39) включает известное колчеданно-полиметаллическое рудное поле Орловского месторождения. Участок сложен вулканогенно-осадочной толщей верхнего девона и преимущественно вулканогенной толщей верхнего девона, которые несогласно перекрыты осадочными отложениями карбона, выполняющими отдельные впадины коренного рельефа в северной части участка. На указанную пачку среднепалеозойских отложений по пологому Березовскому надвигу с юго-запада надвинуты метаморфические сланцы ордовика. Весь указанный комплекс пород прорван разнообразными кислыми интрузиями девонского и карбонового возраста. Участок закрыт наносами мощностью до 100 м.

Месторождение приурочено к юго-западному крылу антиклинали и сложено слепыми метасоматическими залежами, расположенными на контакте эффузивов таловской и алевролитов березовской свит среднего девона. Породы последней изменены и несут заметную пиритизацию. Рудные тела имеют форму линз. По вещественному составу руды колчеданно-полиметаллические: они состоят из сфалерита, пирита, галенита, халькопирита. Из нерудных минералов присутствуют кварц, серицит, хлорит, барит.

До опытных работ 1965 г. на участке неоднократно проводилась наземная съемка ВП, но удовлетворительных результатов не было. Полученные значения η_k над рудным полем (см. рис. 39) не превышали 0,5—1%; на графиках не наблюдалось заметных повышений в районе месторождения.

В 1965 г. на участке пройдено 3 профиля установкой срединного градиента метода ВП (см. рис. 39) с $AB=4$ км и выполнено

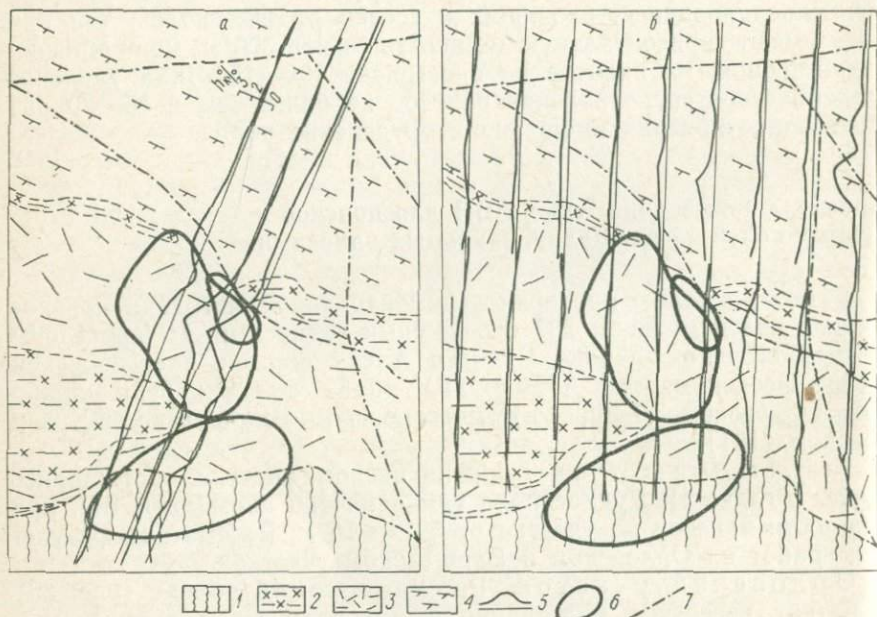


Рис. 39. Результаты наблюдений методом ВП на Орловском участке.

Работы: а — 1965 г.; б — 1961 г.

1 — метаморфические сланцы нижнего палеозоя; 2 — интрузивы; 3 — кислые лавы и туфы среднего девона; 4 — вулканогенные породы среднего и основного состава позднедевонского возраста; 5 — графики кажущейся поляризуемости; 6 — контуры проекций рудных залежей; 7 — тектонические нарушения.

8 ВЭЗ ВП на втором профиле (рис. 40). При этом возбуждение поля ВП осуществлялось разнополярными импульсами постоянного тока, что позволило снизить влияние промышленных помех. В результате съемки над рудным полем получена аномалия кажущейся поляризуемости интенсивностью до 4% при фоне 1%. Максимум аномалии соответствует области проекции разведанного оруденения на поверхность земли. Таким образом, показана возможность поисков зон минерализации на рудных полях, залегающих на глубине от 70 до 800 м под наносами мощностью 50—100 м.

По кривым η_k все ВЭЗ (см. рис. 40) можно разделить на 3 группы: аномальные ВЭЗ 5, 6, 7 и 12 над месторождением, нормальные ВЭЗ 8 и 9 в западной части профиля, над породами ор-

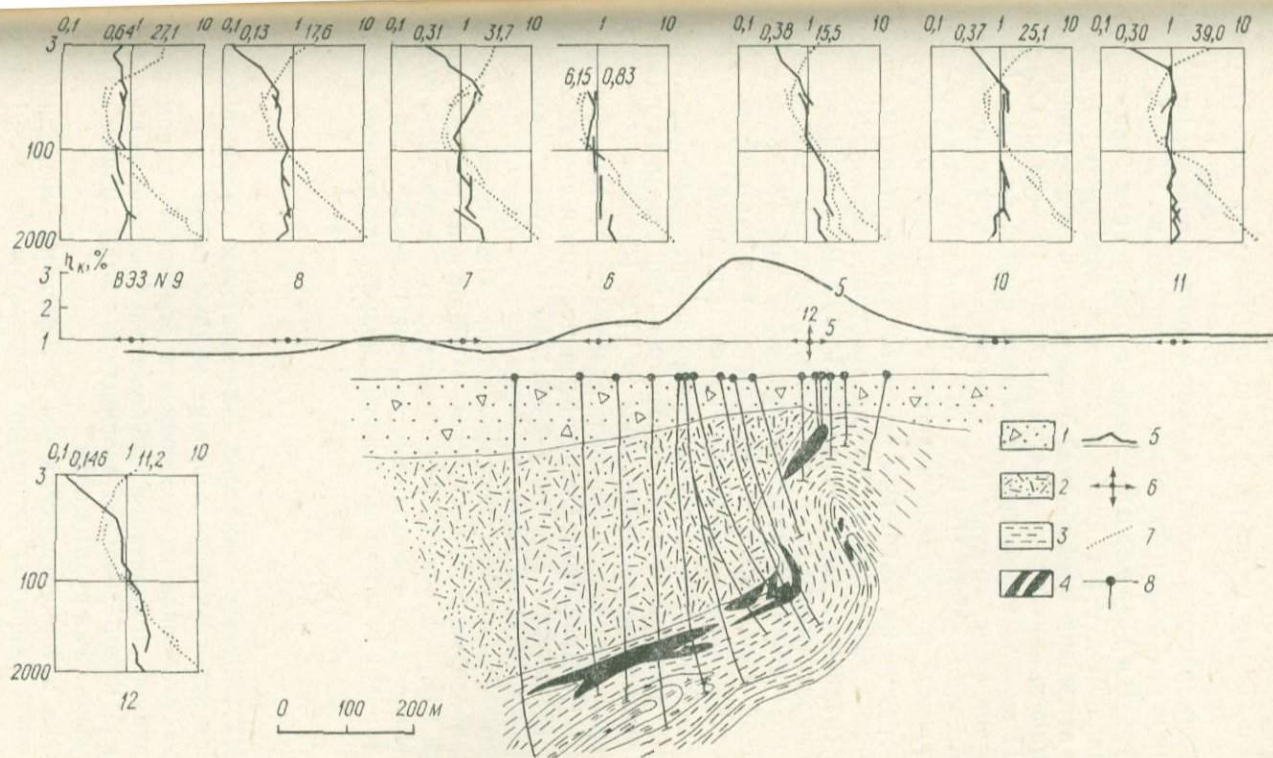


Рис. 40. Результаты наблюдений методом ВП с разносами питающих электродов 4000 м вдоль профиля Орловского участка.

1 — рыхлые отложения; 2 — кислые эффузивы таловской свиты; 3 — пиритизированные сланцы березовской свиты; 4 — руды; 5 — графики кажущейся поляризуемости; 6 — точки ВЭЗ ВП; 7 — графики кажущегося удельного сопротивления; 8 — скважины; цифрами указаны начальные значения η_k и ρ_k ВЭЗ.

довика, и нормальные ВЭЗ 10 и 11 в восточном конце профиля. На кривых η_k ВЭЗ 8, 9, 10 и 11 видно, что коренные породы мало отличаются по поляризуемости от наносов. Характерными чертами аномальных кривых η_k ВЭЗ 5, 6, 7 и 12, находящихся над зоной минерализации рудного поля, являются: повышение значений η_k с увеличением разносов и достижение в максимуме 2,5—3,5%.

Участок Варшавский. Здесь, в отложениях березовской свиты (алевролиты, туфы кислого состава, порфириды), в двух скважинах встречена вкрапленная полиметаллическая минерализация. Мощность наносов на участке достигает 75—100 м. Съемка методом ВП выполнена на трех профилях длиной по 4 км. Максимальные значения кажущейся поляризуемости на профилях 1,1%, минимальные 0,8%. По ВЭЗ ВП установлено, что с ростом разносов значения η_k не увеличиваются и составляют 0,8—1%.

Таким образом, на Варшавском участке измерения методом ВП с большими разносами питающих электродов как установкой срединного градиента, так и установкой ВЭЗ ВП, аномалии кажущейся поляризуемости не установлено. Результаты наблюдений на участке подтверждают ранее сделанный вывод, что мелкие зоны сульфидной минерализации, перекрытые наносами, будут пропущены наблюдениями с рассматриваемой методикой.

В процессе работ 1965 г. осуществлено внедрение методики поисков рудных полей в практику работ производственных партий Алтайской геофизической экспедиции ЗСТГУ. Начиная с 1966 г. партии провели съемку с большими разносами на Кизихинском, Крючковском, Потеряевском, Озерно-Кузнецовском и других участках. По их результатам на ряде площадей выявлены аномалии ВП, с которыми связаны новые крупные рудные поля и открыто промышленное Рубцовское месторождение. Оно обнаружено в 1970 г. при проверке Рудноалтайской экспедицией ЗСТГУ одной из аномалий ВП, полученной при съемке с рассмотренной выше методикой. На участке с мощностью наносов более 80 м скважина на глубине 95—101 м встретила богатые колчеданно-полиметаллические руды.

ВЫВОДЫ

Метод ВП является наиболее эффективным геофизическим средством поисков глубокозалегающих рудных полей.

Теоретически обоснована возможность отыскивать с помощью метода вызванной поляризации крупные глубокозалегающие зоны сульфидной минерализации, входящие в состав рудных полей, и, следовательно, сами рудные поля.

Предложена методика поисков зон сульфидной минерализации в рудных полях, закрытых наносами мощностью до 100—150 м, заключающаяся в применении в методе ВП больших разносов питающих электродов при ВЭЗ и профилировании, а также мето-

дика точечных зондирований ВП для изучения морфологии зон сульфидной минерализации.

На практике показано, что предложенная методика позволяет фиксировать зоны сульфидной минерализации в крупных рудных полях как выходящие под наносы, так и слепые, лежащие на глубинах до 200—500 м от поверхности земли, в частности такие, которые не обнаруживались съемкой ВП при ранее применявшейся методике. Незначительное по масштабам оруденение данной методикой не фиксируется.

Предложенная методика нашла широкое применение в степной северо-западной части Рудного Алтая. С ее помощью обнаружено промышленное Рубцовское месторождение.

ИЗУЧЕНИЕ МОРФОЛОГИИ РУДНЫХ ПОЛЕЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Как показывает опыт изучения морфологии рудных полей, вскрытых бурением на значительную глубину, промышленные рудные тела в них располагаются в одной или нескольких основных ветвях [27]. Задача отыскания промышленных рудных тел, после того как найдено рудное поле II или III рода, сводится, следовательно, к определению числа, местоположения и морфологии основных ветвей рудного поля и к их разведке.

На стадии изучения внутреннего строения рудного поля комплексом геолого-геофизических методов решаются следующие геологические задачи.

1. Детальное геологическое картирование участка рудного поля под наносами в масштабе 1:10 000—1:2000 с целью выявления основных структурно-тектонических элементов участка вмещающей среды и определения границ рудного поля в плане.

2. Выявление на эрозионном срезе потенциально рудоносных структурных элементов и мест возможных выходов фронтальных частей ветвей рудного поля.

3. Объемное геологическое картирование рудоносных структурных элементов участка внутри рудного поля до глубины 300—500 м и прогноз поведения структур и характера геологического строения участка рудного поля на глубину до 2—3 км с целью определения возможных структурно-литологических границ рудного поля и вероятного положения рудоподводящих каналов, т. е. корней рудного поля.

4. Прогноз поведения на глубину основных ветвей рудного поля, в том числе:

- а) оценка морфологического типа рудного поля;

- б) прогноз положения на глубине известных зон измененных пород и первичных ореолов на основании экстраполяции их изученных верхних частей на глубину;

- в) экстраполяция на глубину положения известных верхних частей рудных скоплений и рудных тел;

- г) выявление и прослеживание геолого-геофизическими методами еще не вскрытых ветвей рудного поля и прогноз их положения на глубине;

д) составление геологических документов (карты поверхности, поперечных разрезов и сводного продольного разреза) с указанием ожидаемого положения ветвей рудного поля и размещения в них рудных скоплений и тел.

5. Проходка поисковых скважин с целью вскрытия рудных тел на глубоких горизонтах рудного поля, проверка и уточнение положения на глубине структур и ветвей рудного поля.

Первая из перечисленных задач — детальное геологическое картирование рудного поля — решается геологическими методами и бурением картировочных скважин, после того как ориентировочно установлены общие границы рудного поля по внешнему контуру пород с повышенной поляризуемостью (или пониженной магнитной восприимчивостью). Геологическое картирование и наблюдения полей ВП и магнитного поля производятся по общепринятой методике.

Выявление на поверхности потенциально рудоносных структурных элементов осуществляется путем картировочного бурения и с помощью методов геофизики: грави-, магнито- и электроразведки. Методика этих работ освещена в литературе [70, 107]. Выделение среди обнаруженных структурных элементов тех из них, которые, вероятно, несут в себе оруденение, производится с помощью геохимической съемки или новых, разработанных ВИТР физико-химических методов: по формам нахождения химических элементов в породе или способом частичного извлечения ионов металлов электрическим током [1]. Положение фронтальных частей ветвей рудного поля, которые, как правило, на эрозионном срезе обнаруживаются в виде выходов рудных тел, ореолов металлов, повышением мощности зон измененных пород и т. д., может быть выявлено геологической и геохимической съемками, локальными максимумами поля ВП и аномального ускорения силы тяжести или локальными отрицательными аномалиями естественного электрического поля II порядка.

Решение третьей задачи — объемного геологического картирования основных рудоносных элементов рудного поля на глубину и прогноз их положения до глубин 2—3 км — может осуществляться глубоким бурением, а также с помощью количественной интерпретации данных магнито-, грави- и сейсморазведки, как это показано, например, в работе И. П. Михелева и др. [57]. С помощью этих методов составляются карты прогноза поведения на глубине кровли крупных гранитоидных интрузий, блоков складчато-метаморфического фундамента, глубин распространения перспективных расслоенных эффузивно-осадочных образований и распространения основных тектонических нарушений на глубину, вплоть до кровли базальтового слоя.

Методика прогноза поведения на глубину рудных тел как основных составных частей рудного поля рассмотрена П. Ф. Иванкиным [27]. По-видимому, прогноз положения на глубине зон измененных пород, первичных ореолов, известных рудных образо-

ваний и малых магматических тел по их изученной верхней части можно делать по этой же методике, т. е. путем экстраполяции на глубину границ этих образований, установленных разведкой в их верхних частях. При этом используется построение планов поверхности, поперечных и сводных продольных разрезов рудного поля. Методика определения границ ореолов измененных физических свойств в разрезах рассмотрена выше, а прогноз поведения этих границ на глубину можно выполнять, по-видимому, так же, как и для других ореолов.

До сих пор еще недостаточно разработана методика выявления и прослеживания не вскрытых бурением ветвей рудных полей. Рассмотрим возможности решения этой задачи с применением некоторых геофизических методов.

§ 1. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЕСТЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

В наземном варианте метод естественного электрического поля (ЕП) уже несколько десятков лет служит для обнаружения в земной коре залежей, сложенных электроннопроводящими минералами: сульфидами, магнетитом, графитом и др. [93]. Систематическое изучение объемного распределения естественных электрических полей на рудных месторождениях с использованием скважин началось с 1958—1960 гг., после того как Ю. С. Рысс и А. С. Тясто разработали методику измерения ЕП в скважинах и провели исследование естественных электрических полей в разрезах нескольких месторождений Рудного Алтая [10, 79, 80]. В дальнейшем объемное изучение естественных электрических полей было продолжено А. С. Тясто в Киргизии, М. В. Семеновым, Ю. А. Калашниковым, В. С. Моисеевым на Алтае, Р. С. Сейфуллиным в Забайкалье, В. А. Шафаренко и М. А. Черфасом в Центральном Казахстане, М. В. Семеновым и А. С. Тясто на Дальнем Востоке.

Автором и Ю. А. Калашниковым [99] высказано предположение, что объемное распределение естественного электрического поля вблизи месторождения определяется не отдельными рудными телами, а всей совокупностью рудных скоплений в рудном поле. В перечисленных работах, в диссертации Ю. А. Калашникова и в докладе М. В. Семенова и его коллег на VI Всесоюзной геофизической конференции [39] приводятся сведения о связи объемного распределения естественных электрических полей с морфологией рудных скоплений в рудных полях.

Установлено, что на рудных полях Алтая и Салаирского кряжа на фоне региональных естественных электрических полей (нерудной природы) наблюдаются локальные аномалии I порядка, связанные со всей совокупностью рудных залежей рудного поля, и II порядка, обусловленные интенсивно окисляющимися верхушками отдельных рудных скоплений. Аномалии I и II порядков раз-

личаются по размерам, интенсивности и скорости затухания с удалением от своего источника. Аномалии I порядка, имеющие, как правило, километровые размеры в плане, установлены на Березовско-Новоберезовском, Иртышском, Зыряновском, Карчигинском, Орловском, Урском, Каменушинском и других рудных полях Алтая и Салаирского края [39, 99].

Структура естественных электрических полей имеет свои особенности на рудных полях, различающихся по морфологии рудных скоплений. Наиболее проста и лучше изучена структура ЕП вблизи одиночных плоских крутопадающих ветвей рудных полей с характерными лентовидными залежами, как, например, рудные залежи Новоберезовского месторождения.

По данным П. Ф. Иванкина, В. С. Кузебного и П. В. Иншина [32], Новоберезовское месторождение относится к левой ветви Березовско-Новоберезовского рудного поля, протягивающейся вдоль штока габбро-диоритов и уходящей под него на северо-запад, по-видимому, на 3—4 км по склонению от выхода ветви под наносы и на глубину 2—3 км с углом склонения около 30° и крутым падением к югу.

Рудные тела приурочены к зоне рассланцевания пород, представленных кварц-серицит-хлоритовыми метаморфическими сланцами, и тяготеют к висячему боку зоны близ ее контакта с габбро-диоритами. Тела представлены кулисно расположенными крутопадающими линзами сплошных сульфидных руд, разделенными пачками сланцев с вкрапленностью сульфидов, главным образом пирита.

В верхних и юго-восточных частях ветви развиты колчеданно-полиметаллические руды, сложенные преимущественно пиритом. Глубокие части ветви представлены медноколчеданными рудами, содержащими пирротин и сульфиды меди и цинка. Мощность отдельных рудных тел 10—20 м, длина 100—200 м. Удельное электрическое сопротивление руд 1—50 ом·м. Кулисообразно расположенные рудные тела и повышенная проводимость зоны гидротермально измененных пород с вкрапленностью сульфидов обеспечивают высокую общую проводимость ветви, что установлено работами ВИТР методом заряда и радиопросвечивания. Совокупность рудных скоплений в зоне оруденения имеет в продольном разрезе $I-I$ (рис. 41) вид ромба. Участок перекрыт наносами мощностью до 60—70 м. Изучение ЕП на поверхности и в скважинах проведено в 1958—1959 гг. сотрудниками ВИТР Ю. С. Рысом и А. С. Тясто.

В плане на месторождении (см. рис. 41) наблюдается пологая широкая отрицательная аномалия ЕП, вытянутая вдоль его простирания на 1200 м и в ширину на 700 м. Центр аномалии смещен от проекции рудных тел на массив габбро-диоритов. Наибольшая интенсивность аномалии от 30 до 70 мв. Сравнительно низкая интенсивность аномалии и ее малый градиент по профилям ранее объяснялся влиянием наносов. На наш взгляд, учет наносов не

объясняет наблюдаемой картины. Например, наиболее интенсивная аномалия расположена не на Пр. 1—7, где перекрывающие оруденение наносы имеют небольшую мощность, а на Пр. 0, где мощность наносов в 2 раза выше. По-видимому, наблюдается обычное для рудных полей, имеющих значительные размеры по склонению, локальное поле ЕП I порядка. Подтверждением этого служит структура ЕП в разрезах на Пр. 2 и 6 (см. рис. 41 и 42).

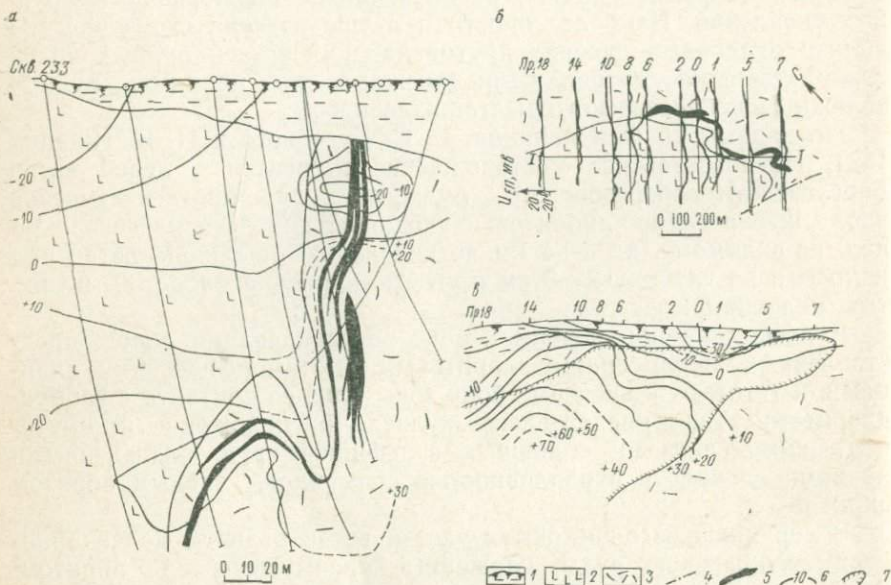


Рис. 41. Результаты наблюдений методом ЕП на рудном поле Новоберезовского месторождения (по материалам Ю. С. Рысса и А. С. Тясто).

а — разрез по Пр. 2; б — план; в — разрез по Пр. 1—1.

1 — наносы; 2 — габбро-диориты; 3 — сланцы, порфириды; 4 — разломы; 5 — сплошные и вкрапленные сульфидные руды; 6 — изолинии потенциала ЕП; 7 — контур проекции рудных тел Новоберезовской ветви рудного поля на плоскость разреза 1—1.

Вверху разреза по Пр. 2 (см. рис. 41) наблюдается отрицательное поле, имеющее два полюса. Один из них приурочен непосредственно к верхней окисляющейся части рудной залежи. Его интенсивность до -135 мв при очень резком затухании поля с удалением от залежи (прослеживается не далее 50 м). Подобные поля мы называли полями II порядка. Второй отрицательный полюс имеет центр у скв. 233. Поле здесь имеет малые градиенты затухания как в наносах, так и в коренных породах, где оно прослеживается на несколько сотен метров. В отличие от поля верха рудных тел последнее относится к полям I порядка. Поле II порядка в разрезе Пр. 2 является составной, усложняющей частью поля I порядка. В нижней части разреза наблюдается общее для них положительное поле, приуроченное непосредственно

к рудным телам интенсивностью всего до 30 мв с небольшими градиентами. Ориентировка оси дипольной электрической системы

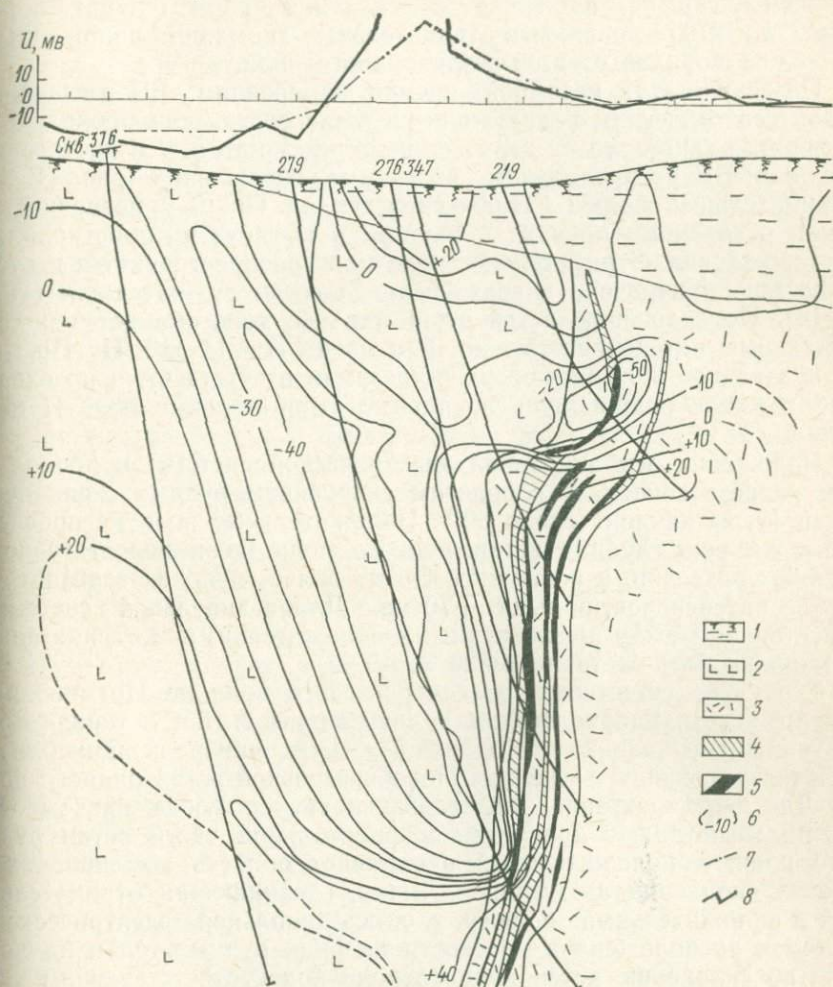


Рис. 42. Результаты наблюдений методом ЕП на Пр. 6 рудного поля Новоберезовского месторождения (по А. С. Тясто).

1 — рыхлые отложения; 2 — габбро-диориты; 3 — порфитроиды; 4 — кварц-хлорит-серицитовые, кварц-серицит-хлоритовые и серицит-кварц-хлоритовые метаморфические сланцы; 5 — сульфидные руды; 6 — изолинии потенциала естественного электрического поля; графики потенциала естественного электрического поля: 7 — на поверхности земли, 8 — на границе коренных пород.

в разрезе Пр. 2 (направление от отрицательного к положительному полюсу) примерно совпадает с падением зоны оруденения.

На соседних разрезах структура естественного электрического поля напоминает изображенную на разрезе по Пр. 2. Только на

Пр. 6 (рис. 42) она усложнена влиянием тектонической зоны с фильтрующей по ней водой: на поверхности земли у самоизливающейся скв. 347 наблюдается локальная положительная, а по скв. 274 и 279 — локальные отрицательные аномалии, наложенные на поле I порядка от всей ветви рудного поля.

По результатам наземной съемки, измерениям ЕП в скважинах и геологическим разрезам нами была составлена продольная проекция рудных тел на вертикальную плоскость $I—I$ и построены изолинии ЕП по продольному разрезу месторождения (рис. 41, в). Отрицательный полюс ЕП фиксируется на Пр. 0 у поверхности земли в коренных породах и наносах и вытянут по простиранию месторождения. Отрицательное поле мало распространяется в глубину. Оно приурочено к верхней части ветви рудного поля (Пр. 7—14). По склонению ветви отрицательное поле сменяется положительным интенсивностью до $+70$ мв на Пр. 14—18. На Пр. 18 отрицательное поле на поверхности земли отсутствует, а по скважинам наблюдаются лишь локальные отрицательные поля II порядка.

Положение оси дипольной электрической системы в продольном разрезе совпадает с пологим склонением рудных скоплений ветви (углы наклона около 30°). Положительные поля не прослежены на всю глубину ветви рудного поля из-за недостаточной глубины разведки, и возможно, что на более глубоких горизонтах они по интенсивности выше $+70$ мв. Длина дипольной системы (расстояние между прослеженными положительным и отрицательным полюсами) составляет 800 м.

Структура естественного электрического поля на Иртышском, Карчигинском, Габриэлевском рудных полях Алтая с типичными лентовидными залежами в одиночных зонах минерализации близка к рассмотренной выше для Новоберезовской ветви рудного поля. Для нее характерно существование двух полюсов, причем отрицательный полюс приурочен к фронтальной части ветви рудного поля, а положительный охватывает область выклинивания рудных скоплений на глубине. Линия, соединяющая отрицательный и положительный полюса, т. е. ось дипольной электрической системы, расположена в плоскости падения рудных тел и наклонена по склонению ветви рудного поля под соответствующим углом к горизонту. Расстояние по оси между полюсами достигает 1—2 км и, по-видимому, зависит от длины по склонению ветви рудного поля. Разность потенциалов между полюсами достигает 200—500 мв. Длина части рудных скоплений, приходящаяся на область распространения отрицательных полей составляет, как правило, от одной третьей до одной седьмой части общей длины ветви по склонению или по падению [99]. Во всех случаях структура ЕП на отдельных ветвях рудных полей определяется морфологией ветви рудного поля.

Следует отметить, что все названные рудные поля относятся к значительным по размеру полям III рода, расположенным в ос-

новном в крупных крутопадающих структурах в региональных зонах смятия.

Хуже изучено и мало освещено в литературе строение естественных электрических полей на многокорневых рудных полях II рода. На некоторых из них, например на Змеиногорском (Алтай) или Урском и Каменушинском (Салаирский кряж), на поверхности земли наблюдаются отрицательные локальные аномальные поля I порядка, охватывающие всю площадь рудного поля.

Однако естественные электрические поля I порядка свойственны, по-видимому, не всем многокорневым рудным полям II рода. Они не установлены, например, на Акбастауском (Чингиз-Тау) и Снегирихинском (Алтай) рудных полях. Характер положительных полей I порядка в глубинных частях рудных полей, насколько нам известно, пока не исследован полностью ни на одном многокорневом рудном поле. Лишь на единичных примерах изучена и объемная структура естественного электрического поля на самостоятельных группах рудных скоплений или месторождениях, по-видимому, являющихся ветвями этих рудных полей. В качестве такого примера приведем описание естественного поля на Потенциальном месторождении Снегирихинского многокорневого рудного поля.

Рудное поле расположено на пересечении региональной Северо-Восточной зоны смятия и глубинного широтного Снегирихинского (Южно-Орловского) разлома. Оно найдено в начале 1960-х годов Алтайской геофизической экспедицией ВКТГУ по металлометрическим ореолам и аномалиям естественного электрического поля. Наземная съемка ЕП на этой площади выполнена А. И. Балакиным и К. Б. Арминбаевым. Скважинные измерения ЕП проведены Ю. А. Калашниковым и В. Д. Толстобровым.

Кроме Потенциального месторождения в состав Снегирихинского рудного поля входит Юбилейно-Снегирихинское (бывшее Геофизическое), состоящее из Западного, Центрального и Восточного рудных тел. Последние имеют вид плоских крутопадающих коротких по простираанию и вытянутых на глубину линз, расположенных в одной зоне повышенного рассланцевания пород в контакте таловской и шипуновской свит среднедевонского возраста.

Потенциальное месторождение залегает в крутопадающей зоне повышенного рассланцевания пород северо-западного простираания, сложенной переслаивающимися кислыми лавами, туфами и порфиритами, местами серицитизированными и хлоритизированными, и различными кварц-хлоритовыми метаморфическими сланцами по осадочным породам (рис. 43). Месторождение представлено серией крутопадающих линз сплошных и густовкрапленных колчеданных и медно-цинковых руд. Линзы на поверхности земли прослежены на 600 м по простираанию. Они лежат согласно с вмещающими сланцами и туфами и имеют склонение на юго-восток под углом около 50—80°. Верхняя часть рудных тел лежит выше уровня грунтовых вод и интенсивно окислена.

Известные группы рудных тел и скоплений Потенциального и Юбилейно-Снегирихинского месторождений отмечены каждая самостоятельным локальным отрицательным аномальным естественным полем.

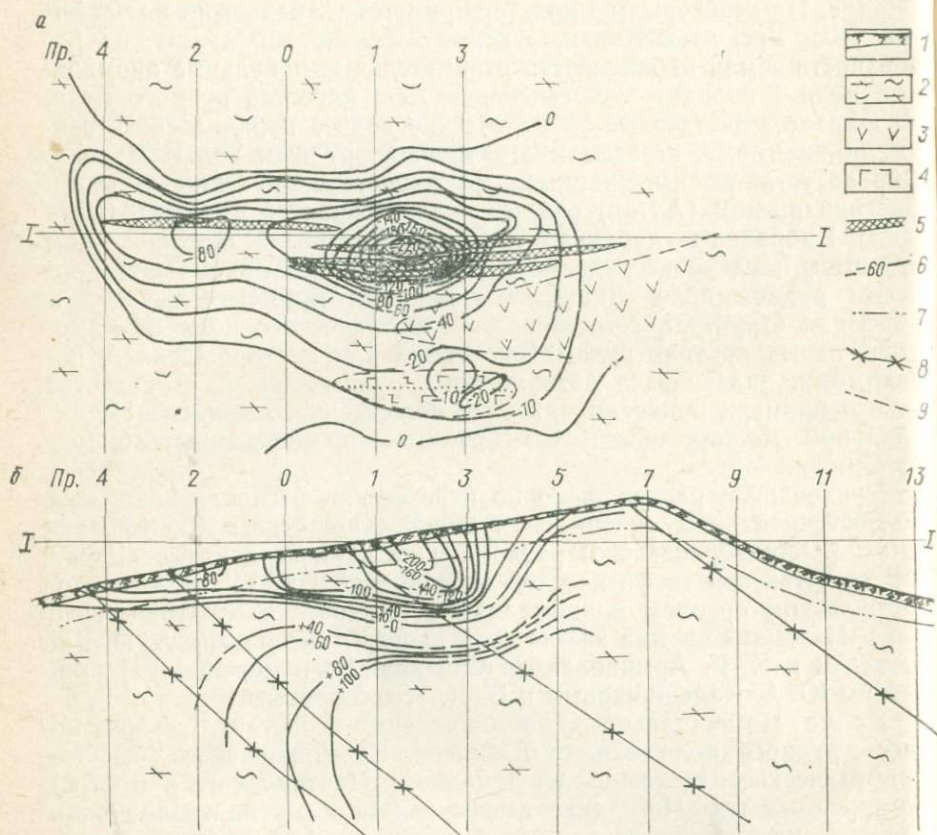


Рис. 43. Схематическая геологическая карта (а) и разрез по линии I—I (б) части рудного поля Потенциального месторождения с изолиниями потенциала ЕП (по материалам А. И. Балакина и Ю. А. Калашникова).

1 — почвенно-растительный слой; 2 — лавы и туфы порфиров, переслаивающиеся с кварц-серпичит-хлоритовыми сланцами; 3 — андезитовые порфиристы; 4 — диабазы; 5 — сульфидные руды; 6 — изолинии потенциала ЕП; 7 — граница зоны окисления; 8 — предполагаемые границы рудных тел; 9 — другие геологические границы.

На Потенциальном месторождении наземной съемкой выявлено локальное ЕП II порядка интенсивностью до 220 мВ со значительными градиентами, приуроченное к выходам окисленных рудных тел. Ширина аномалии ЕП по изолинии 10 мВ равна 250 м, длина до 600 м. Контур аномалии в плане охватывает проекции рудных тел. Поля I порядка с низкими градиентами при съемке не обнаружено.

В разрезе по Пр. 0 (рис. 44, а) в верхней части рудных тел наблюдается отрицательный полюс с резкими градиентами поля; центр поля приурочен к границе зоны окисления; интенсивность его до 100—120 мв. Положительный полюс интенсивностью до 90 мв приурочен к области выклинивания рудных тел на глубине. Градиенты положительного поля также достаточно высоки.

В разрезе по Пр. 1 (рис. 44, б) картина изолиний ЕП сходна с наблюдающейся на Пр. 0. Область распространения отрицательных полей несколько больше, а их интенсивность достигает 180—200 мв. Положительные поля занимают много ббльшую площадь, чем на Пр. 0, и интенсивность их тоже выше, но не столь значительно, как отрицательных (до +100 мв). По поведению положительных полей можно предполагать, что рудные тела снизу выклиниваются на большей глубине, чем указано на разрезе, примерно около отметки 600 м.

На продольном разрезе месторождения по линии I—I с проекцией картины ЕП в изолиниях на плоскость падения рудного тела (см. рис. 43) видно, что отрицательный полюс всей системы ЕП месторождения расположен в середине выхода совокупности рудных залежей на поверхность. Положение оси дипольной электрической системы, по-видимому, не вертикальное, так как на разрезе Пр. 1 в эпицентре отрицательное поле много интенсивнее положительного, а область положительных значений больше, чем на Пр. 0. Судя по имеющимся данным, ось системы наклонена по склонению рудной залежи. Размеры отрицательного полюса в прослеженной части системы (около 150 м) позволяют предположить, что общие ее размеры тоже невелики: примерно до 450—500 м по склонению.

Сравнивая объемную структуру ЕП на Новоберезовской ветви рудного поля с полученной на Потенциальном месторождении, можно обнаружить, что на Потенциальном месторождении структура поля тоже обеспечивается, по-видимому, дипольной системой, связанной со всем месторождением, но расстояние между полюсами ее много меньше, чем на рассмотренных выше рудных полях.

На Западном и Центральном рудных телах Юбилейно-Снегирихинского месторождения по наблюдениям в скважинах для каждого тела можно предположить существование самостоятельной дипольной электрической системы ЕП. Размеры этих полей невелики (первые сотни метров), а их структура такая же, как на Потенциальном месторождении. Поля недостаточно исследованы на глубину. Таким образом, три изученные ветви Снегирихинского рудного поля характеризуются самостоятельными естественными электрическими полями II порядка. Структура их связана с морфологией ветви.

Наименее изучена структура естественного электрического поля на рудных полях, имеющих разветвления, каждое из которых велико по размерам. Изучение ЕП от таких ветвей на крупных рудных полях III рода, например на Березовско-Новоберезовском

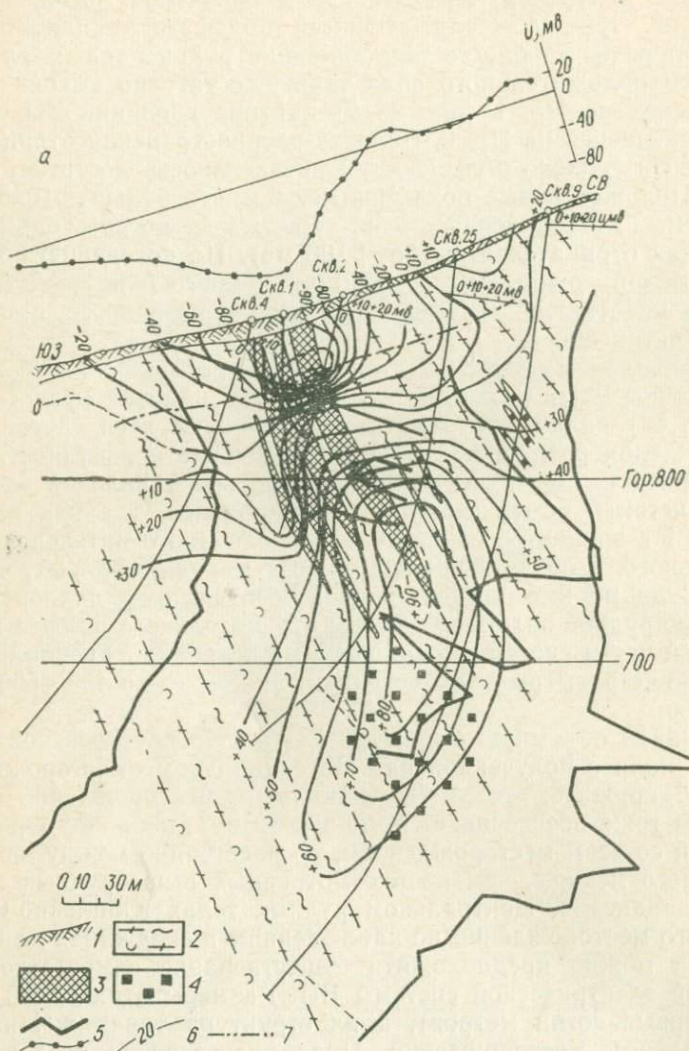
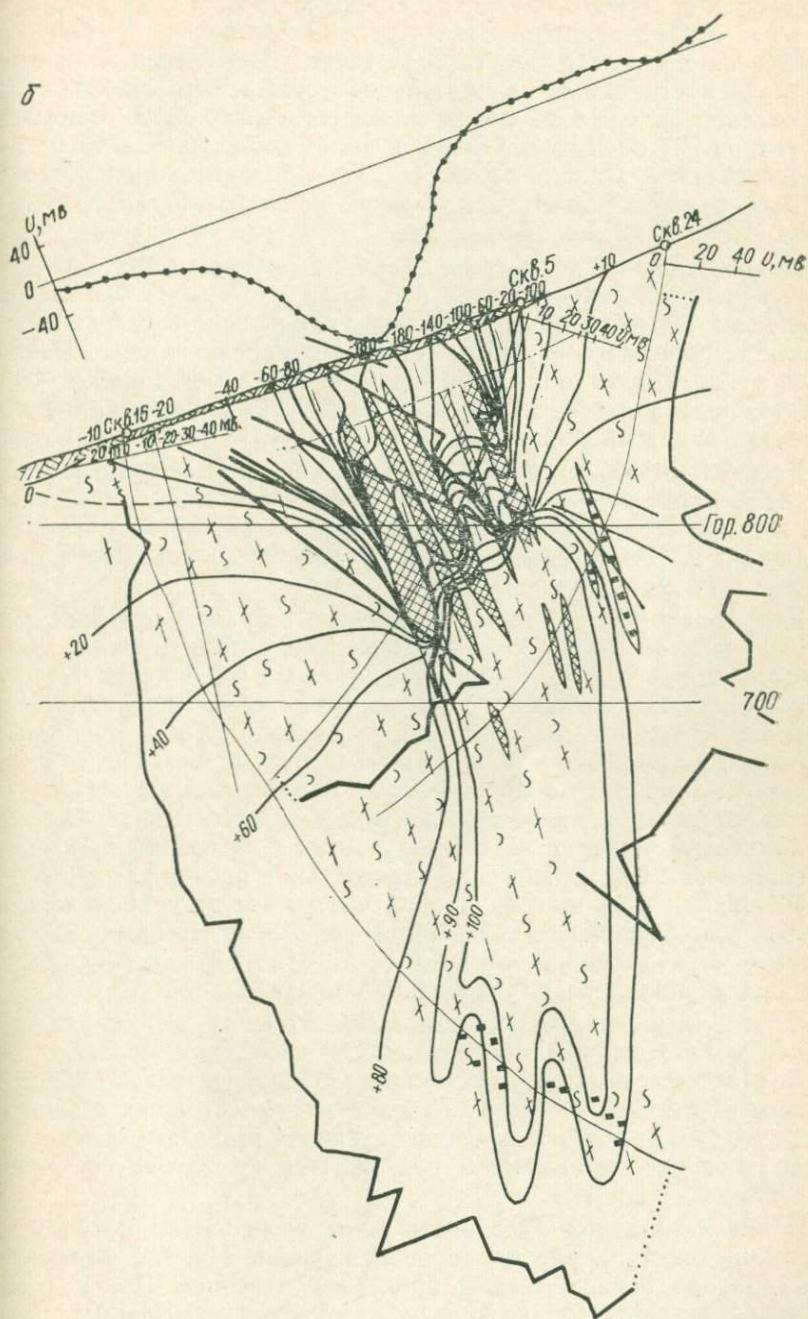


Рис. 44. Геологические разрезы по Пр. 0 (а) и 1 (б) рудного поля Потенциального месторождения с результатами наблюдений методом ЕП (по Ю. А. Калашникову).

1 — почвенно-растительный слой; 2 — переслаивание лав и туфов кислого состава и хлорит-серпентиновых сланцев; 3 — сульфидные руды; 4 — вкрапленность сульфидов, пиритизация; 5 — графики потенциала ЕП; 6 — изолинии потенциала ЕП; 7 — уровень грунтовых вод.

5



рудном поле, порой сопряжено с непреодолимыми пока трудностями из-за ограничения разведки отдельных ветвей на глубину. Известно, например, что Березовская ветвь упомянутого поля имеет на поверхности земли отрицательное естественное электрическое аномальное поле, по размерам соответствующее полю I порядка. Структура ЕП на Новоберезовской ветви (до глубины 700 м) рассмотрена выше. Однако характер ЕП в области корня этого огромного рудного поля, находящегося, по-видимому [27], на глубинах около 2 км, не изучен.

Не исследовано полностью объемное распределение ЕП и на других крупных рудных полях Алтая, для которых известны разветвления: Иртышском, Белоусовско-Глубочанском, Зырянском. Описание объемного распределения на одной из ветвей Зырянского рудного поля приведено в работе [99]. Еще менее изучены естественные электрические поля на крупных разветвляющихся объектах в других районах СССР.

Рассмотрим структуру ЕП на одном из небольших сульфидно-касситеритовых рудных полей, имеющем разветвления. Естественные поля на этом рудном объекте изучались автором на поверхности земли и в скважинах, которыми разведывалось Перевальное оловорудное месторождение.

Участок сложен песчаниками юрского возраста, смятыми в довольно пологие складки северо-восточного простиранья. Выше песчаников в пределах узких грабен-синклиналей почти горизонтально залегают меловые эффузивы и их туфы. Распространение оловянного оруденения контролируется крупными меридиональными зонами дробления, каждая из которых протягивается на несколько километров по простиранью. В центральных частях этих зон локализуются кварц-турмалиновые, кварц-серицитовые или пропилитовые минерализованные участки с сульфидной, касситеритовой и вольфрамитовой вкрапленностью и прожилками [71].

Оловянная минерализация практически всегда сопровождается сульфидной, располагающейся по ее периферии. Количество сульфидов обычно невелико: от 2—3 до 10—15%. Текстура сульфидных руд вкрапленная или прожилково-вкрапленная [21].

В рассматриваемом рудном поле основная меридиональная рудная зона (рис. 45) расположена в эффузивах мелового возраста и отчасти в юрских песчаниках. Оловорудное тело в ней по данным опробования состоит из двух рудных столбов: южного и северного. По результатам предварительной разведки, рудное тело имеет северное склонение и погружается на глубину в районе Пр. XVI—XVIII.

Наличие западной рудоносной зоны установлено методом заряда. Она ответвляется от основной в районе Пр. XX. Геологическая природа западной зоны проверена бурением Пр. V, где в скважине установлены несколько интервалов измененных пород с повышенными содержаниями олова.

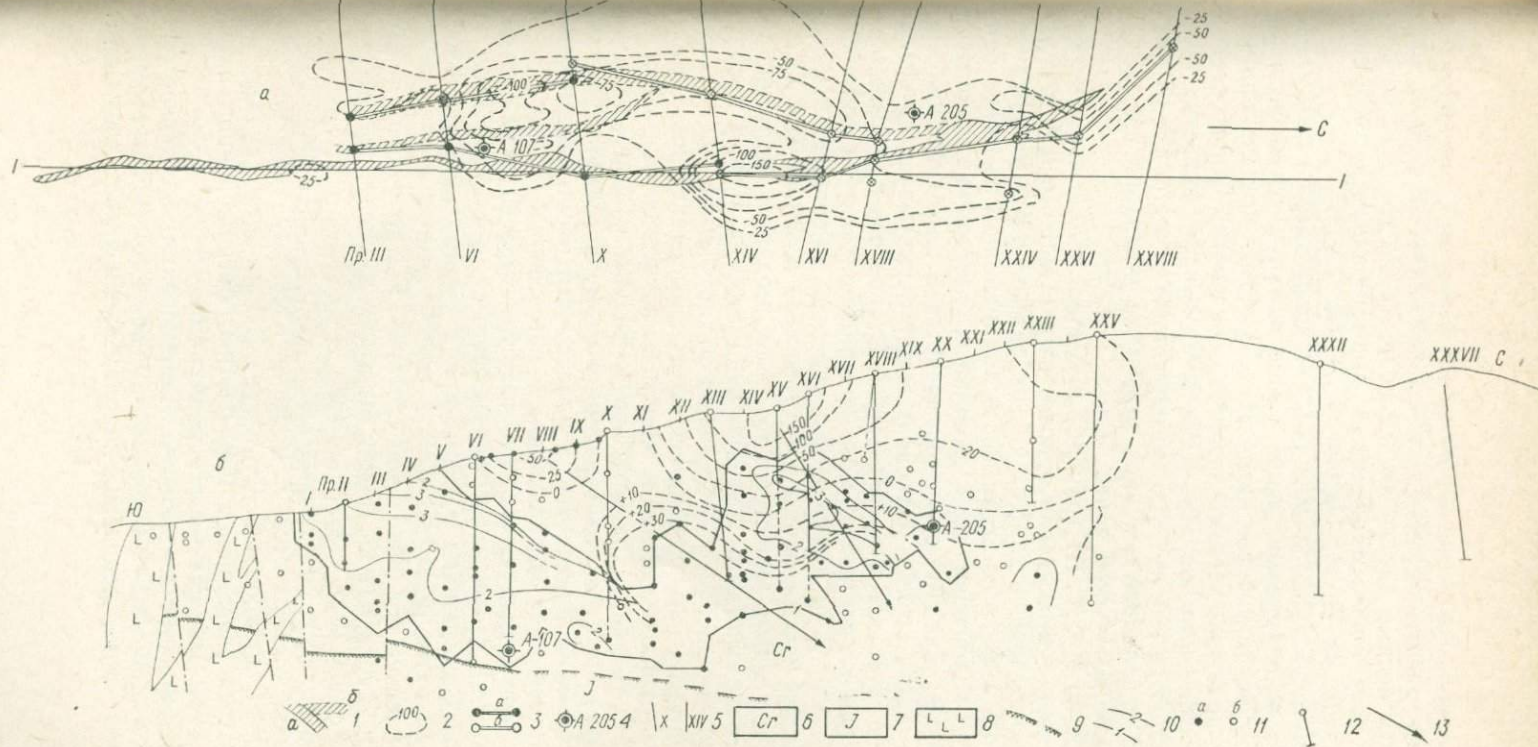


Рис. 45. Результаты геофизических исследований на рудном поле Перевальского сульфидно-касситеритового месторождения (геологическая основа по Ю. И. Бакулину).

1 — зоны пропилитизации пород (а — прослеженные канавами, б — предполагаемые по геофизическим данным); 2 — изолинии потенциала ЕП; 3 — оси аномалий метода заряда (а — при источнике тока в скв. 107, б — в скв. 205); 4 — проекции точек заряда; 5 — разведочные линии; 6 — эффузивы среднего и кислого состава мелового возраста; 7 — песчаники юрского возраста; 8 — субвулканические интрузии; 9 — граница юрских и меловых пород; 10 — изолинии содержаний олова в рудах, усл. ед.; 11 — точки пересечения рудной зоны скважинами (а — с рудой, б — безрудные); 12 — скважины, по которым выполнены наблюдения ЕП, и их номера; 13 — оси диполей ЕП.

На плане участка (рис. 45, а) вокруг зон минерализации и частично над южным рудным столбом наблюдаются нормальные, нулевые естественные электрические поля. Такие же поля прослежены и по скважинам, пройденным в нормальных по наземной съемке участках на Пр. II—VII и XXXII—XXXVII.

Северная часть рудного тела создает вокруг себя интенсивное естественное электрическое поле. Один из двух отрицательных эпицентров поля на участке интенсивностью до -150 мв приурочен к месту проекции верхней части этого слепого рудного столба на поверхность земли на Пр. XIV—XVI. Второй эпицентр поля интенсивностью до $-75 \div -100$ мв расположен на Пр. VI—X примерно в 300 м западнее основной зоны минерализации, на западном разветвлении рудной зоны.

В разрезе по Пр. XVIII (рис. 46) наблюдается обычная картина распределения естественного поля: отрицательные ЕП в верхних и положительные в нижних частях разреза зоны минерализации. С учетом данных по поверхности земли можно наметить ориентировочное положение двух дипольных электрических осей в объеме участка. Одна из них располагается в плоскости падения северного рудного столба (основной зоны) и указывает на северное склонение этой ветви рудного поля. Вторая ось протягивается от отрицательного эпицентра поля, расположенного на западной зоне на Пр. VI—X, и имеет также северное склонение, приближаясь к нижней части северного рудного тела в районе Пр. XVI—XVIII, где по данным естественного поля, геологии, каротажных методов и геохимического изучения рудного тела можно предполагать местонахождение общего корня рудного поля.

Таким образом, наблюдающаяся на данном рудном поле сложная, с двумя отрицательными и общим положительным полюсами структура ЕП связана с разветвлением фигуры рудного поля на две самостоятельные наклонно расположенные к горизонту ветви, выходы которых на кратчайшее к поверхности расстояние и фиксируются эпицентрами отрицательного естественного поля.

Подводя итоги, следует сказать, что структура ЕП на рудных полях не всегда соответствует сложившимся представлениям о вертикальной естественной поляризации в рудных залежах [93]. В ряде случаев устанавливается пологое, с углами к горизонту до $20-45^\circ$, положение оси дипольной системы ЕП на рудных полях. Реальная структура ЕП не может быть также уподоблена структуре поля диполя (или нити диполей).

Наиболее полно изучена объемная структура ЕП I порядка на рудных полях, относящихся к морфологическому типу плоских, лентовидных разновидностей. Структура ЕП на таких рудных полях оказывается связанной с морфологией фигуры рудного поля, а размеры аномалии ЕП — с его размерами.

Метод ЕП можно использовать для отыскания выходов на эрозионный срез крупных ветвей рудных полей (в том числе имеющих разветвления), для определения направления и углов склонения и

падения ветвей, оценки их размеров по склонению и падению и для выявления корневых частей в рудных полях.

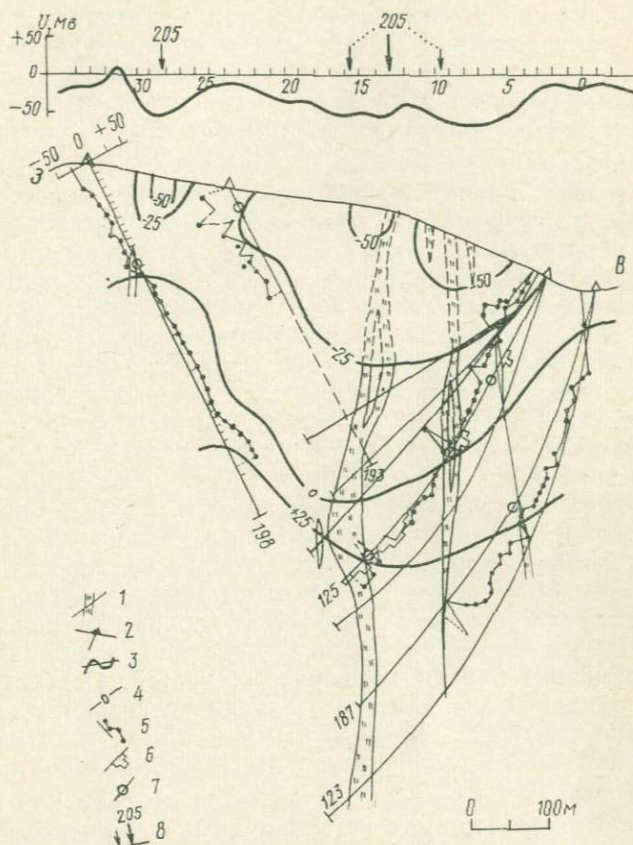


Рис. 46. Разрез по Пр. XVIII рудного поля Перевального месторождения с результатами наблюдений ЕП.

1 — зоны минерализации; 2 — скважины; 3 — график потенциала ЕП на поверхности земли; 4 — изолинии потенциала ЕП; 5 — графики потенциала ЕП по скважинам; 6 — аномалии ВП трехэлектродного профилирования по скважинам; 7 — аномалии каротажного эффекта естественного поля в скважинах; 8 — оси аномалий метода заряда (точка заряда в скв. 205).

Большие размеры дипольных систем ЕП на рудных полях, относимых к III роду, обеспечивают появление над ними на поверхности земли обширных малоинтенсивных аномалий ЕП I порядка.

§ 2. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЗАРЯДА

Известно, что в методе заряда для поисков и изучения морфологии и элементов залегания проводящих образований используются электрические поля, создаваемые источниками тока, помещенными непосредственно в хорошо проводящие электрический

ток рудные тела или зоны минерализации [67, 75, 89, 90 и др.]. Рассматривая накопленный опыт с точки зрения возможности применения метода заряда для изучения морфологии ветвей рудных полей, можно убедиться, что метод эффективен для прослеживания на поверхности земли или в объеме участков хорошо проводящих рудных скоплений и зон минерализации, состоящих из ветви рудных полей II и III рода с характерными плоскими, лентовидными или линзовидными формами рудных скоплений.

Перспективность применения метода заряда для изучения морфологии рудных полей, имеющих разветвления, недостаточно освещена в литературе. П. Ф. Иванкиным было высказано предположение о возможности поисков и прослеживания этим методом еще не обнаруженных бурением ветвей в крупных рудных полях. Для проверки и реализации этого предположения автором совместно с В. С. Моисеевым, М. В. Болдыревым, И. Ф. Гусевым и Н. И. Поповым были предприняты лабораторные, а затем полевые исследования электрических полей от разветвляющихся рудных объектов [39, 60, 100]. Результаты лабораторных исследований показали, что применение метода заряда при поисках соседних ветвей рудных полей может быть целесообразным, если слагающие их породы имеют проводимость на 3—5 порядков выше проводимости вмещающих пород, и в корне рудного поля ветви геологически соединены. В этом случае каждая из ветвей на поверхности земли отмечается повышенными значениями потенциала электрического тока в районе их верхних кромок. При изучении ЕП на поверхности земли и в скважинах на таких рудных полях возможны поиски их корневых частей. Особенности морфологии рудного поля для этого случая не играют существенной роли: ветви его будут отмечены как при тупых, так и при острых углах между ними в горизонтальной и в вертикальной плоскостях.

Метод заряда менее перспективен для поисков или прослеживания хорошо проводящих ветвей рудных полей, сближающихся на глубине, но разделенных между собой вмещающими породами. Поиски таких ветвей возможны, если угол между ними в горизонтальной плоскости тупой или близок к прямому. В таком случае незаряженная ветвь рудного поля может быть отмечена на поверхности земли аномальным повышением потенциала электрического поля. Ветви же, расходящиеся под углом около 30° и меньшие по размерам, чем заряженная, слабо отмечаются на планах и разрезах изолиний потенциала ЕП [100].

Более благоприятен случай, когда не связанные между собой ветви залегают в одной линейной крутопадающей структуре одна под другой или одна за другой, выходя по восстанию на эрозионный срез друг за другом на некотором расстоянии. В этом случае выступающая незаряженная ветвь отмечается вытянутостью изолиний потенциала по ее простираанию в плане и в продольном разрезе.

Метод заряда, по-видимому, неприменим для поисков соседних ветвей рудного поля, сложенных линзообразными, кулисно расположенными проводящими мелкими телами, разделенными участками пород с высоким удельным сопротивлением, даже если ветви расходятся под тупым углом.

Таким образом, лабораторные исследования показали, что в определенных геологических условиях задача поисков соседних проводящих ветвей рудного поля может решаться методом заряда.

При изучении морфологии рудных полей площадь исследований должна быть в длину в три раза больше ожидаемой длины рудного поля и примерно такой же в ширину. Следовательно, если известная или ожидаемая длина рудного поля составляет 1—2 км, площадь исследований должна равняться десяткам квадратных километров.

Для работ методом заряда на таких площадях необходимо привлекать мощные генераторные группы электроразведочных станций (ВПС-63 и т. п.) и удалять второй питающий электрод на 7—10 км от участка работ, используя для этой цели провода с низким сопротивлением. Наблюдения следует вести установкой потенциала как на поверхности земли, так и в скважинах и горных выработках, приводя все замеры потенциала к единому уровню, близкому к истинному нулевому потенциалу (т. е. к потенциалу «бесконечно» удаленной точки). Проведение работ установкой градиента нецелесообразно, так как в этом случае существенно проявляются все мелкие неоднородности среды в районе приемных электродов, а эффект от основного заряженного проводника оказывается утерянным.

Помещение источника тока в верхнюю часть прослеживаемой ветви тем более невыгодно, чем выше удельное сопротивление слагающих ее пород. Влияние удельного сопротивления пород и руд ветви рудного поля на картину электрического поля вокруг нее исследовалось В. С. Моисеевым [60 и др.]. Им показано, что это влияние значительно ниже, если источник тока помещается в нижней части ветви и ее большая часть располагается между точкой заземления и дневной поверхностью. В этом случае поле точечного источника на поверхности земли мало и сравнительно равномерно и незначительно изменяется, а аномальные эффекты от близких к поверхности частей ветви видны отчетливо уже при отношении удельных сопротивлений пород ветви и вмещающей среды в 2—3 порядка.

К сказанному следует добавить, что, как показано А. Ф. Фокиным [110], роль проводящих меняющейся мощности наносов на поле потенциала точечного источника тока на поверхности земли существенна только в том случае, когда расстояние от поверхности до источника тока меньше 3—5 мощностей наносов. При большей глубине погружения источника тока на поверхности земли практически измеряется потенциал, имеющийся на границе наносов и коренных пород.

Таким образом, если предполагается вести работы на поверхности земли, источник тока надо помещать в изучаемое рудное поле, выбирая в нем по материалам токового каротажа (ТК) наиболее проводящие участки, электрически связанные с большинством рудных скоплений в ветви и расположенные как можно глубже.

Полевые исследования подтвердили, что метод заряда эффективен для прослеживания самостоятельных ветвей (разветвлений) на сравнительно небольших рудных полях. Положительным примером таких работ являются исследования на Перевальном сульфидно-касситеритовом рудном поле, где методом заряда выявлено западное ответвление оловорудной зоны.

Работы проведены при помещении источников тока в южную и северную части рудного тела Основной зоны, в скв. 107 и 205 (см. рис. 45). При этом прослежено простираание Основной зоны по положению максимумов потенциала электрического поля на поверхности земли. Западная зона проявилась в виде боковой аномальной оси. Судя по положению этой оси при заряде в скв. 205, Западная зона ответвляется от Основной в районе Пр. XVIII—XX. Существование западной ветви и ее оловоносность подтверждены проверочным бурением на Пр. V.

С помощью метода заряда на Таловском рудном поле Алтая В. С. Моисеевым (СНИИГГИМС) было предсказано существование еще одной, нижележащей ветви рудного поля, обнаруженной впоследствии бурением. Работниками Башкирского геологического управления на участке Подольском, где мощность рыхлых отложений около 400 м, методом заряда оконтурена площадь рудного поля и определены участки, наиболее перспективные для разведки. На одном из них, отмеченном локальной аномалией метода заряда, расположенной в 1,5 км от заряженного рудного подсечения, в двух скважинах обнаружены колчеданные руды значительной мощности.

Сложнее обстоит дело на крупных разветвляющихся рудных полях III рода, которые, как правило, уже разрабатываются и действующие рудники и поселки создают интенсивные электрические помехи. В этих условиях во избежание несчастных случаев следует прокладывать линии «бесконечность» на столбах.

Мощность генераторных установок электроразведочных станций иногда оказывается недостаточной, чтобы обеспечить в условиях промышленных помех надежные исследования на всей необходимой площади. В результате часть территории, удаленная от точки заземления на несколько километров, оказывается неисследованной, а электрические поля с явными признаками аномальных проявлений от проводящих объектов не полностью изучены.

Примером такого случая могут служить результаты работ методом заряда на Иртышском рудном поле (рис. 47). Работы выполнены силами АГЭ ВКТГУ [100] с целью изучения возможнос-

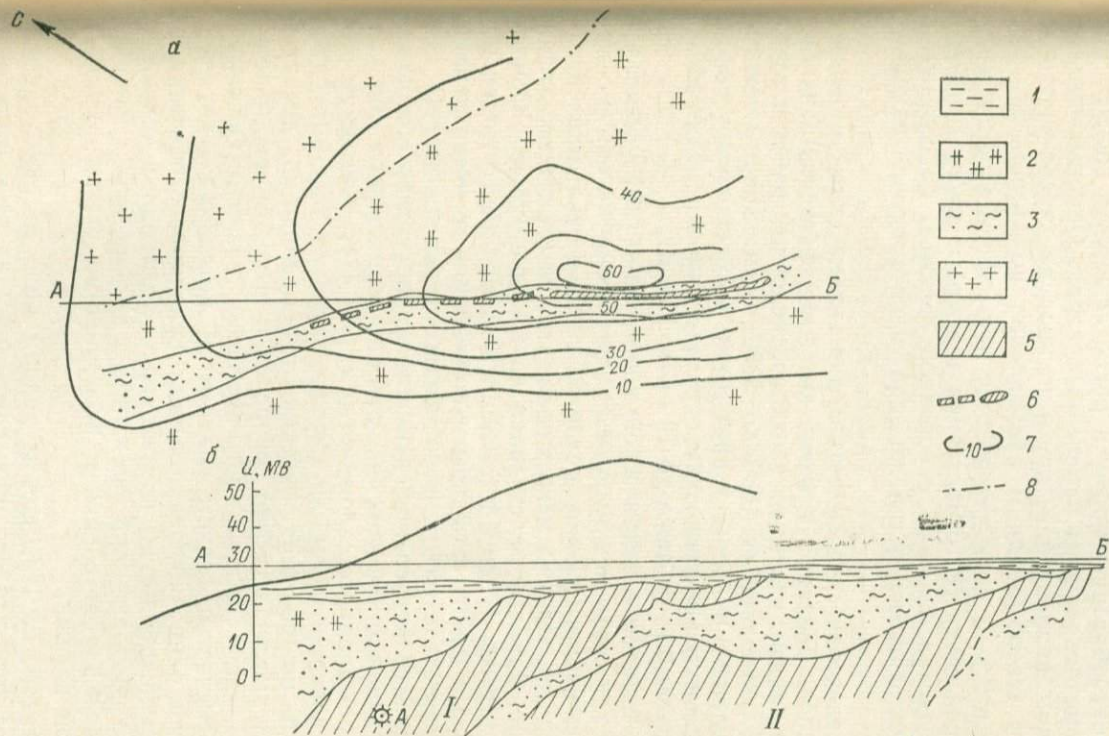


Рис. 47. Схематическая геологическая карта (а) Иртышского рудного поля и проекция рудных залежей на плоскость разреза АБ (б) с результатами работ методом заряда (по В. Е. Голубцову).

I — Основная залежь, II — Юго-Восточная залежь.
1 — рыхлые отложения; 2 — кварцевые порфиры, альбитофиры; 3 — кварц-серицит-хлоритовые сланцы; 4 — плагиограниты, гранодиориты; 5 — колчеданно-полиметаллические залежи; 6 — в разрезе; 7 — в плане; 8 — изолинии потенциала электрического поля; 8 — тектонические нарушения.

тей использования метода заряда для обнаружения и прослеживания ветвей Иртышского рудного поля, известных как Основная рудная залежь (с сопутствующими мелкими линзами) и Юго-Восточная залежь.

Рудные тела и линзы первой ветви (Основной залежи) имеют плито- или лентообразную форму и располагаются в висячем боку многокилометровой зоны измененных пород. Они вытянуты в северо-западном направлении, круто падают на северо-восток и склоняются в северо-западном направлении под углом 20—40°.

Примерно в 2,5—3 км к юго-востоку под наносы выходят рудные тела второй ветви (Юго-Восточная залежь) и линзы бывшего Карьерного участка, сходные с основной залежью по составу и строению и находящиеся в той же зоне гидротермально измененных пород.

Удельное электрическое сопротивление неизмененных вмещающих пород, представленных туфами, кислыми эффузивами и порфиритами, по данным наземных электроразведочных работ и электрокаротажа составляет от 1000 до 5000 ом·м. Кварц-серицит-хлоритовые сланцы из зоны гидротермально измененных пород обладают удельным электрическим сопротивлением порядка 200—400 ом·м, а руды 0,1—1, реже до 10 ом·м [20, 81].

Работами методом электрической корреляции [20] установлена электрическая связь между рудными подсечениями как в скважинах, пересекающих Основную залежь, так и в скважинах Юго-Восточной залежи. Однако между залежами электрической связи не установлено. Заряд осуществлялся на глубине 724 м в Основную рудную залежь. Второй питающий электрод был отнесен на расстояние 7 км в юго-западном направлении от исследуемого участка. В результате работ, выполненных на площади 2×4 км, получена карта распределения потенциала электрического поля, свидетельствующая о наличии на участке заряженного объекта пологого северо-западного склонения (см. рис. 47). Максимум потенциала на поверхности земли смещен вверх по восстанию Основной залежи на 1500 м от проекции точки заряда на дневную поверхность и пространственно совпадает с выходом под наносы юго-восточной части залежи. Юго-восточная граница Основной залежи не отмечается резким градиентом потенциала, который характерен для одиночных заряженных проводящих объектов в местах их выклинивания по простиранию. Изолинии потенциала не замкнуты и продолжаются без изгиба в юго-восточном направлении, что объясняется влиянием второй ветви рудного поля — Юго-Восточной залежи.

Таким образом, на Иртышском рудном поле методом заряда на постоянном токе удалось проследить одну из двух известных ветвей; по результатам работ можно судить о существовании и второй ветви, однако она полностью не прослежена из-за ряда технических затруднений.

§ 3. ИЗУЧЕНИЕ МОРФОЛОГИИ РУДНЫХ ПОЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОМЕХ

Некоторых технических трудностей, возникающих при работах методом заряда на крупных разрабатываемых рудных полях, можно избежать, исследуя вокруг них вместо электрических полей, создаваемых искусственными токами генераторных установок, поля так называемых «блуждающих токов», т. е. помех от токов энергоустановок рудников.

Как установили автор и Г. И. Березин, отношение потенциалов поля помех (параметр μ), измеренных в один и тот же момент времени в двух точках: подвижной, перемещаемой по системе профилей, и неподвижной — с точностью до постоянного множителя соответствует потенциалу электрического поля в методе заряда на постоянном токе с дипольным источником тока. (Дипольный характер источника тока обусловлен тем, что положительный и отрицательный полюсы энергоустановок рудника через рельсы и троллеи оказываются связанными с различными участками рудных залежей эксплуатирующегося месторождения.) При наблюдении полей помех для изучения морфологии рудных ветвей отпадает необходимость в специальных генераторных установках, в прокладке линии «бесконечность», и значительно упрощаются наблюдения на большой площади.

На плане изолиний параметра μ Иртышского рудного поля нашли отражение обе его известные ветви (рис. 48). Первая ветвь рудного поля (Основная залежь), в которой находятся энергоустановки рудника, на Пр. IV—XVII отмечена двумя максимумами параметра μ интенсивностью до 4—5 при принятом исходном положении неподвижной точки. В северо-западном из них значение поля помех положительное, в юго-восточном отрицательное, что связано с размещением «отсасывающих пунктов» и троллей на руднике.

На юго-восток от Пр. XX прослеживается продолжение аномалии параметра μ интенсивностью до 2,5 с отрицательным знаком поля помехи, вытянутое по простиранию зоны гидротермально измененных пород, в которой находится вторая ветвь рудного поля (Юго-Восточная залежь). По данным разведки, на Пр. XXXVIII Юго-Восточная залежь обрывается, далее к юго-востоку прослежены небольшие линзы Карьерного месторождения. Это находит отражение в характере изолиний параметра μ на рис. 48. Изолинии $\mu = 2,2 \div 2,1$ замыкаются с юго-востока от Юго-Восточной залежи в районе Пр. XL.

Таким образом, обе известные ветви Иртышского рудного поля прослежены аномалией параметра μ .

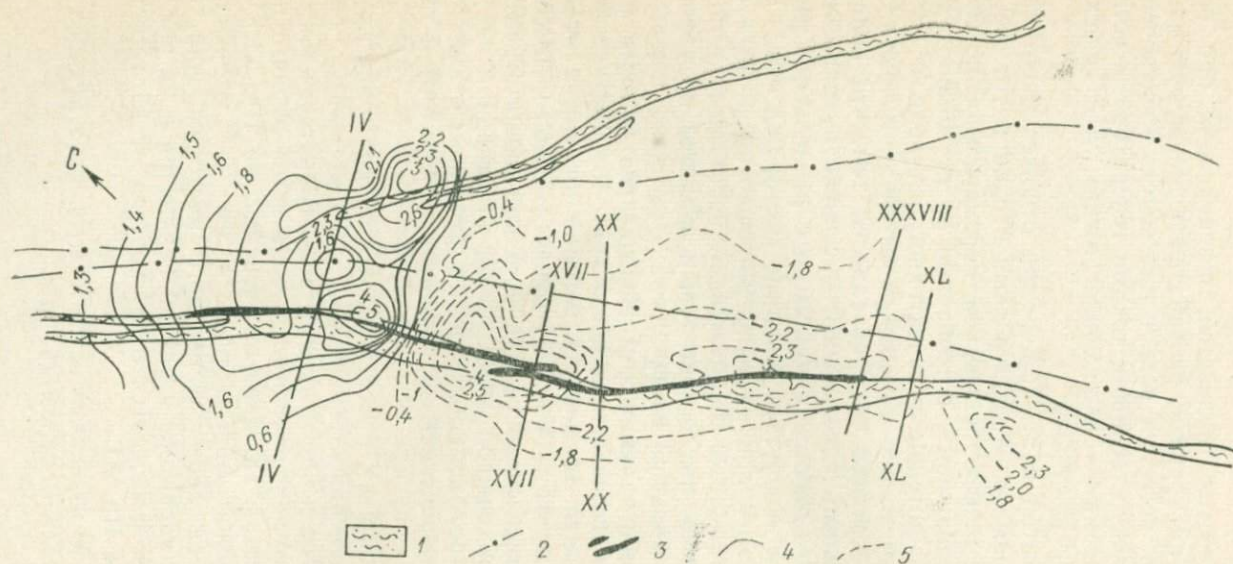


Рис. 48. Результаты работ методом изучения полей токов энергоустановок на площади Иртышского рудного поля (по Г. И. Березину).

1 — зоны гидротермально измененных пород; 2 — разломы; 3 — проекции главных ветвей рудного поля — Основной и Юго-Восточной залежей; изолинии параметра μ : 4 — в положительном поле; 5 — в отрицательном поле.

ВЫВОДЫ

Геофизические методы могут оказывать существенную помощь при изучении структуры участков и морфологии рудных полей. В частности, наиболее крупные самостоятельные части (ветви) рудных полей II и особенно III рода, к которым приурочены, как правило, основные промышленные рудные тела, находят отражение в электрических полях, изучаемых методами заряда и ЕП. С помощью этих методов можно определять число ветвей в рудных полях, их положение в структурах участка и места выходов к эрозионному срезу, оценивать направления и углы склонения и падения ветвей и их протяженность на глубину при условии, что породы и руды, слагающие ветви рудных полей, обладают более высокой электрической проводимостью, чем вмещающие породы.

Можно надеяться, что в будущем целенаправленное комплексное применение геофизических методов в сочетании с бурением по редкой сети и изучением морфологии рудных тел и скоплений позволит создавать трехмерные макеты, отражающие морфологию рудных полей и их размещение в структурах участков, уже на ранних стадиях их изучения и вести поиски рудных скоплений в рудных полях, используя ограниченные объемы дорогостоящих буровых работ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За последние тридцать лет разработаны и внедрены в производство наземные и скважинные геофизические методы, которые все шире применяются для поисков и разведки месторождений железа, меди, полиметаллов, олова, золота, бокситов и других полезных ископаемых. К сожалению, эффективность методов рудной геофизики при поисках и изучении глубокозалегающих месторождений все еще остается невысокой. Одной из причин такого положения, по-видимому, является исторически сложившаяся ориентация методов рудной геофизики на рудное тело как предмет поисков и исследования. Сложность же реальных условий, существующих на рудных месторождениях, сплошь и рядом заставляет геофизика сталкиваться с нечеткостью связи рудное тело — аномальное физическое поле.

Поскольку число еще не найденных месторождений, вскрытых эрозией, особенно в освоенных районах, неуклонно сокращается, можно предполагать, что в ближайшем будущем глубины, на которых придется вести поиски месторождений, увеличатся до 500—1000 м. Очевидно, что чем больше глубина поисков, тем меньше оснований рассчитывать на непосредственную фиксацию аномальных физических полей от отдельных, даже крупных, рудных тел. С другой стороны, в последние годы геологам и геофизикам постоянно приходится сталкиваться с большим числом разнообразных аномалий, связанных с проявлениями гидротермальной деятельности, не имеющими промышленных рудных скоплений. Разработка новых, так называемых прямых геофизических методов, рассчитанных на расшифровку природы выявленных геофизических аномалий, пока еще далека от завершения; вести же поиски глубокозалегающих месторождений бурением чрезвычайно долго и дорого.

Таким образом, перед рудной геофизикой стоит задача увеличить глубинность поисков и повысить надежность оценки промышленной перспективности выявляемых геологических объектов. Решение этой нелегкой задачи возможно лишь при изучении связи наблюдаемых физических полей не с отдельными рудными телами, а с более крупными и сложными природными образованиями — рудными полями. Реальные аномальные физические поля

создаются сложными совокупностями природных объектов, образующих рудные поля: крупными и мелкими рудными скоплениями, зонами окolorудных измененных пород, ореолами рассеянной минерализации и т. д. Крупные рудные поля по размерам во много раз превышают отдельные рудные тела. Они отличаются рядом специфических геологических особенностей (морфологией, зональностью и т. д.), а также промышленной перспективностью, которые прежде всего зависят от характера отделения рудоносных гидротермальных растворов от материнского магматического очага. По-видимому, именно рудные поля как целое будут основными объектами поисков и изучения геолого-геофизическими методами уже в ближайшем будущем.

Проведенные исследования показали, что для рудных полей колчеданно-полиметаллического типа существуют характерные обширные геофизические аномалии, отвечающие в целом всему рудному полю. Аномалии такого типа, прежде всего поля вызванной поляризации, наблюдаются на площадях, в общих чертах совпадающих или близких к областям распространения зон измененных пород. Такие аномалии ВП, а также магнитные, электрические и гравитационные, названные нами полями I порядка, известны и для рудных полей золото-сульфидной, олово-сульфидной, меднопорфировой рудных формаций.

Детали строения рудного поля (отдельные ветви или рудные тела) фиксируются локальными аномалиями более высоких порядков на фоне полей I порядка.

На опыте нескольких десятков рудных полей колчеданно-полиметаллического типа Алтая, Урала, Салаирского кряжа, Чингиз-Тау и Средней Азии определены благоприятные геологические критерии и характерные поисковые признаки, в том числе геофизические, свойственные рудным полям этого типа. Наиболее характерный геофизический признак — наличие аномалии ВП — обнаруживается на 95—100% рудных полей всех трех родов. Разделение рудных полей колчеданно-полиметаллического типа по родам производится по набору классификационных признаков.

Среди признаков рудных полей, наиболее перспективных на обнаружение крупных промышленных месторождений, важное место занимают:

- наличие и размеры зоны серицит-хлоритовых измененных пород;
- понижение уровня магнитного поля;
- повышенная поляризуемость и пониженное удельное электрическое сопротивление измененных горных пород;
- положительные локальные остаточные аномалии ускорения силы тяжести и гравитационные ступени;
- аномалии естественного электрического поля I порядка;
- аномалии метода переходных процессов;
- положительные температурные аномалии в скважинах;
- контроль над размещением признаков оруденения и всех геофизических аномалий со стороны структур вмещающей среды;

размещение признаков оруденения и всех геофизических аномалий на расстоянии 1—3 км от ближайшего интрузивного (гранитоидного) массива.

Разработанные классификационные признаки родов рудных полей можно использовать при оценке промышленной перспективности площадей, опосредованных комплексом геолого-геофизических методов (масштаба 1:25 000—1:10 000). Например, такая оценка площади в южной части Ревнюшинской антиклинальной структуры на Рудном Алтае позволила сделать вывод о существовании в этом районе обширного рудного поля III рода, по своим промышленным перспективам не уступающего крупнейшим на Алтае Зыряновскому или Орловскому месторождениям. Это рудное поле находится всего в 10 км от Зыряновского рудника, в последнее время испытывающего трудности с запасами. Скорейшая разведка выявленного рудного поля представляется весьма важной.

При поисках глубокозалегающих рудных полей наиболее эффективен метод ВП, позволяющий обнаруживать и оконтуривать обширные зоны гидротермально измененных пород, входящие в состав рудных полей. С помощью этого метода работниками ЗСТГУ недавно в степной северо-западной части Рудного Алтая под наносами мощностью 80—100 м найдено крупное Рубцовское рудное поле, включающее промышленное полиметаллическое месторождение.

Детали строения рудных полей удобно изучать с помощью скважинных геофизических методов, среди которых по своей простоте и эффективности выделяются методы ЕП и заряда. С помощью этих методов на ряде рудных полей колчеданно-полиметаллического и сульфидно-касситеритового типов удалось обнаружить и проследить ранее не известные крупные ветви рудных полей. Удачными примерами таких работ служат случаи обнаружения рудных залежей на Таловском и Подольском месторождениях.

Таким образом, результаты проделанной работы свидетельствуют, что геофизические методы являются одним из эффективных средств для поисков глубокозалегающих колчеданно-полиметаллических рудных полей, их классификации и выделения среди них наиболее интересных в промышленном отношении, а также для изучения морфологии рудных полей.

По-видимому, в ближайшем будущем наибольший геологический и экономический эффект может быть достигнут за счет применения геофизических методов для опосредования флангов известных крупных рудных полей. На Степном, Березовско-Новоберезовском, Иртышском рудных полях Алтая, на Боординском в Киргизии и других рудных полях имеются геофизические аномалии, указывающие на возможность обнаружения новых, еще не разведанных рудных тел.

В более отдаленном будущем геофизические методы, вероятно, станут наиболее эффективным средством обнаружения и оконту-

ривания рудных полей I рода с рассеянной рудной минерализацией, которые, как представляется, через 15—20 лет будут основными источниками многих полезных ископаемых.

Изучение рудных полей как предмета поисков и исследований геофизическими методами начато недавно, поэтому многие затронутые в книге вопросы изучены еще недостаточно. Одними из важных задач дальнейших исследований должны стать: накопление данных о геолого-геофизических особенностях и создание геофизических образов для рудных полей месторождений меди, олова, золота, ртути и других полезных ископаемых.

Несомненно, что в будущем объектом исследований методами рудной геофизики вместо отдельных рудных тел станут рудные поля, а главными задачами — поиски, оценка и изучение внутреннего строения рудных полей по каждому генетическому типу рудных формаций (для гидротермальных месторождений). Очевидно, что для решения этих задач потребуется не только усовершенствование имеющихся геофизических методов, но и создание новых, специализированных методов и техники для изучения рудных полей.

1. Антропова Л. В. Поиски рудных месторождений по металлоорганическим формам нахождения элементов. — «Методика и техника разведки». 1971, № 76, с. 38—45.
2. Арангуа К. Р. Состояние медной промышленности. — «Реф. журн. Геология», 1958, № 5, реф. № 8480.
3. Бабенков В. Е. Применение скважинного варианта метода вызванной поляризации на медноколчеданных месторождениях Южного Урала. — В кн.: Применение метода вызванной поляризации при поисках рудных месторождений. М., 1964, с. 94—96.
4. Бакулин Ю. И. Оценка геологических факторов при поисках глубоко-козалегающих рудных тел. — «Методика и техника разведки», 1969, № 64, с. 59—64.
5. Бетехтин А. Г. К вопросу об изучении рудных месторождений. — «Изв. АН СССР. Сер. геол.», 1939, № 2, с. 101—108.
6. Боровко Н. Н. Перспективы использования геофизических данных при количественном прогнозировании. — В кн.: Геофизические методы при крупномасштабном прогнозировании сульфидных месторождений. М., 1970, с. 143—148.
7. Булытников А. Я. Золотоносные формации и золотоносные провинции Алтае-Саянской горной системы. Томск, 1948. 298 с. (Труды Томского ун-та, т. 102).
8. Бурсиан В. Р. Теория электромагнитных полей, применяемых в электро-разведке. Л., «Недра», 1972. 367 с.
9. Великий А. С. Структуры рудных полей. Л., Изд-во Ленингр. ун-та, 1961. 275 с.
10. Вигдорович Д. А., Зиверт Р. Р., Рысс Ю. С. Разработка рациональной методики поисков полиметаллических месторождений на территориях с большой мощностью рыхлых отложений. — Труды Всесоюз. науч.-исслед. ин-та методики и техники разведки», 1962, т. 5, с. 156—178.
11. Вольфсон Ф. И. Структура эндогенных рудных месторождений. — В кн.: Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях. М., 1953, с. 517—610.
12. Вольфсон Н. Б., Гарьковец В. Г., Хваловский А. Г. О комплексном использовании геофизических методов при поисках коренных месторождений золота в горных районах Узбекистана. — «Сов. геология», 1963, № 10, с. 76—86.
13. Вольфсон Н. Б., Гарьковец В. Г., Хваловский А. Г. Опыт применения геофизических методов при решении некоторых вопросов глубинного геологического картирования в Алмалыкском рудном районе. — «Сов. геология», 1961, № 1, с. 109—120.
14. Вопросы теории метода вызванной поляризации. — «Методика и техника разведки», 1961, № 30. 132 с. Авт.: В. А. Комаров, Н. А. Пишпарев, М. В. Семенов, Л. С. Хлопонина.
15. Воробьев Ю. Ю. Геолого-генетические особенности и зональность Иртышского месторождения на Алтае. М., Госгеолтехиздат, 1963. 126 с.

16. Временное методическое руководство по методу электрической корреляции (МЭК). Свердловск, 1964. 125 с. Авт.: А. К. Козырин, В. М. Мунтян, А. В. Тарасов и др.

17. Высокоостровская Е. Б., Зеленецкий Д. С. О количественной оценке перспектив территории при поисках месторождений рудных полезных ископаемых. — «Сов. геология», 1968, № 8, с. 58—71.

18. Гарьковец В. Г., Хваловский А. Г. Новые данные о геофизических поисках скрытых и погребенных рудных тел в Алмаыкском районе. — «Разведка и охрана недр», 1963, № 10, с. 43—48.

19. Геофизические методы при прогнозировании и поисках рудных полей полиметаллических месторождений Салаирского края. — «Труды Сиб. научн.-исслед. ин-та геологии, геофизики и минер. сырья», 1969, вып. 92, с. 95—103. Авт.: Н. А. Гладков, Ю. И. Ивасько, И. А. Розенфарб, В. Г. Шупиков.

20. Гитлин Я. Л. Применение метода электрической корреляции при разведке полиметаллических месторождений. — «Бюл. науч.-техн. информ.», 1965, № 67, с. 66—71. (Всесоюз. науч.-исслед. ин-т экономики минер. сырья и геол.-разв. работ).

21. Головков Г. С. Некоторые закономерности распределения сульфидной минерализации в оловорудных месторождениях Комсомольского района. — «Изв. вузов. Геология и разведка», 1967, № 8, с. 57—63.

22. Грейтон Л. К. Природа рудообразующего флюида. М., Госгеолтехиздат, 1946. 184 с.

23. Гузеев В. Д., Гитлин Я. Л. Применение метода вызванной поляризации в Прииртышском районе Рудного Алтая. — В кн.: Применение метода вызванной поляризации при поисках рудных месторождений. М., 1964, с. 131—134.

24. Евангулов Б. Б., Арский Ю. М., Лир Ю. В. Закономерности концентрации промышленных запасов в оловорудных районах, месторождениях и рудных телах. — «Зап. Ленингр. горн. ин-та», 1967, т. 52, вып. 2, с. 122—127.

25. Закономерности размещения полиметаллического оруденения в северо-западной части Рудного Алтая. — В кн.: Новые данные по геологии и полезным ископаемым Западной Сибири. Томск, 1968, с. 31—37. Авт.: А. П. Беляев, В. П. Дмитриев, Г. И. Полтораков и др.

26. Землянов В. Н., Теплых Е. Д. Использование геофизических данных при прогнозировании рудоносных площадей на примере Комсомольского оловорудного района. — «Геология и геофизика», 1969, № 10, с. 80—85.

27. Иванкин П. Ф. Морфология глубокозакрываемых магматогенных рудных полей. М., «Недра», 1970. 277 с.

28. Иванкин П. Ф. О полиметаллических месторождениях Приаргунья. — «Труды ЗабНИИ СО АН СССР», 1962, вып. 1, с. 8—26.

29. Иванкин П. Ф. О понятии «рудное поле». — «Труды Сиб. науч.-исслед. ин-та геологии, геофизики и минер. сырья», 1966, вып. 39, с. 5—20.

30. Иванкин П. Ф. Полиметаллические месторождения Прииртышья. М., «Госгеолтехиздат», 1957. 247 с.

31. Иванкин П. Ф. Проблема пучков малых интрузий и гидротермальных струй на колчеданно-полиметаллических полях Рудного Алтая. — «Докл. АН СССР», 1961, № 4, т. 138, с. 897—899.

32. Иванкин П. Ф., Кузбный В. С., Иншин П. В. Рудные формации Рудного Алтая, Алма-Ата, Изд-во АН КазССР, 1961. 286 с.

33. Иванкин П. Ф., Семенов М. В. О новых задачах рудной геофизики на примере поисков и оценки полиметаллических месторождений. — «Труды Сиб. науч.-исслед. ин-та геологии, геофизики и минер. сырья», 1967, вып. 53, с. 32—44.

34. Иванкин П. Ф., Тарантов А. С. О морфологии пучка малых интрузий и рудных тел Николаевского месторождения на Алтае. — В кн.: Геология и геохимия рудных месторождений Сибири. Новосибирск, 1965, с. 134—143.

35. Иоффе Л. М., Комаров В. А., Семенов М. В. Об использовании помех промышленных переменных токов для поисковых целей. — В кн.: Вопросы рудной геофизики. М., 1957, с. 128—130.

36. Использование данных каротажа и распределения элементов в пределах рудного тела при разведке месторождений. — «Методика и техника раз-

ведки», 1970, № 72, с. 32—38. Авт.: Т. Г. Рыбакова, М. В. Семенов, С. С. Мещеряков, В. Н. Гагаев.

37. Карасик М. А. О путях построения естественной классификации постмагматических рудных полей. — В кн.: Матеріали з мінералогії України. Киев, 1961, с. 12—36.

38. Карасик М. А. Послемагматические рудные поля и их классификация. Киев, Изд-во АН УССР, 1963. 268 с.

39. К методике геофизических поисков рудных полей сульфиднополиметаллических месторождений. — «Труды Сиб. науч.-исслед. ин-та геологии, геофизики и минер. сырья», 1968, вып. 73, с. 41—45. Авт.: М. В. Семенов, Н. А. Гладков, В. С. Моисеев, В. А. Филатов.

40. Комаров В. А. Методика изучения поляризуемости образцов горных пород. — «Обмен опытом», 1962, вып. 56. 36 с. (Всесоюз. науч.-исслед. ин-т методики и техники разведки).

41. Комаров В. А. Электроразведка методом вызванной поляризации. Л., «Недра», 1972. 318 с.

42. Королев А. В. Структуры рудных полей и месторождений. Ташкент, 1935. 150 с. (Среднеаз. индустр. ин-т).

43. Королев А. В. Структура рудных полей и месторождений. Ташкент, «Сред. и высш. школа», 1962. 187 с.

44. Королев А. В., Шехтман П. А. Классификация полиметаллических рудных полей. — В кн.: Закономерности размещения полезных ископаемых. Т. 2. М., 1959, с. 136—146.

45. Краев А. П. Основы геоэлектрики. М. — Л., Гостехиздат, 1951. 445 с.

46. Красников В. И. Основы рациональной методики поисков рудных месторождений. М., Госгеолтехиздат, 1959. 411 с.

47. Крейтер В. М. О классификации структур рудных полей и месторождений. — «Сов. геология», 1941, № 6, с. 70—81.

48. Крейтер В. М. Структуры рудных полей и месторождений. М., Госгеолтехиздат, 1956. 266 с.

49. Крейтер В. М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. М., «Недра», 1964. 399 с.

50. Макакьян И. Г. Рудные месторождения. Ереван, Изд-во АН АрмССР, 1961. 548 с.

51. Мак-Кинстри Г. И. Структуры гидротермальных рудных месторождений. — В кн.: Проблемы рудных месторождений. М., 1959, с. 159—206.

52. Маркушин Я. В., Нахтигаль Г. П., Ткаченко Г. Г. О характере региональных полей вызванной поляризации в Восточном Казахстане. — «Методика и техника разведки», 1967, № 59, с. 23—29.

53. Мейер В. А. Картаж скважин при разведке полиметаллических месторождений. Л., Изд-во Ленингр. ун-та, 1960. 201 с.

54. Месторождение Уч-Кошкон как представитель оловорудной металлогении в Фергано-Кок-Шаилской структурно-формационной области. — В кн.: Металлогения Тянь-Шаня. Фрунзе, 1968, с. 259—261. Авт.: Э. Б. Байбулатов, Ю. В. Пивоваров, Л. В. Скволецкая и др.

55. Методы количественной оценки прогнозных запасов эндогенных месторождений, рудных полей и районов. — В кн.: Докл. на Ташк. сессии металлоген. секции Совета по регион. геол. изучению территории СССР. Ташкент, 1966. Авт.: П. А. Шехтман, Ю. А. Аверин и др.

56. Михайлов Г. Н., Юргенс И. Р., Яговкин Б. В. Полиметаллические месторождения как объект поисков методом вызванной поляризации. — «Методы развед. геофизики», 1970, вып. 10, с. 3—10.

57. Михелев И. П., Нефедкина Т. В., Тригубов А. В. Изучение интрузивов методом отраженных волн в районе Рудного Алтая. — В кн.: Методика сейсморазведки. М., 1965, с. 100—117.

58. Могильников В. И. Методика и результаты работ методом вызванной поляризации в пределах северных склонов Кураминского хребта. — В кн.: Применение метода вызванной поляризации при поисках рудных месторождений. М., 1964, с. 107—109.

59. Моисеев В. С. Способ вычисления и моделирования объемных естественных электрических полей. — «Труды Сиб. науч.-исслед. ин-та геологии, геофизики и минер. сырья», 1967, вып. 53, с. 154—164.

60. Моисеев В. С. Приближенный способ математического моделирования полей заряда от лентовидного типа залежей и рудных полей пучкового строения. — «Труды Сиб. науч.-исслед. ин-та геологии, геофизики и минер. сырья», 1969, вып. 92, с. 28—35.

61. Моисеев В. С., Потапов А. А., Рабинович К. Р. К методике изучения морфологии рудного поля по геолого-геофизическим данным. — В кн.: Геология и геофизика. Новосибирск, 1968, с. 33—40.

62. Озеров К. Н. О роли вмещающих горных пород в локализации эпигенетических месторождений полезных ископаемых пневматолито-гидротермального происхождения. — «Вестн. Ленингр. ун-та», 1949, № 5, с. 40—63.

63. Орлов Г. В., Сарбаш В. Ф. Изучение электрических промышленных помех в горно-рудных районах Казахстана с целью определения возможностей использования их в помощь геологическому картированию и постановка электроразведочных работ в этих условиях. — В кн.: VII Всесоюз. геофиз. конф. (тез. докл.). М., 1972, с. 51—53.

64. Основные особенности пучковых структур в полиметаллических месторождениях Приаргунья. — В кн.: Вопросы геологии рудных месторождений Забайкалья. Чита, 1963, с. 45—61. Авт.: А. И. Кулагашев, А. И. Ступина, О. Н. Тарасюк, В. А. Фаворов.

65. Петрова М. А. О локализации полиметаллического оруденения и гидротермальной деятельности на месторождениях Змеиногорского рудного поля. — «Бюл. Моск. об-ва испытателей природы. Отд. геол.», 1957, т. 32, вып. 6, с. 64—79.

66. Поляков А. С. Влияние рельефа местности на результаты работ методом вызванной поляризации. — «Методы развед. геофизики», 1970, вып. 19, с. 33—36.

67. Поляков А. С. Руководство по методу заряда. М., «Недра», 1969. 165 с.

68. Поспелов Г. Л. Строение и развитие фильтрующихся гидротермальных рудообразующих систем. — «Геология и геофизика», 1962, № 11, с. 28—40.

69. Поспелов Г. Л. Строение и развитие фильтрующихся гидротермальных рудообразующих систем. — «Геология и геофизика», 1962, № 12, с. 40—57.

70. Практическое применение геофизических методов разведки. Под ред. Д. С. Микова. Томск, Изд-во Томского ун-та, 1966. 233 с.

71. Примененные скважинных геофизических и геохимических методов при поисках и разведке сульфидно-касситеритовых месторождений Дальнего Востока. — «Методика и техника разведки», 1970, № 72, с. 11—17. Авт.: М. В. Семенов, Т. Г. Рыбакова, С. С. Мещеряков и др.

72. Разведка сульфидных месторождений с использованием скважинных геофизических и геохимических методов. Л., «Недра», 1971. 163 с. Авт.: Р. Р. Зиверт, М. В. Семенов, Б. Б. Лихарев и др.

73. Родионов П. Ф. Опыт использования данных электрокаротажа при изучении геологического строения колчеданно-полиметаллических месторождений Урала. — «Сов. геология», 1966, № 1, с. 137—144.

74. Родионов П. Ф. Электроразведка колчеданных месторождений Урала методом заряда. — «Труды Ин-та геофизики Уральск. фил. АН СССР», 1959, вып. 1. 145 с.

75. Родионов П. Ф. Электроразведка методом заряда. М., «Наука», 1971. 261 с.

76. Родионов П. Ф., Краснобаева А. Г. Основные особенности геоэлектрического строения колчеданных месторождений Урала. — «Труды Ин-та геофизики Уральск. фил. АН СССР», 1965, вып. 3, с. 155—168.

77. Рысс Ю. С. Геофизические методы при поисках глубокозалегающих месторождений Рудного Алтая. — «Труды Всесоюз. науч.-исслед. ин-та методики и техники разведки», 1962, т. 5, с. 73—100.

78. Рысс Ю. С. Сопоставление аномалий естественного электрического поля с характером и условиями залегания руд по месторождениям Рудного Алтая. — «Учен. зап. Ленингр. ун-та. Вopr. геофизики», 1960, вып. 12, с. 45—58.

79. Рысс Ю. С., Тясто А. С. Скважинный вариант метода естественного электрического поля. — «Обмен опытом», 1960, вып. 33. 32 с. (Всесоюз. науч.-исслед. ин-т методики и техники разведки).
80. Рысс Ю. С., Тясто А. С. Структура естественных электрических полей на рудных месторождениях и ее использование при поисках и разведке полезных ископаемых. — «Бюл. науч.-техн. информации. Сер. регион., развед. и промысл. геофизика», 1966, вып. 2. 45 с. (Всесоюз. науч.-исслед. ин-т экономики минер. сырья и геол.-разв. работ).
81. Рысс Ю. С., Фокин А. Ф., Шатров Б. Б. Возможности скважинной электроразведки постоянным и низкочастотным током. — «Разведка и охрана недр», 1961, № 1, с. 27—32.
82. Саковцев Г. П. Поиски глубокозалегающих рудных тел геофизическими методами из скважин и горных выработок. — В кн.: Вопросы разведочной геофизики. М., Госгеолтехиздат, 1961, с. 37—53.
83. Сатпаев К. И. Главные закономерности пространственного размещения зон эндогенного оруденения в Центральном Казахстане. — «Сов. геология», 1957, № 58, с. 93—109.
84. Сафронов Н. И. Итоги работы ВИТРа в области создания комплексных методов поисков глубокозалегающих месторождений рудных полезных ископаемых. — «Методика и техника разведки», 1967, № 58, с. 85—89.
85. Сафронов Н. И. Основы геохимических методов поисков рудных месторождений. Л., «Недра», 1971. 216 с.
86. Сафронов Н. И., Сафронов Д. Н. О вероятных закономерностях распределения запасов металлов в земной коре. — «Методика и техника разведки», 1964, № 44, с. 61—91.
87. Свешников Г. Б. Электрохимические процессы на сульфидных месторождениях. Л., Изд-во Ленингр. ун-та, 1967. 159 с.
88. Семенов А. С. Влияние структуры на удельное сопротивление агрегатов. — «Мат. Всесоюз. науч.-исслед. геол. ин-та. Геофизика», 1948, сб. 12, с. 43—61.
89. Семенов А. С. Метод заряженного тела при разведке и поисках сульфидных месторождений. — «Мат-лы Всесоюз. науч.-исслед. геол. ин-та. Геофизика», 1947, сб. 11, с. 27—39.
90. Семенов А. С. Теория метода заряженного тела в применении к эквипотенциальным проводникам. — «Мат-лы Всесоюз. науч.-исслед. геол. ин-та. Геофизика», 1948, сб. 13, с. 3—56.
91. Семенов А. С. Удельное электрическое сопротивление руд и пород и общая оценка рудных месторождений как объекта электроразведки. — «Труды Всесоюз. науч.-исслед. ин-та развед. геофизики», 1949, вып. 1, с. 72—86.
92. Семенов А. С. Электрическое поле однородно заряженной прямоугольной пластины. — В кн.: Геофизическая разведка рудных месторождений. М., 1953, с. 63—82.
93. Семенов А. С. Электроразведка методом естественного электрического поля. Л., «Недра», 1968. 380 с.
94. Семенов М. В. Метод вызванной поляризации при поисках рудных полей Алтая, закрытых наносами. — «Геология и геофизика», 1966, № 5, с. 121—129.
95. Семенов М. В. Поиски глубокозалегающих рудных тел путем изучения полей вызванной поляризации в околоскважинном пространстве. — В кн.: Применение метода вызванной поляризации при поисках рудных месторождений. М., 1964, с. 83—88.
96. Семенов М. В. Поле вызванной поляризации над вертикальным пластом, перекрытым наносами. — «Методика и техника разведки», 1967, № 59, с. 7—22.
97. Семенов М. В. К вопросу оценки колчеданно-полиметаллических рудопроявлений по аномалиям вызванной поляризации. — «Методы развед. геофизики», 1970, вып. 10, с. 23—25.
98. Семенов М. В. Результаты моделирования полей вызванной поляризации для выбора методики определения направления и угла падения зон сульфидной минерализации. — «Методика и техника разведки», 1971, № 73, с. 49—53.

99. Семенов М. В., Калашников Ю. А. Естественные электрические поля некоторых полиметаллических месторождений Рудного Алтая. — «Геология и геофизика», 1967, № 7, с. 131—142.
100. Семенов М. В., Нахтигаль Г. П., Голубцов В. Е. О перспективах применения метода заряда при разведке рудных полей цветных металлов. — «Методика и техника разведки», 1969, № 64, с. 23—32.
101. Семенов М. В., Синдяев Ю. В. Применение метода вызванной поляризации для поисков и оценки зон сульфидной минерализации, закрытых наносами. — «Труды Сиб. науч.-исслед. ин-та геологии, геофизики и минер. сырья», 1967, вып. 53, с. 45—56.
102. Семенов М. В., Фокин А. Ф., Авдеевич М. М. Моделирование полей вызванной поляризации на установке для решения задач скважинной геофизики. — «Методика и техника разведки», 1971, № 73, с. 46—48.
103. Смирнов В. И. Геология полезных ископаемых. Л., «Недра», 1969. 686 с.
104. Справочник геофизика. Т. 3. Электроразведка. М., Гостоптехиздат, 1963. 582 с.
105. Столпнер М. М. К методике поисков медноколчеданных месторождений в Зауралье. — В кн.: Геофизические методы при крупномасштабном прогнозировании сульфидных месторождений. Л., 1970, с. 24—29.
106. Теоретические основы интерпретации наблюдений в методе вызванной поляризации. Л., «Недра», 1966. 184 с. Авт.: В. А. Комаров, Н. А. Пишпарева, М. В. Семенов, Л. С. Хлопонина.
107. Федынский В. В. Разведочная геофизика. М., «Недра», 1964. 663 с.
108. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых СССР. М., «Недра», 1964. 326 с. Авт.: Н. Б. Дортман, В. И. Васильев, А. К. Вейнберг и др.
109. Флакс Я. Ш. Опыт применения математических методов при поисках медноколчеданных месторождений Южного Урала. — «Бюл. науч.-техн. информации. Сер. методика съемки, поисков, разведки и оценки месторождений полезных ископаемых», 1967, вып. 2, 59 с. (Всесоюз. науч.-исслед. ин-т экономики минер. сырья и геол.-разв. работ).
110. Фокин А. Ф. Оценка влияния рыхлых отложений при проведении поисковых работ методом заряда. — «Методика и техника геол.-разв. работ», 1965, вып. 79. 35 с.
111. Шаповалов О. М. Результаты применения метода вызванной поляризации на Южном Урале. — «Методика и техника разведки», 1960, № 23, с. 67—76.
112. Шаповалов О. М. Применение метода ВП на поисковом участке в Челябинской области. — В кн.: Применение метода вызванной поляризации при поисках рудных месторождений. М., 1964, с. 26—41.
113. Шаталов Е. Т. О металлогеническом районировании. — «Геология рудных месторождений», 1959, № 3, с. 3—33.
114. Щербаков Д. И. Принципы и методика составления металлогенической карты. — «Сов. геология», 1945, № 5, с. 52—64.
115. Ярославцев А. М. Применение метода вызванной поляризации при комплексных геофизических поисках сульфидных месторождений в Центральном Казахстане. — В кн.: Применение метода вызванной поляризации при поисках рудных месторождений. М., 1964, с. 128—130.
116. Ярославцев А. М. Результаты работы методом ВП на медноколчеданных месторождениях Центрального Казахстана. — «Методика и техника разведки», 1960, № 23, с. 40—49.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	4
Глава I. Рудное поле как предмет геофизических исследований	8
§ 1. Основные понятия и термины	—
§ 2. Особенности геологического строения рудных полей колчеданно-полиметаллического типа	11
§ 3. Физические свойства горных пород и руд и их распределение в рудных полях	24
Глава II. Геофизические образы рудных полей	33
§ 1. Рудные поля Алтая	—
§ 2. Рудные поля других районов СССР	58
§ 3. Обобщенные образы родов рудных полей	73
Глава III. Классификационные признаки рудных полей	76
§ 1. Выбор признаков	—
§ 2. Комплексная характеристика серии признаков	86
§ 3. Пример оценки площади	95
Глава IV. Поиски глубокозалегающих рудных полей	98
§ 1. Методы поисков	—
§ 2. Применение метода вызванной поляризации для поисков рудных полей на площадях, закрытых наносами	99
Глава V. Изучение морфологии рудных полей геофизическими методами	118
§ 1. Применение метода естественного электрического поля	120
§ 2. Применение метода заряда	133
§ 3. Изучение морфологии рудных полей в условиях промышленных помех	139
Заключение	142
Список литературы	146

Михаил Всеволодович Семенов

**ОСНОВЫ ПОИСКОВ И ИЗУЧЕНИЯ
КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ
РУДНЫХ ПОЛЕЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ**

Редактор издательства В. С. Селivanов Технический редактор И. Г. Сидорова
Корректор М. И. Витис,

Сдано в набор 19/IX 1974 г.	Подписано к печати 10/II 1975 г.	М-31371.
Формат бумаги 60×90 ¹ / ₁₆ .	Бумага тип. № 2.	Печ. л. 9 ¹ / ₂ .
Тираж 2000 экз.	Заказ № 747/988.	Уч.-изд. л. 11.
		Цена 1 р. 10 к.

Издательство «Недра». Ленинградское отделение.
193171, Ленинград, С-171, ул. Фарфоровская, 12.
Ленинградская картографическая фабрика объединения «Аэрогеология».

1 р. 10 к.

1227