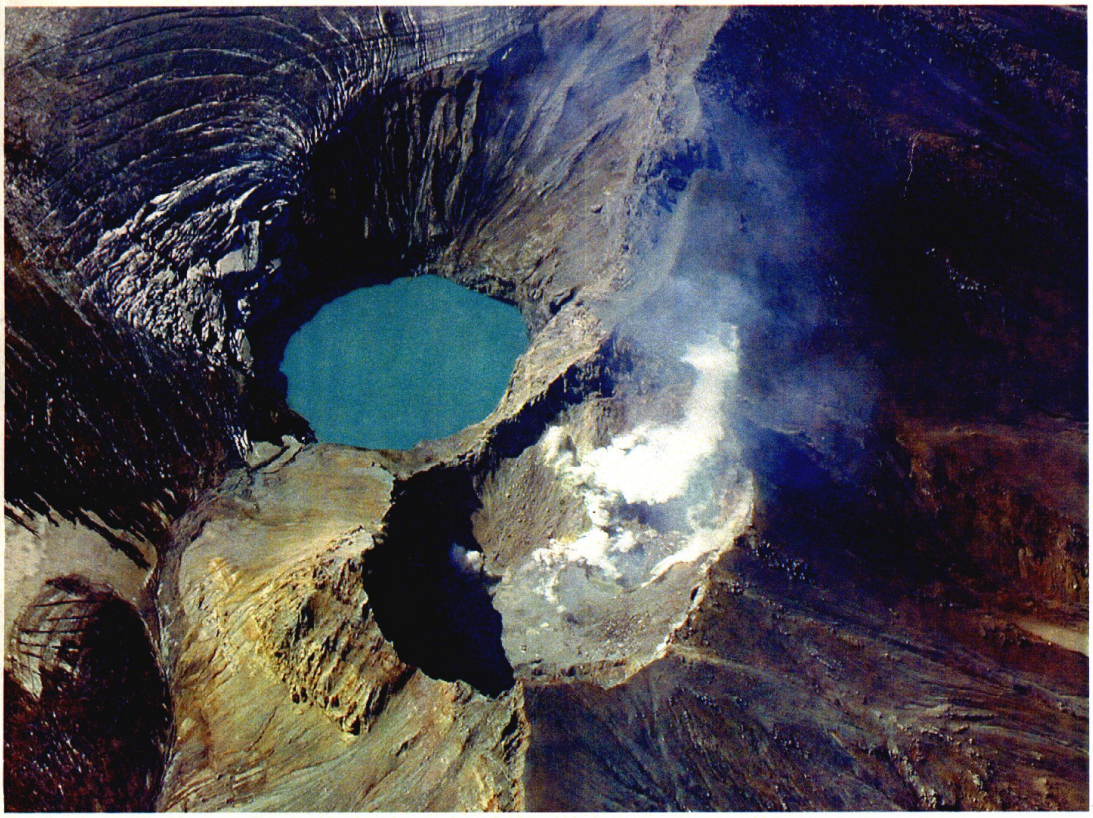
КАМЧАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. ВИТУСА БЕРИНГА

КАФЕДРА ГЕОГРАФИИ, ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ

Г.П. ЯРОЦКИЙ

ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ ВУЛКАНИЧЕСКИХ СЕРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТИХООКЕАНСКОГО РУДНОГО ПОЯСА

(Корякия - Камчатка - Курилы - Япония)



Геологоразведчикам 60-80-х годов XX века -
первопроходцам Камчатки и Корякии,
живым и ушедшим
посвящается

ПРЕДИСЛОВИЕ

Корякско-Камчатский регион в геологическом отношении является исключительно своеобразном и во многом уникальным. Он располагается в планетарной зоне перехода от континента к океану, которая простирается вдоль всего побережья Тихого океана и квалифицируется в тектонике как Тихоокеанский подвижный пояс, в вулканологии – как Тихоокеанское огненное кольцо, в сейсмологии – как Тихоокеанский подвижный пояс, в металлогении – как Тихоокеанский рудный пояс. В регионе происходило сравнительно недавно – с верхнего мезозоя, становление земной коры с формированием широкого и специфического спектра полезных ископаемых. В позднем кайнозое формировалась горная вулканическая страна с множеством потухших и 29 действующими вулканами, с которыми ассоциируют 274 источников и месторождений холодных и термальных минеральных вод всего известного в мире бальнеологического спектра. С процессами вулканизма в регионе связано формирование месторождений золота и серебра, ртути, самородной серы, меди и никеля, платины, олова, камнецветного сырья, а также рудопроявлений ряда других полезных ископаемых. Обширен спектр строительных материалов, представленный вулканическими шлаками, пемзой, перлитами, кремнисто-карбонатными породами и др.

На обрамлении вулканических мезо- кайнозойских поясов в краевых прогибах распространена кайнозойская эпоха угленакопления с рядом месторождений бурого и каменного углей, многочисленными проявлениями нефти и газа, на Западной Камчатке - месторождениями газоконденсата.

На всей территории региона распространены высококачественные подземные пресные питьевые воды, реки региона несут исключительно чистые воды поверхностного стока, питаемые осадками, ледниками и снежниками хребтов Камчатки и Корякии.

В Корякско-Камчатском регионе настоящее время на учете находится 1896 месторождений, рудопроявлений, пунктов минерализации и ореолов рассеяния горючих, металлических и неметаллических полезных ископаемых. В регионе издавна добывают воду, кирпичные глины, каменный и бурый угли, строительные материалы. В 60-е годы XX века начинают добывать россыпное золото, холодные минеральные воды, термальные перегретые воды и воды бальнеологического назначения, , с 90-х годов - россыпная платина. С 2003 г. начата эксплуатация газоконденсатных месторождений. В конце 2005 г. получены первые золото-серебрянные слитки рудного золота, первые сотни тонн природного концентрата медно-никелевых руд.

Систематическое и планомерное геологическое изучение региона ведётся с 50-х годов XX века: региональные геологическая и геофизические (аэромагнитная, гравиметрическая, электроразведочная и сейсморазведочная) съёмки; с 70-х годов энергично проводится среднемасштабная геологическая полистная съёмка, которая была обеспечена среднемасштабной гравиметрической съёмкой; в 80-е годы на отдельных площадях вулканических поясов проводились геологические съёмки масштаба 1:50000, в т.ч. групповые, с опережающей аэрогамма-

спектрометрической и аэромагнитной съёмками масштабов 1:50000 и 1:25000. С 50-х годов на протяжении всего XX века ведутся поиски нефти и газа.

Корякско-Камчатский регион до второй половины XX века оставался самым слабо изученным звеном Тихоокеанского рудного пояса на его северо-западе. Трудом геологов, геофизиков, гидрогеологов, горняков, работников лабораторий и администраций, полевых партий, экспедиций, геологических управлений в 60-70-е годы прошлого века регион оформился как золоторудная, ртутоносная, платиноносная, сернорудная, медно-никелевая, угленосная, газоконденсатная, гидроминеральная, гидротермоминеральные провинции рудного пояса.

Самоотверженным трудом геологоразведчиков-первопроходцев шестидесятников-семидесятников создана с чистого листа геология Корякско-Камчатского региона и его минерально-сырьевая база. В восьмидесятые годы геологоразведочными работами большой ряд рудопроявлений, геофизических аномалий и структур переведен в ранг месторождений с запасами, защищёнными в Государственной комиссии СССР по запасам и в территориальных комиссиях.

На всех стадиях геологоразведочных работ в регионе, в силу его пионерного изучения, большую роль играли региональные и крупномасштабные геофизические работы. Они проводились в качестве опережающих съёмок, обеспечивающих мелко- и среднемасштабное геологическое картирование, и, сопровождающих крупномасштабное геологическое картирование либо поиски на отдельных объектах. Организационно они условно делились на региональные и рудные работы.

Рудная геофизика проводилась при изучении месторождений термальных вод, угля, подземных пресных вод, ртути, золота и серебра, меди и никеля, олова, самородной серы, строительных материалов, россыпей. Применялись магниторазведка, электроразведка в модификациях электропрофилирования (ЭП), естественного электрического поля (ЕЭП), вертикального электрического зондирования (ВЭЗ), вызванных потенциалов (ВП), радиометрии, сейсморазведки МОВк КМПВ в модификации диффрагированных волн. Съёмки выполнялись в масштабах 1:25 000 – 1:1000 и в профильных вариантах, проводился каротаж скважин, изучался большой физических свойств горных пород и руд.

Особенностью геологоразведочных работ в СССР было их пятилетнее планирование. В регионе такими пятилетками были работы на нефть и газ, уголь, золото, медь и никель, термальные воды, самородную серу. Работы на самородную серу в малом объёме начаты на месторождении р. Половинной в Центральной Камчатке в 1961 г. Однако широкомасштабные работы относятся к Северо-Камчатскому сероносному району (СКСР) на юго-западе Корякского нагорья с работ на Малетойваямском серопроявлении в 1965 г., уже в 1967 г. переведённого в ранг сульфидно-серного месторождения. Собственно район был в общих чертах намечен среднемасштабными геологическими съёмками ещё ранее по распространению рудоносных пород формации вторичных кварцитов, с которыми ассоциировала самородная сера метасоматического генезиса. С 1966 г. по 1972 гг. в СКСР выполняется большой объём бурения а на 15 проявлениях серы – геофизических поисково-картировочных работ.

Геофизические работы на самородную серу характеризуются рядом примечательных особенностей. Во-первых, в СССР такие работы ранее не проводились и ставились в СКСР на теоретических обоснованиях. Во-вторых, геофизике официально и фактически отводилась важная роль в направлении бурения в районе. В-третьих, на геофизические исследования отводились значительные ассигнования. В-четвёртых, производителям работ доверялось выполнение работ в широком спектре самостоятельности обоснования методики и принятия оперативных решений. В конечном счёте, геофизические работы в Северо-Камчатском сероносном районе увенчались открытием комплексной геофизической аномалии, полно-

стью отвечающей геолого-геофизической модели месторождения. Аномалия обнаружена в процессе полевых работ осенью 1967 г., что дало ей имя «Юбилейная», предложенное руководителем работ - автором настоящей работы. В осень 1967 г. здесь была заложена скважина и установлено наличие разреза вторичных кварцитов с промышленным содержанием самородной серы, высоким содержанием меди, а также золота. Фактически аномалия отвечает по ряду признаков новому месторождению, относимого нами по металлогеническим критериям к иному типу – серно-сульфидному.

Выдающуюся роль в обосновании геологоразведочных работ в Северо-Камчатском сероносном районе сыграл старейший исследователь Камчатки ещё с довоенных времён – геолог Г.М. Власов. В постановке бурения на Малетойваямском серопроявлении исключительная стартовая роль принадлежит начальнику Северо-Камчатской геологоразведочной экспедиции Ю.П. Рожкову и главному геологу Камчатского территориального геологического управления (КТГУ) Т.В. Тарасенко. С 1967 г. широкий фронт работ в районе был создан благодаря энтузиазму и несокрушительной уверенности в успехе начальника Камчатского территориального геологического управления В.М. Никольского, работавшего до приезда на Камчатку на одном из серных месторождений Индонезии, и университетского однокашника тогдашнего Министра геологии РСФСР Л.И. Ровнина. Успеху геофизических работ в районе способствовало широкое делегирование принятий решений производителю полевых и камеральных исследований – автору настоящего исследования, главным геофизиком Камчатского ТГУ Г.П. Декиным и главным геофизиком Геофизической экспедиции Я.Б. Шварцем, обеспечение полевых работ современной аппаратурой, достаточными ассигнованиями, квалифицированными кадрами и постоянным вниманием. Полевые геофизические работы в Северо-Камчатском сероносном районе и в регионе вообще фактически прекратились преждевременно в 1972 г. по решению Министерства геологии РСФСР. В 1973-74 гг. решением начальника Камчатского ТГУ В.М. Никольского были проведены уже завершающие тематические обобщения всех геофизических работ на самородную серу уже в Геологосъёмочной экспедиции.

С чувством глубокой благодарности автор помнит своих коллег и товарищей по работе, многие годы разделявших с ним труд полевых и камеральных исследований в 1966-74 гг., среди которых - геофизики В.А. Улевич (Изотова), Р.В. Заика, П.Г. Сидоров, Г.Т. Болабко, В.Г. Сидоров, Х.О. Чотчаев, В.Д. Бубнов, А.Н. Кириллов, А.А. Лоскутков, С.А. Сусленко, М.К. Лоскуткова, И.Ф. Коба, топографы Н. Науменков, Н.А. Шмыков, В.Е. Пулин, геологи Г.П. Поляков, А.С. Фисюк, С.Е. Ермоленко, Ю.А. Касабов и другие. Автор с благодарностью помнит геологов-серников и их советы и благожелательную критику,оказанную ему в разные годы –В.М. Ёркина, А.Б. Исакова, Б.А. Михайлова, В.Д. Дмитриева, Л.Л. Ляшенко, А.Ю. Лейн, А.С. Соколова, В.М. Никольского, Т.В. Тарасенко, Л.П. Залепухина и других исследователей.

Успешному проведению полевых и камеральных геофизических работ способствовало руководство Геофизической экспедиции Камчатского ТГУ – начальников А.Л. Вощинского, Л.А. Кратковского, С.П. Скуратовского, С.Е. Апрелкова, главного геофизика Я.Б. Шварца, главного геолога Л.М. Смирнова, старших геодезистов В.А. Воротникова и П.И. Ширейко, заместителей начальника экспедицииЛ.А. Будгера и А.Н. Кириллова.

Геофизические исследования на серу завершились успешно в короткий срок тематическим обобщением автора в 1972-74 гг. благодаря поддержке начальника Геологосъёмочной экспедиции А.Е. Конова, ранее руководившего разведочными работами на Малетойваямском месторождении и выполнившим фундаментальную работу по обобщению материалов разведки с подсчётом запасов по Малетой-

ваямскому сернорудному узлу, её главному геологу М.И. Горяеву, картографам-оформителям А.Э. Бергштрезеру, М.Н. Пихтарь, В. Н. Шектаевой и др.

Тематическое обобщение всех геофизических материалов при изучении серных месторождений вулканического генезиса северо-запада Тихоокеанского рудного пояса дало автору возможность защитить в 1974 г. диссертацию «Закономерности размещения вулканических серных месторождений в Северо-Камчатском сероносном районе и геофизические методы при их поисках» в Томском государственном университете. Работа выполнена во время заочной учёбы в аспирантуре Сибирского научно-исследовательского института геологии, геофизики и минерального сырья МГ СССР под руководством светлой памяти одного из первых советских геофизиков, видного организатора геофизических исследований в СССР, крупного специалиста в области геолого-геофизической интерпретации члена-корреспондента Академии наук СССР, профессора Э.Э.Фотиади и доктора геолого-минералогических наук, профессора Н.Н. Амшинского. Официальными оппонентами были доктор геолого-минералогических наук, профессор Д.С. Миков – патриарх советской магниторазведки, и доктор геолого-минералогических наук В.Н. Шарапов – известный специалист в области процессов рудообразования. По их оценке работа является образцом разработки эффективного комплекса геофизических работ, созданного с чистого листа, интерпретация данных которого обеспечивала полный цикл геологоразведочных работ – от поисков, разведки и открытия «Юбилейного» месторождения до прогноза рудных узлов, полей и месторождений самородной серы вулканического генезиса.

Учебник посвящён памяти всех пионеров - геологоразведчиков Камчатки и Корякии. Он посвящён светлой памяти жены автора - гидрохимика на полевых работах М.Д. Яроцкой и геолога Г.П. Полякова – друга и товарища по многолетним совместным работам в Северо-Камчатском сероносном районе, преждевременно ушедших из жизни.

Самоотверженный труд в Северо-Камчатском сероносном районе геологоразведчиков создал сырьевую базу будущего. Самородная сера вулканического генезиса в ряде отношений превосходит серу осадочного генезиса, газовую (из нефтяных газов) и рудную (из сульфидных руд металлов). В России пока нет обоснованных альтернатив Малетойваямскому и Юбилейному месторождениям. Бесспорно, что сера является сырьём будущих технологий и будет востребована. Это потребует и прироста запасов, что вызовет новые работы в комплексе с геофизическими. Последние очевидно будут выполнятся на новом техническом и технологическом уровне, но применение методов всегда будет основано на геолого-геофизических моделях, описание которых в геологии месторождений самородной серы вулканического генезиса приведено в первых частях учебного пособия.

Учебное пособие даёт возможность проследить, как последовательная оптимизация геолого-геофизической модели и методики полевых и камеральных работ позволяет получить такие геологические результаты при интерпретации геофизических материалов, которые прямыми геологическими методами невозможны, в принципе, в силу их способности изучать только поверхность, а получение таких данных при помощи горных работ является дорогостоящим средством, требующим минимизации затрат. И в этом случае только геофизические работы являются надёжным средством оптимизации геологоразведочных работ.

Пособие предназначено для студентов, изучающих дисциплину «Геологическая интерпретация геофизических данных» как пример интерпретации комплекса данных рудной геофизики.

... При исследовании рудных месторождений геофизики исключительно редко привлекаются для решения тех или иных вопросов структуры рудного поля. Всё внимание обычно обращается на такие приёмы, на которые «реагировало» бы само рудное тело. В то же время во многих случаях геофизиками гораздо легче могут быть обнаружены структуры, имеющие решающее значение в локализации оруденения.

Академик С.С. Смирнов

ВВЕДЕНИЕ

Развитие промышленности Дальневосточного экономического района России требует постоянно возрастающего количества серосодержащего сырья для производства элементарной серы и серной кислоты. Ранее (до 1991 г.) эти потребности с большим напряжением удовлетворяются за счёт серы, привозимой из западных районов бывшего СССР – Средней Азии, Поволжья, Западной Украины. Вместе с тем, в относительной близости к промышленным центрам Сахалина и Приморья имеются значительные вулканические месторождения самородной серы и весьма перспективные площади для их поисков. Они расположены в пределах вулканических поясов Курило-Камчатской дуги и связаны с регионально распространёнными изменёнными породами формации вторичных кварцитов [3, 4, 5].

В результате широких комплексных геологических исследований в 60-х годах в СССР на севере Камчатского края выявлен и изучен Северо-Камчатский сероносный район (рис. 1), в одном из сернорудных узлов которого разведано крупное Малетойваямское месторождение серы. Бесспорно, что растущие потребности народного хозяйства приведут к необходимости создания серной горнодобывающей промышленности, обеспечивающей потребности Дальневосточного экономического района, возможно, и зарубежья. Этому будет способствовать и то, что с вторичными кварцитами связаны, не только сера, но золото, ртуть, медь, а также алуниты, серный колчедан, глинистые продукты, кварциты. Наличие таких сырьевых ассоциаций создаёт предпосылку комплексной эксплуатации серных месторождений.

Разведанные в бывшем СССР и ныне в России вулканические месторождения серы либо недостаточны по запасам, либо некондиционны по качеству руд, либо расположены в труднодоступных районах. Это - месторождение р. Половинной в Центральной Камчатке, Новое – на о. Итуруп Курильской гряды, др. Было очевидно, что для обнаружения значительных месторождений в благоприятных экономико-географических условиях необходимо было проведение широких поисковых исследований на всей территории края, которые эффективно можно осуществить только широким и целенаправленным комплексом геологоразведочных работ. При этом, в условиях огромной территории развития потенциально сероносных изменённых образований Корякско-Камчатского региона важное значение приобретают исследования по прогнозу площадей локализации серного оруденения. Такие площади в дальнейшем могут рекомендоваться для постановки детальных поисков.

В условиях неравномерной геологической изученности региона наиболее информативными для целей изучения тектоники, закономерностей минерагении и прогноза становятся региональные геофизические исследования. Геофизические методы являются также одним из эффективных инструментов и при детальных

поисках, что обусловлено как спецификой строения серных залежей, так и необходимостью выявления неэродированных, либо частично эродированных месторождений.

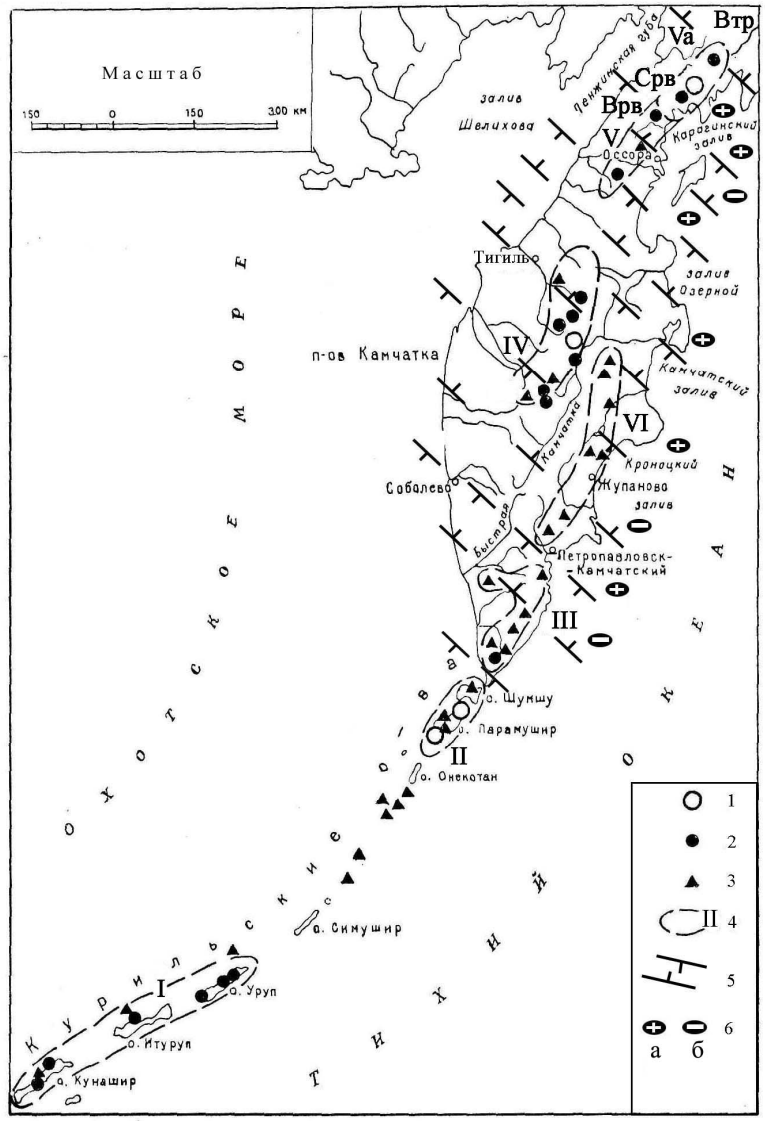


Рис. 1. Схема расположения серных месторождений
Камчатки и Курильских островов [4] с дополнениями Г.П. Яроцкого [68, 71]

1 – крупные метасоматические месторождения; 2 – мелкие метасоматические месторождения и проявления; 3 – кратерно-озёрные месторождения и сублимационные отложения серы; 4 – главные сероносные районы: I – Южно-Курильский, II – Северо-Курильский, III – Южно-Камчатский, IV – Центрально-Камчатский, V-Va – Северо-Камчатский [4] (Ильпинский [21]), VI Восточно-Камчатский. Серные рудные узлы Северо-Камчатского сероносного района: Втр – Ветроваямский, Срв – Сеэрваямский, Врв – Вироваямский.

Дополнения: 5 - поперечные межглыбовые (сквозькоровые и коровые) разломы северо-западного – алеутского направления, 6 - направления субвертикальных движений сопредельных глыб коры: а – воздымающиеся, б - опускающиеся (опаздывающие в воздымании)

В СССР до 1961 г применение геофизики при поисках и прогнозе серного оруденения отсутствовало. Применение методов при изучении серных месторождений, а в дальнейшем и их поисках относится к середине 60-х годов. В это время происходит интенсификация поисковых работ на серу на Дальнем Востоке и концентрация их в Северо-Камчатском сероносном районе (СКСР) и на о. Итуруп. (Согласно [21] впоследствии СКСР получил новое название – Ильпинский, однако в широко ранее опубликованной литературе он известен под приведённым первоначальным названием, которое остаётся и в настоящем учебном пособии).

Особенностью начала применения геофизики при поисках вулканогенной серы в СССР является отсутствие какого-либо опыта – как отечественного, и сведений о зарубежном. В те годы было лишь известно, что применение электроразведки позволяло обнаружить серные залежи в некоторых районах Японии [40]. В этих условиях возникла проблема самостоятельной разработки на Камчатке собственной методики поисков самородной серы. В итоге планомерного и целенаправленного применения геофизических методов в комплексе геологоразведочных работ на ряде месторождений и серопроявлений Камчатки, главным образом, в Северо-Камчатском сероносном районе, в 1965-71 г.г. были разрешены многие важные задачи проблемы поисков серы. Была обоснована и практически реализована методика геофизических исследований при поисках эродированных и частично эродированных залежей, рекомендованы принципы геологического истолкования геофизических данных [5, 62, 64, 67,].

Важным итогом геофизических работ на Камчатке было выявление крупной промышленной серной залежи на комплексной аномалии «Юбилейная», выделенной и рекомендованной к поисковому бурению автором настоящей работы в 1967 г. Подтверждение залежи бурением показало правильность принципов, положенных в основу разработки комплекса геофизических методов поисков серы [63]. С другой стороны, некоторые вопросы геологической интерпретации геофизических данных, полученных, как представлялось, на объектах одинакового геологического строения, остались неясными. Впоследствии обощение материалов по всем известным объектам позволило решить и их [74].

Учебное пособие посвящено исследованию и разрешению проблемы применения геофизических методов и их геологической интерпретации при поисках вулканических месторождений серы в Северо-Камчатском сероносном районе. Проблема включает решение комплекса задач, связанных с прогнозом площадей локализации серного оруденения на территории сернорудного района и его поисками на выделенных наиболее перспективных участках. В связи с этим, необходима разработка двух основных направлений:

1. Установление геологической природы физических полей на массивах безрудных вторичных кварцитов, серопроявлениях и месторождениях серы и установление критериев сероносности при поисках залежей серы на основе детальных геофизических исследований.

2. Выявление региональных закономерностей размещения серного оруденения и прогноз сернорудных узлов, полей и месторождений в СКСР на основе региональных геофизических исследований;

Практическая необходимость разрешения поставленной проблемы очевидна – геофизические методы являются наиболее оперативными и информативными при изучении крупных территорий вулканических поясов, выявлении региональных минерагенических факторов и поисках слабоэродированных и неэродированных месторождений. В научном аспекте наиболее важным является установление закономерностей строения сероносного района и размещения региональных факторов контроля серного оруденения, нашедших отражение в физических полях. Кроме того, изучение физических полей на специфических вулканических месторождениях серы, ранее в СССР не изучавшихся, представляет исторический и образовательный интерес.

Объектом проведённого в настоящей работе исследования является Северо-Камчатский сероносный район – единственный эффективно изученный в бывшем СССР широким комплексом геологоразведочных работ район проявлений вулканического серного оруденения, предметом – система геологических и геофизических знаний о закономерностях размещения серного оруденения. Рассматриваются месторождения импрегнационно-метасоматического генезиса [4] с сульфидно-

серным (промышленным) типом оруденения [5, 15]. Анализировались материалы региональных гравиметрических, магнитных и геологических съёмок и детальных исследований методами магниторазведки, электроразведки (в модификациях естественного электрического поля – ЕЭП, вертикальных электрических зондирований – ВЭЗ, электропрофилирования – ЭП на постоянном и переменном токе, вызванной поляризации - ВП), гравиметрии, сейсморазведки, бурения и геологической съёмки. Автором также рассмотрены и обобщены материалы геофизических работ по месторождениям Центрально-Камчатского, Южно-Камчатского и Южно-Курильского сероносных районов, трёх сернорудных районов Японии.

При написании работы использованы фактические материалы полевых работ детальных исследований упомянутыми методами, проведённых в масштабах 1:5000 – 1:25000 на 15 объектах СКСР. Обработано более 3500 измерений физических свойств пород и руд, и определено их кажущееся сопротивление по каротажу 37 скважин; обработаны химанализы определений содержания самородной серы и пиритной серы кернов скважин; проведена трансформация региональных и детальных геофизических полей по способу осреднения и интерпретация более 60 карт трансформат и наблюдённых полей; проведен корреляционный анализ зависимости физических свойств и физических полей и пр. Кроме того, использованы фактические материалы и результаты исследований по затрагиваемому кругу вопросов, находящиеся в фондах Камчатского и Сахалинского территориальных геологических управлений.

Настоящая работа является логическим завершением семилетнего этапа применения геофизики Геофизической экспедицией в комплексе геологоразведочных работ Камчатского территориального геологического управления при исследовании СКСР. Автор с начала детальных геофизических работ в районе и до их завершения (1965-74 гг.) принимал непосредственное участие в обосновании методики, проектировании и проведении полевых и камеральных работ, научно-производственных исследований в качестве методического и технического руководителя и исполнителя (ст. геофизика, начальника отряда, партии, тематической группы) комплексных геофизических работ и их геологической интерпретации.

Целью научного исследования является выявление закономерностей строения и развития объективного мира. Именно знание закономерностей позволяет формулировать законы, использование которых даёт возможность новых познаний мира и целенаправленных действий человечества на пути совершенствования цивилизаций. Получение в процессе исследования нового знания будет тогда плодотворным, когда будет установлено, что оно не случайно, а является проявлением закономерности. Тогда интерполяция закономерностей в пространстве и времени минимизирует потери достижения сугубо практических целей – выявления месторождения и ввода его в эксплуатацию.

Основные и частичные положения и выводы, рассматриваемые в работе, постоянно опробировались на заседаниях Научно-технического совета Камчатского ТГУ, Техсоветах Геофизической и Геологосъёмочной экспедиций КТГУ (1966 - 1975 г.г.), на Всесоюзном втором совещании по метасоматитам в г. Алма-Ате (1969 г.), на Всесоюзном четвёртом вулканологическом совещании в г. Петропавловске-Камчатском (1974 г.), I Всесоюзном вулканологическом совещании «Вулканизм и формирование полезных ископаемых в подвижных областях Земли» в Тбилиси (1980), Конференции «Геологическая служба России» (2000) и других.

ГЛАВА I. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МАССИВОВ ВТОРИЧНЫХ КВАРЦИТОВ И ВУЛКАНИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ САМОРОДНОЙ СЕРЫ И ЭЛЕМЕНТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Вулканические серные месторождения Тихоокеанского рудного пояса приурочены к его вулканическим поясам и связаны с гидротермально изменёнными рудоносными породами формации вторичных кварцитов кайнозойского возраста.

Породы формации вторичных кварцитов являются единственными серовмещающими образованиями на вулканических месторождениях. Нахождение самородной серы в других породах представляет лишь минералогический интерес. Среди нескольких генетических типов вулканических месторождений Японо-Курило-Камчатской дуги перспективными для промышленного освоения на Камчатке и Курильских островах являются месторождения импрегнационно-метасоматического (метасоматического) генезиса с сульфидно-серным составом руд [4, 14, 15, 16]. Существует также точка зрения о кратерно-озёрном (водно-осадочном) генезисе вулканических месторождений серы, отстаиваемая И.П. Аверьяновым [4], но она здесь не рассматривается.

Как известно, задача поисков в практике геологических и геофизических работ состоит в том, чтобы по определённым признакам выделить среди множества объектов такой, который отличается от безрудных и может оцениваться как перспективный на обнаружение оруденения. Это определяет необходимость знания причин-факторов, которые оказывают влияние на формирование этих признаков, фиксируемых в геофизике в виде аномалий. В общем случае совокупность таких факторов создаёт массив безрудных кварцитов или месторождение серы как современный геофизический объект. Основными, в данном случае, являются следующие факторы: разломы, трещины и зоны трещиноватости; минеральный состав пород и руд; зональность в распределении пород и руд; гидрогеологический режим; петрофизические свойства изменённых и неизменённых пород; размеры месторождений. В конечном счёте, они могут рассматриваться как элементы геологических моделей объектов исследования.

I. 1. Роль разломной тектоники в формировании структуры геологической модели массивов и месторождений

В локализации массивов кварцитов и серных залежей исключительна, велика роль разрывной тектоники (5, 17, 18, 32, 35). Рассмотрим на примере объектов Японии и СССР, изученных в процессе разведки и эксплуатации, влияние разломов, трещин и зон трещиноватости.

Кремнисто-алунитовое месторождение (кварца) Усугу в Японии. На рис. 2 показан процесс образования массива кварцитов, не содержащих сернорудных тел. Хорошо видна зональность в распределении отдельных минеральных фаций, состав которых дан в табл. 1. Основную массу изменённых пород, вмещающих кремнистые и алунитовые фации, составляют глины. Общая мощность изменённых пород достигает 500 м. Кремнистые и алунитовые породы залегают на глубине 250-300 м.

Очень интересно наличие установленных в процессе эксплуатации узких вертикальных тел жильной формы. С. Ивао характеризует их как растворопроводящие каналы – трещинные зоны или отдельные разрывы [17]. Подобное аналогичное толкование на примере серных залежей месторождения Нумадзири дал Т. Кимура: «… рудоподводящими каналами могут служить: а) такие ослабленные зоны, как сбросы, трещины, зоны дроблений; б) трещины отдельностей андезитов» [22, стр. 21].

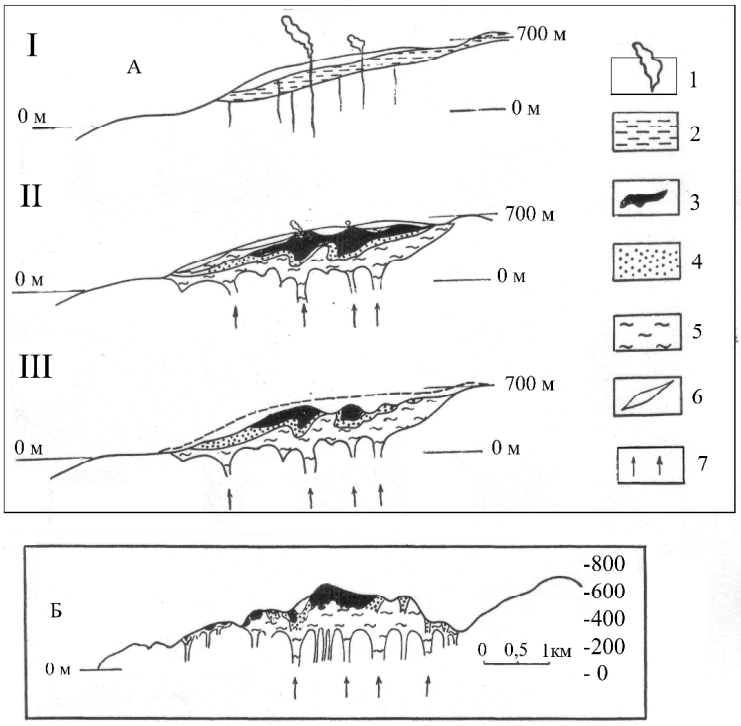


Рис. 2. Схематические геологические профили измененных пород алунит-кварцевых месторождений района Угусу, Япония [17]

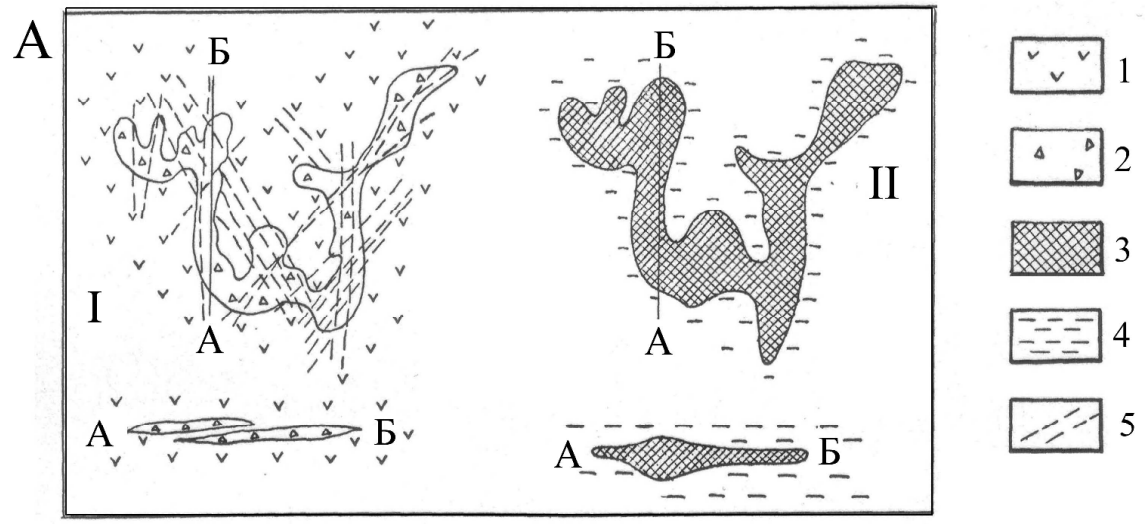
А. Схема образования месторождения: I – начало термальной активности, поднимаются горячие ювенильные растворы, пересекая резервуар грунтовых вод; II – конец процессов изменения с образованием ограниченных зон; геотермальная активность почти прекратилась; III – верхняя часть поля измененных пород эродирована; геотермальная активность полностью прекратилось. Б. Профиль поля измененных пород залежей Шибаяма, Хакко, Миокен и Хотокейши месторождений: 1 – паро-газовые струи; 2 – резервуар грунтовых вод; 3 – кварцевые породы; 4 – алунитовые породы; 5 – глинистые породы; 6 – первичные породы; 7 – пути движения гидротерм

Парагенезис минералов в зонах изменённых пород месторождения Угусу, Япония [4]

Таблица 1

Положение в разрезе	Мощность м	Зоны пород	Породы изменённые	Парагенезис минералов
Кровля ↓ Подошва	100	аргиллизированных	Покрывающие глинистые (каолинито-монтмориллонитовые)	Монмориллонит, кварц, серицит, каолинит, пирит
	5		Глинистые (каолинитовые)	Каолинит, кварц, пирофиллит, пирит
	1-2	существенно кварцевых аргиллизированных	Алунитовые (слабопористые)	Алунит, кварц (каолинит), пирит, окислы железа
	100-200		Кремнистые (сильнопористые)	Алунит, кварц, окислы железа (3%), редко - сера
	5-80		Алунитовые	Алунит, кварц (каолинит)
	10-20		Глинистые (каолинитовые)	Каолинит, кварц, монтмориллонит, серицит, каолинит, пирофиллит, гидроокислы и окислы железа, пирит (?)
	300		Глинистые породы жильных тел – в зонах подводящих разломов	Монтмориллонит, серицит, кварц

Морфология серных залежей, образованных по системе трещиноватых зон, видна на примере месторождения Ионаго и рудного поля Адзума, Япония (рис. 3). Отчётливо устанавливается избирательная приуроченность рудных тел к толще туфобрекчий, разбитой сериями разломов и трещинных зон.



1 – лавы; 2 – туфобрекчии; 3 – серные и сульфидо-серные руды; 4 – измененные породы; 5 – трещинные зоны

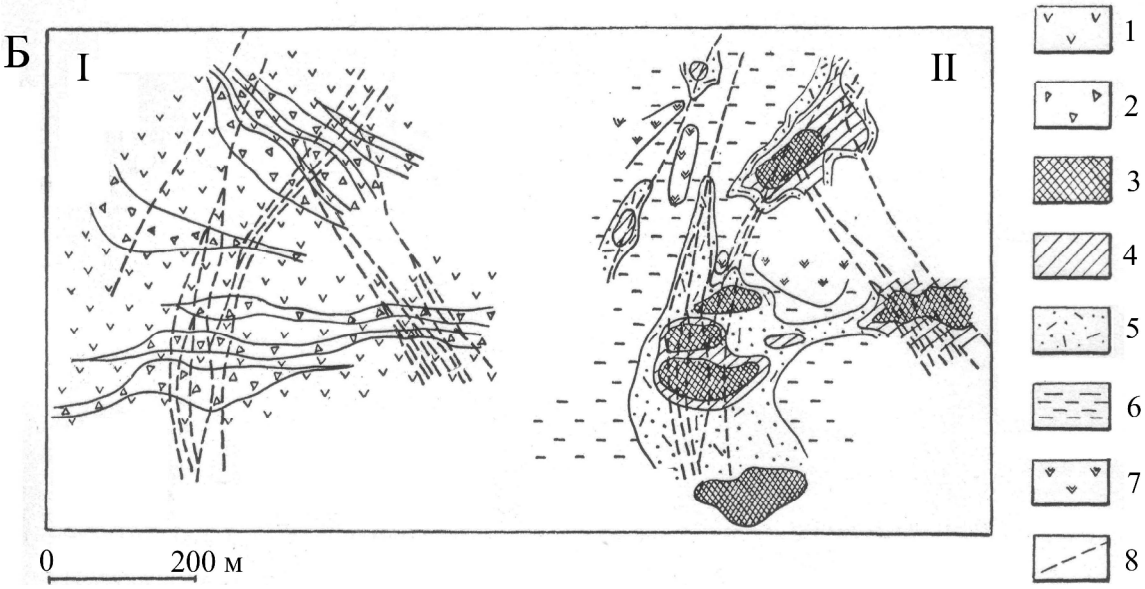


Рис. 3. Влияние характера пород и разломов на морфологию месторождения [4]
А – месторождение Ионаго, В – рудничное поле Адзума
I – структура первоначальных пород
II – распределение руд и измененных пород

1 – лавы; 2 – туфобрекчии; 3 – серные руды; 4 – пиритизированные и опализированные породы; 5 – опализированные или алунитизированные породы; 6 – каолинизированные породы; 7 – неизмененные породы; 8 – трещинные зоны

На рис. 3-А залежь представлена субпластовым телом, залегающим горизонтально в изменённых (глинистых) породах. Видно, что в месте пространственного совмещения двух слоёв туфобрекчий происходит утолщение залежи. На рис. 3-Б видно заключение серной залежи в «рубашку» пиритизированных пород, обрамлённых в целом кремнисто-алунитовыми породами. На периферии рудного поля развиты глинистые породы. Интересно наличие останцов, неизменённых пород в центре поля, не заштрихованных трещиноватостью и не подвергшихся измене-

нию. Исходные породы представлены на месторождении вулканитами андезитового состава.

На месторождении Адзума рудные тела ориентированы в широтном направлении с падением на юг (рис. 4). Видна избирательная приуроченность тел к туфам и туфобрекчиям, контуры тел плавные. В их внутренних частях образованы нерегулярные раздувы богатых руд с содержанием серы 35-40%, на флангах тел содержание серы – 10-20%. Тела зачастую перекрывают друг друга, что создаёт впечатление протяжённых в плане залежей. Околорудные породы опализированы, каолинизированны и сульфидизированны. В нижней части разреза залежи месторождения Адзума виден рудоподводящий канал [4, 35].

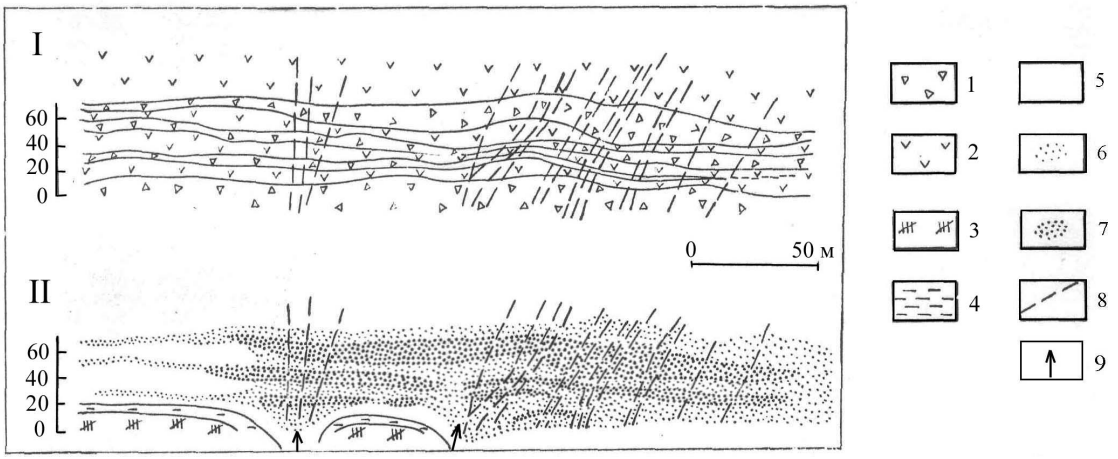


Рис. 4. Вертикальный разрез в широтном направлении через залежь меторождения Адзума, Япония [4]

I – структура первоначальных пород; II – распределение серных руд и измененных пород
1 – туфобрекчии; 2 – лавы; 3 - монтморилионитизированные породы; 5 – пиритизированные и опализированные породы; 6 – слабое осернение; 7 – богатые серные руды; 8 – зоны терещиноватости; 9 – рудоподводящий канал

На месторождении Исидзу рудные тела штокообразной формы, обусловленные тем, что процессы изменений в пласте туфобрекчий были ограничены зонами трещиноватости. Залежи окружены опализированными и глинистыми (каолинизированными) породами (рис. 5). В верхних горизонтах установлены пористые породы с пиритом и лимонитом [4].

Разрезы месторождений Адзума и Исидзу свидетельствуют о том, что максимальная глубина распределения руд ограничена 250-350 м от поверхности рельефа эпохи рудоотложения.

Строение одной из залежей крупнейшего месторождения Японии Мацуо показано на рис. 6. Оно является примером «этажного» расположения серных и сульфидных руд (табл. 2, см. также рис. 10). Видны три качественно различных, в общем, части одной из залежей. В верхней части отмечаются сульфиды (пирит, марказит), в средней - сульфиды и самородная сера, в нижней – самородная сера. Границы между ними часто нечёткие, редко – резкие. Количество сульфидов растёт в направлении висячего бока залежи. Кроме серы и сульфидов залежь содержит кварц, опал, редко алунит, каолинит, киноварь.

Массив измененных пород, включающих рудные тела, образован по толще туфобрекчий, экранированной двумя потоками андезитов. Установлено зональное распределение изменённых пород (от рудных тел к их периферии): опализированные, алунитизированные, глинистые (каолинизированные и монтмориллонитизированные) образования. Породы пиритизированы. Степень пиритизации значительно уменьшается в глинистых фациях [4].

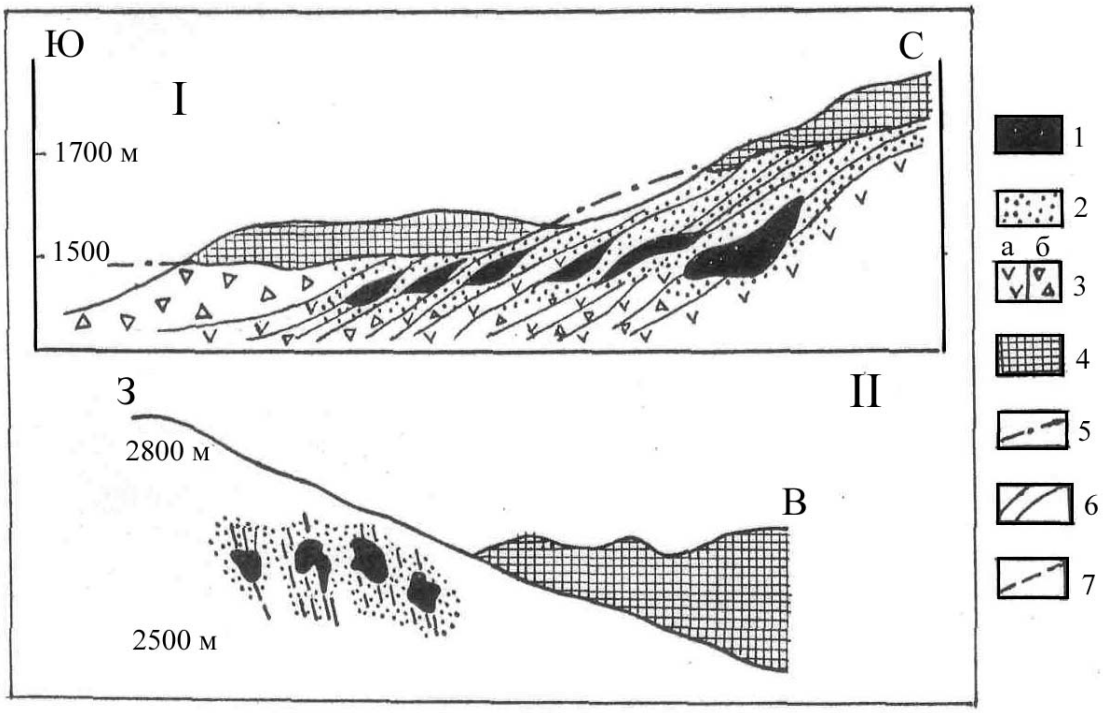


Рис. 5. Разрезы залежей Адзума I и Исидзу II, показывающие форму и распределение тел, Япония [4]

1 – сернорудные тела; 2 – измененные породы; 3 – неизмененные породы: а – туфы, б – туфобрекчии; 4 – послерудные породы; 5 – поверхность рельефа во время рудообразования; 6 – напластования туфов и лав; 7 – зоны трещиноватости

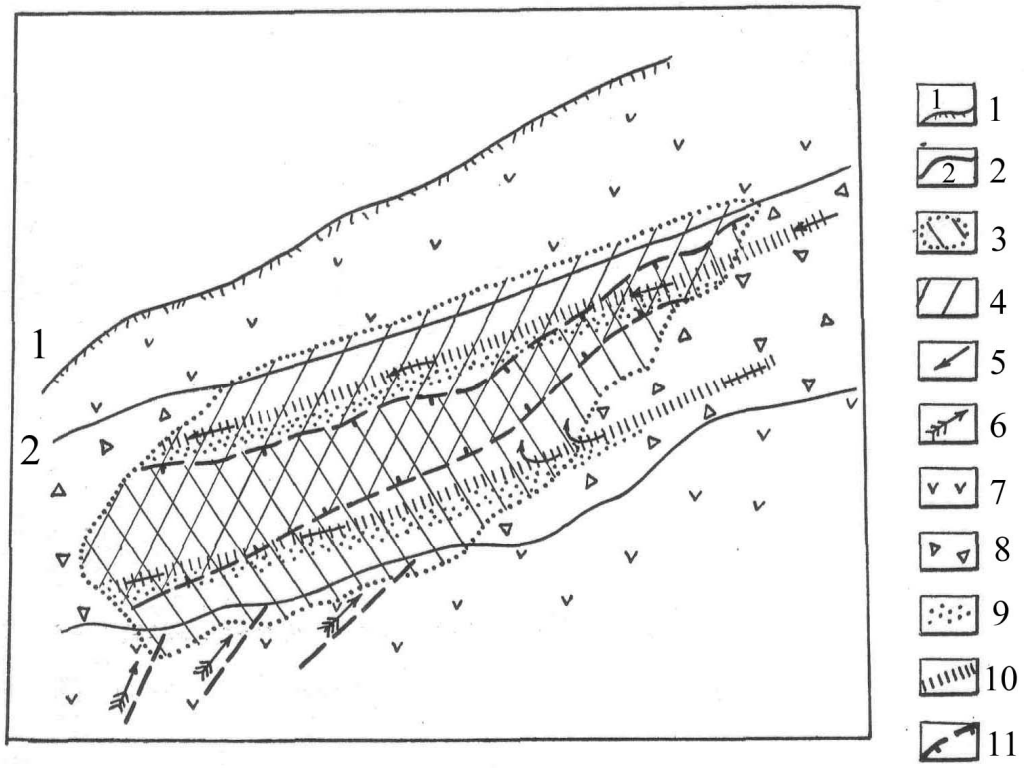


Рис. 6. Схематический разрез рудной залежи месторождения Мацуо, Япония [4].

1 – поверхность земли; 2 – нижняя граница грунтовых вод; 3 – зона отложения самородной серы; 4 – зоны отложения сульфидов железа; 5 – грунтовые воды; 6 – восходящий водяной пар; 7 – потоки лав; 8 – туфобрекчии; 9 – туф; 10 – туфогенные сланцы; 11 – граница серно-сульфидной части залежи

Положение рудных тел в вертикальном разрезе
месторождения Мацуо (по Т. Судзуки [4])

Таблица 2

Рудное тело	Глубина залегания руд, м		
	серные	с марказитом	с пиритом
Первое	90-180	50-130	50-60
Второе	140-260	170-200	-
Третье	80-180	70-100	-
Четвёртое	-	130-180	70-160

Аналогом японских сульфидно-серных месторождений в СССР является Малетойваямское месторождение на Камчатке. На рис. 7 приведено два разреза Центрального участка. Верхний разрез характеризует северную – периферийную, нижний - центральную части участка. Изменённые породы и руды развиты по толще туфобрекчий и туфов, содержащих угольные прослои. Месторождение состоит из двух залежей, разделённых безрудными изменёнными породами мощностью 30-40 м. Мощность верхней залежи от 30 до 110-120 м, нижней – 10-35 м. В северной части участка верхняя залежь выходит под наносы. Нижняя – вскрыта только скважинами (см. табл. 6).

Руды верхней залежи представлены серными, алунитовыми и серными кварцитами, с прослоями монокварцитов. Их основные минералы показаны в табл. 5 (№№ 1, 4, 5, 7, 9). Нижняя залежь представлена в основном каолинито-алунито-кварцевыми породами. В составе руд – сера, опал, кварц, каолинит; реже – алунит, марказит, содержание серы от 8-15 до 40%. Сульфидов значительно меньше, чем в верхней залежи.

Распределение изменённых пород участка подчинено вертикальной и горизонтальной зональности. В общем случае она заключается в последовательной смене от центра массива к периферии и на глубину различных минеральных фаций. В целом рудные залежи заключены в оболочку глинистых (каолинит-монтмориллонитизированных) и пропилитизированных пород [4, 16]. Более подробно описание залежей месторождения будет показано в главе IV.

Рассмотренные объекты формировались вдали от интрузий – поставщиков рудоносных флюидов. Это обусловило развитие низкотемпературных фаций изменённых пород, богатое содержание серы в рудах и т.п. Вместе с тем, существуют объекты, испытавшие сильное влияние магматического фактора – интрузии. Для них характерно развитие высокотемпературных минералов, низкое и неравномерное содержание серы, сложная морфология [4].

Типичным примером образования серных залежей в подобной обстановке является месторождение р. Половинной на Камчатке – рис. 8 (один из разрезов по месторождению показан также на рис. 4). Субгоризонтальное рудное тело резко выклинивается на флангах, размеры его сравнительно невелики (табл. 6). Руды представлены серными алунитовыми кварцитами со средним содержанием серы 10-15%, состоят из кварца, алунита, рутила, диаспора, серицита, сульфидов железа (табл. 6, № 6). В целом существенно кварцевые породы и руды обрамлены существенно глинистыми породами, выполняющими также вероятный растворо-подводящий канал. Очевидный высокотемпературный состав минералов, свидетельствующих об отличии минеральных ассоциаций месторождения от кварцитов Малетойваямского месторождения.

Другим примером серной залежи, испытавшей воздействие интрузии, видимо, более отдалённой и поэтому оказавшей более слабое влияние, является Юбилейный участок Малетойваямского месторождения. Участок бурением изучен слабо, поэтому рис.9 даёт недостаточно полное представление о разрезе изменённых по-

род, вместе с тем хорошо сопоставляемые с другими подобными объектами. Ниже приводится разрез по широтному сечению Юбилейного участка.

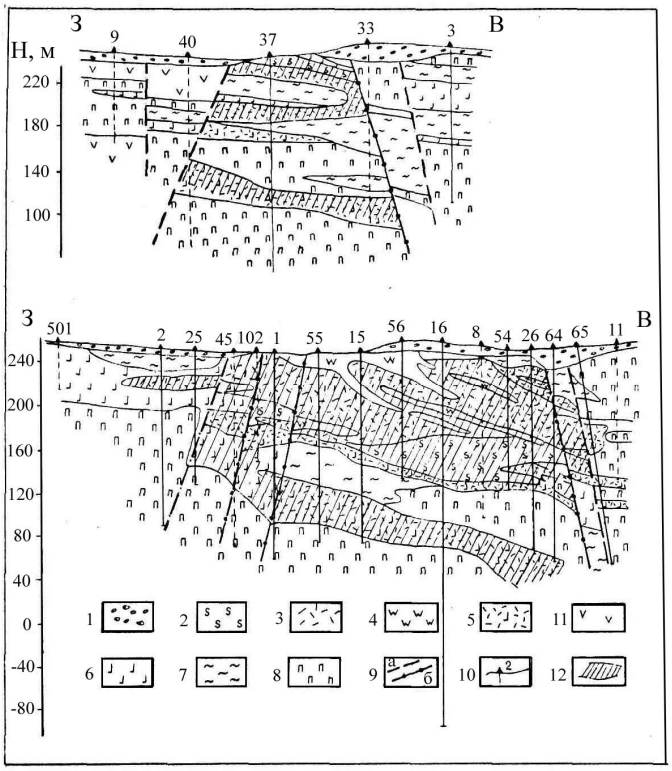


Рис. 7. Геологические разрезы Центрального участка Малетойваямского месторождения (по А.Е. Конову, 1972 г.)

1 – рыхлые отложения; 2 – серные кварциты; 3 – серные алунитовые и алунитовые кварциты; 4 – монокварциты; 5 – каолинито-алунито-кварцевые породы; 6 – каолинито-кварцевые породы; 7 – аргилизированные (каолинит-монтмориллонитовые) породы; 8 – пропилитизированные и монтмориллонтизированные породы; 9 – разрывы: а – рудоограничительные, б – рудоподводящие; 10 – скважины; 11 – неизменные эффузивы; 12 – серные руды

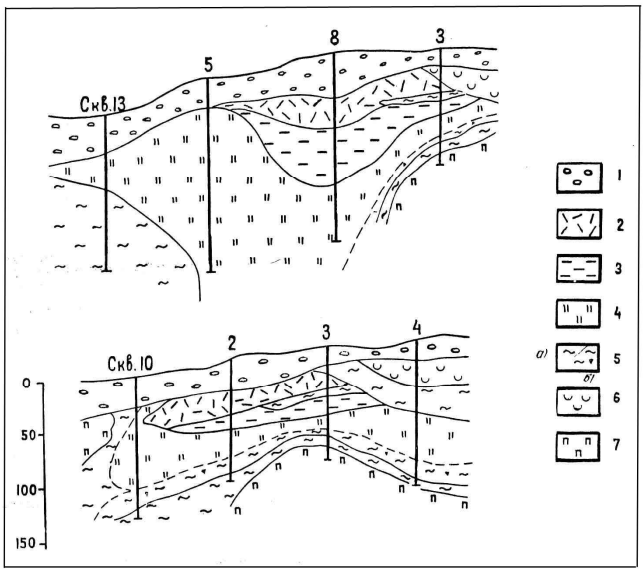


Рис. 8. Геологические разрезы месторождения р. Половинной

1 – ледниковые отложения; 2 – серно-алунитовые кварциты (серные руды); 3 – каолинизированные породы; 4 - монтморилионитизированные породы; 5 – хлорито-карбонатные пропилиты: а) – без цеолитов, б) – с цеолитами; 6 – карбонатно-цеолитовые породы с гематитом; 7 – эпидот-хлоритовые пропилиты

Вскрыты две залежи, залегающие с падением на юго-восток. Они разделены безрудными монокварцитами, алунитовыми и серицит-кварцевыми и пропилитизированными породами, мощностью 10-40 м. Руды залежей представлены серными кварцитами (содержание серы 10-20%) и, в значительно меньшей степени, каолинито-кварцевыми породами, алунитовыми кварцитами (серы до 10%). Мощность рудных тел 15-30 м, иногда резко вырастает до 100 м.

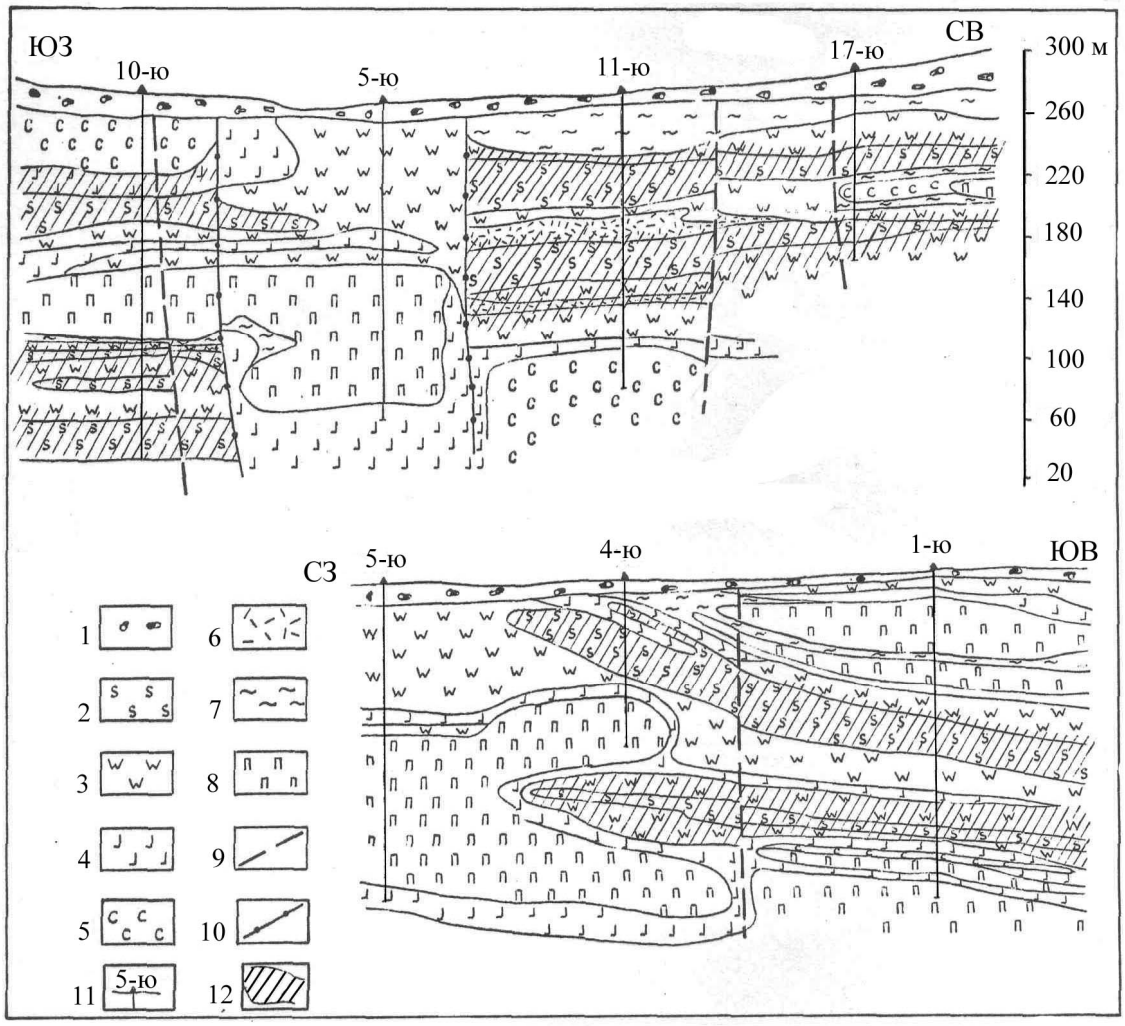


Рис. 9. Геологические разрезы Юбилейного участка
Малетойваямского месторождения (по А.Е. Конову, 1972 г.)

1 – рыхлые отложения; 2 – серные кварциты; 3 – монокварциты; 4 – каолинито-кварцевые породы; 5 – серицито-кварцевые породы; 6 – серные алунитовые и алунитовые кварциты; 7 – аргиллизированные (каолинито-монтмориллонитовые) породы; 8 – пропилитизированные и монтмориллонитовые породы; 9 – рудоограничительные разрывы; 10 – рудоподводящие разрывы; 11 – скважины; 12 – серные руды

Наиболее распространённым минералом залежей является кварц. В меньшей степени распространены каолинит, серицит, алунит, андалузит. Отмечается значительное количество сульфидов железа – до 20-40%. В одной из скважин в мощной монокварцевой толще в нескольких интервалах обнаружены халькозин, ковеллин, диагенит, золото. Характерно, что содержание серы в толще менее 10%. Очевидно распространение высокотемпературных минералов в центральных фациях. В целом по соотношению минеральных ассоциаций участок характеризуется серно-сульфидным оруденением, что даёт основание рассматривать его залежи как самостоятельное месторождение с серно-сульфидным оруденением.

Несмотря на недостаточную изученность участка, бурением здесь устанавливается характерная закономерность в распределении фаций изменённых пород.

I. 2. Размеры массивов и залежей месторождений как параметрический элемент модели

Рассмотренные параметры показывают, что разрывная тектоника оказывает значительное влияние и на размеры объектов. В свою очередь, параметры массивов изменённых пород и месторождений в совокупности с физическими свойствами пород определяют теоретическую и практическую возможность применения того или иного геофизического метода. Поэтому размеры залежей, глубина их залеганий и мощность, количество залежей в вертикальном разрезе рассматриваются как параметрический фактор геологического объекта.

Размеры рудных тел месторождений [4, 15, 16 с дополнениями]

Таблица 3

№№ п/п	Месторождения	Размеры рудных тел, м			Мощность безрудных покрывающих пород, м	Количество залежей по вертикали
		длина	ширина	мощность		
	Япония					
1	Мацуо					4
	Первое тело	1150	950	60-90(150)	40-150	
	Второе тело	1300	300	40 (120)	40-150	
	Третье тело	1300	400	20-30 (100)	50-100	
2	Абута	800	400	30-40	20-100	3
3	Акан	250	250	20		
4	Хоробецу					
	Первое тело	700	250	10-30		
	Третье тело	400	100	10-30		
5	Дзао	300	200	30-50		
6	Адзума	600	250	30-50		5
7	Ионаго	500	150	10-40		5
Наиболее обычные размеры промышленных залежей для Японии		300-600	100-250	20-30		
	СССР					
8	Малетойваямское					
	Центральный участок	1500?		30-120	0-80 и более	2
	Юбилейный участок	2000?			20-70	2
9	р. Половинной	500?		20	20-40	2?
10	Новое (1-тело)	600?		30-50		2?

В табл. 3 приводятся параметры по разведанным месторождениям. Что касается безрудных массивов, то их плановые размеры, естественно, превышают размеры залежей, а общая мощность изменённых пород может достигать, видимо, 350-500 м. При этом мощность центральных фаций, видимо, лежит в пределах 250-350 м [4].

Добавим, что в связи с пострудными вертикальными движениями на объектах обеих групп предельная глубина залегания изменённых пород может увеличиваться, либо уменьшаться. В первом случае, нисходящие движения приведут к отложению эпигенетических образований, во втором – объект подвергается эрозии, денудации и разрушению.

I. 3. Минеральный состав изменённых пород и руд и зональное их размещение в массивах кварцитов и месторождениях, как минерагенический элемент геологической модели

Минеральный состав пород определяет петрофизические их свойства, что позволяет рассматривать его как минералогический фактор в создании геологического модели.

Многочисленные данные свидетельствуют об общности минерального состава изменённых пород и руд объектов Японо-Курило-Камчатской дуги [4, 14, 15, 16, 17, 33, 46]. Среди изменённых пород выделяется несколько общих минеральных ассоциаций (фаций): монокварциты (моноопалиты), алунитовые, серные и каолинит-кварцевые (кремнистые) породы [4, 15, 16]. Эти ассоциации слагают центральные части массивов и месторождений, и будут далее именоваться «центральными фациями».

В ряду изменённых пород стоят и т.н. аргиллизированные, монтмориллонитизированные и пропилитизированные породы. К аргиллизированным образованиям относятся каолинито-монтмориллонитовые, образующие переход от каолинито-кварцевых к монтмориллонитизированным и пропилитизированным породам. Наиболее трудно диагностируются пропилитизированные породы, близкие иногда по составу к аргиллизированным.

Г.М. Власов к пропилитизированным породам – пропилитам – относит породы низкотемпературной стадии изменения с новообразованием хлорита, карбонатов, пирита [2, 4]. Подобный смысл вкладывает в термин В.М. Еркин. В этом смысле термин «пропилиты» употребляется в настоящей работе. В японской литературе аргиллизированные и пропилитизированные образования объединяются, как правило, под общим названием «глинистые породы» [22, 34, 45-47]. Эти образования слагают периферию массивов и месторождений. В дальнейшем они будут употребляться под названием «краевые фации» либо с конкретизацией состава («глинистые», «пропилитизированные»).

В практике работ по Камчатке применяется следующая классификация изменённых пород: монокварциты, серные алунитовые кварциты, алунитовые кварциты, серные кварциты, сульфидно-кварцевые, каолинито-алунито-кварцевые, серицито-кварцевые породы. Эти фации выделены В.М. Ёркиным, А.Е. Коновым (1968-1971 гг.) по материалам разведки Малетойваямского месторождения.

На серных и кремнисто-алунитовых месторождениях Японии распространены подобные фации. Особенностью их классификации является отсутствие дробного деления [4, 22, 35]. Ещё одной особенностью является сравнительно малое, видимо, содержание в них алунита. Последнее послужило В.М. Ёркину [14] основанием для отнесения руд камчатских месторождений к «сульфидно-алунито-серному» типу в отличие от «сульфидно-серного» - в Японии.

Минеральный состав пород месторождений и проявлений Камчатки приведён в табл. 6. По материалам японских исследователей минеральный состав месторождений Японии мы считаем аналогичным [17, 22, 27, 33, 35].

Характерным для пород и руд массивов кварцитов и месторождений серы являются разнообразные примеси металлов. Для верхних горизонтов – цинка, марганца, для нижних – никеля, титана, молибдена, свинца, меди, (содержание – 0,01-1%) [4], на объектах СКСР золото, а также бария.

На рассмотренных выше примерах было видно, что серные руды не являются принадлежностью какой-либо одной фации, а связаны с двумя-тремя (табл. 4). По материалам А.Е. Конова и др. (1972 г.) устанавливается приуроченность промышленных концентраций серы (более 10%) Центрального участка Малетойваямского месторождения к трём фациям. Если распределение серного оруденения рассмат-

ривать не в промышленных классификациях руд, то устанавливается его приуроченность ко всем центральным фациям разреза изменённых пород (рис. 20-А). С другой стороны, фации могут и не содержать серу в значительных количествах. Существуют также массивы, содержащие все основные фации, но фактически бессерные.

Характер изменённых пород, вмещающих серные руды на месторождениях СССР и Японии [4]

Таблица 4

№№ п/п	Месторождение	Главные фации изменённых пород				
		Моно-кварциты и опалиты	Алунитовые кварциты	Аргиилизированные породы с каолинитом, галлузитом и др.	Гидрослюдистые породы	Монтмориллонитизированные породы
	СССР					
1	Малетойваямское	ср.	б. ср.	уб.ср	уб.	+
2	р.Половинной	Б	ср.	уб.	уб.	уб
3	Новое	Б	ср.	уб.	уб.	+
	Япония					
4	Абута	Б	ср.	уб.	+	?
5	Мацуо (III тело)	Б	уб.	+	+	+
	III рудное тело	Б	Б?	уб.	?	?
6	Нумадзири	Б	уб.	+	?	?
7	Кусацу	Б	+	+	?	?
8	Исидзу	Б	ср.	+	?	?
9	Исимдзу	Б	ср.	+	?	?
10	Адзума	Б	уб.	+	?	+
Условные обозначения: Б – богатые руды (с содержанием серы более 30%); ср. – руды относительно бедные (с содержанием серы 20-30%); уб. – убогое содержание серы в виде прожилков и включений; + - присутствие данной фации в разрезе; ? – данные отсутствуют						

Затронутый вопрос о содержании серы имеет для геофизики принципиальное значение. Как будет показано ниже, наличие в изменённых породах массива (месторождения) определённого минимума самородной серы влечёт за собой изменение физических свойств породы и для некоторых из них – весьма существенные. И в таком случае объектом исследований являются не изменённые породы любых фаций вообще, а конкретное геологическое тело т.е. залежь, с аномальными физическими свойствами. Очевидно, что в расчётах возможных физических полей месторождений необходимо принимать не минеральные фации в отрыве от серонасыщённости, а именно вкупе с серой, создающей качественно новое физическое тело – сернорудную залежь. Наличие рудных минералов создаёт новый аномалеобразующий эффект.

Вторичные кварциты как содержащие серу, так и бессерные в большинстве содержат сульфиды железа – пирит, мельниковит, марказит (рис. 10-Б). Установлена парагенетическая связь «сера-сульфиды», которая является следствием единого рудообразующего процесса [4]. Для многих месторождений Японии и СССР установлена обратная зависимость между содержанием в рудах самородной серы и сульфидов железа: увеличению серы в руде соответствует уменьшение количества сульфидов, и наоборот. Второй случай характерен для руд Юбилейного участка Малетойваямского месторождения, это даёт основание считать его серно-сульфидной моделью. Пирит присутствует во всех минеральных фациях вторич-

ных кварцитов и рудах. Сводный минеральный состав месторождений Корякии и Камчатки приведен в таблице 5.

Средний минеральный состав (%%) промышленных типов метасоматических руд (по А Ю. Лейн, [4]

Таблица 5

Минералы	кварциты (опалиты) - руды								Серно-каолинитовые
	Серные			Серно-алунитовые					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сера	35	30	8	18	7	24	25	16	20
Кварц	39	47	16	27	38	34	23	60	13
Опал	15	8	62	5		11		8	20
Гипс	+	+	1	2	1	+	+	+	3
Алунит	+	2	4	36	38	27	37	8	14
Каолинит	4	2	+	+	+	+	+	5	20
Пирит	5	8	1	9	12	2	13	+	2
Марказит	+	-	-	+	+	+	+	-	4

Примечание: а) образцы руд их месторождений: 1, 4, 5, 7, 9 – Малетойваямского; 2, 3 – Нового; 8 – р. Половинной; 6 – проявления Белый Яр;
б) знак + обозначает присутствие минерала в количестве менее 1%;
в) среди прочих минералов – барит, гётит, рутил, ярозит в образцах 3, 6 и другие (нерасшифрованные) во всех образцах

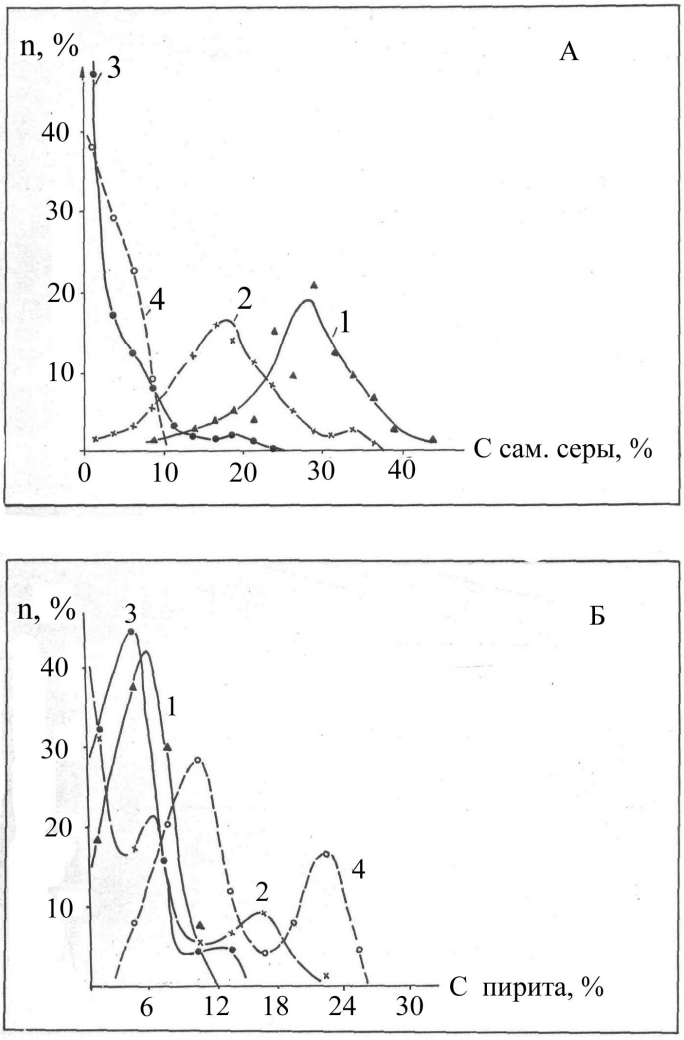


Рис. 10. Распределение самородной серы (А) и сульфидов железа (Б) в рудах Центрального участка Малетойваямского месторождения
1 – в серных кварцитах; 2 – в серных алунитовых кварцитах; 3 – в каолинито-кварцевых породах; 4 – в монокварцитах

Соотношение самородной серы и сульфидов железа для разных типов руд показано в табл. 6. Существует также закономерность между распределением серы и сульфидов в рудах залежей. В общем, она выражена в том, что сульфиды расположены выше серных руд по восстанию пласта, либо концентрируются в кровле залежи. Примерами являются залежи месторождений Мацуо, Хоробецу, Абута, Адзума, р. Половинной, Малетойваямского, Нового и др. [4]).

Типы промышленных руд месторождений [4]

Таблица 6

Кварциты (опалиты)	Содержание самородной серы, %%	Содержание сульфидов железа, %%	Удельный вес руд, %%
Серные			
а) бессульфидные	30-40		1,8-2,1
б) сульфидизированные-ные	25-35	3-9 (7)	
Серно-алунитовые			
а) бессульфидные	15-25		2,55-2,65
б) сульфидизированные-ные	15-25	3-22 (7 и 18)	2,70-2,76
Серно-каолинитовые			
а) бессульфидные	10-20		
б) сульфидизированныеные	10-20	2-14 (ср. 5)	2,50-2,66
Примечание :Среднее содержание сульфидов определено по вариационным кривым распределения их во вторичных кварцитах Центрального участка Малетойваямского месторождения (по В.В. Муравьёву, 1971 г., см. также рис. 20)			

Из таблицы 6 видно, что месторождения по составу руд могут быть как чисто серные, т.е. бессульфидные, так и сульфидно-серные. Известно, что для Камчатки тип чисто серных месторождений (Ветроваямское) является экономически бесперспективным из-за очень малых запасов в них самородной серы. Основным типом признаны метасоматические месторождения с сульфидно-серным оруденением [4, 15].

Этот экономический фактор оказывается важным критерием поисков месторождений на Камчатке, т.к. позволяет включить в геофизический поисковый комплекс методы ЕЭП и ВП [4, 63, 65, 66], основанные на свойстве растворяющихся сульфидов создавать аномальные эффекты.

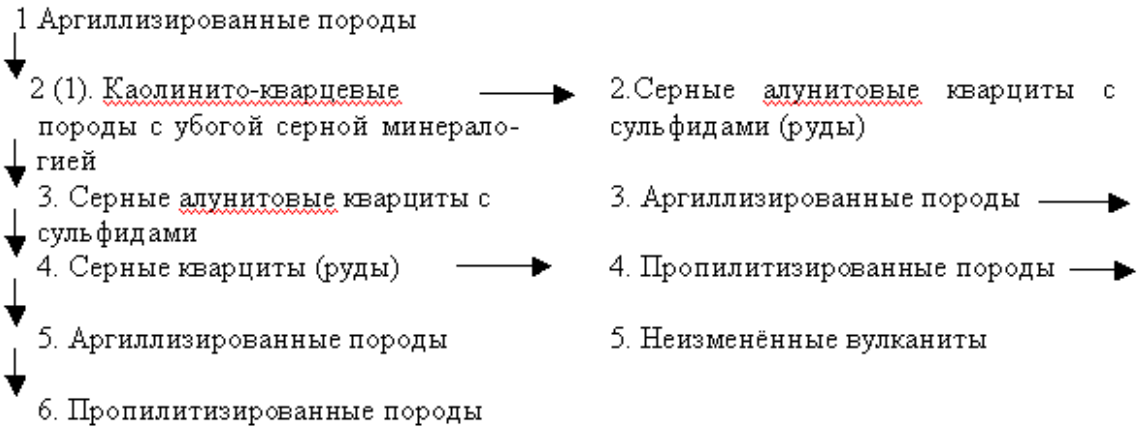
I. 4. Зональность размещения массивов и серных руд как структурно-вещественный элемент геологической модели

Среди важнейших факторов, определяющих эффективное применение геофизики, является зональность строения массивов вторичных кварцитов. Как видно из рассмотренных примеров (рис. 2-9), всеобщей особенностью строения месторождений и массивов изменённых пород является закономерное зональное распределение минеральных фаций. Зональность наблюдается и в размещении серно-сульфидных руд, развивающихся по центральным фациям кварцитов.

На основе строения месторождений Малетойваямского и Мауцо В.М. Ёркин в 1970 г. предложил обобщённую схему зонального расположения фаций:

В приведённой схеме по горизонтали показана смена фаций изменённых пород в плане – от центра массива к его периферии. Она получила наименование горизонтальной зональности. По вертикали показана смена фаций от поверхности массива на глубину – эта вертикальная зональность. Вертикальная зональность отображает неэродированную залежь. В случае отсутствия фаций 1 и 2 – руды выходят

под наносы. Возможно, видимо, также и частичное или полное перекрытие массива пострудными неизменёнными породами, что установлено на месторождениях Курильских островов, Японии.



Таким образом, в общем случае зональное строение массива изменённых пород может быть выражено так: существенно кварцевые породы (с серой и без неё) слагают центральные части и обрамляются по флангам и на глубине, а в случае неэродированных залежей, аргиллизированными и пропилитизированными породами. Вмещают массив неизменённые породы андезитового состава.

Глубина залегания всей толщи изменённых пород от поверхности эпохи рудообразования может достигать 500 м (фации 1-5 в вертикальной колонке). Глубина залегания серных залежей от той же поверхности – не более 350 м [5, 17, 18]. Горизонтальная мощность обрамляющих руды аргиллизированных пород (фация 3 в горизонтальном ряду) может равняться 200-400, и, видимо, более м; пропилитизированных – нескольких десятков и более м; неизменённых – сотни и более м.

I. 5. Гидрогеологический фактор геологической модели массивов и месторождений

Роль гидрогеологического фактора проявляется в обводнённости изучаемых объектов и формировании на них зоны окисления, т.е. тех причин, которые непосредственно влияют на формирование некоторых объёмных физических полей. Степень такого влияния зависит от интенсивности трещинной тектоники, направленности тектонических движений, уровня грунтовых вод, гипсометрического положения объектов и др. Рассмотрим кратко особенности гидрогеологической обстановки на примерах разведанных объектов.

Центральный участок Малетойваямского месторождения расположен в широкой корытообразной долине и дренируется рядом водостоков. В.Д. Дмитриев (1970 г.) по структурно-геоморфологическим данным установил на участке наличие новейших дифференцированных вертикальных тектонических движений. Скважинами вскрыты многочисленные обводнённые зоны дроблений и трещиноватости, уровень грунтовых вод на участке не ниже 25 м.

Изучение кернового материала показало существование на месторождении зоны окисления сульфидов и самородной серы мощностью 5-25 м. Окисление серы происходит бактериальным путём с новообразованием серной кислоты. Окисление сульфидов таким путём идёт с незначительной скоростью [4, 28], основную роль здесь играют электрохимические процессы, интенсивности которых способствует диссоциированная серная кислота [43, 44]. В кернах скважин установлены вторичные сульфидообразования, возникшие вследствие изменения гидрогеоло-

гического режима [28] – этим процессам, как установил Г.Б. Свешников, способствуют также естественные электрические поля месторождений сульфидных руд [43].

Окисление серы и сульфидов приводит к формированию пластовых кислых вод с pH = 1-4, редко 5 и сопровождается выносом серной кислоты и железа (лимонит) минерализованными водами. Измерениями на обнажениях окисляющихся руд установлено, что кислотность их поровых растворов на 1-2 ниже, чем в водных вытяжках. В образцах руд Малетойваямского, Ветроваямского и Нового месторождений были обнаружены поровые растворы с pH = 1-2 [4].

Существование зон окисления установлено и на месторождениях Японии. Мощность зон колеблется от 1-2 до 70-80 м и зависит от уровня грунтовых вод. На некоторых месторождениях уровень фиксируется на глубине первых метров, а нижняя граница охватывает верхние части глубокопогруженных залежей [4, 22, 28, 33, 34]. Зоны окисления руд фиксируются по распространению пористых бессернистых кварцитов на поверхности и в разрезе. Иногда пористые породы прослеживаются вдоль нарушений на глубины в несколько десятков метров. В зависимости от содержания серы и сульфидов в рудах окисление приводит к образованию текстур выщелачивания различной пористости (табл. 7).

Классификация текстур выщелачивания серных руд и других изменённых пород на серных месторождениях [4, 27]

Таблица 7

Тип текстур	Серные руды	Первично безрудные породы
1. Микропористые текстуры (размеры пор 0,001-0,01 мм)	Серные кварциты	
2. Губчатые текстуры (размеры пор до нескольких мм)	Серно-алунитовые	Бессернистые породы
3. Крупнопористые и неравномернопористые (размеры пор до 10см и более)	Серные и серно-алунитовые кварциты	
4. Ячеистые текстуры (размеры пор до 5мм и более)		Диккитовые кварциты
5. Опалиты и кварциты с таблитчатыми порами (длиной до 5-8мм). То же с чётким ограничением пор	Вкрапленные руды	 Алунитовые, серицитовые кварциты
6. Агломератовидные текстуры с крупными порами		Бессернистые породы и дагидратизированные опаловые

I. 6. Физические свойства вторичных кварцитов и серных руд, месторождений, как основа петрофизической модели

Изучение физических свойств проводилось в 1965-69 гг. на образцах, отобранных из обнажений и скважин Малетойваямского месторождения, Тюлюльваямского, Лигинмываямского, Такайпинского, Луноваямского, Ильгилькиваямского проявлений (Яроцкий и др., 1966-1971 гг.), а также ряда тел экструзивно-интрузивного комплекса района. Свойства рассматриваются применительно к используемым геофизическими методам в практике работ в СКСР.

Плотность пород определялась на денситометре, магнитные свойства – на астатическом магнитометре МГ-2 и каппаметре ИМВ-2. Кажущееся электрическое сопротивление (КС) в разрезе скважин определено по стандартным зондам электрокаротажа, пластовые скорости – по данным сейсморазведки, поляризуемо-

сти – по кривым параметрических ВЭЗ. Все определения проведены с допустимыми погрешностями.

Физические свойства удобно рассматривать по двум группам пород, положив в основу группирования степень их изменения и серосодержания. В первую группу включены неизменённые и слабоизменённые (пропилиты) вулканиты, во вторую – все изменённые породы [65].

Изложению физических свойств обеих групп пород необходимо предпослать рассмотрение фактора, оказывающего большое влияние как на плотностные, электрические, упругие и даже магнитные свойства образцов пород, так и на формирование физических полей, регистрируемых над объектами и внутри их. Этот фактор – общая пористость, включающая поры, каверны, трещиноватость пород и руд.

Пористость общая. Выше упоминалось о процессах выщелачивания серы и сульфидов кварцитов, приводящих к образованию пустот и пор. Г.М. Власов выделяет ряд текстур выщелачивания серных руд (табл. 7). Такие пористые кварциты встречены на месторождениях Малетойваямском, Новом, р. Половинной, Хатимантай, Исидзу, Адзума и др. [4, 35, 46, 47].

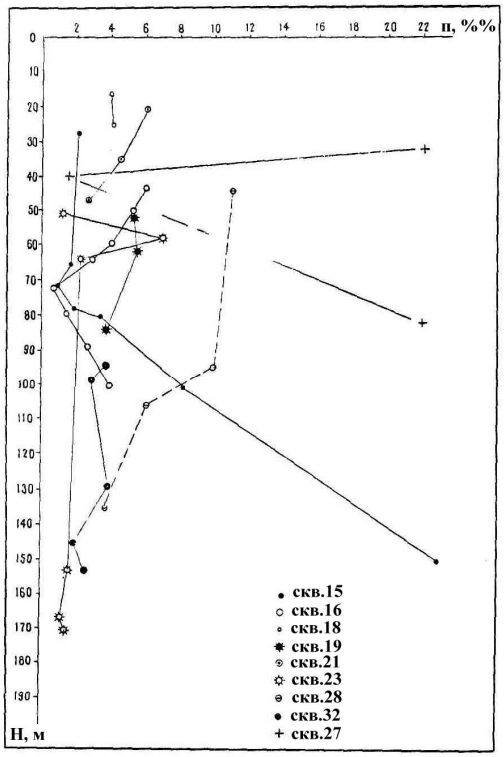


Рис. 11. Изменение пористости с глубиной в разрезах измененных пород скважин Центрального участка Малетойваямского месторождения

Вместе с тем, Г.М. Власов выделяет пористые первично безрудные породы [4]. Такие кварциты встречены на поверхности и в скважинах, как на упомянутых месторождениях, так и на массивах кварцитов СКСР с рассеянной серной минерализацией – проявлениях Тюлюльваямском, Южном, Лигинмываямском, Такайпинском, Ильгилькиваямском, Белом. Кроме того, по керну и кавернометрии скважин месторождений Малетойваямского и р. Половинной, установлена интенсивная микро- и макротрещиноватость пород как изменённых, так и неизменённых. В совокупности с порами трещиноватость приводит к возникновению повышенной проницаемости и росту открытой пористости.

По определениям на образцах, взятых из канав и скважин Центрального участка Малетойваямского месторождения, общая пористость достигает значительных величин – 25-34% [28]. Определение зависимости изменения пористости с глубиной (рис 11) показывает, что при n = 31 коэффициент корреляции равен 0,288. Некоторые образцы в скважинах 15, 16, 23, 27 отобраны из зон дроблений, чем объясняются аномальные значения их пористости. При расчёте они не учитывались. Оценка по статистическому критерию Стьюдента [60] при уровне значимости 0,05 указывает на несущественную (ненадёжную) связь параметров. Однако, при уровне значимости 0,1 связь становится существенной – это позволяет говорить о наличии тенденции падения пористости с глубиной, которая подчиняется логнормальному закону распределения.

Высокие значения пористости изменённых пород месторождения Нового, достигающие 20-30%, отмечает А.Э. Голлербах. Причём, пористость характерна для всей толщи изученного разреза, с хорошо выраженной тенденцией уменьшения с глубиной.

Таким образом, устанавливается эпигенетическая пористость – в выщелоченных рудах, и сингенетическая – в первично безрудных породах. Этот факт свидетельствует о том, что причины образования пористости заключаются не только в выщелачивании серы и сульфидов и дегидратации опала в кварцитах. Одну из вероятных причин широкого развития пористости мы склонны видеть в геодинамических условиях формирования массивов кварцитов и месторождений.

Согласно исследованиям Ф.А. Летникова пористость (общая) пород является следствием миграции «пустот (пор, вакансий, дислокаций) из области высоких давлений в толще пород в зоны разгрузки напряжений. Здесь, в определённом объёме пород происходит накопление «пустот» и, как следствие, формирование ослабленных зон повышенной трещиноватости и проницаемости» [29].

Ф.А. Летников пишет: «По мере миграции пор из области высоких давлений размер пор увеличивается, и степень равновесия в системе раствор-порода возрастает, что приводит к развитию процессов взаимодействия растворов с минералами пород и в итоге к метасоматическим преобразованиям её». Обращая внимание на возрастание неравновесия между раствором и породой при формировании трещин, он заключает: «Итогом такого процесса может быть формирование зон повышенной трещиноватости с широким развитием метасоматических процессов и последующим отложением минерального вещества, вынесенного из зоны высоких давлений» [29, стр. 46].

Такая точка зрения показывает: образование «пустот» опережает метасоматический процесс и уже от других факторов (см. главу III) зависит формирование месторождения, серопроявления, либо массива бессерных кварцитов.

В этом свете очень показательной является интенсивная трещиноватость монокварцитов Тюлюльваямского проявления, и высокая пористость пород центральных фаций - Южного. Оба они расположены в зоне Вывенского глубинного разлома, который как будет показано в главе IV, испытал в условиях глубинного сжатия.

Рассмотренные факты и их интерпретация дают основание считать природу возникновения пористости двойственной – экзогенной и эндогенной и сделать вывод о том, что пористость является всеобщим и неотъемлемым свойством пород рассматриваемых объектов.

Дальнейшее рассмотрение физических свойств проводится по группам неизменённых и изменённых пород.

Неизменённые породы и пропилиты.

Магнитные и плотностные свойства этих пород уменьшаются по мере их раскисления [13, 23]. Процессы гидротермального воздействия, выразившиеся в об-

разовании пропилитов (в понимании В.М. Еркина, 1970 г.) также уменьшают эти характеристики. Это отмечал и А.Э. Голлербах (1969 г.) для вулканитов и пропилитов месторождения Нового.

Расчётные статистические характеристики и приведённые на рис. 12 вариационные кривые говорят о широком диапазоне изменения магнитных свойств и тенденции уменьшения этого диапазона с увеличением основности пород. Так, дисперсия для базальтов и андезито-базальтов равна 0,04, а для пропиллитизированных андезитов и туфов – 0,25 и 0,44 соответственно. О широком диапазоне свидетельствует также понижение значения эксцесса. Распределение свойств подчиняется логнормальному закону. Статистические характеристики свидетельствуют о неравномерности распределения в вулканитах ферромагнетиков, обусловленной, в частности, разной степенью пропилитизации пород.

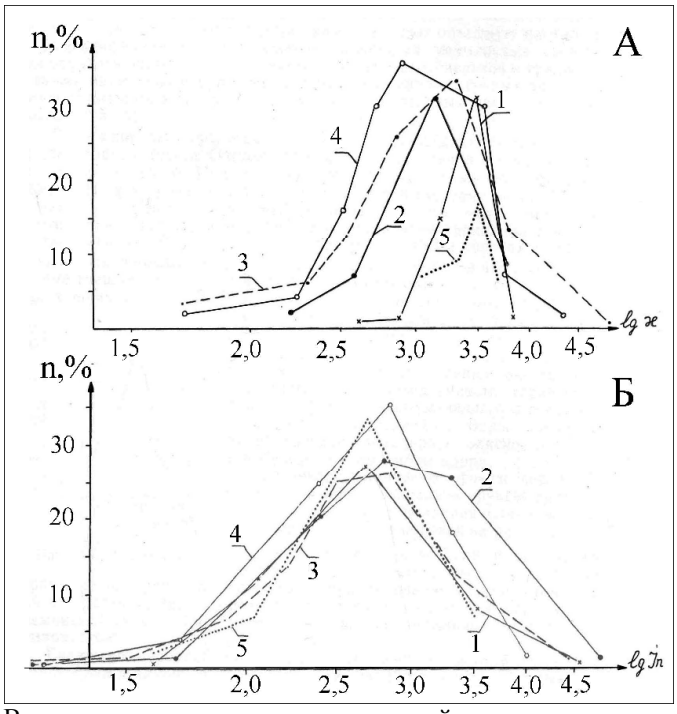


Рис. 12. Вариационные кривые магнитных свойств вулканитов и пропилитов Северо-Камчатского сероносного района

А – кривые магнитной восприимчивости: 1 – базальты (M_o=3,51) – 244 обр.; 2 – андезиты (M_o=3,30) – 92 обр.; 3 – пропилиты (M_o=3,08) – 40 обр.; 4 – туфы среднего состава (M_o=2,92) – 25 обр.; 5 – андезито-базальты (M_o=3,52) – 43 обр. Б – кривые остаточной намагниченности: 1 – базальты (M_o=2,71) – 244 обр.; 2 – андезиты (M_o=2,88) – 92 обр.; 3 – пропилиты (M_o=2,83) – 41 обр.; 4 – туфы среднего состава (M_o=2,83) – 26 обр.; 5 – андезито-базальты (M_o=2,671) – 43 обр.

Магнитные свойства и плотность экструзивно-интрузивных пород будут рассмотрены в главе III.

Сопротивление. Известно, что кажущееся электрическое сопротивление горных пород есть функция многих переменных, роль которых различна в случае его изучения на образцах и в естественном залегании. При изучении сопротивления объёмными методами (ВЭЗ, ЭП, электрокаротаж) определяющими факторами становятся пористость, проницаемость и степень обводнённости. Например, удельное сопротивление образцов базальтов и андезитов с максимальной капиллярной влажностью равно 5×10^3 –1×10^5 омм. По данным каротажа и ВЭЗ эти же породы, обводнённые по трещинам, обладают КС не более 1000 омм, т.е. 5-100 раз меньше [13, 44].

Это положение хорошо согласуется с данными ВЭЗ и электрокаротажа на объектах СКСР. Для вулканитов и пропилитов сопротивление по электрокарота-

жу и данным ВЭЗ не превышает первых сотен омм, равняясь в среднем 100-200 омм. Аналогичные величины получены А.Э. Голлербахом для вулканитов месторождения Нового. Близкие величины установлены по данным ЭП на месторождениях Японии.

Поляризуемость электрическая вулканитов и пропилитов определялась по ВЭЗ и ЭП в районе Малетойваямского месторождения. Коэффициент поляризуемости этих пород равен 0,5-1,5% и обусловлен, видимо, включением ферромагнетитов (магнетита) и влажностью. К аналогичному выводу пришли исследователи, изучавшие эффект вызванной поляризации на породах с магнетитовой вкрапленностью [31].

Упругие свойства. Слабоизменённые (пропилитизированные) туфы и андезиты характеризуются пластовой скоростью от 2750 до 4900 м/сек. Большое влияние на снижение значения скорости оказывает трещиноватость пород.

Естественная радиоактивность вулканитов и пропилитов определялась на поверхности и в скважинах и равна 10-12 мкр/ч. Исключение составляют зоны дробления, обогащённые уран-ториевой и ториевой минерализацией, установленные в скважинах.

Изменённые породы.

Магнитные свойства и плотность пород центральных фаций зависит от степени переработки исходных пород андезитового состава растворами, газами, теплом и давлением. В этом процессе остаются неизменёнными структура и кремниевый скелет исходной породы. Остальные элементы минеральных компонентов (железо, кальций, магний, алюминий) выносятся из породы и замещаются новыми, главным образом, кремнезёмом, серой (здесь и далее рассматривается самородная сера, не входящая в состав других минералов (алунита, сульфидов железа), водой, калием [2, 17, 34, 35].

Плотность первичных и изменённых пород
кремнисто-алунитового месторождения Угусу [17]

Таблица 8

Фации изменённых пород	Плотность, г/см^3	
	первичных	изменённых
Кремнистых	2,6	2,3
Алунитовых	2,6	2,5
Глинистых	2,6	2,1
Всего в среднем по всем зонам	2,6	2,2

Плотность изменённых пород возникающих при метасоматических процессах может уменьшаться, оставаться прежней, либо увеличиваться. Это зависит от двух главных факторов: какие минералы образуются, а какие выносятся, и пористости пород. Иллюстрацией выноса и уменьшения объёмного веса служит табл. 8. С. Ивао указывает, что алунитовые и кремнистые породы, бессерные или слабосерные, являются малопористыми [17]. Приведённые в табл. 8 данные согласуются с плотностью аналогичных пород, распространённых в СКСР (рис.13, табл. 10).

Магнитные свойства кварцитов обусловлены их минеральным составом (табл. 1, 5, 10). Кварц, опал, сера, алунит, гипс являются диамагнетиками. Известно, что они приобретают в магнитном поле Земли магнитный момент ориентированный противоположно земному [13, 23]. Действительно, при измерении кварцитов на каппаметре ИМВ-2 и обработке измерений на приборе МГ-2 для многих образцов была получена отрицательная величина магнитной восприимчивости порядка -20 + –30 x 10^{-6} СГС.

Полная потеря магнитных свойств андезитовыми лавами, превращёнными в кварциты, установлена на серных месторождениях Адзума, Исидзу, Ионаго в Японии [47, 50]. По определениям А.Э. Голлербаха (1969 г.) немагнитны породы центральных фаций месторождения Нового. Уменьшение магнитной восприимчивости при образовании кварцитов, изменённых сиенитов и гранитов и интенсивном окварцевании вулканогенно-осадочных пород установлено на молибденовых и медно-молибденовых месторождениях Казахстана [49]. По многочисленным определениям в лаборатории физсвойств КазВИРГа также установлена прямая зависимость между гидротермальными изменениями пород и их магнитной восприимчивостью. Сильные изменения приводят к полной потере магнитности [9, 48].

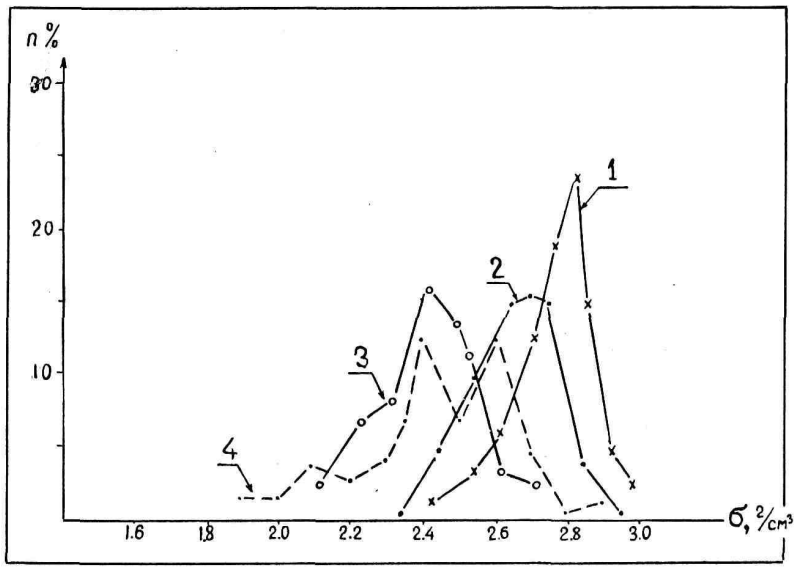


Рис. 13. Вариационные кривые плотности вулканитов
Северо-Камчатского сероносного айона
1 – базальты – M_o=2,82 (60 обр.); 2 – андезиты – M_o=2,70 (156 обр.); 3 – туфы – M_o=2,41 (22 обр.); 4 – пропилиты – M_o=2,40 и 2,60 (68 обр.)

Пластовые скорости изменённых пород Малетойваямского месторождения в СКСР и месторождения Абута и Мацуо в Японии
(по В.Д. Бубнову, А.А. Котову (1969 г.) и [32, 58]

Таблица 9

Наименование пород	Степень разрушения пород	Пластовые скорости, м/сек	
		на объектах СКСР	на объектах Японии
Лимонитизированные каолинито-кремнистые породы	Трещиноватые. брекчированные, в зоне окисления	900	
Монокварциты трещиноватые		1250	
Монокварциты брекчированные		1600	
Монокварциты пористые		1900	
Серные кварциты брекчированные		1800	
Монокварциты		2500-4120	2400-2500
Серные алунитовые кварциты (руды)	Относительно плотные и слаботрещиноватые	2420-3900	3000-3800
Серные кварциты (руды)		3760-4750	
Каолинито-кремнистые породы (бессерные)		1360-1900	
Аргиллизированные породы		660-2250	1700-1930

Физические свойства вулканитов и изменённых пород
Северо-Камчатского сероносного района [65]

Таблица 10

Степень гидротермального изменения пород		Физические параметры / Породы, руды, минералы	Плотность		Магнитные свойства				Кажущееся удельное электрическое сопротивление, омм
			к-во обр.	г/см^3	магнитная восприимчивость		остаточная намагниченность		
					к-во обр.	1x10^{-6} СГС	к-во обр.	1x10^{-6} СГС	
Неизменённые вулканиты		Базальты	68	2,77	321	3460	264	1040	
		Андезито-базальты	21	2,68	62	2960	54	820	
		Андезиты	294	2,59	522	2365	114	1430	
Слабоизменённые породы-пропилиты		Туфы среднего состава	51	2,39	26	1800	28	807	15-200
		Андезиты	146	2,40	84	1200	41	863	30-500
Изменённые породы	Вторичные кварциты (существенно кварцевые)	Монокварциты (*S* до 10%)	49	2,51	594	<30			150-1000
		Алунитовые, серные кварциты (*S* = 10-25%)	249	2,50	280	<30			500-10000
		Серные кварциты (*S* = 20-50%)	182	2,45	182	<30			1500-10000
		Каолинито-кварцевые (*S* до 10%)	175	2,28	175	<30			200-1000
		Каолинито-кварцевые (без серы)	59	2,05	59	<80			25-200
	Аргиллизированные породы	Каолинито-монтмориллонитовые (?) и монтмориллонитовые (без серы)	107	2,13	107	215			25-200
М и н е р а л ы		С е р а		2,07		-0,62			10^{12}-10^{15}
		К в а р ц		2,65		-1,20			10^{10}-10^{14}

Примечание: 1. Кажущееся удельное сопротивление приведено по данным каротажа скважин Малетойваямского месторождения по средним значениям КС отдельных пластов (зонд А 1, 9 М 0,2 N).
2. Для минералов по литературным данным приведены: удельный вес, объёмная магнитная восприимчивость и удельное электрическое сопротивление

Практически немагнитными являются также изменённые породы краевых фаций– каолинитовые, монтмориллонитовые и смешанного состава, т.к. содержат немагнитные глинистые минералы с незначительной примесью пирита. Однако эти породы содержат увеличенное, по сравнению с породами центральных фаций, количество Fe_2O_3 [4],чем объясняется, видимо, их повышенная магнитность. Близкие среднеарифметические значения κ (252 х 10^{-6} СГС) и J_n (90 х 10^{-6} СГС) определил для аналогичных пород месторождения Нового А.Э. Голлербах.

Из табл. 10 и рис. 14 видна зависимость плотности изменённых пород от их минерального состава. Максимальной плотностью характеризуются монокварциты и алунитовые серные кварциты, состоящие на 60-90% из кварца и алунита – минералов с высокой минералогической плотностью. Появление каолинита в следующей фации заметно снижает плотность пород. Влияние серы на плотность кварцитов двойственно.

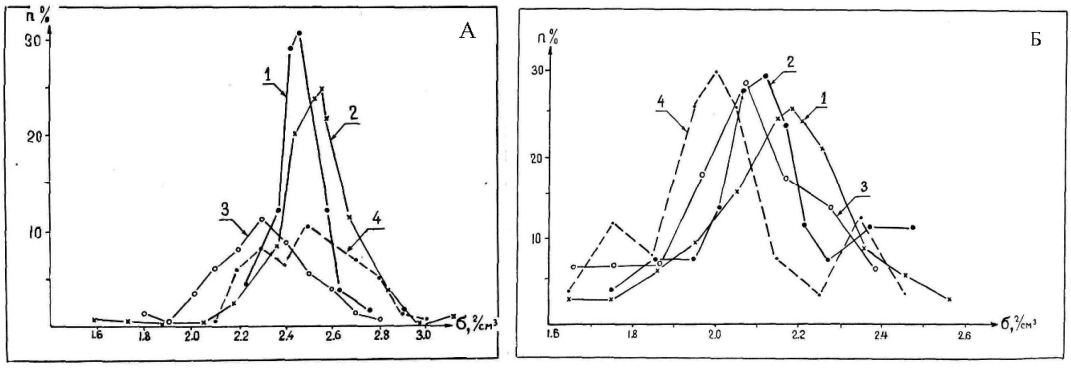


Рис. 14. Вариационные кривые плотности измененных пород Северо-Камчатского сероносного района
А – кривые плотности серосодержаших фаций кварцитов:
1 – серные кварциты (57 обр.); 2 – алунитовые серные кварциты (218 обр.); 3 – каолинит-кварцевые породы (33 обр.); 4 – монокварциты (118 обр.)
Б – кривые плотности бессерных фаций кварцитов и пород краевых фаций:
1 – каолинито-кварцевые породы (33 обр.); 2 - монтмориллонитизированные породы (26 обр.);
3 – каолинито-монтмориллонитовые породы (15 обр.); 4 – каолинито-опаловые породы (26 обр.)

Из рис. 15 видно, что для каолинит-кварцевых пород увеличение серы приводит к росту их плотности. Это объясняется уменьшением доли низкоплотного каолинита (который за счёт содержания воды уменьшает объёмный вес породы) и ростом содержания серы, хотя её максимальное содержание в этих породах не более 10%. Коэффициент корреляции для этих пород (n = 113) равен 0,623, дисперсия – 0,034.

Влияние, обратное рассмотренному, оказывает сера на плотность алунитовых кварцитов и монокварцитов. При среднем содержании серы 18% их плотность составляет 2,53 г/см^3 (n=277), коэффициент корреляции равен 0,616, дисперсия – 0,017. Увеличение содержания серы происходит за счёт заполнения интерстиций (пустот) и уменьшения доли высокоплотных алунита и кварца и тем самым влечёт уменьшение плотности пород. Аналогично влияние серы на плотность серных кварцитов. При среднем содержании серы 24,47% плотность составляет 2,43 г/см^3 (n=70), коэффициент корреляции равен 0,538, дисперсия – 0,011.

Если рассматривать совокупную выборку плотности всех существенно кварцевых пород (центральных фаций), то при среднем содержании серы 19,78% их плотность равна 2,51 г/см^3 (n = 277), коэффициент корреляции равен 0,646, дисперсия – 0,017.

Появление в породах сульфидов влечёт увеличение плотности, иногда весьма значительное. Образцы кварцитов из скважин Юбилейного участка Малетойваямского месторождения при содержании сульфидов железа до 20-40% имеют плотность 2,70-3,42 г/см^3. В кварцитах Центрального участка их содержание не выше 15-25%, плотность - не более 2,7-2,9 г/см^3.

Характер распределения плотности бессерных изменённых пород сложный (рис. 14-Б). При n = 166 средняя плотность всей совокупности бессерных пород равна 2,11 г/см^3 и характеризуется повышенной дисперсией (0,04). График показывает отсутствие значительных границ между величиной плотности отдельных фаций, что свидетельствует о непрерывном плотностном ряде. Это подтверждает также значение коэффициента вариации, равное 0,09 для бессерных пород, против 0,05 – для пород сероносных (центральных) фаций.

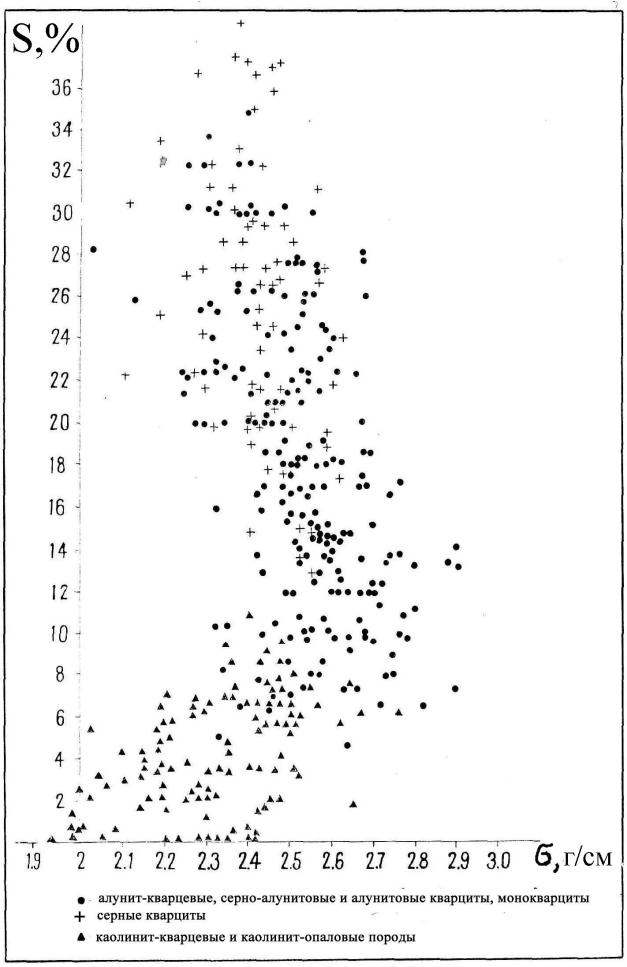


Рис. 15. Зависимость плотности фаций кварцитов и серных руд от содержания в них самородной серы. Центральный участок Малетойваямского месторождения

Во всех рассмотренных случаях распределение анализируемых свойств подчинено нормальному закону, а проверка значимости связи подтверждает корреляционные связи. (Здесь и далее проверка значимости проводится по критерию Стьюдента, при уровне значимости 0,05 [60].

Сопротивление кажущееся электрическое. Для серосодержащих кварцитов оно определяется, главным образом, водонасыщенностью и, в меньшей степени, составом.

Известно, что кварц, опал, сера являются весьма высокими диэлектриками. Их удельные сопротивления равны 10^{10} – 10^{14} омм [13, 23]. Однако, по данным электрокаротажа на Центральном участке Малетойваямского месторождения КС руд

равно 10^3 -10^4 омм, достигая иногда 44 х 10^4 омм. Подобные величины характерны для руд Юбилейного участка, меньшие значения КС руд на месторождении р. Половинной. Объясняется это следующим.

Экспериментально установлено, что «… присутствие в высокооммной среде всего нескольких процентов непрерывно связанных между собой проводящих компонентов оказывается достаточным, чтобы уменьшить удельное сопротивление породы на несколько порядков» [13] стр. 174). Для сульфидно-серных месторождений резкое ослабление влияния диэлектриков оказывают вкрапленные, прожилковые и сажистые (в виде плёнки) сингенетичные пирит, марказит, мельниковит, ковеллин, диагенит. Они соединены между собой сетью пор и микротрещин, по которым циркулируют кислые минерализованные воды, представляющие собой природный электролит [43]. Кроме того, они в той или иной степени содержат проводящий каолинит [4].

Интересно изменение КС пород в разрезах скважины от количества серы в кварцитах. На наличие связи между содержанием серы в породе и её КС для месторождения р. Половинной указывал и В.Н. Клепиков в 1965 г. Для Малетойваямского месторождения это установил автор в 1969 г.

На рис. 16 и 17 показана связь КС кварцитов – без подразделения их на фации, т.е. практически для руд, и содержания серы. Устанавливается положительная зависимость: рост содержания серы влечёт увеличение сопротивления. Для пород Центрального участка коэффициент корреляции равен 0,525 (n = 411), Юбилейного – 0,454 (n = 98), для месторождения р. Половинной – 0,419 (n = 51). Во всех случаях распределение сопротивления подчинено логнормальному закону, а проверка значимости связи показывает её надёжность. Добавим, что попытка установления корреляционных связей «серосодержание-сопротивление» раздельно для фаций успеха не имела.

Интересно, что характер зависимости сохраняется для всех участков, различный только наклон линии регрессии: крутой – для Центрального, менее крутой – для Юбилейного участков, ещё менее крутой для месторождения р. Половинной. Видимо, это является следствием влияния магматогенного фактора образования месторождений, приводящего к принципиальному ограничению содержания серы в породе, а это влечёт уменьшение сопротивления.

Для всесторонней оценки связи сопротивления и состава, возможно, необходим учёт влияния кроме серы также кварц, алунита, каолинита. Однако мы полагаем, что предложенная Ф.А. Летниковым геодинамическая обусловленность метасоматоза [29], позволяет ограничиться анализом влияния рассмотренных факторов.

Действительно, существуют первично бессернистые породы – алунитовые, серицитовые, гидрослюдистые кварциты, монокварциты. Их сопротивление будет определяться сульфидизацией и степенью водонасыщенности. При полной обводнённости, в т.ч. минерализованными водами, сопротивление их низкое. В случае интенсивного дренирования пород сопротивление практически безводных сильно трещиноватых кварцитов очень велико. Подобная связь установлена на многочисленных месторождениях различных ископаемых и подтверждена лабораторным опытом [13, 29].

В случае образования метасоматических серных руд в пустотах, подготовленных предшествующей геодинамической обстановкой, происходят и процессы растворения и выноса. Последующая волна замещения (метасоматоза) приводит к заполнению пустот в кремнистом скелете парагенезисами серы, кварца (опала), алунита, сульфидов железа, а также соединениями других элементов (золото и др.). Формируются массивные, плотные породы – руды (табл. 6, 8), в которых общая пористость падает до 4-1,5% (рис. 20). Основной вклад здесь вносит, ви-

димо, микротрещиноватость более позднего, пострудного, тектонического происхождения. Заполнение пустот серой приводит к уменьшению пористости и увеличению доли диэлектрика в породе. И то, и другое обуславливает рост сопротивления по сравнению с бессерной породой с развитой первичной пористостью. В таком механизме представляется нам определяющее влияние серы на сопротивление пород.

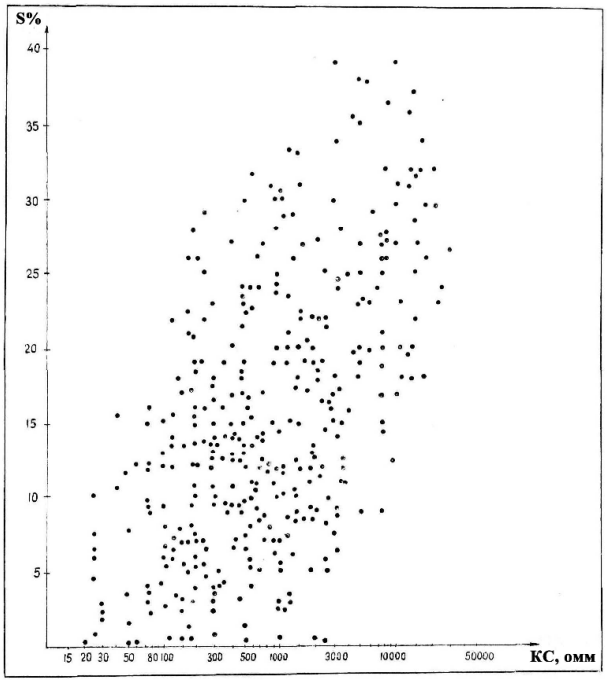


Рис. 16. Зависимость кажущегося электрического сопротивления сульфидно-серных руд и осерненных существенно кварцевых пород от содержания самородной серы
Центральный участок Малетойваямского месторождения
Примечания: 1 – Значения КС определены по данным электрокаротажа скважин 1, 8, 12, 15, 16, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 29, 30, 31, 32, 46, 47, 50, 55, 61, 95; 2 – Содержание серы получено осреднением данных химанализа из трех проб (то же, для рис. 27)

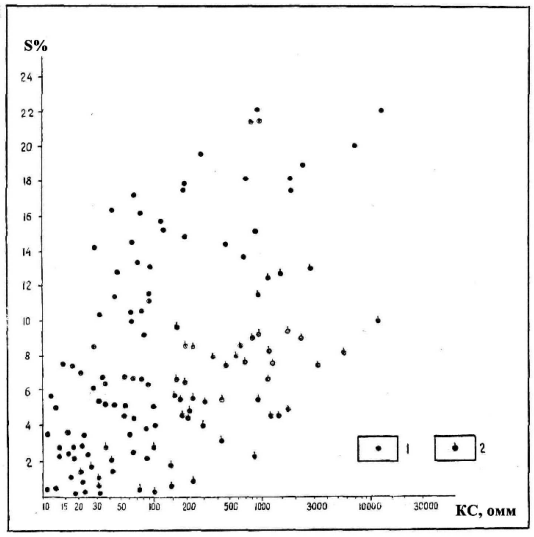


Рис. 17. Зависимость кажущегося сопротивления фаций кварцитов и серных руд от содержания в них самородной серы
1 – по скважинам 1ю, 3ю, 4ю, 7ю, 10ю, 11ю, 17ю Юбилейного участка Малетойваямского месторождения;
2 – по скважинам 5, 8, 14, 16, 21 месторождения р. Половинной

В этом свете интересны исследования А.Э. Голлербаха (1969 г.) связи сопротивления и водонасыщенности серосодержащих пород месторождения Нового. Сравнение лабораторных измерений и каротажа приводит его к выводу о том, что, несмотря на большое влияние водонасыщенности на сопротивление, скачек сопротивления в рудах на поверхности водонасыщенного горизонта не столь значителен. Это даёт ему основание к важному заключению: геоэлектрические границы ВЭЗ в рудных толщах не будут совпадать с поверхностью вод, насыщающих разрез.

Поляризуемость. Центральные и краевые фации изменённых пород обладают поляризуемостью в 2,5 – 10 и более раз большей, чем вмещающие вулканиты. Для серных алунитовых кварцитов (руд) она равна 4,5-20%. Так как определения на образцах не проводились, то следует считать, что эти значения характеризует не столько собственно породы, сколько определённый объём пород, обводнённых по трещинам. Учитывая состав подземных минерализованных вод (кислых, содержащих катионы закисного и окисного железа, сульфат-ион и др.) можно считать, что в разрезе кварцитов содержится природный электролит. Как известно, наличие потенциал-задающей системы Fe^{3+}/Fe^{2+} способствует поляризации электронных проводников [24].

Сопоставление геологического разреза, содержания сульфидов железа в керне скважин, кривых метода электронных потенциалов каротажа (МЭП) и параметрических ВЭЗ свидетельствует, что поляризуемость разреза определяется содержанием сульфидов. Характер распределение сульфидов в рудах (рис. 10-Б) показывает, что кроме алунитовых кварцитов аномальной поляризуемостью обладают также монокварциты, серные кварциты и каолинито-кварцевые породы (см. также рис. 38, 39). Минимальной поляризуемостью в разрезе изменённых пород Малетойваямского месторождения обладают краевые фации [66].

Упругие свойства изменённых пород зависят от факторов: состава, трещиноватости, обводнённости, а также от глубины и условий залегания. В.Д. Бубнов и М.Ф. Скорикова (1969 г.) отмечают для кварцитов Малетойваямского месторождения наличие вертикального градиента скорости в разрезах скважин – до 7 м/сек/м. Градиентный характер нарастания скоростей установлен в разрезе изменённых пород месторождения Абута в Японии [32]. Распределение пластовых скоростей по фациям и рудам показано в таблице 10.

Естественная радиоактивность изменённых пород характеризуется следующими значениями: краевые фации и серные кварциты – 8-10, центральные фации – 22-30 мкр/час.

По данным спектрометрии скважин Малетойваямского месторождения В.В. Муравьёв (1971 г.) связывает активность монокварцитов, сульфидно-кварцевых пород и серных кварцитов с наложенной в виде прожилков ториевой минерализацией. Активность алюмосодержащих пород – серных алунитовых кварцитов, каолинито-кварцевых, каолинито-монмориллонитовых и монтмориллонитовых пород, обусловлена радиоактивным изотопом калия – 40, входящего в кристаллическую решётку минералов. Им особенно обогащены алуниты.

ГЛАВА II. ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВАЯ МОДЕЛЬ МАССИВОВ ВТОРИЧНЫХ КВАРЦИТОВ И ВУЛКАНИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ САМОРОДНОЙ СЕРЫ

Рассмотренные в главе I геологические гидрогеологические, и петрофизические факторы позволяют создать обобщённую физико-геологическую модель (ФГМ) серного месторождения, которая определяется основными закономерностями.

II.1. Физико-геологическая модель и теоретический комплекс геофизических методов поисков месторождений серы

1. Месторождения связаны с массивами изменённых пород, сложенными комплексами минеральных фаций: существенно кварцевых – центральных, и существенно глинистых – краевых. Распределение фаций в массиве зонально и выражено в обрамлении пород центральных фаций краевыми. Изменённые породы в целом заключены в пропилитизированные и неизменённые образования андезитового состава. Совокупность этих пород образуют структурно-вещественный комплекс, формирующий возникающие физические поля.

2. Массивы изменённых пород приурочены к системам разрывных нарушений, служивших каналами движения гидротерм. Размеры массивов изменённых пород в плане могут превышать 500 м – 1000 м, а горизонтальная мощность существенно глинистых пород – сотни метров и более. Мощность изменённых пород достигает 500 м, существенно кварцевых – 300-350 м. Вертикальная мощность изменённых пород максимальна в зонах растворопроводящих нарушений.

3. Серные руды месторождений связаны с породами центральных фаций - алунитовыми и серными кварцитами, каолинито-кварцевыми породами и монокварцитами, образуя промышленные концентрации в разных сочетаниях перечисленных пород. Контуры серных залежей контролируются фациями, но в большинстве не совпадают с их границами. Залежи являются самостоятельными физико-геологическими телами в разрезе (и в плане) массивов изменённых пород.

4. Серные руды сложены кварцем (опалом), алунитом, каолинитом, самородной серой с содержанием 10-45% и сульфидами железа в количестве 8-15%, иногда более. Сульфидами обычно обогащены верхние по восстанию части залежей. Тип промышленного оруденения – сульфидно-серный. Руды формируют субгоризонтальные линзообразные и пластообразные залежи с резким переходом в безрудные изменённые породы. Размеры залежей в плане 250-500 м х 500-1000 м, мощность – 10-150 м, редко более. В верхних частях залежей, выходящих под наносы, протекают процессы окисления серы и сульфидов.

5. Породы центральных фаций обладают по отношению к породам краевых фаций повышенными значениями пористости, плотности, электрического сопротивления и поляризуемости, пластовых скоростей и естественной радиоактивности. Породы краевых фаций обладают по отношению к пропилитам и неизменённым образованиям пониженными значениями пористости, магнитности и плотности, сопротивления по остальным физическим свойствам дифференциация незначительна. Совокупность породных физических свойств формирует петрофизическую модель.

6. Сульфидно-серные залежи – самостоятельные физико-геологические тела в разрезе пород центральных фаций – обладают по отношению к безрудным изменённым породам повышенными значениями плотности, электрического сопротивления и поляризуемости пластовых скоростей, естественной радиоактивности.

7. Массивы изменённых пород, содержащих сульфидно-серные залежи, обладают, при прочих равных условиях, по сравнению с массивами безсерных кварцитов пониженной общей пористостью вне зоны окисления и обводнённостью, повышенными значениями трещиноватости, плотности и электрического сопротивления.

II. 2. Проектный эффективный поисковый геофизический комплекс

Рассмотренные закономерности строения массивов и месторождений показывают сложность их взаимоотношений и предполагают получение следующих основных геофизических характеристик объектов:

а) массивы изменённых пород, содержащие серные залежи и без них, будут на фоне неизменённых вулканитов и пропилитов характеризоваться: отрицательным магнитным полем, отрицательным полем ЕЭП (в случае эродированных массивов), максимумами сопротивления, поляризуемости, пластовых скоростей и радиоактивности;

б) неизменённые вулканиты и пропилиты по отношению к массивам изменённых пород, содержащим серные залежи или без них, будут характеризоваться: положительным магнитным полем, нормальными полями ЕЭП, минимумами сопротивления и поляризуемости;

в) сульфидно-серные залежи в массивах изменённых пород по сравнению с массивами безрудных пород будут характеризоваться гравитационным максимумом, максимальными значениями пластовых скоростей и сопротивления, высокой поляризуемостью.

Приведённые предполагаемые аномальные поля базируются на двух важнейших предпосылках – зональном строении и дифференциации пород по физическим свойствам. В то же время, будучи следствием обобщённого строения объектов, они являются идеализированными.

Согласно идеализированным геологическим, физико-геологическим и петрофизическим моделям устанавливается проектный эффективный комплекс геофизических методов при поисках залежей: магнитометрия, гравиметрия, электроразведка (в модификациях ЕЭП, сопротивления, вызванной поляризации), сейсморазведка и радиометрия. Дальнейшая задача исследования заключается в определении и экономически рационального комплекса.

ГЛАВА Ш. К ИСТОРИИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ПОИСКАХ ВУЛКАНИЧЕСКИХ СЕРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

III. 1. Общие сведения об изучении месторождений в СССР

Впервые в СССР вулканические серные месторождения начали изучаться на севере Камчатки, где в 1941 г. Г.М. Власовым и было открыто Ветроваямское месторождение, связанное с изменёнными породами формации вторичных кварцитов. Позднее Г.М. Власов, установив региональное распространение этих образований, выделил их под названием «неогеновой зоны вторичных кварцитов» [2]. Вторичные кварциты с серным оруденением установлены и на островах Курильской гряды. В течение 50-60-х годов при геологических съёмках были открыты многочисленные проявления самородной серы и ряд месторождений, приуроченных к разным сернорудным районам Курило-Камчатской дуги [2, 3, 4].

В СССР наиболее полно комплексом геологоразведочных работ изучен район, расположенный на юго-западе Корякского нагорья и получивший наименование Северо-Камчатского [4, 52]. Его выявлению способствовали региональные геологические исследования 60-х годов – Г.М. Власова, В.И. Голякова, В.В. Ковалёва и других.

С 1965 г. в районе одновременно с региональными работами проводятся геологические съёмки масштабов 1:50000 и 1:25000 (Н.П. Митрофанов, Г.П. Поляков, А.Б. Исаков, Л.Л. Ляшенко, Б.А. Михайлов, Е.Е. Белков), которые сопровождались поисковыми работами с применением геофизических методов (А.Н. Кириллов, В.Л.Шмелёв, Ю.Л. Корякин, Г.П. Яроцкий). Исследовались площади Малетойваямского, Ветроваямского, Сеэрваямского и Вироваямского сернорудных узлов (рис. 1).

В 1965-71 г.г. одновременно с крупномасштабными геологическими съёмками в районе ведутся буровые работы. Размещение буровых скважин в районе крайне неравномерно. Наиболее полно бурением изучена площадь Малетойваямского сернорудного узла, где в связи с разведкой Малетойваямского месторождения (1967-71 г.г.) пробурено несколько десятков разведочных и поисковых скважин. На площади Ветроваямского и Вироваямского узлов пробурено лишь несколько картировочных скважин, не позволивших в требуемой мере изучить строение участков серопроявлений.

Большой материал по разведке Малетойваямского месторождения – наиболее полно изученного месторождения вулканического генезиса в СССР, рассмотрен и обобщён в отчётах ранних лет А.Е. Конова, В.М. Ёркина, В.М. Никольского, Г.П. Полякова, Л.Л. Ляшенко (далее при ссылке на рукописные работы указываются авторы, годы работы), а также в опубликованных отдельных статьях Г.М. Власова, В.М. Ёркина, В.М. Никольского, А.Ю. Лейн, Г.П. Поляков и других исследователей.

Результаты региональных и крупномасштабных геологических съёмок в районе не содержали данных о прогнозе серного оруденения, основанного на закономерностях его размещения. Такое исследование было предпринято в 1970 г. В.М. Ёркиным, В.Д. Дмитриевым и В.М. Никольским на базе использования геологических и структурно-геоморфологических данных без рассмотрения геофизических материалов. Авторы изучали размещение на территории района тех «геологических условий», которые определяли перспективность отдельных его участков. Эти условия следующие: «площади распространения образований рудоносной и других толщ района, субвулканического экструзивно-интрузивного комплекса, массивов рудовмещающих кварцитов и серопроявлений; элементов

разрывной тектоники; вулканических центров и аппаратов; современных морфоструктур разного ранга» (1970).

Составлена первая прогнозная карта Северо-Камчатского сероносного района масштаба 1:200000, на которой выделены «площади разной перспективности». Степень перспективности определялась, в этом случае, соотношением упомянутых геологических условий и их количеством, установленных на площади. В то же время, количество, масштабность проявления и достоверность выявления «геологических условий» вытекали из степени геологической изученности территории – крайне неравномерной. Такой путь прогноза позволил выделить лишь площади для проведения первоочередных работ, ранее наиболее изученных, но резко ограничил возможность установления закономерностей размещения региональных минерагенических факторов в районе и прогноза перспективных площадей на обширной его территории.

Итогом многолетнего изучения вулканических серных месторождений в СССР, в том числе в Северо-Камчатском районе, стала коллективная монография «Вулканические серные месторождения и некоторые проблемы гидротермального рудообразования», изданная в 1971 г. под редакцией и при широком участии Г.М. Власова [4]. В монографии описаны месторождения и проявления серы в СССР, Японии и других регионах Тихоокеанского сероносного пояса, рассмотрены планетарные и некоторые региональные закономерности их пространственного размещения, вопросы методики их поисков. Геофизические методы в монографии кратко рассмотрены Г.М. Власовым и Г.П. Яроцким в разделе «Детальные поиски» [5]. Монография на многие годы стала настольной книгой специалистов, изучающих вулканические месторождения серы, и является классическим фундаментальным геологическим изданием и поныне.

III. 2. Геофизические работы при изучении и поисках месторождений в СССР

Рассматривая историю применения геофизических методов при поисках и изучении серных месторождений в СССР, следует иметь ввиду не только те исследования, перед которыми стояли задачи поисков. Важнейшая задача проблемы поисков месторождений полезных ископаемых геофизическими методами вообще заключается не только в непосредственном - прямом выявлении рудных тел, но и в изучении структурных факторов, имеющих решающее значение в локализации оруденения. Причём, очень часто именно эта задача наиболее успешно решается геофизическими методами. Как будет показано далее, это в равной степени относится и к проблеме поисков серы. При этом, выявление структурных факторов в размещении оруденения в сероносном районе и закономерностей их расположения открывает возможность прогнозирования и целенаправленных поисков. Для этой цели наиболее информативными являются региональные геофизические данные.

В Северо-Камчатском районе такие исследования представлены аэромагнитной и гравиметрической съёмками масштаба 1:200000, выполненными в 1969 г. (Л.А. Майков) и в 1964-70 г.г. (Г.П. Декин, А.Н. Портнов). В северо-восточной части района в 1969 г. проведена аэромагнитная и аэрогамма-спектрометрическая съёмка масштаба 1:25000 (Е.М. Семенов). Обеспечены аэромагнитной съёмкой масштаба 1:200000 и территории других сероносных районов Камчатки. На о. Парамушире (Северо-Курильский сероносный район) проведена аэромагнитная съёмка масштаба 1:50000.

Применение геофизических методов в СССР с целью поисков серных месторождений было вызвано двумя причинами: интенсификацией с 1964 г., поисков

месторождений серы на Дальнем Востоке [4] и трудностью выявления месторождений обычными геологическими методами, обусловленной спецификой их строения и сохранности. Основанием к применению геофизических методов служила связь серных руд с вторичными кварцитами, отличающимися, согласно литературным данным, по петрофизическим свойствам от вмещающих их неизменённых вулканитов.

К первому опыту постановки геофизических методов при изучении серной залежи относятся работы в 1961 г. на месторождении р. Половинной в Центрально-Камчатском сероносном районе (А.М. Буханов). Сколь-либо ясных геолого-методических результатов они не содержали из-за низкого уровня исполнения электроразведочных работ. Удовлетворительно была проведена лишь магнитная съёмка в масштабе 1:10000. В 1964 г. работы на месторождении были продолжены. Над залежью, вскрытой редкой сетью скважин, поставлены трёхэлектродные зондирования с АО=500-1000 м и шагом 100-200 м (В.Н. Клепиков). В скважинах проведён электрический каротаж (М.С. Воробец, А.А. Кротов).

С 1965 г. геофизические работы переносятся в Северо-Камчатский сероносный район, где развёртываются широкие поисковые исследования. На площади Малетойваямского серопроявления (ныне месторождения) в небольшом объёме проведены опытные работы методами ЕЭП, ВЭЗ (АВ = 1000-1500 м) и электропрофилирования, магнитная съёмка масштаба 1:5000 (А.Н. Кириллов). Впервые были определены плотность и магнитные свойства вторичных кварцитов и серных руд небольшого количества образцов из керна скважин (И.Ф. Коба).

В 1966 г. геофизические исследования в СКСР поставлены на основе обобщений автором учебного пособия фактического материала и результатов работ на месторождении р. Половинной и Малетойваямском проявлении. На восьми проявлениях Малетойваямского, Сеэрваямского, Вироваямского и Ветроваямского узлов выполнен в масштабах 1:5000 и 1:10000 большой объём работ методами магнитометрии и электроразведки в комплексе (Г.П. Яроцкий, Ю.Л. Корякин, В.Л. Шмелёв) с геологическими поисками (Г.П. Поляков). Особенностью геофизических работ этого года была их постановка на ограниченной площади (3-5 кв.км) известных проявлений, небольшой объём опытных исследований и почти полное отсутствие заверочных скважин.

В 1967 г. большой объём опытно-методических геофизических исследований широко осуществлён на Малетойваямском месторождении. На ряде профилей разведочных скважин, пересекающих залежь в широтном, меридиональном и диагональном направлениях, проведены магнитометрия, съёмка ЕЭП, ВЭЗ, электропрофилирование на постоянном токе и в модификации вызванных потенциалов. На прилегающей к месторождению площади был проведён в масштабах 1:10000 комплекс производственных работ, в результате которого выделена перспективная аномалия участка Юбилейного. Пробуренными здесь в 1967-70 гг. скважинами выявлена крупная сульфидно-серная (серно-сульфидная) залежь. Комплексом магнитометрии, ЕЭП и ВЭЗ вместе с геологическим исхаживанием и гидрохимическим опробованием изучены пять серопроявлений Сеэрваямского и Ветроваямского узлов (Г.П. Яроцкий, С.С. Ермоленко, Г.П. Поляков и др.).

В последующие 1968-71 гг. геофизические работы проведены лишь на территории Малетойваямского узла с целью выявления сероперспективных участков вблизи известного месторождения. На площади более 250 кв. км проведены магнитная съёмка и съёмка ЕЭП в масштабах 1:10000 и 1:25000, а все участки съёмок 1965-70 г. г. были приведены к единому уровню магнитного поля и «связаны» серией профилей ВЭЗ. Наряду с производственными работами и в эти годы велись опытно-методические исследования по дальнейшему совершенствованию методики поисков и изучения структуры Малетойваямского рудного узла и его поля.

Геофизические исследования
в сероносных районах Корякии, Камчатки, Курил и Японии

Таблица 11

№ п/п	Участки исследований, исполнители и годы работ	Виды исследований
С С С Р (Российская Федерация)		
Центрально-Камчатский сероносный район		
1	Месторождение р. Половинной (А.М. Буханов,1961; В.Н. Клепиков, 1964)	Магниторазведка м-ба 1:10000 Электроразведка:опытные профильные ВЭЗ, дипольное профилирование
Северо-Камчатский сероносный район		
2	Малетойваямский сернорудный узел Малетойваямское месторождение: участки Центральный, Юбилейный, Юго-Западный; рудное поле; (Г.П. Яроцкий) Участки Южный, Тюлюльваямский, Лигинмываямский, Заречный, Конусный, Такайпинский, Восточный, Белый, Пятый, Янтанайваямский; северная часть узла: участок Нордовый (Г.П. Яроцкий, 1966-71)	Магниторазведка и съёмка ЕЭП в м-бах 1:5000, 1:1000; профильные ВЭЗ,ЭП, КМПВ, Δg; параметрические ВЭЗ, ВП-ВЭЗ и ВП-ЭП; изучение физических свойств Магниторазведка и съёмка ЕЭП в м-бах 1:10000-1:25000; профильные ВЭЗ, геологическое поисковое исхаживание профилей, изучение физсвойств пород.
3	Ветроваямский сернорудный узел Ветроваямское месторождение Участки Дальний, Чеинг, Энынгваямский (В.Л. Шмелёв, 1966)	Магниторазведка и съёмка ЕЭП в масштабе 1:5000, профильные ВЭЗ, изучение физических свойств пород
4	Вироваямский сернорудный узел Участки Белый Яр, Вертолётный, Красногорский (Ю.Л. Корякин, 1966)	то же
5	Сэрваямский сернорудный узел участки Ильгулькиваямский, Луноваямский (Г.П. Яроцкий, 1966)	то же
Южно-Камчатский сероносный район		
6	Участок вулкана Кошелева (В.К. Соловьёв)	то же
Южно-Курильский сероносный район (о. Итуруп)		
7	Месторождение Новое (А,Э. Голлербах, 1966-1967)	Магниторазведка и съёмка ЕЭП, профильные ВЭЗ и ЭП, измерение ЕЭП в штольнях, изучение физсвойств пород
Я п о н и я		
Сероносный район Кусацу-Сиране (Иошин)		
8	Месторождение Ионаго (три участка) (Сугиямо М., Такагари С.)	съёмка ЕЭП на поверхности и в штольнях; магниторазведка и ЭП – на поверхности
9	Месторождение Ятоко (Кунори С., Кобаяси Х.)	съёмка ЕЭП, ЭП – на повехности; ЕЭП и pH в штольнях
10	Месторождение Исидзу и Адзума (два участка) (Мураоко М. и др., Сияма Д.)	магниторазведка, ЕЭП, ЭП – на поверхности; ЕЭП – в штольне
Сероносный район Дзао-Адзума (Нисиадзума)		
11	Месторождение Нумадзири (четыре участка) (Кимура Т.)	то же
Сероносный район Мацуо-Хатимантай		
12	Месторождение Мацуо (три участка) (Фудзита И)	съёмка ЕЭП, ЭП, КМПВ
13	Месторождение Хатимантай и Курагата (четыре участка), Аппи (два участка) (Сибато К.)	съёмка ЕЭП
Сероносный район Ибори		
14	Месторождение Угусу (Ивао Ш., Суяма Д. и др.)	съёмки ЕЭП и ЭП
15	Месторождение пирита Абута (Кимура Т.)	профильные съёмки КМПВ
Примечание: участки, перечисленные в п.п. 1, 2, 4, 5, 6-14 в той или иной степени рассмотрены в главах I, II, IV		

Проводились параметрические трёхэлектродные ВЭЗ на постоянном (низкочастотном) токе и в модификации вызванной поляризации, сейсморазведка в модификации КМПВ, высокоточные гравиметрические наблюдения, выполнено изучение плотности и магнитных свойств более 3000 образцов керна (Г.П. Яроцкий, Х.О. Чотчаев и др.).

Геофизические исследования, выполненные в 1967-71 гг. в Северо-Камчатском сероносном районе, обеспечили получение того фактического материала, который, совместно с материалами региональных геофизических исследований и геологических съёмок, является базой сделанных в учебном пособии обобщений.

Кроме перечисленных, геофизические работы в масштабе 1:10000 методами магнитометрии, ЕЭП и ВЭЗ были проведены в 1970 г. в небольшом объёме на серопроявлении вулкана Кошелева, расположенном в Южно-Камчатском сероносном районе. Их постановка (В.К. Соловьёв) основывалась на опыте предшествующих исследований в СКСР. В 1965 г. начато применение геофизических методов (магнитометрии, ЕЭП, ВЭЗ, ЭП в масштабах 1:5000 и 1:10000) на месторождении Новом на о. Итурупе в Южно-Курильском сероносном районе. В отличие от месторождений Камчатки, оно расположено на сильно расчленённых склонах эрозионной котловины на высотах 700-1300 м. На значительной части месторождения развиты неизменённые вулканиты, обусловившие сложные физические поля (А.Э. Голлербах).

В 1972-74 г.г. материалы геофизических исследований в Северо-Камчатском, Центрально-Камчатском, Южно-Камчатском, Южно-Курильском сероносных районах и в Японии обобщены автором в процессе выполнения научно-производственных работ Камчатского ТГУ по теме «Методика поисков и разведки гидротермально-метасоматических месторождений серы во вторичных кварцитах Северо-Камчатского сероносного района». С целью ознакомления с материалами зарубежных геофизических исследований был выполнен ряд переводов японских статей, материалы которых также были обобщены (Г.П. Яроцкий).

Упомянутыми работами исчерпывается перечень фактических геофизических исследований при изучении сернорудных районов и поисках вулканических серных месторождений в СССР до настоящего времени.

III. 3. Общие сведения о результатах геофизических работ при поисках вулканических серных месторождений в Корякско-Камчатском регионе

Результаты исследований рассматриваются в двух аспектах проблемы поисков серных месторождений геофизическими методами: в использовании их с целью изучения структуры сернорудных районов и при поисках серных залежей. Как известно, при изучении структуры районов наиболее информативны, являются региональные исследования. Это обусловлено, главным образом, необходимостью выявления крупных элементов тектонической структуры, которые при детальных съёмках, проводимых на ограниченных участках, не выявляются.

По материалам ранее выполненных региональных геологических и геофизических съёмок в Северо-Камчатском сероносном районе выявлен Вывенский глубинный разлом [53] – главная магмоконтролирующая структура района. В зоне разлома установлен ряд аномалий силы тяжести, приуроченные к рудовмещающим массивам вторичных кварцитов развитых на поверхности. Природа аномалий связывается с неоднородностями в строении фундамента и интрузивными телами. По данным аэромагнитной съёмки масштаба 1:25000 выделен ряд локальных максимумов, связываемых с экструзивно-интрузивными телами среднего и умеренно кислого состава. Выделены многочисленные разрывные наруше-

ния, на отдельных участках района уточнены границы распространения вулканогенных образований. В то же время, целенаправленных исследований закономерностей размещения тех или иных элементов тектоники, оказавших влияние на формирование сероносного района, сернорудных узлов, полей и месторождений результаты региональных исследований не содержали. Не использованы они и при составлении упоминавшейся в главе 1 прогнозной карты сероносности района. Аналогично положение с использованием региональных геофизических съёмок при работах и в других районах региона.

Результаты применения детальных геофизических работ при поисках серных залежей целесообразно рассмотреть по объектам исследований.

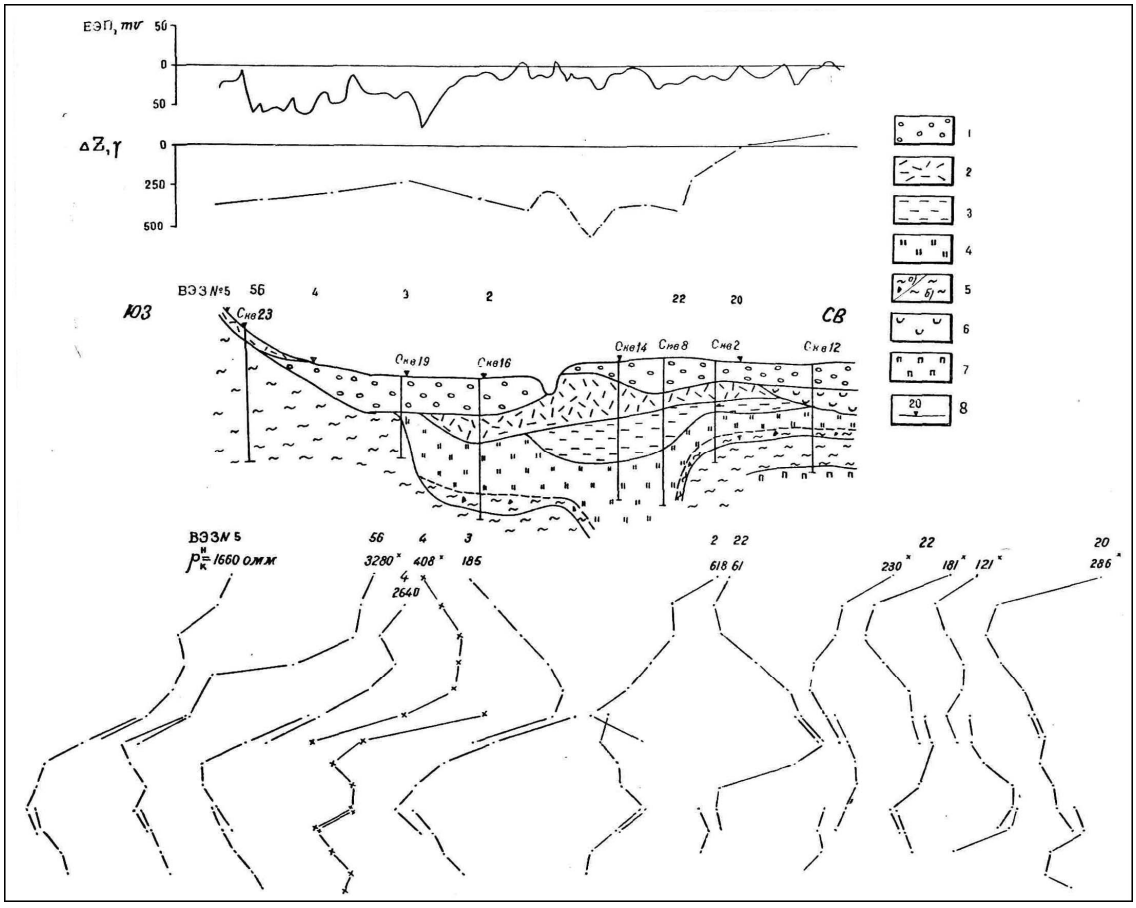


Рис. 18. Геолого-геофизический разрез по линии скважин 23 – 12 месторождения р. Половинной (по В.Н. Клепикову, 1965 г.)

1 – ледниковые отложения; 2 – алунитовые и серные алунитовые кварциты (руды); аргиллитизированные породы: 3 – каолинизированные, 4 – монтмориллонитизированные; 5 – хлорит-карбонатные пропилиты с цеолитами (а) и без цеолитов (б); 6 – карбонатно-цеолитовые породы с гематитом; 7 эпидот-хлоритовые пропилиты; 8 – точки ВЭЗ

Прим.: знаком $^{x)}$ у значения $\rho_к^н$ помечены крестовые зондирования;

Месторождение р. Половинной.

Над серной залежью ручья Серного, перекрытой ледниковыми отложениями (рис. 18, 8), установлена отрицательная магнитная аномалия интенсивностью -400 + -800 гамм (А.М. Буханов, 1961 г.). В её пределах устанавливается ряд минимумов, как правило, линейных и ориентированных в северо-восточном, северо-западном и субширотных направлениях.

По материалам ВЭЗ на месторождении выделяется несколько общих типов кривых геоэлектрического разреза. Над залежью получены кривые типов К, НК и

КНК, а за её пределами, где развиты безрудные аргиллизированные и пропилитизированные породы – кривые типов H, Q и QQ. Сопоставление параметрических кривых ВЭЗ с данными электрокаротажа и разрезами скважин привели В.Н. Клепикова (1964г.) к выводу: «Критерием выделения рудных тел по ВЭЗ является наличие двух минимумов на кривых, связанных с высокоминерализованными водами, образованными в богатых сульфидами (железа) породах». В другом месте он пишет, что «… сероносные образования обладают высоким кажущимся электрическим сопротивлением, далее оконтуриваются снизу и сверху минимумами $\rho_к$, образованными за счёт сульфидизации пород».

Связь горизонтов высокого сопротивления с серными рудами залежи хорошо видна на планах изолиний $\rho_к$ для разных глубин исследования разреза (рис. 20). Это положение иллюстрируют также планы изолиний равных отношений сопротивлений, как для верхней, так и нижней частей разреза (рис. 19).

Особенностью кривых ВЭЗ, полученных на месторождении, в особенности на флангах залежи, является сильная «изрезанность», как правило, исключающая количественную интерпретацию по палеткам. Отмечается резкая смена типов кривых и сопротивлений горизонтов, наиболее ярко это проявляется на краевых частях залежи (рис. 18). Заметим, что интерпретация ВЭЗ проводилась под консультацией выдающегося геофизика М.А. Березина.

Малетойваямское серопроявление. Опытные работы (1965 г.) велись одновременно с бурением первых скважин, рядом из которых были вскрыты серные руды мощностью около 90 м. На площади распространения на поверхности монокварцитов и алунитовых кварцитов и развалов, серных руд, определённой шурфами и канавами, установлена отрицательная магнитная аномалия интенсивностью -300 + -700 гамм. По данным параметрических ВЭЗ высказано предположение об отражении серных руд горизонтом высокого, а вмещающих безрудных пород – горизонтом низкого сопротивления. Это мнение подтверждалось материалами электропрофилирования. Съёмкой естественных электрических потенциалов на площади распространения кварцитов, выходящих на поверхность, выявлена положительная аномалия интенсивностью 160-200 мв, которая объяснялась различием в интенсивности процессов окисления самородной серы и кварца – основных минеральных компонентов кварцитов и серных руд (А.Н. Кириллов, 1966 г.). Как было установлено в 1967 г., положительный знак аномалии был следствием технической ошибки.

По результатам измерений плотности и магнитных свойств установлена немагнитность серных руд и вторичных кварцитов в целом; магнитность неизменённых вулканитов; пониженная плотность аргиллизированных бессерных образований (И.Ф. Коба, 1966 г.).

Малетойваямское месторождение.

В результате выполненного в 1966-70 г.г. комплекса опытно-методических исследований, проведённых на Центральном и Юбилейном участках, и широкого изучения физических свойств пород и руд, были получены данные, позволившие сформулировать основные геофизические признаки серного оруденения (Г.П. Яроцкий, 1966-67 гг.):

а) серные залежи отражаются в магнитном поле отрицательными аномалиями интенсивностью -300 + -700 гамм;

б) к серным залежам, выходящим под наносы, приурочены отрицательные аномалии естественного электрического поля интенсивностью -50 + -400 мв;

в) серные руды в разрезе вторичных кварцитов отражаются на кривых ВЭЗ горизонтами высокого сопротивления, вмещающие аргиллизированные и пропилитизированные образования – горизонтами низкого сопротивления;

г) серные руды в разрезе вторичных кварцитов характеризуются на кривых ВЭЗ-ВП высокой поляризуемостью, вмещающие аргиллизированные и пропилитизированные образования – низкой [68].

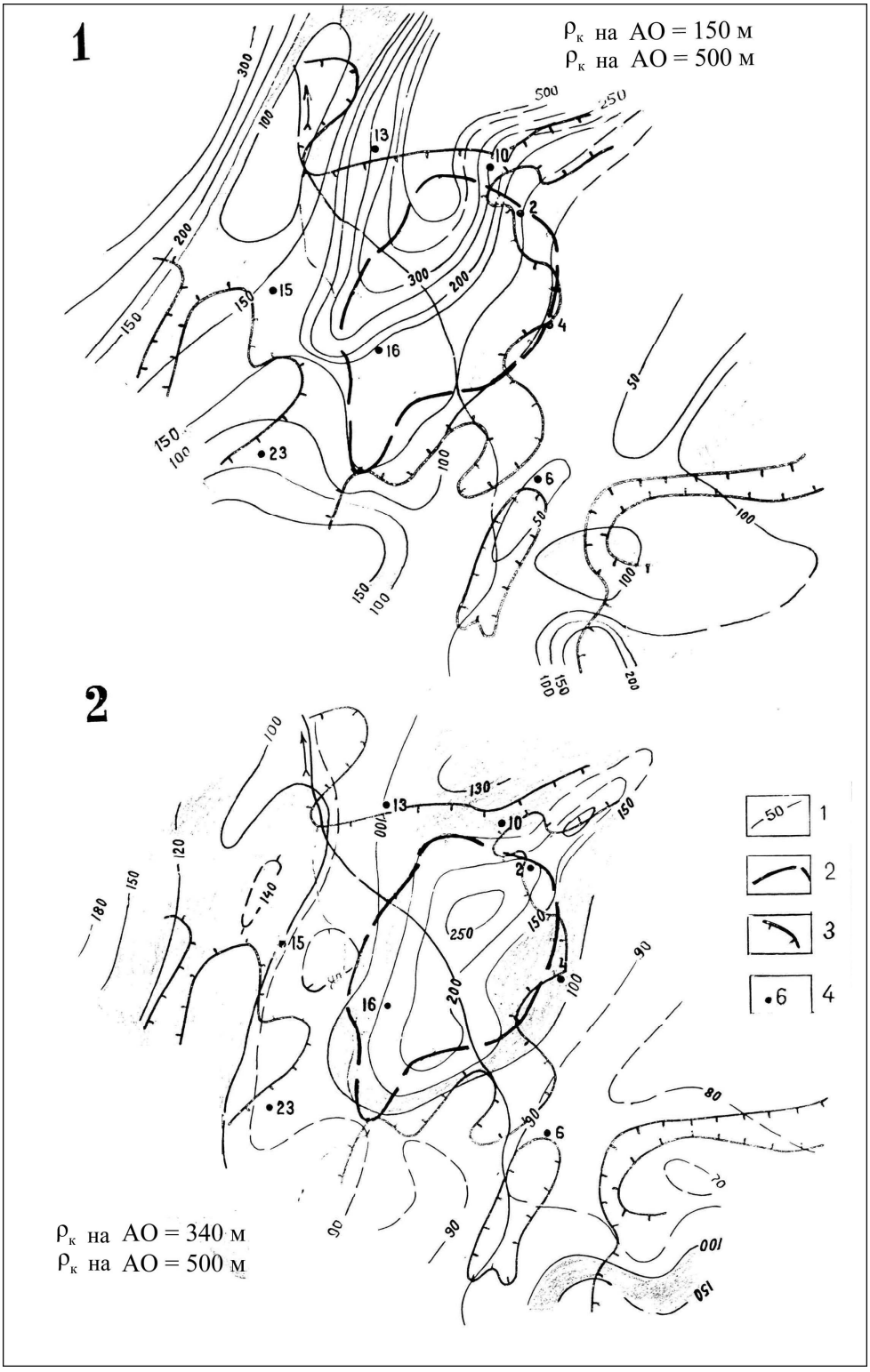


Рис. 19. Планы отношений $\rho_к$ ВЭЗ месторождения р. Половинной (по В.Н. Клепикову и Г.П. Яроцкому)
1 – изолинии равных отношений ρк, %%; 2 – контур залежи; 3 – граница отрицательной магнитной аномалии месторождения (проведена по нулевой изодинаме), 4 - скважины

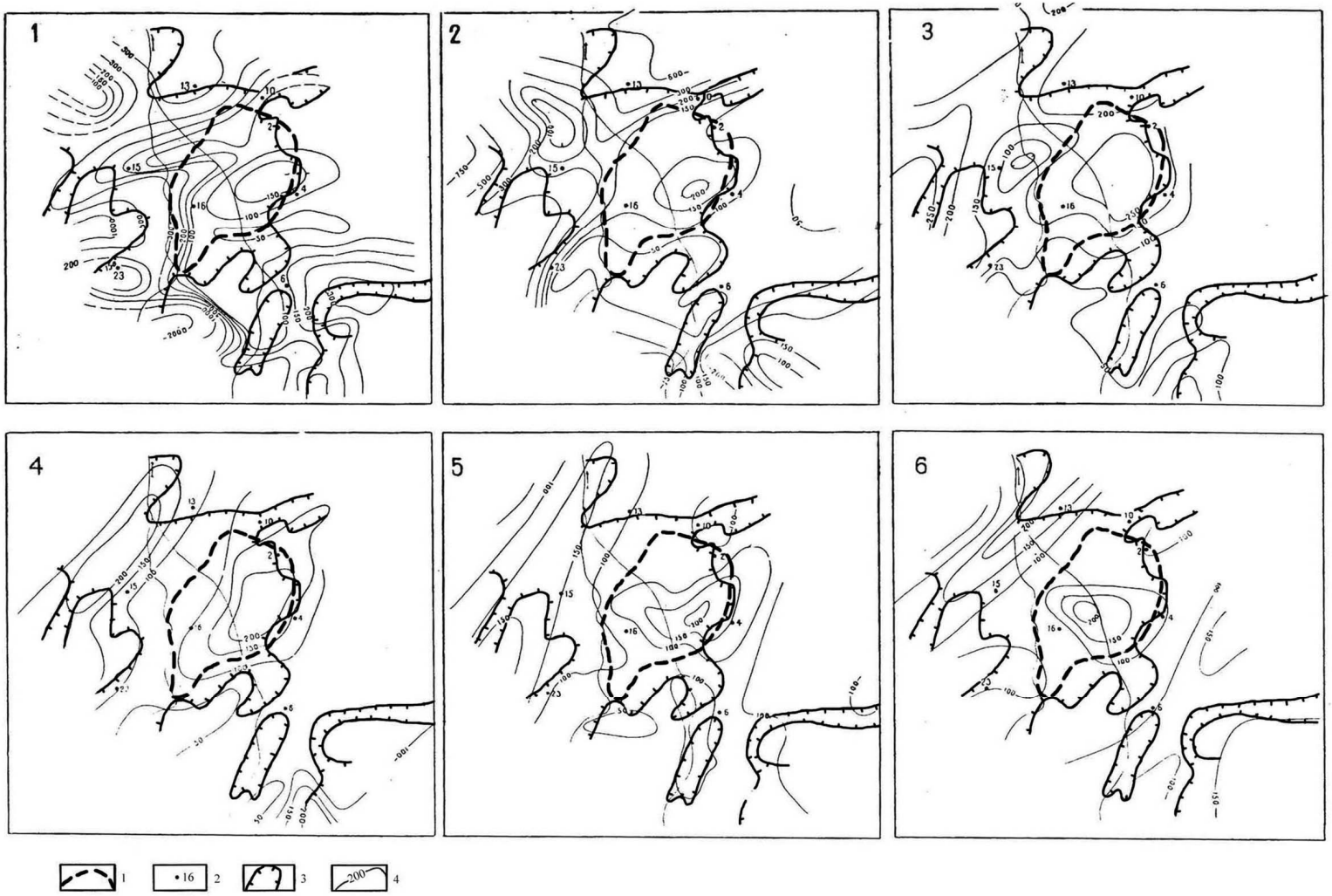


Рис. 20. Планы равных кажущихся сопротивления месторождения р. Половинной (по В.Н. Клепикову, 1965 г.)
1 – для АО = 40 м, 2 – для АО = 100 м, 3 – для АО 220 м, 4 – для АО = 340 м, 5 – для АО = 500 м, 6 – для АО = 750 м; 1 – контур залежи; 2 – скважины; 3 – граница отрицательных магнитных аномалий (проведена по нулевой изодинамике); 4 – изолинии равных кажущихся сопротивлений

Малетойваямский сернорудный узел. Геофизические исследования на территории узла показали существование различных аномальных физических полей на его серопроявлениях, геологическое строение которых, как представлялось по имеющимся в то время геологическим данным, одинаково. Отличались они и от физических полей, установленных на месторождении.

На Такайпинском проявлении к толще изменённых пород приурочена отрицательная магнитная аномалия интенсивностью -100 + -300 гамм; на Южном – массив кварцитов отражён слабоотрицательной аномалией, близкой к нормальному полю; на Тюлюльваямском – над мощной толщей монокварцитовых пород установлена положительная аномалия интенсивностью до 300-500 гамм; на Лигинмываямском – безаномальное положительное поле интенсивностью до 1000-1500 гамм. На всех участках серное оруденение убогое и носит рассеянный характер.

Существенно различна и геоэлектрическая характеристика разрезов проявлений. На Такайпинском проявлении сопротивление кварцитов по данным ВЭЗ составляет 0,3 тыс. омм, а аномалия ЕЭП не более -50 + -75 мв; на Южном – 10-30 тыс. омм и более -1000 мв; на Тюлюльваямском – 50-70 тыс. омм и до -900 мв; на Лигинмывамском – 2-40 тыс. омм и -50 + -200 мв, соответственно.

Установлено также отличие аномальных полей по форме, простиранияю основных элементов аномалий, степени градиентности поля и т.п. ((Г.П. Яроцкий, 1967-70 гг.).

Ветроваямский узел. Здесь геофизические работы проводились, в основном, на одноимённом месторождении, где залежи представлены бессульфидными серными опалитовыми рудами. Центральная и ряд других залежей, расположенных на удалении друг от друга, отражаются в различных магнитных аномальных полях, в целом отрицательных. Над залежами фиксируется безаномальное ЕЭП. На кривых ВЭЗ серные руды отражаются горизонтом высокого сопротивления (В.Л. Шмелёв, 1967 г.). Заверочное бурение не проведено.

Вироваямский узел. Геофизические работы проведены на трёх серопроявлениях, но лишь на одном из них – Красногорском – было пробурено несколько заверочных скважин. Установлена приуроченность кварцитов с убогим серным оруденением к отрицательному магнитному полю интенсивностью -200 + -1500 гамм и отражение их на кривых ВЭЗ горизонтами высокого сопротивления. Аномально низкими сопротивлениями фиксируются безрудные аргиллизированные породы (Ю.Л. Корякин, 1967 г.).

Геофизические исследования на проявлении вулкана Кошелева и на месторождении Новом показали, что вторичные кварциты и серные залежи отражаются в физических полях аномалиями, позволяющими с достаточной уверенностью производить их картирование (В.К. Соловьёв, 1971 г.; А.Э. Голлербах, 1969 г.).. Количественные характеристики аномалий (см. таб. 15) близки к таковым на объектах Северо-Камчатского сероносного района Фактические данные и их геологическая интерпретация будут подробно рассмотрены в главе IV.

III. 4. Применение геофизических методов при изучении месторождений в Японии

Выше упоминалось, что материалы зарубежных геофизических работ стали доступны советским исследователям лишь в 1973-74 гг., когда проблема методики геофизических работ при поисках серы в СССР была уже разрешена, а геологоразведочные работы - закончены. Однако, знакомство с японскими исследованиями позволило установить общность характеристик аномальных физических полей серных месторождений и массивов бессерных кварцитов Японии и аналогичных объектов в Курило-Камчатской дуге [ ]. В связи с этим излагаются основные результаты доступных японских работ.

Основой принятого комплекса геофизических работ в Японии в 40-50-х годах XX века является метод естественного электрического поля, как правило, в совокупности с электропрофилированием на постоянном токе. В последнем случае используется установка Венера (a=10, 20, 40, 60, 80 и 100 м – в разных сочетаниях). Магнитная съёмка служит вспомогательным методом. При площадных работах применяются масштабы 1:3000 – 1:5000 с шагом наблюдений 20-10 м, при профильных съёмках на поверхности – шаг равен 10-5 м, в штольнях – 5 м. Заверка результатов работ проводилась, главным образом, штольнями, в отличие от заверки бурением, принятой в СССР.

Необходимо отметить, что в японских статьях крайне мало геологических сведений, что заставляет привлекать другие источники. Материалы геофизических работ излагаются по отдельным месторождениям с сохранением терминологии первоисточников.

Месторождение Ионаго состоит из нескольких участков с размерами залежей до 150 -500 м при мощности рудных тел 10-40 м.

На участке Сираива отрицательное поле ЕЭП связано с сульфидизированными породами и рудными залежами. К аномалии ЕЭП приурочен минимум поля и аномалии высокого сопротивления. Природа аномалии установлена штольнями. Локальная аномалия в центре участка связана с центральными фациями изменённых пород - монокварцитами и опалитами с сульфидно-серным оруденением. Установлено, что глинистые породы, обрамляющие залежь, характеризуются низкими сопротивлениями по отношению к рудам (рис. 21).

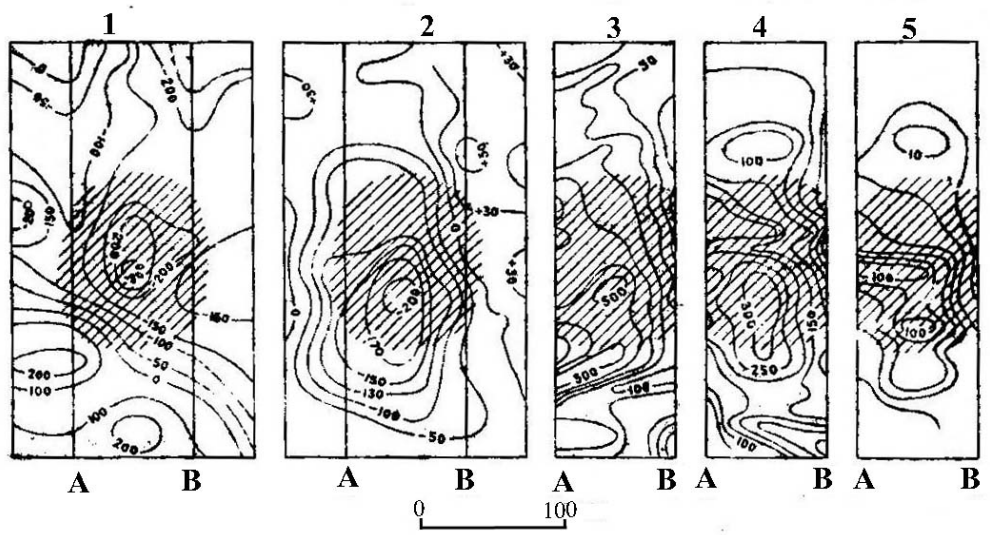


Рис. 21. Физические поля участка Сираива месторождения Ионаго, Япония [48]
Планы: 1 – изодинам; 2 – изолиний ЕЭП, мв; Сопротивлений, омм. Для установок: 3 – a = 10 м, 4 – a = 20 м, 5 – a = 40 м.
Прим.: заштрихована площадь распространения руд

На участке Ку группа мелких рудных тел фиксируется двумя минимумами ЕЭП (рис. 22). Им в целом отвечает магнитный минимум (локальный «пик» в центре графика обусловлен компрессором, а менее интенсивный справа от него – выходом неизменённой пемзы).

На участке Гонгэн отрицательная аномалия ЕЭП приурочена к изменённым породам, включая глинистые. Интересно, что в этом случае интенсивность ЕЭП не более 50 мв, сопротивление равно 50-20 омм, а магнитная аномалия составляет -100 + -400 гамм.

По измерениям в подземных выработках на всех участках отмечается, что магнитные свойства пород падают с увеличением степени их изменения [47].

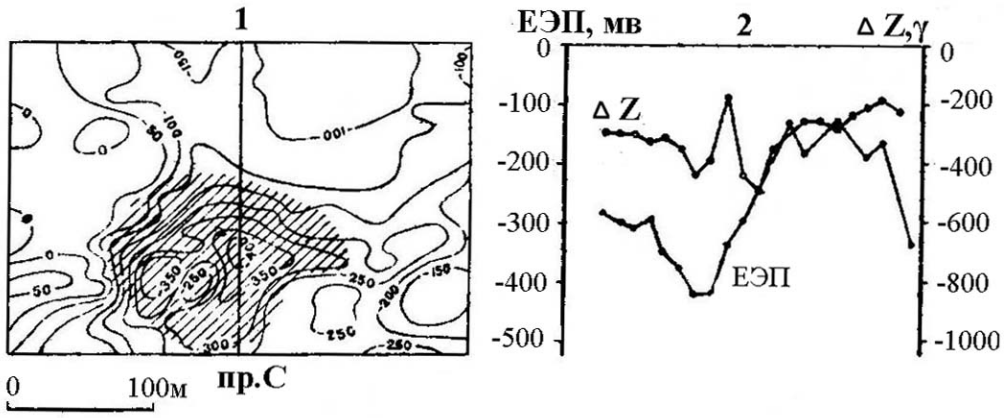


Рис. 18. Физические поля участка Ку месторождения Ионаго, Япония [48]
1 – план изолиний ЕЭП, мв; 2 – графики ЕЭП и магнитного поля по профилю С.
Прим.: заштрихована площадь распространения мелких рудных тел

Месторождение Ятоко содержит четыре горизонтально залегающих пластовых рудных тела. Первое и второе рудные тела относительно небольшие по размеру и бедные по содержанию серы. Третье и четвёртое – сравнительно большие, с содержанием серы до 50-60%.

Съёмкой ЕЭП на месторождении выявлено три изолированных минимума (рис. 23). В южной части месторождения минимум приурочен к III рудному телу (наиболее интенсивная часть минимума связана с обвалившейся штольней). Локальный минимум (-100 мв) в юго-западной части IV тела приурочен к обогащенным пиритом рудам с содержанием серы 10-20%, залегающим на глубине 30-40 м. Третий обширный минимум на северо-западе месторождения также связан с рудами IV тела.

Сопротивление пород разреза в южной части месторождения на разносах а=10, 20, 40 и 80 м составляет 250-1000 омм, на участках штольни – 150-500 омм (профиль 18). В северной части профиля 38 сопротивление пород (на а = 20, 40 и 80 м) высокое – 1000-5000 омм. Здесь нижняя граница тела предполагается на глубине около 300 м.

Съёмками ЕЭП и ЭП на поверхности и в штольнях установлено два случая их соотношения: а) при низком сопротивлении потенциал ЕЭП имел отрицательный знак (на одном профиле); б) при низком $\rho_к$ потенциал имел положительный знак, а при высоком $\rho_к$ потенциал имел положительный знак (на пяти профилях).

Первому случаю отвечают измерения в штольне IV тела. При высокой кислотности рудничных растворов $\rho_к$ руд было исключительно низким. Этот случай установлен также на поверхности над юго-восточной частью первого тела, сложенного крайне бедными рудами. Второй случай установлен на западе месторождения, где распространены руды четвёртого тела. Там, где низкому $\rho_к$ отвечал положительный потенциал ЕЭП, фиксировались безрудные породы восточного фланга IV тела. Там же, где высокому $\rho_к$ отвечал отрицательный потенциал ЕЭП, штольнями разрабатывались наиболее богатые сульфидно-серные руды.

Авторы статьи обращают внимание на отсутствие связи минимума ЕЭП месторождения с возвышенным рельефом, чем отвергают фильтрационную природу его возникновения. Интересны измерения ЕЭП в штольнях. Они показали, что при одинаковых pH поровых растворов андезита и серы, первый характеризуется положительным потенциалом. При увеличении кислотности растворов андезита его потенциал падает. Отмечается, что сульфидно-серным рудам с большим содержанием серы (40-60%) также отвечают положительные потенциалы.

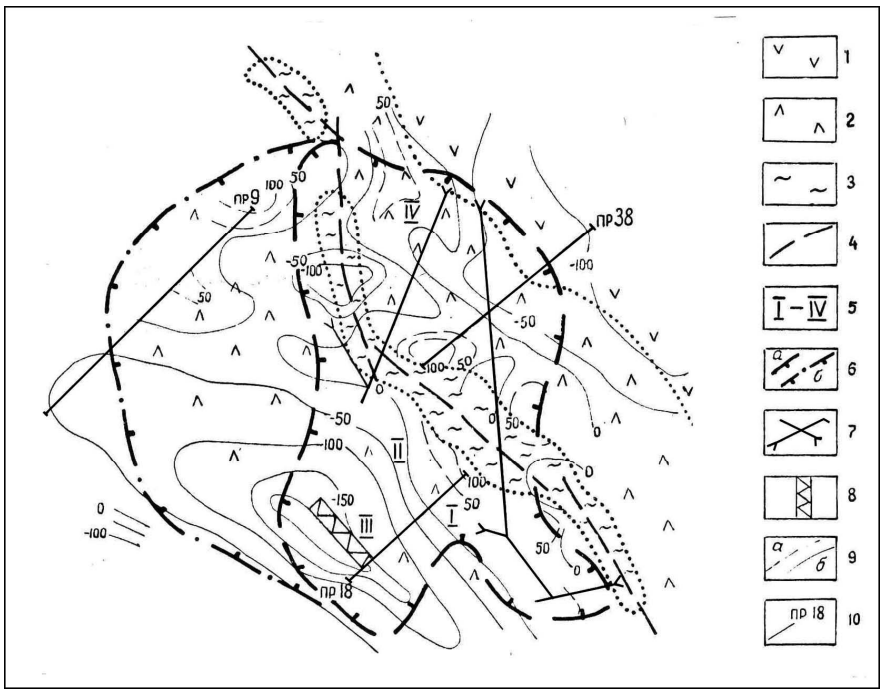


Рис. 23. План изолиний ЕЭП месторождения Ятоко, Япония [27]
1 – пористые осветлённые эффузивы; 2 – рудовмещающая туфо-эффузивная толща; 3 – глинистые образования; 4 – нарушения; 5 – центральные части рудных тел, их номера; 6 – общий контур рудного поля: а) – по данным эксплуатационных выработок, б) – прогнозируемый по геофизическим данным; 7 – подземные выработки (штольни); 8 – обвалившаяся штольня; 9 – изилинии ЕЭП: а) – положительные, б) – отрицательные и нулевые; 10 – линии электропрофилирования

Анализируя эти факты, авторы пишут: «И теоретически и практически падение потенциала на 70-90 мв с уменьшением pH на единицу говорит о прямой зависимости между естественным потенциалом и pH». И далее там же указывают: «… при сильной кислотности породы естественный потенциал достигает –300мв, при нейтральных химических показателях потенциал был равен +100 мв». Отмечается, что, как и в штольне, величина и знак ЕЭП на поверхности залежей определяется pH вод [27, стр. 24].

Месторождение Исидзу содержит залежи субпластовой формы в сечении вдоль трещинных зон и штокообразной – вкрест них (рис. 5). Ряд сближенных разломов привёл к образованию серии тел различной мощности и причудливых форм. Границы между рудными телами нерезкие, вся толща изменённых пород пиритизирована [47].

Обширной отрицательной аномалии ЕЭП на поверхности месторождения (рис. 24) отвечает на всех разносах установки ЭП аномалия высокого $\rho_к$. При этом наблюдается постоянная связь ЕЭП и $\rho_к$: увеличению сопротивления отвечает рост минимума ЕЭП. Магнитное поле в пределах аномалии ЕЭП отрицательное интенсивностью около - 200 гамм.

Установлено, что минимум ЕЭП и высокое $\rho_к$ (а = 20, 40 м) связаны с высокопористыми пиритизированными бессерными опалитами. Рудные тела, на рис. 8 показана их проекция на поверхность, залегают на глубинах 20-50 м и фиксируются аномалией высокого $\rho_к$, но уже меньшей интенсивности, чем вышележащие опалиты. Глинистые породы, заключающие рудное тело в «рубашку», обладают низкими значениями $\rho_к$ и нулевым или слабоотрицательными потенциалами ЕЭП. На подобной аномалии ЕЭП по профилю N, где установлено отрицательное магнитное поле интенсивностью до -500 гамм и высокое $\rho_к$ (на а = 20 и 40 м), предполагается рудное тело.

Положительная аномалия ЕЭП в северо-восточной части месторождения сопровождается магнитным максимумом и высоким $\rho_к$ на всех разносах (750-3000 омм). Она связана с неизменёнными андезитами.

Наблюдения в штольне горизонта 65 м показали распределение потенциалов, отличное от такового на поверхности месторождения (рис. 9). Центр минимума в штольне расположен в главном рудном теле и смещён к западу по отношению к центру наземной аномалии ЕЭП. Характерно, что минимум наземной магнитной аномалии (-200 + -600гамм) также смещается к западу от центра наземной аномалии ЕЭП и его положение близко к проекции центра подземной аномалии ЕЭП на поверхность. В изменённых породах периферии тела и скоплениях мелких тел, расположенных к востоку от главного тела в районе скважин 97,5, потенциал близок к нормальному, либо положителен.

Увеличение интенсивности отрицательного потенциала в рудном теле и смещение центров аномалий на поверхности и в штольне объясняется воздыманием рудных тел к северу и северо-западу под углом $20\text{-}30^0$, т.е. падением на юг и юго-восток. Распределение потенциала в штольне горизонта 115 м позволило сделать вывод о том, что объект, вызвавший локальный минимум на профиле N (рис. 24) залегает на более высоких горизонтах.

Месторождение Адзума расположено в 3 км от месторождения Исудзу и характеризуется подобной геологической обстановкой [4, 35].

Измерением ЕЭП на двух участках установлена связь отрицательных аномалий с сульфидно-серными телами и изменёнными породами на их периферии. В области магнитных максимумов скважинами вскрыты мощные покровы андезитов. Установлено, что изменённые породы немагнитны.

Исследованиями в штольне выявлена приуроченность минимумов ЕЭП к изменённым породам, в нижних частях которых обнаружена залежь. Интересно, что в месте выработанного рудного тела аномалия ЕЭП положительна.

Д. Сияма [45] провёл обобщение результатов съёмок ЕЭП и электропрофилирования, выполненных на нескольких месторождениях, акцентируя, что в основе поисков месторождений серы лежит метод ЕЭП. Им установлены различные взаимоотношения рудных тел и физических полей. Они заключаются в следующем:

а) отрицательные аномалии возникают над отдельными залежами рудных полей, а также над вмещающими их породами с низким содержанием серы (старое рудное тело Адзума, месторождения Адзума, Нумадзири, Такигуты, Исидзу и др.);

б) аномалии ЕЭП, возникшие на небольшой глубине в рудных телах и вмещающих изменённых породах, отмечались как в разрезах, где происходит падение $\rho_к$ с глубиной, так и в высокоомных разрезах. В последнем случае существует прямая пропорциональная зависимость этих параметров для эродированных частей месторождений (Седзингава, Амэмасугава, Исидзу);

в) отрицательные аномалии ЕЭП возникают также на прилегающих к месторождения участках развития существенно кварцевых, пиритизированных пород (западное тело месторождения Адзума);

г) положительные аномалии ЕЭП над рудными телами на поверхности не установлены. Они встречены в кровле выработанного тела в штольне (старое тело Адзума). Кроме того, положительные аномалии создают неизменённые андезиты. Автор обращает внимание на тот факт, что для рудных тел, перекрытых безрудными изменёнными породами и фиксируемых минимумами ЕЭП, сопротивление пород кровли месторождения выше, чем руд и пород в его подошве (месторождения Ятоко, Адзума).

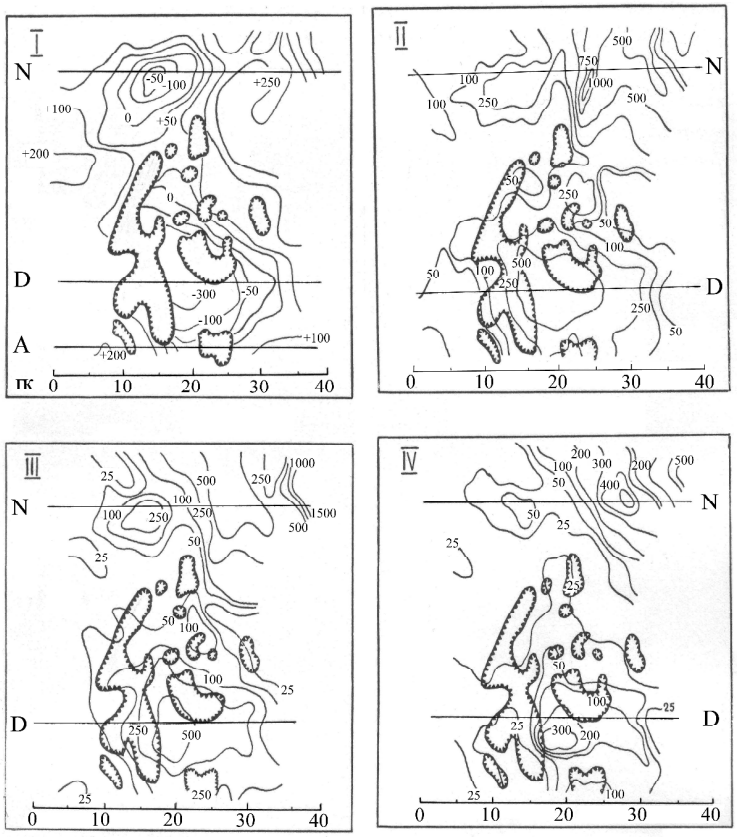


Рис.24. Планы ЕЭП и сопротивлений месторождения Исидзу, Япония [47]

I – план ЕЭП, планы сопротивлений: II – a = 20 м, III- a = 40 м, IV – a = 80 м.
Примечание: контуры рудных тел определены штольнями и скважинами

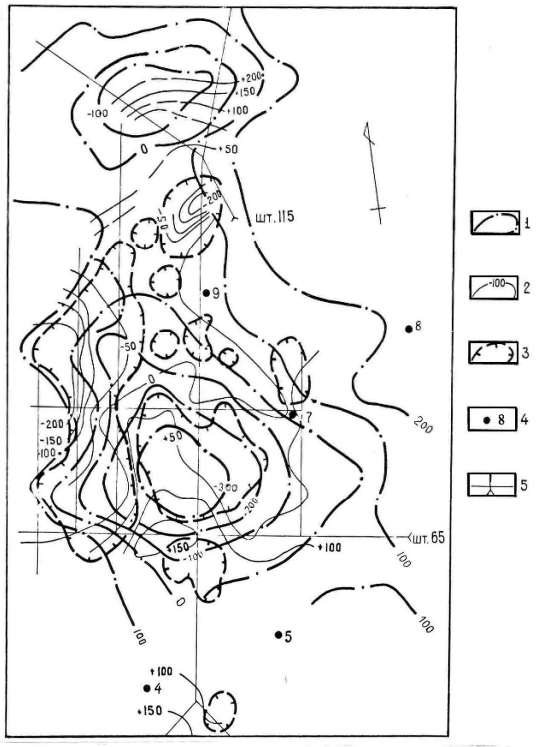


Рис.25. Карта ЕЭП на поверхности и в штольнях месторождения Исидзу, Япония [47]

1 – изолинии на поверхности месторождения, сечение поля через 100 мв; 2 – изолинии в штольнях, сечение поля через 50 мв; 3 – контуры залежей по данным бурения и эксплуатационных штолен; 4 – скважины; 5 – штольни горизонтов 65 и115 м

Месторождение Нумандзири. Залежи приурочены к эффузивно-пирокластической толще типа «слоёного пирога» общей мощностью около 130 м. Первая с поверхности пачка андезитов образует пологую антиклинальную складку, но уже на глубине около 70 м складка приобретает отчётливо выраженную купольную структуру. Рудные тела (более 30) разных размеров приурочены к пирокластическим пачкам складки и часто образуют рудные поля. Мощность тел около 25 м, глубина залегания 25-130 м [22].

На участке Аманодзава отрицательная аномалия ЕЭП (-100 + -350 мв) приурочена к рудным телам, вскрытых на глубинах 25-30 м. Форма и простирание аномалии отвечает структуре складки. Аномалии ЕЭП отвечает аномалия высокого $\rho_к$ на всех разносах установки (а = 10, 20, 20, 80 м).

По измерениям ЕЭП в трёх штреках участка Аманодзава установлено закономерное уменьшение интенсивности минимума с глубиной. На поверхности участка максимум потенциала достигал -350 мв, на глубине 30-40 м уже -250 + -200 мв, на глубине 50 м – лишь -100 мв. При этом верхний штрек проходит по кровлям большинства рудных тел, средний (глубина 40 м) – по их серединам, нижний (глубина 50 м) – по их подошвам. Изменённые породы и руды в штольнях малоплотные, пористые. Отмечено также, что в штреках больший минимум фиксируется там, где больше проявлена сульфидизация и другие явления гидротермального метаморфизма.

На участке Ямагами над рудным полем получена обширная аномалия ЕЭП (ширина порядка 500 м) интенсивностью -150 + -330 мв. Ей отвечает аномалия сопротивления величиной в среднем от 2000 – 1500 омм на малых и средних разносах (а = 10, 20, 40 м) до 500 – 300 омм – на больших (а = 80 м). Рудное поле участка представлено сближенными штокверками, головные части которых залегают на глубине 7-25 м. На профилях ЭП они отражены локальными максимумами сопротивления, отчётливо выделяемыми установками с а = 10, 20 и иногда 40 м. Величина сопротивления от 2000-3000 омм (а = 10 м) до 1000-1500 омм (а =40 м). Обрамляют рудное поле неизменённые андезиты, на которых интенсивность ЕЭП около -100 мв. Характер поля и относительность измерений ЕЭП позволяет принять значение поля над андезитами за нормальное. В этом случае интенсивность аномалии над рудным полем уменьшается от -150 + -330 мв до -50 + -230 мв. У андезитов сопротивление на всех разносах в 5-10 раз выше (5000-12000 омм), чем у изменённых пород и руд сульфидно-серных тел.

Один из наземных профилей участка располагается над штольнями (Верхняя и Нижняя Ямагами), в которых также измерялись ЕЭП и сопротивление. И здесь отмечается общее уменьшение отрицательного потенциала ЕЭП с глубиной. При этом, если на поверхности это была широкая слабо дифференцированная глубоко отрицательная аномалия, то в штреках – сильно изрезанное поле. Интенсивность отдельных узких минимумов достигает -250 + -300 мв. В этой связи автор отмечает, что резкое увеличение интенсивности локальных минимумов ЕЭП в штольнях происходит «… в тех местах, которые повергнуты … сульфидизации». И далее: «… сероносное рудное тело с большим содержанием пирита показывает большую отрицательную аномалию» [45, стр. 8]. Отмечается также резкое падение $\rho_к$ пород в верхней штольне по сравнению с сопротивлением, измеренным на поверхности: примерно в 10-15 раз – как для андезитов, так и изменённых пород.

Месторождение Хатимантай. Здесь на отдельных участках установлены своеобразные физические поля, не связанные с серными рудами.

На участке старого штрека Курагата над глинистыми породами с пиритом (содержание около 15%) установлено безаномальное поле ЕЭП интенсивностью -50 + -70 мв. Изменение уровня поля на 60 мв приводит к нормальному полю интенсивностью ±10 мв на всём участке.. По измерением в штреке установлена прямая

связь ЕЭП с распространением пирита. Указывается, что максимум аномалии в штреке (-260 мв) зафиксирован при pH = 2.

На участке Оцуюгасира аномалия ЕЭП интенсивностью -100 + -200 мв совпадает с аномалией высокого $\rho_к$ величиной более 1000 омм (на а = 20, 40, 60 м). Аномалия ЕЭП связана с кремнистыми породами. Другая аномалия ЕЭП на участке интенсивностью около -50 мв приурочена к выходу бедных руд в глинистых породах. (При ином уровне нормального поля «аномалия» исчезает).

На участке старого штрека Аппи выявлена аномалия ЕЭП необычайно высокой интенсивности: до -2000 + -2300 мв. Размеры её по изолинии -500 мв превышают 200 м – 500 м. К ней приурочена аномалия весьма высокого $\rho_к$: 4000-28000 омм на разносе а = 30 м и 2000-20000 омм на разносах а = 50, 80 м. Бурением на одном из минимумов ЕЭП и максимуме $\rho_к$ (глубина скважины 50 м) вскрыты кремнистые породы с « сильной водопоглощающей способностью» [46, стр. 18].

На участке Никаносава выявлена подобная комплексная аномалия. Её размеры по изолинии -300 мв превышают 250-800 м. Интенсивность двух локальных минимумов достигает -900 и -2500 мв. В контуре первого минимума сопротивление на разносах а = 40, 60, 80 м достигает 2000, 1500 и 1000 омм, в контуре второго – 12000, 9000 и 6000 омм, соответственно. Значение сопротивления пород по периферии аномалии на всех разносах составляет 700-300 омм.

Отмечая необычно высокую интенсивность минимумов ЕЭП, автор указывает, что поляризация пирита создаёт эффект не более нескольких сотен мв, поэтому для объяснения природы таких аномалий требуется привлечение других факторов. Характерно, что обе аномалии располагаются на склонах вулканов.

Месторождение Мацуо. Выявление серных и колчеданных залежей месторождения было большим успехом геофизических работ в Японии [58]. Четыре крупных пластообразных залежи перекрывают друг друга в плане (рис. 26) и по вертикали. В табл. 2 показаны глубины расположения залежей, но следует учесть, что они относятся к кондиционным рудам (содержание серы более 30%) и не включают непромышленных. Распространение последних намного шире, что приводит к отсутствию чётких границ залежей, либо их слиянию.

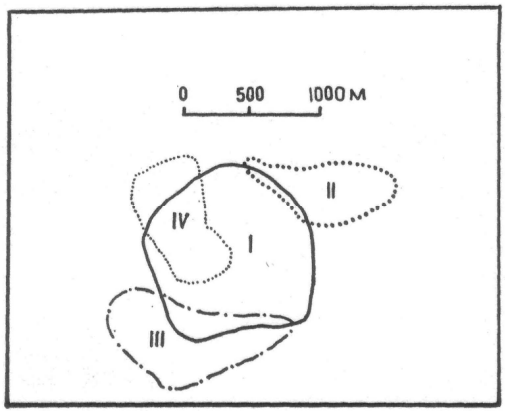


Рис.26. Проекции на горизонтальную плоскость контуров серных и сульфидной залежей месторождения Мацуо, серные залежи [6]:
I – верхняя, II – нижняя, III – нижняя, выявленная по данным геофизики; IV – нижняя сульфидная залежь, выявленная методом ЕЭП и подтвержденная бурением

Съёмкой ЕЭП в 1940 г. был выявлен обширный минимум с центром в районе вентиляционной шахты (эффект нерудного происхождения) и ещё один изолированный минимум на западе участка (NC –I). Скважинами здесь на глубине около 100 м вскрыты промышленные руды (рис. 27). В перекрывающих породах вмещающей толщи сульфиды встречены уже на глубине около 30 м. Скважина 2 руд не вскрыла, что дало основание считать положение границы тела № 1 восточнее центра NC –I. Впоследствии было установлено, что аномалия NC –I принадлежит новому телу – четвёртому, содержащему колчеданные руды. Они были вскрыты на глубине 50-70 м.

В районе минимума NC –2 скважиной 11 на глубине 48 м были вскрыты руды второго тела. В районе минимума NC –3, расположенного к югу от тела № 1, скважиной 3 на глубине 125 м были вскрыты руды третьего тела.

Характерной чертой поля ЕЭП месторождения является локальность минимумов – не более 150-200 м в диаметре, при размерах тел в плане от 450 - 900 м до 500 – 1300 м. Причем, это размеры тел по кондиционным рудам, т.е. без учёта бедных руд. Отличительно также и то, что при средней интенсивности поля ЕЭП – 500 +-100 мв, величина минимумов NC достигает -430, -457 и -628 мв (для тел 1, 2 и 3 соответственно).

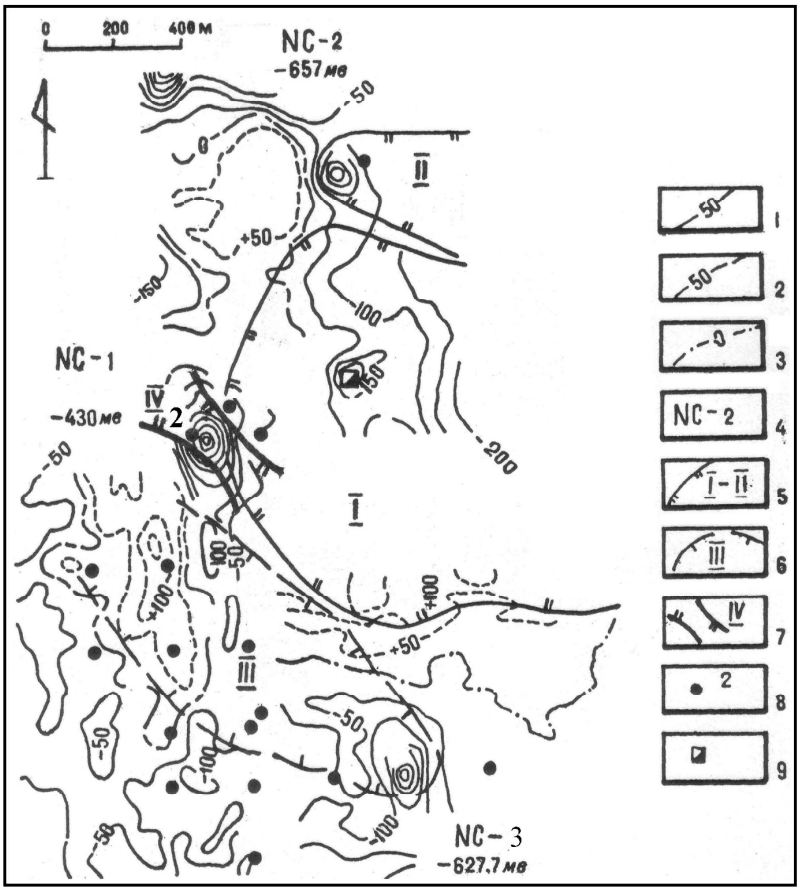


Рис 27. Карта изолиний ЕЭП серных и сульфидных залежей месторождения Мацуо, Япония [58]
Изолинии ЕЭП: 2 – положительные; 1 – отрицательные; 3 – нулевая; 4 – центры аномалий ЕЭП и их максимальные значения; 5 – контуры ранее известных залежей; 6 – контур серной залежи (III), выявленной по данной геофизики; 7 – предполагаемая граница нового тела (IV) по данным метода ЕЭП; 8 – скважины; 9 – шахта

Эти данные свидетельствуют о существовании на месторождении особых участков, где возникают процессы, приведшие к образованию отрицательных аномалий ЕЭП. Согласно исследованиям Х. Мукаяма, на ряде участков месторождения протекают интенсивные окислительные процессы, фиксируемые по выщелочным рудам [33]. Последние, в свою очередь, отмечаются участками проседания грунтов и источниками кислых вод [58].

Для подтверждения связи отрицательных аномалий ЕЭП с рудными телами были проведены наблюдения методом преломленных волн (см. табл. 2). Установлено, что в районе предполагаемого по данным электроразведки тела 3 на глубине более 100 м находится твёрдая среда, характеризующаяся скоростью около 3000 м/сек. Как известно, руды тела 3 вскрыты на глубине 70-80 м. Ранее аналогичные данные по материалам сейсморазведки были получены для первого рудного тела [58].

Геофизическая изученность месторождения Мацуо, Япония [58]

Таблица 12

Год	М е т о д ы	Цель и результаты работ
1940	Электрический	Установление западной границы тела № 1, поиски новых рудных тел
1941	Сейсмический (преломленных волн)	Подтверждение того, что выявленная аномалия ЕЭП над рудным телом № 1 связана с рудами, а не с подземными водами
1942	Электрический	Установление западной границы тела № 2 и выявление нового рудного тела (№ 3)
1942 1951	Электрический	Разведка нового рудного тела (№ 3)
1950	Сейсмический (преломленных волн)	Подтверждение связи аномалии ЕЭП с рудами тела № 3, а не с подземными водами

На участке второй залежи Шибаяма аномалия ЕЭП интенсивностью до -800 мв приурочена к вершине сопки с абсолютными отметками 500-550 м. Аномалия изометрична и по контуру изолинии – 100 мв достигает 300 м. Обрамляется она положительным полем интенсивностью 200-300 мв. На участке, оконтуренном изолинией интенсивностью более -400 мв, сопротивление пород разреза превышало 8000 омм на а = 10, 20, 30, 40, 50 м. За пределами отрицательной аномалии в контуре положительного поля (100 - 300 мв) сопротивление с увеличением разносов установки резко падает от 2000 до первых сотен омм.

Разведочными выработками и последующей эксплуатацией установлена связь упомянутых аномалий ЕЭП и $\rho_к$ с толщей кремнистых пород, содержащих незначительное количество алунита, серы, пирита. За пределами аномалии развиты глинистые образования с изолированными включениями кварца и пирита. Указывается, что в последнем случае пирит совершенно не подвергается окислению, так как глина препятствует циркуляции вод. Подобные зависимости физических полей и геологического строения установлены также на первой и второй залежах Ямуки. По наблюдениям на поверхности и в штольнях была установлена важная зависимость: значение отрицательного потенциала ЕЭП уменьшается с глубиной.

Влияние рельефа на ЕЭП выразилось в том, что наибольшим высотам отвечают более интенсивные минимумы. Однако, если на участке сопротивление пород низкое, то интенсивность минимумов резко падает, иногда здесь фиксируется положительный потенциал. Отмечены случаи, когда аномалии высокого $\rho_к$, расположенной на относительно малой высоте, не соответствуют интенсивные минимумы ЕЭП. Но и в этом случае минимум ЕЭП более интенсивен, чем на участках с низким сопротивлением.

В заключение авторы пишут: «… отрицательные аномалии электрического потенциала не зависят от поляризации на небольших глубинах, но соответствуют зоне кварца, распространённой на некоторой глубине». И заключают: «… в случае, когда по мере увеличения глубины наблюдается повышение потенциала, следует обращать внимание на действие электродинамического потенциала» [51, стр. 41].

Изложенные по литературным и фондовым источникам история и результаты геофизических исследований при поисках вулканических серных месторождений в СССР и Японии свидетельствуют:

- ко времени возникновения потребности применения геофизики в СССР опыт использования геофизических методов в отечественной отсутствовал, а сведения о зарубежной практике были неизвестны. В этих условиях возникла необходимость разработки на Камчатке собственной методики;

- в СССР наиболее полно комплексом геологоразведочных работ, в том числе геофизических, изучен Северо-Камчатский сероносный район, а в его пределах - Малетойваямский узел и его серопроявления. Это определяет их как объекты, представляющие наибольший интерес для исследования;

- начиная с середины 60-х годов XX века планомерное и целенаправленное проведение комплекса опытно-методических и производственных геофизических работ в СССР, в особенности в Северо-Камчатском сероносном районе, позволило получить данные, свидетельствующие о том, что применение геофизики при поисках серы эффективно;

- разработка проблемы поисков геофизическими методами велась применительно к непосредственному выявлению серных залежей на разобщённых проявлениях путём комплексных детальных исследований;

- региональные геофизические данные для целей выявления структурных факторов контроля размещения оруденения и его прогноза не привлекались. Не установлены эти факторы и по результатам геологических исследований.

Анализ результатов геофизических работ в СССР и Японии свидетельствует о том, что изначальным объектом изучения является не известная априори залежь, а массив рудовмещающих кварцитов, потенционально сероносных, как структурно-вещественный комплекс в геофизике. При этом последний может содержать серу в промышленных концентрациях (месторождение), в непромышленных концентрациях (проявление), либо быть безрудным (массив изменённых пород). Намечается ряд наиболее общих взаимоотношений физических полей и объектов изучения, характеризующих вероятную физико-геологическую модель:

а) в магнитном поле залежи серных руд отражаются отрицательными аномалиями, а массивы безрудных кварцитов и серопроявления – отрицательными аномалиями, нормальными, либо безаномальными положительными полями;

б) в поле естественных электрических потенциалов (ЕЭП) залежи серных руд, серопроявления и массивы безрудных кварцитов отражаются отрицательными аномалиями различной интенсивности;

в) в поле искусственных электрических токов (ВЭЗ, ЭП) серные руды, кварциты с убогим оруденением и безрудные кварциты в разрезах массивов отражаются горизонтом высокого сопротивления. Аргиллизированные породы на всех объектах отражаются горизонтами низкого сопротивления.

Эти взаимоотношения свидетельствуют о неоднозначности геофизических данных, т.е. отсутствии прямых физических критериев выявления месторождения. В свою очередь, это даёт основание предполагать, что физические поля являются следствием как дифференциации горных пород по физическим свойствам, так и особенностей строения рассматриваемых объектов, т.е. конкретных геологических условий, оказывающих совокупное влияние на формирование объёмных (трёхмерных) физических полей. В таких условиях целью геофизических работ должно быть выявление сероперспективных участков.

Таким образом, состояние проблемы поисков вулканических месторождений серы геофизическими методами определяет необходимость решения трёх основных задач:

1. Создание геолого-геофизической модели серного месторождения с целью определения эффективного комплекса геофизических методов их поисков.

2. Выявление региональных структурных минерагенических факторов размещения серного оруденения в районе с целью его прогнозирования.

3. Определение рационального комплекса геофизических методов при поисках месторождений – от стадии изучения сернорудного района до выявления в нём сероперспективных участков.

Задачи решались путём последовательного выполнения следующих этапов исследования:

а) изучение геологического строения массивов рудовмещающих кварцитов и серных месторождений и петрофизических свойств слагающих их пород;

б) выявление геолого-петрофизических закономерностей строения месторождений и массивов безрудных кварцитов;

в) установления природы физических полей на серопроявлениях и месторождении Малетойваямского серного узла;

г) выявления связи физических полей изучаемых объектов с их положением в структуре узлов;

д) определения круга геологических процессов, решаемых геофизическими методами при картировании и поисках.

е) изучения региональных закономерностей магнитного и гравитационного полей Северо-Камчатского сероносного района;

ж) установления геологической природы выявленных закономерностей и определение их роли в формировании тектонической и минерагенической структуры района;

з) установления региональных закономерностей размещения серы и прогноз сернорудных узлов в районе и частных условий локализации месторождений в узлах;

Методика исследования заключается в статистическом анализе физических полей с последующим сопоставлением результатов интерпретации с имеющимися геологическими материалами, что позволило установить геологическую причину возникновения поля. Такой путь, определив независимость изучения физических полей, дал возможность, как будет показано, получить новые геологические результаты. Основу интерпретации составляли качественный анализ особенностей и соотношений физических полей и количественные математические критерии, полученные при разделении потенциальных полей (методом осреднения) и статистической обработки данных. Статистически обработаны также результаты измерений физических свойств пород на образцах и в скважинах.

ГЛАВА IV. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕРЫ В СЕВЕРО-КАМЧАТСКОМ СЕРОНОСНОМ РАЙОНЕ

Применение комплекса геофизических методов при детальных поисках серных залежей на площади Малетойваямского сернорудного узла рассматривается на примере участков, отражающих минеральную миграционную зональность измененных пород в его рудоконцентрирующей структуре. Они характеризуют все три типа объектов, встречающиеся в практике поисков: участки промышленной концентрации серного оруденения – Центральный и Юбилейный участки Малетойваямского месторождения; участки непромышленной концентрации серы – Тюлюльваямское, Лигинмываямское и Такайпинское серопроявления; участки бессерных измененных пород – участок. Заречный. Данные по применявшимся на них методам приведены в табл. 13. Изложение дано в хронологическом порядке исследований, которое отражает стадии разработки и их геологические результаты.

IV.1. Центральный участок сульфидно-серного оруденения. Малетойваямское месторождение

IV.1.1. Геологическая характеристика

Массив изменённых пород участка приурочен к узлу пересечения разрывов северо-северо-восточного (30^0) и северо-западного (330^0) направлений, являющихся элементами рудоконтролирующей и рудоконцентрирующей структур узла. Измененные породы образованы по толще туфов среднего состав, залегающих с падением $10\text{-}12^0$ к юго-востоку. Бурением на участке установлены две залежи, обрамленные по флангам безрудными аргиллизированными (глинистыми) породами (рис.28), которые также подстилают и на неэродированной части участка перекрывают их.

В северной части участка руды выходят под рыхлые отложения - это эродированная часть верхней залежи. Её приближённый контур ограничивается скважинами: 35, 44, 11, 28, 23, 5, 6, 42, 2, 24. Мощность наносов здесь не более 20 м. На остальной части участка к югу, востоку и западу залежи перекрыты глинистыми породами мощностью 30-80 м и более. Залежи располагаются этажом в северной и центральной частях массива, и «расщепляются» на два ответвления - юго-восточное и юго-западное - в южной части. Они разделены безрудными прослоями аргиллизированных пород мощностью 10-50 м, иногда, до 50-70 м.

Мощность осернённых пород массива составляет 130-150, иногда, 170 м (скважины 15, 20, 1 и др.). Мощность верхней залежи в среднем 80-110 м, её подошва залегает на глубинах примерно от 40 до 130-160 м. Отмечается тенденция уменьшения мощности залежи вверх по восстанию (с юга на север) рудовмещающей толщи. Нижняя залежь залегает на глубинах 80-150 в пределах эродированной северной части, и на глубинах более 150-180 м - в южной части (скважины 60, 29, 48 и др.).

Руды залежей приурочены к алунитовым серным и серным кварцитам, каолинито-алунито-кварцевым породам. Среднее содержание серы в рудах верхней залежи 15-20%, сульфидов железа - 10-13%. Сульфиды тяготеют к верхней части залежи, встречаясь (в ограниченном количестве) и в аргиллизированных бессерных породах. Внутри залежей установлены многочисленные до- и внутрирудные нарушения северо-восточного и северо- западного, главным образом, направлений. Восточное и западное ограничения залежей участка являются тектонически-

ми, близкие к субвертикальным. Новейшими движениями унаследован дорудный план трещиноватости.

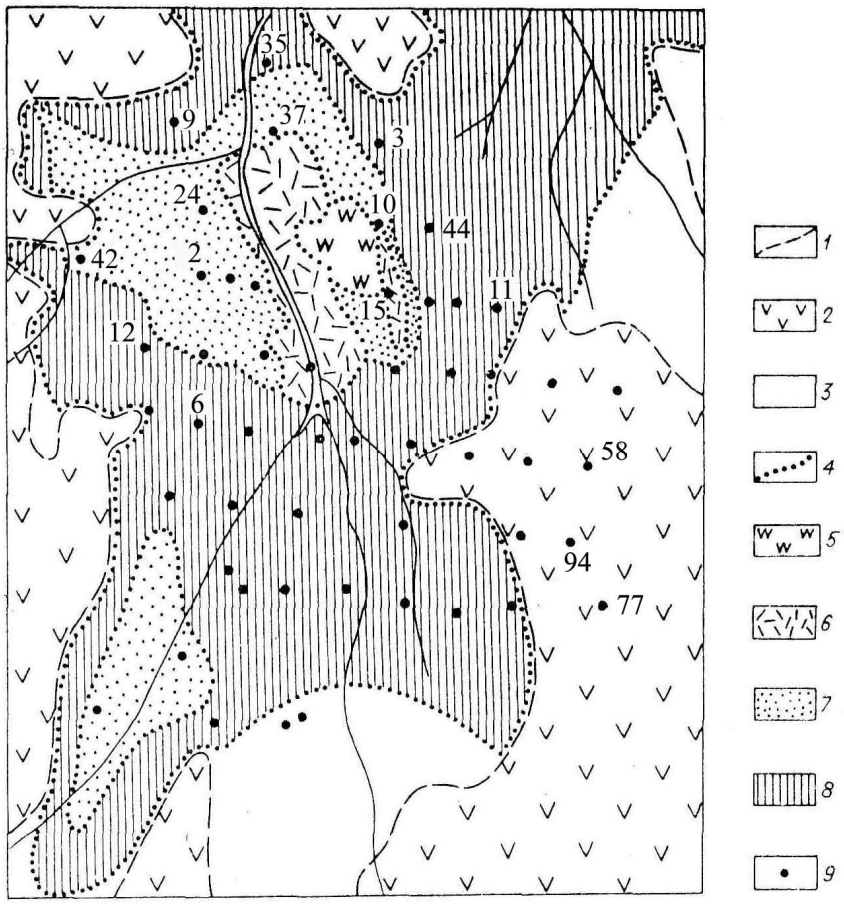


Рис.28. Литологическая карта
Центрального участка Малетойваямского месторождения [41]

Неизменённые породы: 1 - литологические границы; 2 - андезиты; 3 - туфы андезитов, туфоконгломераты, туфопесчаники. *Гидротермально-изменённые породы – вторичные кварциты:* 4 - литологические границы; 5 - монокварциты с сульфидами и серой; 6 - сульфидно-серные алунитовые кварциты; 7 - каолинит-кремнистые породы; 8 - аргиллизированные породы (туфы); 9 - разведочные скважины

IV.1.2. Магнитное поле

Магнитное поле участка и прилегающей площади принципиально резко различно: на первом - отрицательное, на втором - положительное. Как в отрицательном, так и в положительном полях отмечаются локальные, преимущественно линейные аномалии другого знака (рис. 29, 30).

Отрицательное поле установлено везде, где вскрыты изменённые породы. Интенсивность аномалии в среднем -300 + -400 гамм, при «размахе» значений от -100 до -750 гамм. Переход в положительное поле на флангах аномалии, как правило, резкий. Аномалия обладает градиентным характером поля, выраженным закономерным увеличением интенсивности минимума в направлении с севера на юг. В её пределах широко распространены линейные минимумы различной интенсивности. Они развиты по всей площади и, по существу, создают аномалию участка. Оси корреляции минимумов простираются в двух направлениях - 30^0 и 330^0. Длина их - 150-250 м, ширина - 50-150 м. Горизонтальные градиенты на их границах достигают 25-30 гамм/м. Простирание минимумов подчёркивается ана-

логичным простиранием повышений поля между ними, также линейных. Наиболее отчётливо выражается линейная структура аномалии участка на картах трансформант (разностных).

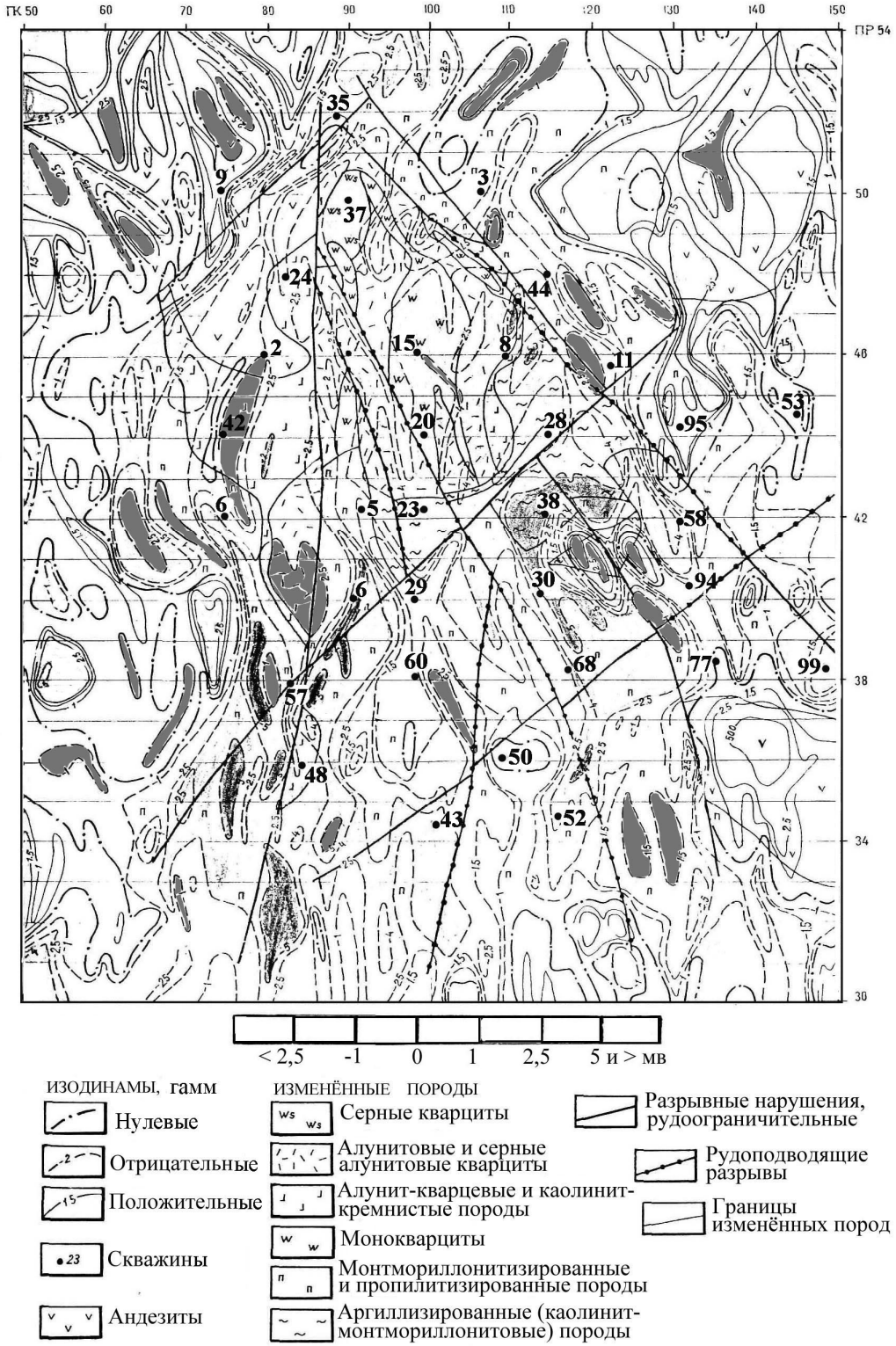


Рис. 29. Схема геологического строения и магнитное поле Центрального участка Малетойваямского месторождения (по материалам Камчатского ТГУ)
Примечание: выборочно залиты аномалии, подчёркивающие элементы северо-восточных и северо-западных разрывных структур узла

Методика геофизических и сопутствующих исследований
на месторождениях и проявлениях Северо-Камчатского сероносного района

Таблица 13

№ п/п	Объекты	Методы и модификации						Прочие Геофизические методы (опытные методы)	Физические свойства	Электрокаратаж	Сопутствующие, детализационные, заверочные работы
		Магнитая съёмка, сеть, м	ЕЭП сеть, м	ВЭЗ сеть, м d, м	ЭП проф d, м	ВП					
						ВЭЗ проф. d, м	ЭП проф. ильн. d, м				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Уч. Центральный Малетойваямского месторождения	50x10	50 x 10	сеть 100x50 d=100	20	200, 100	20	Гравиметрия d = 20м, КМПВ	да	да	Бурение, ОВП, гидрохимия
2	Уч. Юбилейный Малетойваямского месторождения	50x100	50x100	200x100 d=100	20	100	20	Гравиметрия d = 40м, КМПВ	да	да	то же
3	Район рудного поля Малетойваямского узла	200-100x10	200-100x10	d=100	20	-	-	Гравиметрия d = 20-60м, КМПВ	да	да	Поисковые геол. маршруты, гидрохимия
4	Тюлюльваямское проявление узла	200x10	100x10	d=100	-	-	-	-	да	нет	Геологич. съёмка м-ба 1:10000, гидрохимия, бурение
5	Лигинмываямское проявление узла	200x10 200x20	200x10	d=100	-	-	-	-	да	да	Поисковые геол. маршруты, гидрохимия, ОВП, бурение
6	Такайпинское проявление узла	100x10	50x10	d=100	-	-	-	-	да	да	Поисковые геол. маршруты, ОВП, бурение
7	Заречный участок узла	100x10	100x10	d=100	-	100	-	-	нет	нет	Поисковые геол. маршруты, бурение

Пояснения к таблице 1. ВЭЗ на всех объектах производилось симметричными установками с АВ=1000-1500м, а на Центральном участке дополнительно (в процессе опытных работ) трёхэлектродной установкой с АО=500-700м 2. Электропрофилирование выполнялось симметричной установкой с АВ=130, 240 и 300м 3. ВЭЗ-ВП проводилось трёхэлектродной установкой с АО=500-700м, электропрофилирование ВП - установкой срединных градиентов с АВ=300м 4. В «графе физические свойства» показано изучение плотности и магнитности образцов пород 5. ОВП - измерение окислительно-восстановительных потенциалов и pH в почвах 6. Гидрохимическое опробование проводилось в источниках и водотоках с выполнением анализов на месте отбора пробы

Положительное поле, обрамляющее аномалию, неоднородно. Интенсивность его в среднем 250-350 гамм, отдельные максимумы достигают 500-750 гамм. Поле зачастую «рассекается» линейными аномалиями интенсивностью 100-200, иногда 400-500 гамм. Простирание их осей 30^0 и 330^0, в этих же направлениях ориентированы и другие элементы поля.

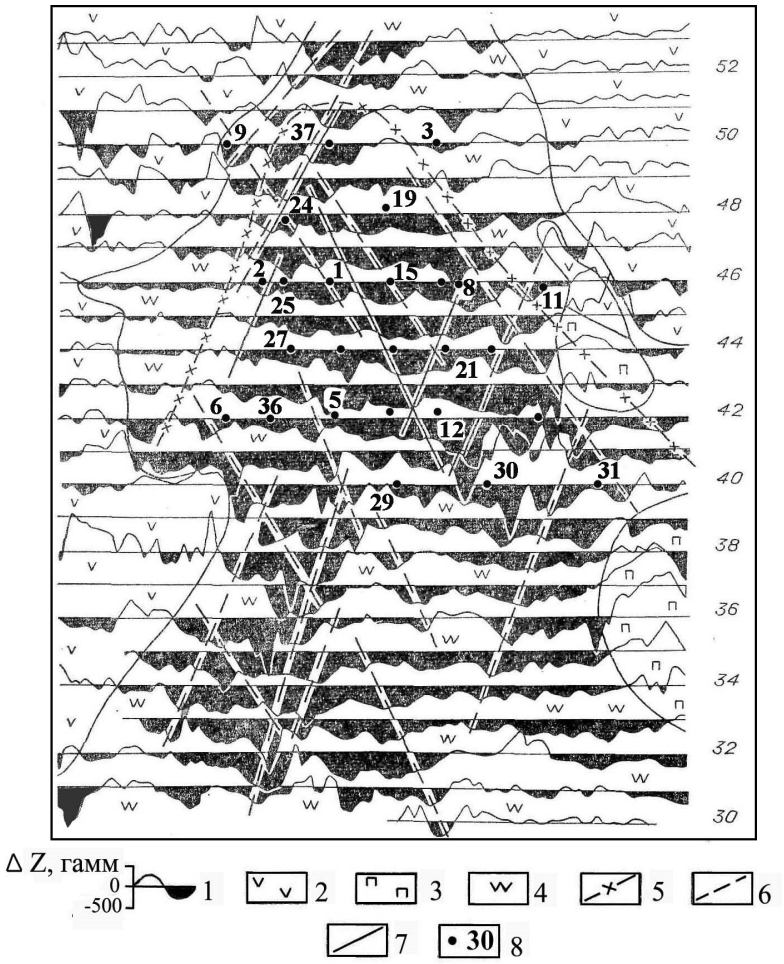


Рис. 30. Графики Δ *Z* Малетойваямского месторождения серы.
Центральный участок (по А.И. Кириллову, 1966; Г.П. Яроцкому, 1966-1967)

1 - графики магнитного поля; 2 - эффузивы; 3 - пропилитизированные породы; 4 – вторичные кварциты нерасчленённые; 5 - контур сульфидно-серной залежи разведанной части месторождения;6 - оси корреляции минимумов магнитного поля - предположительно осевые линии зон дорудной трещиноватости; 7 - разрывные нарушения, зоны дроблений и трещиноватости по данным бурения; 8 - скважины и их номера

Отрицательная аномалия участка создана толщей изменённых пород. Это устанавливается по прямым корреляционным связям интенсивности поля и мощности пород центральных фаций участка, показанным на рис. 32-33. При построении зависимостей использовались наблюдённые и осреднённые (по 5 точкам) значения поля. Мощность определялась по данным бурения как достоверная - если скважина вышла за пределы толщи, и как экстраполированная - в недобуренных скважинах. Во втором случае отмечена интересная закономерность - экстраполированные с учётом падения пластов глубины ложились на линию, соединяющую те скважины, которые расположены вдоль конкретных осей корреляции линейных минимумов отрицательной аномалии. Это скважины: 16, 20, 28, 65, 33; 58, 22, 41, 8, 54, 26; 23, 18, 30, 45, 25 и др.

График на рис. 31 объясняет эту закономерность, обусловленную природой линейных минимумов. Положение минимумов связывалось ещё ранее – до буре-

ния с максимальной мощностью изменённых пород, приуроченных к субвертикальным дорудным нарушениям [62]. Разные размеры нарушений - от отдельных трещин до зон, отразились в ширине минимумов. Повышенные поля между минимумами обусловлены уменьшением мощности изменённых пород между нарушениями.

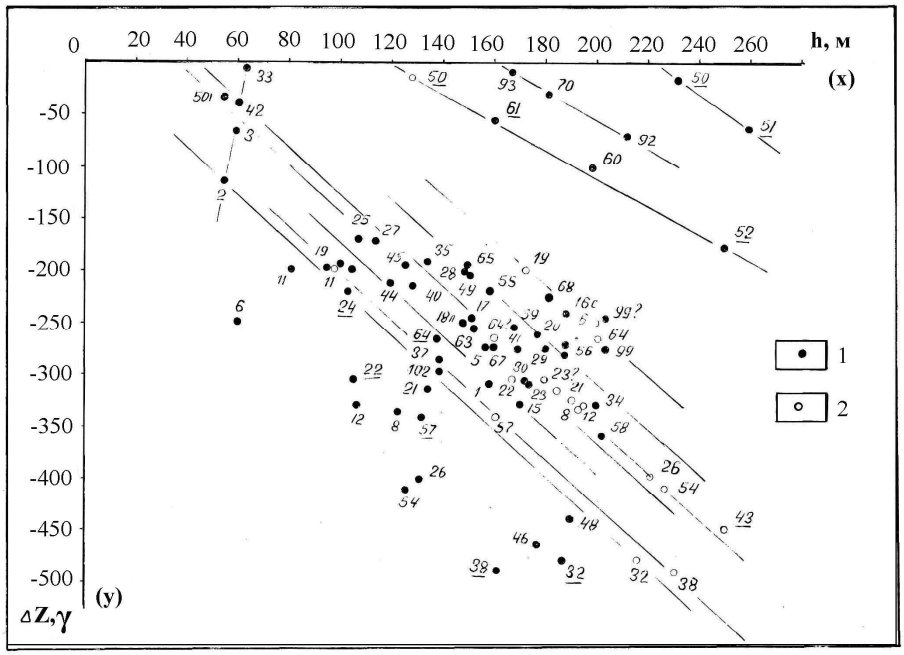


Рис. 31. Связь магнитного поля и глубины залегания подошвы центральных фаций кварцитов Центрального участка Малетойваямского месторождения

1 - глубина залегания подошвы центральных фаций по скважинам; 2 - глубина залегания подошвы центральных фаций с учетом интерполяции и экстраполяции
Уравнения регрессии: 1 - y = -1,770x+(-12,125); 2 - y = -1,990x+56,098

Как известно, каналы подъёма растворов фиксируются в приповерхностной части разреза отложением монокварцитов. Происходит это в зоне нарушений, контролирующих максимум пустот в толще пород [17, 29], вследствие вскипания раствора при резком падении их давления и температуры. На участке ряд осей корреляции линейных минимумов контролируется маломощными пластами монокварцитов, вскрытыми скважины 18, 20, 21, 95, 17 и др. Некоторые из них могут быть представлены секущими субвертикальными телами (рис. 42, 43).

Простирание линейных минимумов фиксирует дорудные нарушения, которые установлены также геологическими наблюдениями на поверхности [4]. Северо-западные нарушения установлены и по бурению как серия рудоподводящих и рудоограничительных (по А. Е. Конову, 1972 г.) разрывов. В ряде случаев оси корреляции минимумов совмещаются с пострудными (новейшими) нарушениями, что подтверждает унаследованность последними дорудного разрывного плана участка.

Вернёмся к рассмотрению рис. 31 и 32. Ряд скважин располагается на графиках вне общей закономерности. Часть из них пробурена вблизи пострудных нарушений, осложнивших распределение поля ─ скважины 51, 52, 61, часть других - расположена в местах локального увеличения на поверхности мощности магнитных неизменённых пород ─ скважины 50, 70, 93. Эти скважины при анализе корреляционных связей не учитывались. Группа скважин оказалась недобуренной ─ скважины 12, 21, 102, 63, 11, 42, 32, 34, 8 - данные этих скважин при расчётах также не учитывались.

При анализе связи магнитного поля и глубины залегания подошвы кварцитов расчёты проведены для случаев определения глубины по скважинам и с учётом экстраполяции (рис. 31). В первом случае коэффициент корреляции равен - 0,703, во втором случае - 0,880 (при n = 55). При уровне значимости 0,05 проверка по критерию Стьюдента показывает существенное отличие коэффициентов от нуля, т.е. связь является надежной [60]. Градиент падения интенсивности поля в первом случае равен -1,77 гамм/м, во втором ─ -1,99 гамм/м.

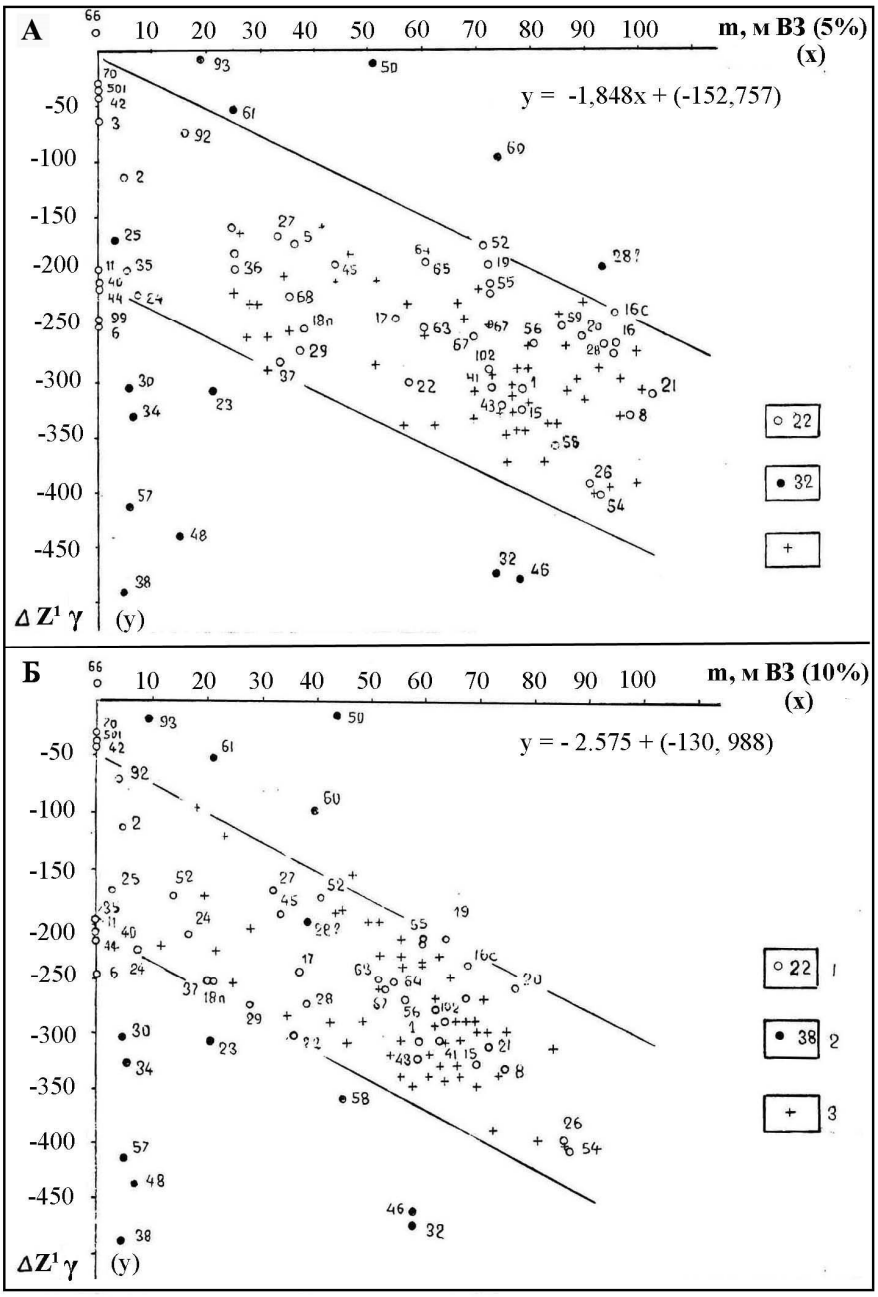


Рис. 32. Зависимость осредненного магнитного поля и мощности верхней залежи Центрального участка Малетойваямского месторождения

А - при бортовом содержании серы в верхней залежи 5%,
Б - при бортовом содержании серы в верхней залежи 10%
1 - мощность по скважинам; 2 - то же по скважинам в зонах нарушений; 3 - то же, по определениям между скважинам по профилям 42, 44, 46 (см рис.37)

График на рис. 32 показывает связь осреднённого поля с мощностью верхней залежи при бортовых содержаниях серы 5 и 10%. Здесь по многочисленным скважинам получена прямая корреляционная зависимость, дополняемая промежу-

точными точками (точки взяты через 10 м между скважинами). Для первого случая (рис. 32-А) коэффициент корреляции равен -0,702 (n = 97), для второго (рис. 32-Б) ─ -0,750 (n = 87), по критерию Стьюдента связь надёжна.

Видно, что с увеличением бортового содержания коэффициент корреляции растёт, падает дисперсия распределения значений магнитного поля т.е. связь проявляется ещё более, чем при меньшем бортовом содержании. Вертикальный градиент падения интенсивности поля в первом случае равен -1,85 гамм/м, во втором ─ -2,58 гамм/м.

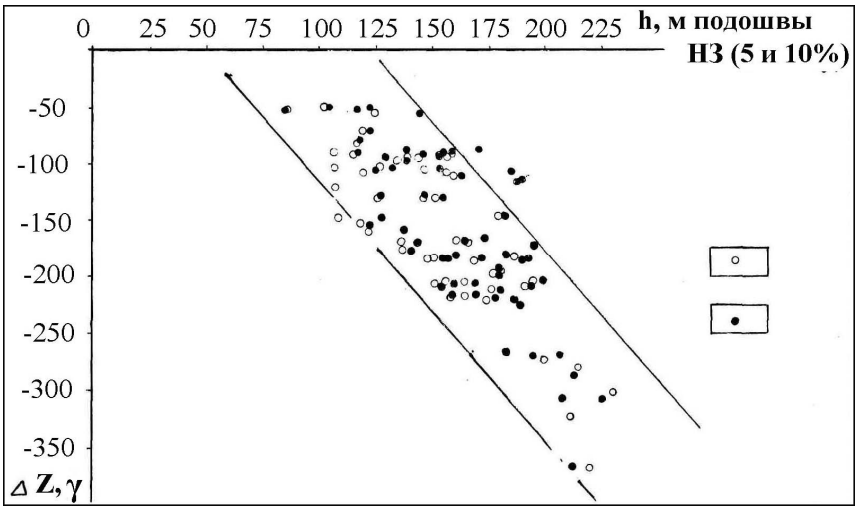


Рис. 33. Связь магнитного поля и глубины залегания подошвы нижней залежи Центрального участка Малетойваямского месторождения
1 - для залежи с бортовым содержанием серы 10%;
2 - для залежи с бортовым содержанием серы 5%;
Примечание: Использование скважины по профилям 42, 44, 48, 50 (см. рис. 28)
Уравнение регрессии: 1 - y = -1,937x+17,875; 2 - y = - 1,810x+7,800

Ещё более тесная взаимосвязь магнитного поля установлена в случае его корреляции с глубиной залегания подошвы нижней залежи участка, т.е. общей мощностью пород центральных фаций. Для первого случая (рис. 33-1) коэффициент корреляции равен -0,796 (п = 55), для второго (рис. 33-2) ─ -0,727 (п = 60), значимость связи по критерию Стьюдента - надёжная. Градиент падения интенсивности поля в первом случае равен -1,94 гамм/м, во втором ─ -1,81 гамм/м.

Во всех рассмотренных случаях распределение параметров подчинено нормальному закону. При сравнении вертикальных градиентов отмечается, что наибольший градиент равен случаю, когда исследуется связь поля и мощности рудного тела (рис. 32-Б). Связи аналогичные или близкие к изображённым на рис. 31-33 были получены на рабочих графиках, где исследовалась зависимость магнитного поля от глубины подошвы верхней и нижней кровли нижней залежи, их суммарной мощности и т.п. С другой стороны, было установлено отсутствие каких-либо закономерностей между интенсивностью и знаком поля и разных сочетаний мощности безрудных гидротермально-изменённых пород.

Интересно рассмотрение магнитного поля участка в связи с его блоковым строением. По данным В.Д. Дмитриева (1970г.) площадь, заключённая в контуре скв. 35-3-11-38-43-48-6-42-24 контролируется современным поднятием с максимальной амплитудой до 50 м относительно прилегающей территории. Серией сбросо-сдвиговых нарушений северо-восточного и северо-западного направлений поднятие разбито на ряд более мелких блоков. Сопредельная площадь, где фиксируется положительное магнитное поле, расположена в опущенных блоках, в них происходило накопление неизменённых эффузивов, либо они не подверглись ме-

тасоматозу. Границы между блоками имеют то же простирание, что на площади отрицательной аномалии участка (рис.37).

IV.1.3. Естественное электрическое поле

На эродированной части участка выявлена отрицательная аномалия ЕЭП. Интенсивность аномалии от -15 + -25 мв до -150 + -200 мв, а обрамляющего положительного поля - около 20 мв (рис 34). Центральная часть аномалии в интервалах профилей 46-44 обладает интенсивностью около -30 + -45 мв, южная - в интервале профилей 43-40 - около -50 + -70 мв. Общим для них является их равная ширина (в меридиональном направлении) - около 200 м (рис 34).

В пределах аномалии фиксируются линейные минимумы наибольшей интенсивности аномалии. Они отчётливо коррелируются в двух направлениях - северо-восточном ($25\text{-}35^0$) и северо-западном (330^0). Длина осей корреляции от 200 до 400-450 м. Характерно, что оси прослеживаются через всю аномалию, не являясь принадлежностью какой-либо её части. Ширина отдельных линейных минимумов около 50-100 м, она относительно постоянна вдоль оси корреляции.

Прежде чем перейти к анализу поля, приведём краткую характеристикугидрохимической обстановки на участке. Здесь выделяются два водоносных горизонта.

Первый горизонт (грунтовых вод) питается за счёт поверхностного стока и, отчасти, подземными водами, проникающими по нарушениям. Их общая минерализация - 50-70 мг/л, основной состав - катионы натрия, калия, кальция, ионы сульфата, pH вод 6,5-7,1.

Иной состав вод второго водоносного горизонта (подземных вод). На участках окисления руд общая минерализация достигает 400-480 мг/л при содержаниях компонентов: натрия и калия - 106-225, окисного железа - 3,0-3,5, закисного железа - 5-8, сульфат-иона - 220-228, HCO_3 - 12-97 мг/л; pH вод - 2,6-3. В этих условиях железо, алунит, гипс переходят в подвижное состояние и мигрируют [28].

В подземных водах глубоких горизонтов (скважина 40, глубины - 25, 75 и 128 м) общая минерализация остаётся значительной - 194-568 мг/л при pH = 4-7,1. Отмечается падение с глубиной содержания окисного и закисного железа до 1,6 мг/л, HCO_3 - до 11 мг/л и рост содержания сульфат-иона: 25 мг/л - 25 м, 65 мг/л - на 75 м, 345 мг/л - на 128 м. Особенностью вод горизонтов 75 и 128 м является наличие сероводорода (индикатора восстановительной среды), присутствие свободной углекислоты и увеличенная жёсткость по отношению к грунтовым водам и водам окисляющихся участков (1,65 - 2,77 мг/экв против 0,31 - 0,44 мг/экв).

Таким образом, на участке по вертикали развиты зоны свободной циркуляции поверхностных вод, окисления и с восстановительной средой. Рассмотрим кратко зону окисления пород и руд.

В зоне скважин 17, 19, 25, 1, 15, 16, 8, 27, 18, 20, 21, 36 и др. на глубине до 20 м вскрыты сильно пористые, трещиноватые и сыпучие алунитовые кварциты с низким содержанием серы и сульфидов. В скважинах 18, 20, 27 до глубины 21 м установлена интенсивная лимонитизация. На западном фланге участка окислению подвержены убогие руды в трещиноватых каолинито-кварцевых породах.

Сопротивление руд залежи этой части участка по данным каротажа составляет 500-20000 омм, по данным ВЭЗ - 300-900 омм. Пористость, наличие сульфидов железа (в виде прожилков и сажистой пропитки) и обводнённость способствуют возникновению в рудах залежи электронной и ионной проводимости. В целом же, по отношению к проводящим вмещающим аргиллизированным породам (сопротивление менее 200 омм), залежь остаётся непроводником, что является одним из условий возникновения и сохранения минимума ЕЭП [8, 43]. По данным каротажа

скважин 1, 8, 15, 16, 20, 21, 22, 24 и др., а также ВЭЗ на эродированной части залежи, мощность горизонта высокого сопротивления, связанного с рудами и залегающего под первым маломощным горизонтом низкого сопротивления, достигает 50-100 м.

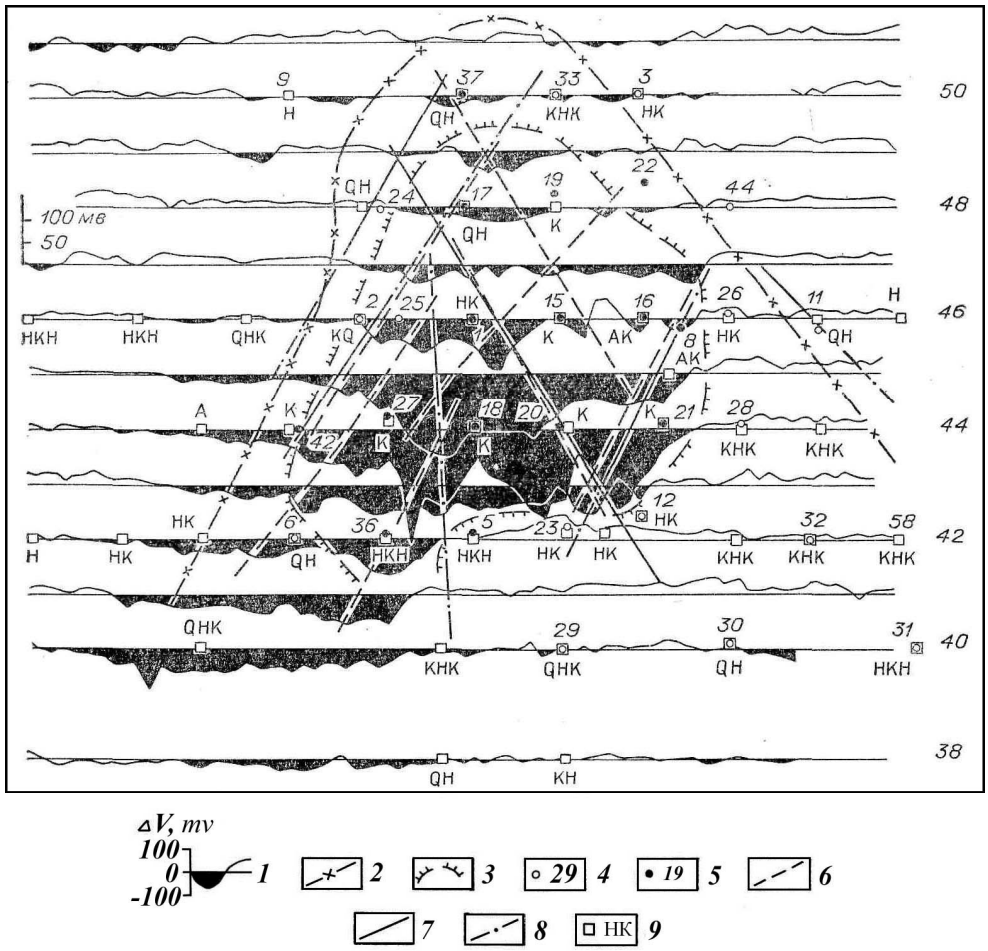


Рис. 34. Графики ЕЭП Малетойваямского месторождения серы
Центральный участок (по Г.П. Яроцкому, 1967 г)

1 - графики ЕЭП; 2 - контур сульфидно-серной залежи месторождения; 3 - граница эродированной части залежи; 4 - скважины и их номера; 5 - скважины, вскрывшие окисленные сульфидно-серные руды; 6 - оси корреляции минимумов ЕЭП; 7 - зоны дробления и трещиноватости; 8 - то же, предполагаемые; 9 - точки и типы кривых ВЭЗ. Примечание: 7, 8 - по данным бурения

Таким образом, совокупность данных показывает наличие на участке теоретических предпосылок возникновения окислительно-востановительных (электрохимических) процессов [8, 43, 44]. С целью выявления возможных изменений поля ЕЭП, связанных с иными процессами, в 1967 г. съёмка ЕЭП на участке была проведена дважды: весной - после снеготаяния, и летом - после засушливого периода. Наблюдения совпали как между собой, так и с результатами съёмки 1965 г. Это отвергает не электрохимическую природу отрицательной аномалии.

Природа минимумов ЕЭП была подтверждена изучением pH и Eh поровых растворов грунтов по профилям 44 и 46 участка, проведённом автором совместно с Г.П. Поляковым. Теоретическое положение о главной роли потенциалопределяющих факторов, концентрации водородов и ионов, образующих буферные окислительно восстановительные системы [43], нашло отражение в корреляционных связях: прямой для Eh и pH, и обратной - для Eh и ЕЭП.

Какова вероятность электрокинетического механизма образования отрицательной аномалии участка? Как известно, заметные поля фильтрации могут

наблюдаться при условии отсутствия в разрезе хорошо проводящих вмещающих пород. Кроме того, для полей фильтрации характерна неустойчивость во времени [25, 43]. Как видно из вышеизложенного, участок характеризуется иными условиями, которые отвергают возможность образования аномалии за счёт электрокинетических процессов.

Установив электрохимический механизм возникновения аномалии, рассмотрим её особенности. Интенсивность аномалии определяется глубиной залегания грунтовых вод [44]. На участке они фиксируются на отметке 240 м. На площади, где они ниже этой отметки, аномалия ЕЭП равна -10 + -20 мв (скважины 9, 24, 17, 37). На эродированной части участка, расположенной выше этой отметки, повсеместно наблюдается отрицательное поле интенсивностью -50 + -100 мв и более - скважины 25, 1, 27, 18 и др. В них верхняя кромка сульфидно-серных руд расположена на глубинах 5-20 м, т.е. выше уровня грунтовых вод.

Статический уровень грунтовых вод на участке по наблюдениям в скважинах оказывается на разных отметках, а изменение уровня вод относительно кромки руд приводит к нарушению теоретического распределения возникшего электрического потенциала. Максимальные колебания вод приурочены, естественно, к зонам нарушений. Интенсивно обводнённые, они представляют собой хорошо проводящие вертикальные пласты по сравнению с блоком пород, заключенном между ними. Таким образом, возникают неоднородности, приводящие к искажению нормального распределения потенциала и выраженного в образовании аномалий с локальными минимумами над поляризованными проводниками [8].

Именно к зонам нарушений, установленным в ряде мест бурением, приурочены оси корреляции линейных минимумов ЕЭП. Симметричный и градиентный характер поля минимумов показывает, что нарушения являются субвертикальными. Это, а также то, что бурением фиксируются в большинстве случаёв лишь нарушения со смещением пластов, объясняет отсутствие показа нарушений по данным бурения везде, где есть оси корреляции ЕЭП. Там же, где фиксируются значительные вертикальные смещения, положения нарушения и оси корреляции совпадает (скважины 24, 1, 20 и скважины 8, 21, 23 - на рис. 34).

Отмеченное выше разделение аномалии участка на три части также обусловлено разным уровнем грунтовых вод на участке. Центральная часть аномалии (скважины 25, 1, 27, 18, 20, 21) приурочена к наиболее возвышенной части участка. Здесь глубина кровли руд равна 5-20 м. т.е. выше уровня вод. На южной (скважины 6, 36, 5) и северной (скважины 22, 19, 17) частях аномалии руды залегают на глубинах, превышающих 30 м, т.е. ниже уровня вод. Вероятно, на разделении аномалии сказались нарушения без горизонтального смещения широтного плана, установленные по данным морфометрии между профилями 45 и 44, 43 и 42 (рис. 37).

Отсутствие отрицательной аномалии ЕЭП на остальной части участка обусловлено погружением залежи на юг под толщу глинистых пород мощностью более 50-80 м, которые препятствуют проникновению поверхностных вод к рудам, сохраняя их от окисления.

IV.1.4. Геоэлектрический разрез ВЭЗ

На участке проведены параметрические зондирования по девяти профилям скважин, пересекающим эродированную и скрытую его части в широтном, меридиональном и диагональных направлениях. На эродированной части участка распространены кривые типа К, редко АК; на скрытой - типов НК, НКН, КНК. Фланги участка характеризуются типами Н, НК, QНК, QН (рис. 34). Отмечается значительная анизотропия разреза, в особенности, на флангах залежей. Особенно-

стью разреза является большие значения параметров μ и ν, и изрезанность кривых ВЭЗ, исключающие количественную интерпретацию большинства кривых с удовлетворительной точностью по теоретическим палеткам.

Первая группа кривых типа К (АК) установлена на скважинах 19, 1, 15, 16, 8, 27, 18, 20, 21. Здесь руды верхней залежи залегают под наносами мощностью до 20 м. Сопротивление наносов по данным ВЭЗ 100-200 омм по данным каротажа - 50-150 омм (рис. 35, 36). Они образуют первый геоэлектрический горизонт. Второй горизонт связан с рудами верхней залежи. По данным каротажа мощность горизонта от десятков до сотни м. Кажущееся сопротивление, определённое по стандартным зондам для пластов большой мощности, равно 500-5000 омм. По данным ВЭЗ мощность горизонта достигает 110 м, а сопротивление - 900 омм. Третий, опорный, горизонт низкого $p_к$ связан с толщей безрудных глинистых пород, разделяющих верхнюю и нижнюю залежи.

Группа кривых НК (НКН) установлена на скв. 3, 26, 12, 34, 23, 5,36. Здесь руды перекрыты рыхлыми отложениями и аргиллизированными породами мощностью до 50 м. Первые составляют первый горизонт высокого, вторые - второй горизонт низкого сопротивления. Третий горизонт - высокого сопротивления - связан с рудами верхней залежи. Опорный горизонт низкого сопротивления представлен глинистыми породами, разделяющими первую и вторую залежи. В случае неглубокого залегания нижней залежи (по отношению к максимальному АВ установки ВЭЗ) опорным является горизонт высокого $p_к$ бесконечной мощности, связанный с рудами нижней залежи. Мощность всех геоэлектрических горизонтов на участке не выдержана и меняется даже при расстояниях между точками ВЭЗ равных 50-100 м.

В случае сложного строения толщ безрудных пород кривые на неэродированной части участка приобретают многослойный вид КНК, QНК (скв. 28, 32, 58, 29, 41, 30, 61 и др.). Здесь руды отражаются вторым горизонтом высокого $p_к$.

На периферии месторождения, где руды отсутствуют, распространены кривые типов Н, НК, QН, QНК (скв. 37, 9, 11, 24). Здесь горизонты низкого сопротивления связаны с глинистыми породами, а высокого - с рыхлыми отложениями и безрудными каолинит-кварцевыми породами (на западном фланге). Появление на кривых горизонта высокого сопротивления может быть обусловлено также влиянием руд, если разносы ориентированы вкрест флангов залежи, т.е. связано с влиянием вертикальных границ раздела. Это особенно хорошо видно на кривых трёхэлектродных ВЭЗ, поставленных на флангах залежи. Так, кривые типов НК, КНК, полученные на восточном фланге при восточной ориентировке разносов, меняются на кривые типа К - при западной ориентировке. Обратная картина устанавливается на западном фланге (Г.П. Яроцкий, 1970 г.).

Геолого-геофизические разрезы на рис. 35 и 36 показывают хорошую разрешающую способность ВЭЗ (ЭП) при изучении руд верхней залежи эродированной части участка. Это производится как по характерному типу кривых, так и по величине сопротивления второго горизонта, в 3-10 раз превышающего сопротивление безрудных глинистых пород.

На неэродированной части участка величина сопротивления руд часто бывает меньше сопротивления перекрывающих безрудных пород. Это обусловлено экранирующим влиянием вышележащих толщ и нахождением руд в глубоко восстановительной гидрохимической среде [28]. Но и в этом случае выделение руд производится уверенно по характеру (типу) кривых. Примером служит ВЭЗ №№ 310, 256, 309, 308 (рис. 35). Второй горизонт высокого $p_к$ здесь связан с рудами, а последовательное смещение его максимума вниз отвечает погружению залежи к востоку.

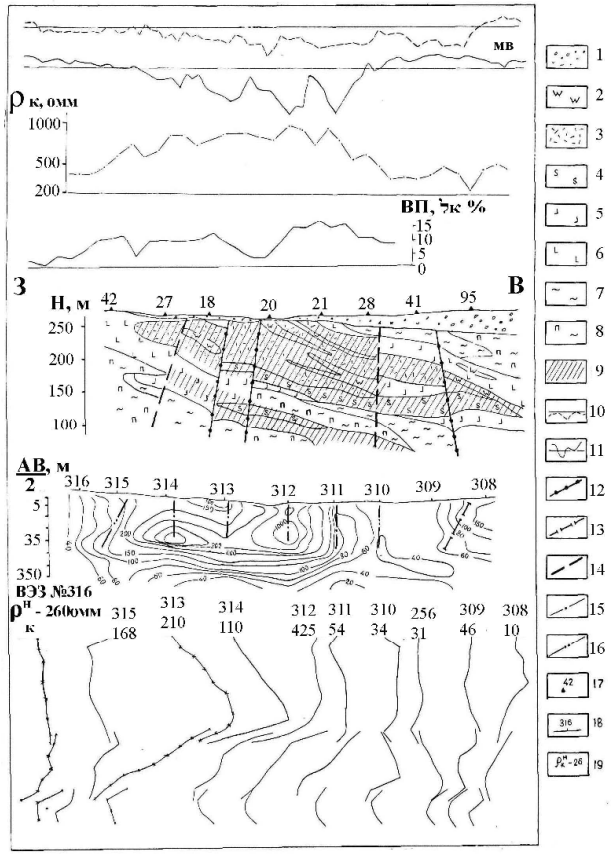


Рис. 35. Геолого-геофизический разрез по линии скв. 42-95
Центрального участка Малетойваямского месторождения

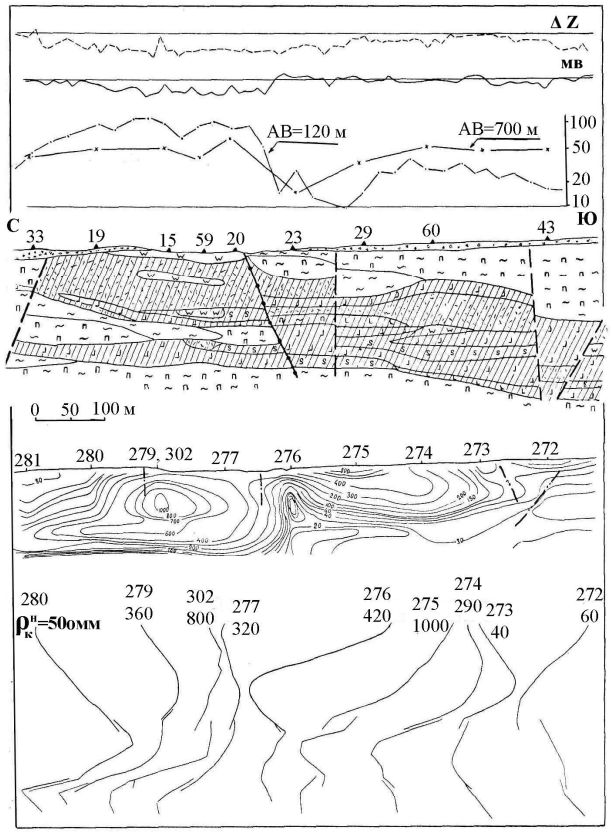


Рис. 36. Геолого-геофизический разрез по линии скв. 33-43
Центрального участка Малетойваямского месторождения.
Профиль меридиональный (рис)

1 – аллювиально-делювиальные отложения; 2 – монокварциты; 3 – серные алунитовые кварциты; 4 – серные кварциты; 5 – каолинито-алунито-кварцевые породы; 6 – каолинито-кварцевые породы; 7 – каолинто-монтмориллонитовые породы; 8 – монтмориллонитизированные и пропилитизированные породы; 9 – сульфидо-серные руды залежей; 10 – график магнитного поля, в 1 см 625 гамм; 11 – график ЕЭП, в 1 см 125 мв; 12 – рудопроводящие разрывы, по данным бурения; 13 – рудопроводящие разрывы по геофизическим данным (магнитометрии и КМПВ); 14 – рудоограничительные разрывы по данным бурения; 15 – разрывы по данным ЕЭП; 16 – разрывы по данным ВЭЗ и структурно-геоморфологическим; 17 – скважины; 18 – точки ВЭЗ, их номера; 19 – начальные значения сопротивления на кривых ВЭЗ

Подобная картина отмечается на рис. 36, где руды фиксируются опорным горизонтом высокого $p_к$ (ВЭЗ №№ 274, 273, 272). Рассмотренные примеры характерны и для других профилей ВЭЗ участка.

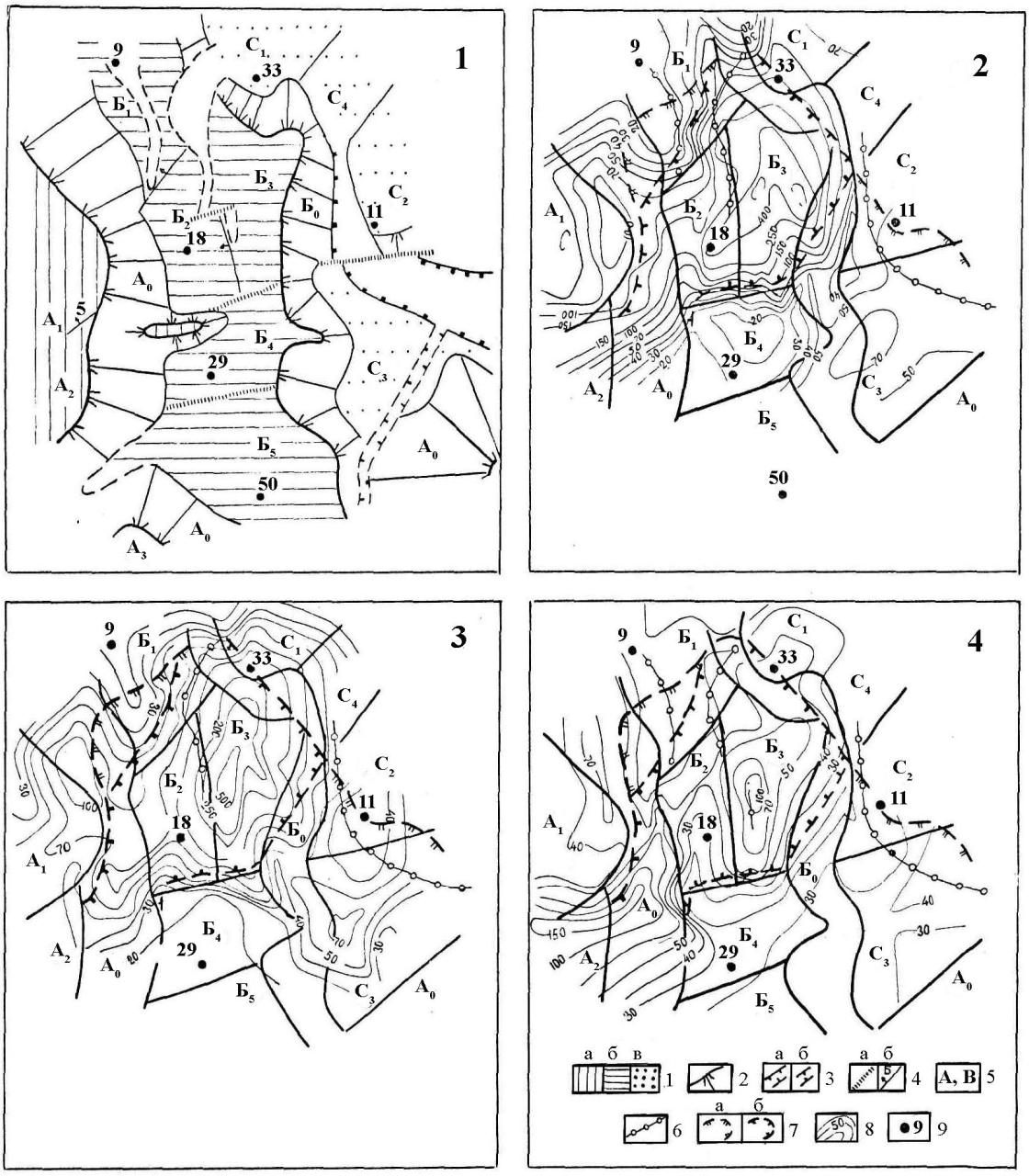


Рис. 37. Сопоставление сечений геоэлектрического поля ВЭЗ и дочетвертичного рельефа Центрального участка Малетойваямского месторождения
(по Г.П. Яроцкому и В.Д. Дмитриеву, 1971 г.)

1 – схема дочетвертичного рельефа участка; 2 – план изоом по данным установки ВЭЗ на АВ=100 м; 3 – то же, на АВ=190 м; 4 – то же, на АВ=500 м
1 – поверхность дочетвертичного рельефа на абсолютных отметках: а – 265-260 м, б – 245-240 м, в – 235-230 м; 2 – ступени и уступы, частично тектонического происхождения; 3 – бровки долин – а, глубокие тальвеги – б; 4 – нарушения: сдвиги – а, сбросы с указанием направления падения и амплитуды смещения – б; 5 – блоки; 6 – боковые тальвеги; 7 – контур верхней залежи – а, то же, выходящей по рыхлые отложения – б; 8 – изолинии сопротивления по данным ВЭЗ; 9 – скважины

Планы изоом на разных горизонтальных сечениях разреза участка показывают совпадение аномалии высокого $p_к$ с эродированной залежью. На планах видно се-

веро-восточное и северо-западное простирание изоом (рис. 37), соответствующее простиранию изодинам.

Геоэлектрическое поле, равно как и положение залежей в разрезе, тесно связано с блоковой структурой участка. Сопоставление схемы дочетвертичного рельефа и изоом подтверждает связь сопротивлений с определёнными фациями изменённых пород и рудами (рис. 37). Слабо приподнятый блок Б контролирует безрудные изменённые породы (скв. 24) и останцы неизменённых эффузивов (скв. 9), фиксируемые сопротивлением до 30-40 омм. Блок $Б_2$ - более приподнятый, контролирует распространение серных алунитовых кварцитов, в том числе с промышленным оруденением - их сопротивление 70-400 омм. В блоке $Б_3$ на поверхности фиксируются монокварциты, ниже которых залегают руды верхней залежи. Их сопротивление падает с глубиной в несколько раз - от 400-900 до 40-100 омм, оставаясь наибольшим на участке. В блоке $Б_4$ и $Б_5$ развиты глинистые породы с сопротивлением 20-40 омм. Находит отражение на планах изоом и уступ поверхности рельефа на отметках 245-240 м, выработанной в изменённых породах восточного фланга участка (блок Б).

Отражены и блоки $С_1$ - $С_4$, характеризующие наиболее погружённые части залежи. Здесь на АО = 25 м фиксируются глинистые породы с $p_к$ = 50-700 омм; на АО = 95 м - руды верхней залежи с $p_к$ = 30-70 омм; на АО = 250 м - глинистые породы с $p_к$ = 30-40 омм, подстилающие верхнюю залежь. Блоки $А_1$ - $А_3$ сложены, в основном, глинистыми и пропилитизированными породами с $p_к$ = 20-100 омм. Исключение составляет полоса повышенного сопротивления (100-150 омм), простирающаяся к юго-западу от скв. 18. К ней приурочено поле ЕЭП интенсивностью -50 + -75 мв, и магнитный минимум (к юго-западу от скв. 6). Это даёт основание считать вероятным нахождения здесь руд. Добавим, что на юге блока $А_0$ руды вскрыты в скв. 57.

IV.1.5. Геоэлектрический разрез ВП

Вызванная поляризация на участке изучалась параметрическими ВЭЗ - ВП и ВП-профилированием. Основанием к постановке метода служит парагенезис серы и сульфидов железа. Сопоставление разрезов скважин и кривых ВЭЗ - ВП показывает тесную связь сульфидизации и поляризуемости.

На эродированной части залежи кривые ВЭЗ - ВП отражают многослойное строение среды типов АКН, АК, К, на скрытой - типов НАА, НКН. Особенностью кривых являются зависимость их типа от распределения сульфидов в разрезе, и различие в величине поляризуемости при незначительном изменении формы кривых, полученных при широтном и меридиональном направлениях разносов АВ. Последнее связано с положением точки ВЭЗ относительно границ залежи, т.е. с различным распределением сульфидов разреза в плане. Характерные типы кривых участка, распределение серы и сульфидов в скважинах (по данным химанализа) и данные интерпретации показаны на рис. 38, 39.

Количественная интерпретация кривых ВЭЗ - ВП разработана особо сложна для разреза типа А и сред, поляризуемость которых не превышает 10-15%. Поэтому, руководствуясь [24], мы опирались и на фактическое распределение сульфидов по скважине. Данные интерпретации по первому горизонту приведены в табл. 14. Из таблицы и рисунков видно, что определение кровли сульфидизированных пород с удовлетворительной точностью проводится по месту пересечения кривой ВЭЗ-ВП линией значения $ƀ_к$ = 1%. Это свидетельствует о том, что значение $ƀ_к \geq 1\%$ является фоновым. Что касается глубины залегания нижележащих горизонтов сульфидизации, то их определение по точкам перегиба кривых также

удовлетворительно. По семи кривым определение 15 параметров дало среднюю относительную разность менее 8% (при допустимой 10%).

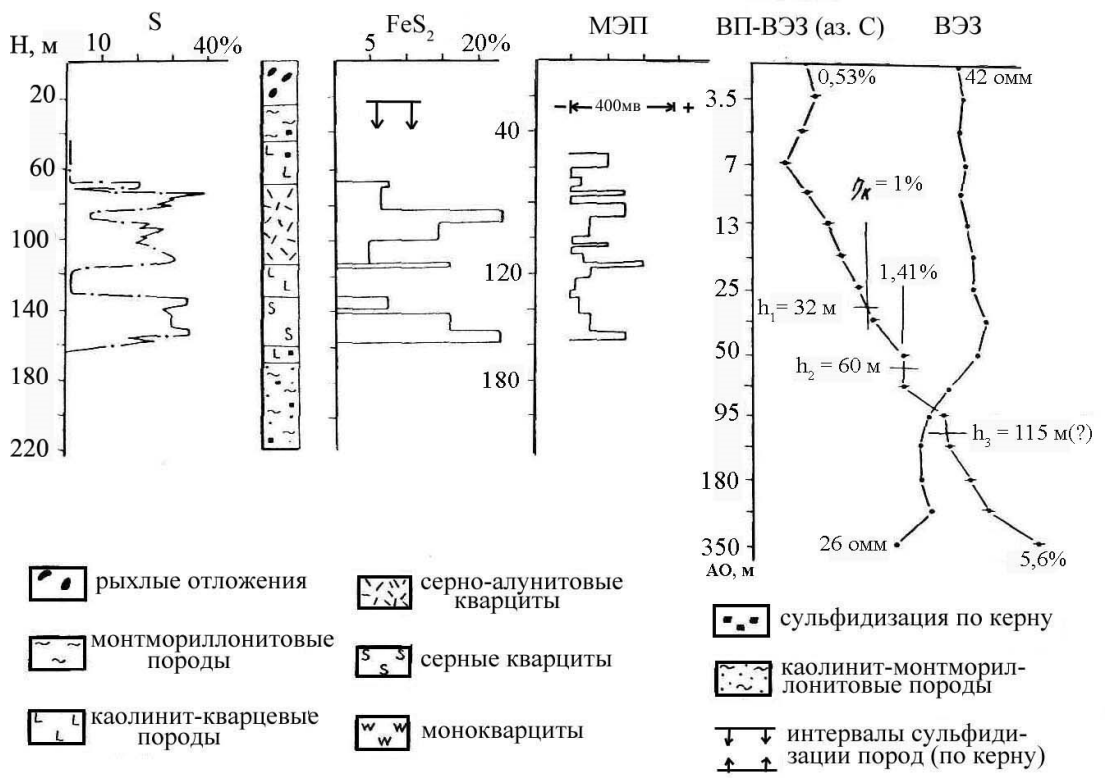


Рис. 38. Геолого-геофизический разрез по скважине 58
Центрального участка Малетойваямского месторождения

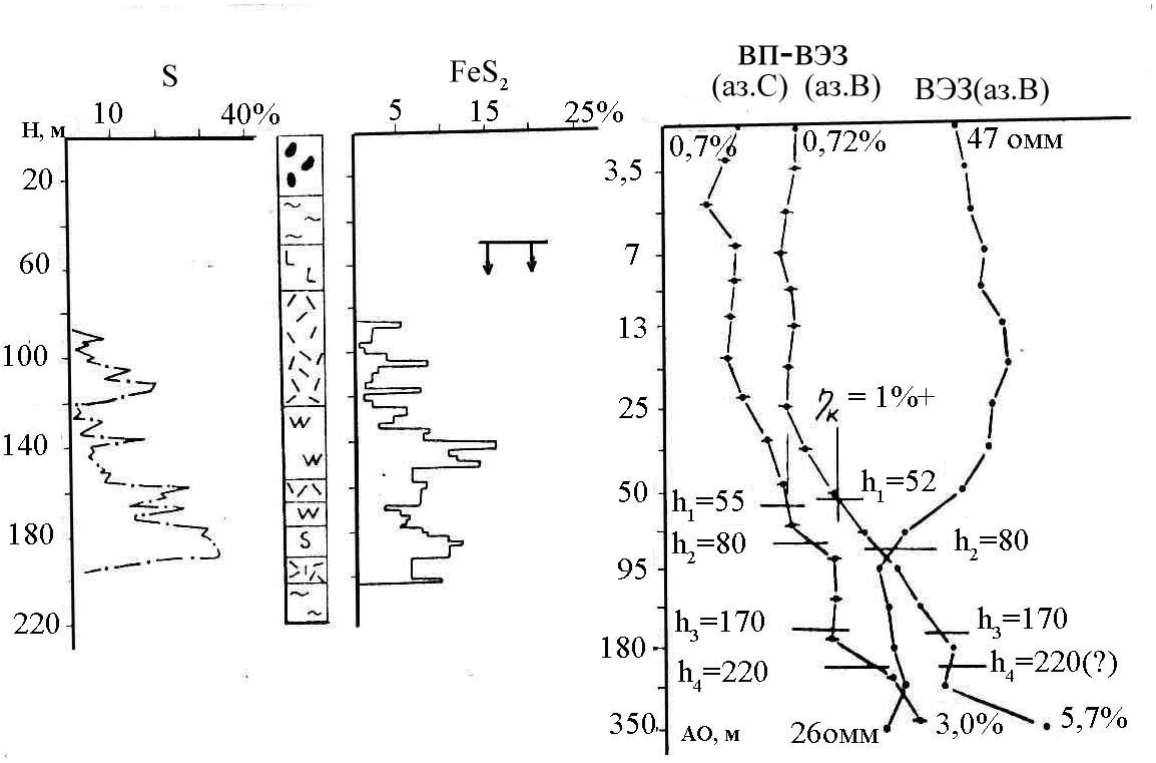


Рис. 39. Геолого-геофизический разрез по скважине 41
Центрального участка Малетойваямского месторождения

По материалам ВП – профилирования устанавливается контур распространения сульфидизации изменённых пород – аргиллизированных и кварцитов (рис. 39). Граница сульфидизации, принятая по значению $\eta_к$ = 1%, совпадает с данными бурения (скважины 11, 42, 501). Аномалия ВП в среднем составляет 5-8%, достигая 10-17% (скважины 1, 8, 20, 21).

Результаты интерпретации кривых ВП-ВЭЗ (по первому горизонту).
Участок Центральный Малетойваямского месторождения

Таблица 14

Скважины	Азимут ВП-ВЭЗ, градусы	Глубина начала сульфидизации по керну скважин, м	Значение Квп на этой глубине по кривой ВП-ВЭЗ, %%	Глубина, определённая по значению Квп=1%, м		Относительная разность (ошибка) определения глубины по кривой ВП, %
				по ВЭЗ	средняя	
1	355	3,5	1,08	3,5	3,6	2,8
	96		0,94	3,8		
5	355	32	1,90	29	32	0,0
	96		0,80	35		
18	355	4	1,05	3,5	3,8	5,1
	96	4	0,96	4,5		
27	355	18	0,82	20	20	10,5
37	96	нет свед.				
41	355	30	0,96	32	32	6,5
42	350	18	0,96	19	19	5,4
58	355	50	0,97	55		
	96	50	0,97	52	54	7,5
Примечание: Средняя относительная ошибка интерпретации - 8%						

Особенностью графиков ВП – ЭП является то, что аномалии ВП почти повсеместно совпадают с границами магнитного минимума, и везде шире минимума ЕЭП участка. При выходе профиля в область положительного магнитного поля интенсивность аномалии ВП резко падает до 0,6-1%. Связано это с выходом профиля на неизменённые породы, т.е. точка перегиба графика характеризует контакт изменённых и неизменённых образований. Превышение размеров аномалии ВП над шириной минимумов ЕЭП связано с тем, что методом ВП фиксируются сульфиды как в эродированных, окисляющихся, так и скрытых, неокисляющихся частях месторождения, в то время как минимумы ЕЭП связаны лишь с окисляющимися рудами эродированной части залежи [64, 68].

Сводный геолого-геофизический разрез по Центральному участку Малетойваямского месторождения приведён на рис. 40.

IV.1.6. Поле силы тяжести

Гравиметрическая высокоточная съёмка проведена на участке по шести комплексным профилям (магнитометрия, ЕЭП, ВЭЗ, ЭП, КМПВ). Приведённые на рис 44 графики являются типичными для участка (положение профилей см. на рис. 29 и 34, а детальный геологический разрез - на рис. 7 и 35). На всех профилях установлена приуроченность максимума к приподнятым блокам эродированной части участка. В ряде случаев межблоковые нарушения отражаются локальными минимумами на кривой.

Максимумы хорошо согласуются с минимумами магнитного поля и границей раздела изменённых и неизменённых пород в разрезе, определённой по КМПВ (об

этой границе подробно будет сказано). Особенностью гравитационного поля участка является чёткое отражение западной границы залежи. На восточном и южном флангах поле малоградиентное и определение границы рудного тела становится неопределённым. Аналогичные соотношения установлены по профилю 50, а также профилям скважин 6-3; 37-32; 37-5-48, здесь не приводимыми.

Совокупность данных показывает связь гравитационных максимумов на всех профилях участка с тощей высокоплотных существенно кварцевых пород с рудами. Их контакт на западе участка с малоплотными аргиллизированными породами создаёт хорошую плотностную границу (0,2-0,45 г/см$^{3)}$. Погружение залежи под субгоризонтально залегающую толщу глинистых пород приводит к сглаживанию плотностной разности и слабовыразительному безградиентному полю.

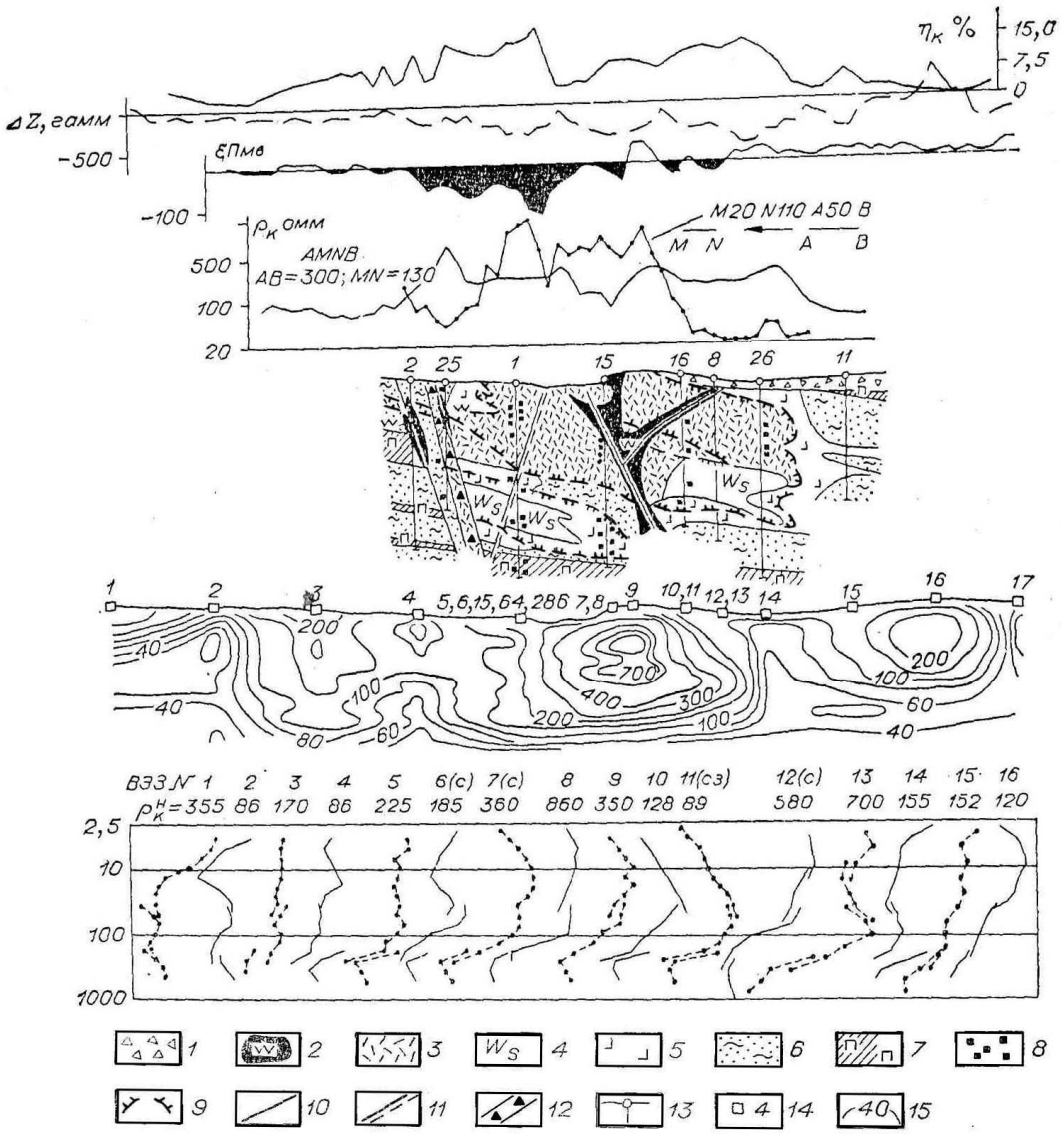


Рис. 40. Сводный геолого-геофизический разрез по линии скважин 2 – 11 Малетойваямского месторождения серы. Центральный участок

1 - рыхлые отложения; 2 - монокварциты; 3 - алунитовые кварциты с пиритом и каолинитом; 4 - серные кварциты; 5 - каолинит-кварцевые породы с серой или сульфидами; 6 - аргиллизированные породы; 7 - пропилитизированные породы; 8 - сульфиды; 9 - конутуры сульфидно-серного оруденинния с бортовым содержанием серы 5%; 10 - осевые линии дорудных нарушений; 11 - зоны интенсивной трещиноватости; 12 - зоны пострудного дробления; 13 - скважины; 14 - точки ВЭЗ; 15 - изолинии кажущихся сопротивлений.

Примечание. 10 - 12 - по данным бурения (А.Е. Конов, 1972 г.)

IV.2. Юбилейный участок серно-сульфидного и полиметаличенского оруденения. Малетойваямское месторождение

Участок выявлен по результатам геофизических исследований летом 1967 г. в 2,5 км к юго-востоку от Центрального. Участок расположен в широкой корытообразной долине р. Правый Малетойваям.

IV.2.1. Геологическая характеристика

На поверхности участка распространены изменённые породы, простирающиеся в северо-западном направлении и обрамлённые с востока и запада узкими полосами неизменённых вулканитов (рис. 41). В центральной части развиты монокварциты и серицит-кварцевые породы, узкой полосой протягиваются каолинит-кремнистые породы. Появление серицита отличает эти породы от алунитовых Широко распространены аргиллизированные и пропилитизированные образования..

Разрез изменённых пород представлен сложным чередованием пород сероносных и бессерных фаций. Из-за редкой сети скважин установление закономерностей в распространении фаций затруднено. Лишь по линии скважин 10-17 и 7-3 достоверно устанавливается мощная зона монокварцитов в плане шириной около 100 м. В обе стороны от зоны в разрезе установлены две залежи, мощностью по вертикали от 3 до 60 м, разделённые безрудными породами мощностью 15-70 м (см. рис. 9). Залежи на флагах скважинами не оконтурены. Кровля сероносных пород погружена на юго-восток, находясь на глубине от 20 м (скважина 4) до 110 м (скважина 3).

Руды залежей представлены серными и алунитовыми (с серицитом) серными кварцитами, монокварцитами и каолинит-кремнистыми породами. Мощность верхней залежи 15-30 м, иногда - до 100 м (скважина 7). Монокварциты являются слабопористыми высокоплотными образованиями. Среди них выделяются сульфидно-кварцевые породы со значительным количеством сульфидов железа, достигающим иногда 30-40%. До 5% пирита содержат серные и алунитовые серные кварциты.

Изменённые породы участка разбиты рядом нарушений на блоки. Выделяются три блока, в которых устанавливается принципиальная общность строения залежей: западный (скважины 10 и 7), центральный (скважины 1, 4, 5) и восточный (скважины 11, 17, 3). В опущенных западном и восточном блоках руды погружены под толщу безрудных глинистых пород мощностью до 200 м. В приподнятом центральном блоке-куполе выходят на поверхность породы центральных фаций и руды верхней залежи. Здесь предполагаемая глубина подошвы пород центральных фаций не более 300 м (В.Д. Дмитриев, 1970 г.). Напомним, что на японском месторождении Нумадзири серные залежи приурочены к складке, имеющей на глубинах 60-75 м форму купола [22].

Массив изменённых пород участка обводнён по системе нарушений и оперяющих их трещин, уровень вод на участке не глубже 25 м (скважина 2). По данным гидрохимического опробования водотоков на северной части участка распространены подземные воды с pH = 5,4-6,8, содержанием сульфат-иона до 5 мг/л, закисного и окисного железа до 0,5 мг/л. На южной части воды характеризуются pH = 4-5,7, количество сульфат-иона возрастает до 30 мг/л, закисного железа - до 3 мг/л.

Характернейшей особенностью поля является полное подобие полю Центрального участка. Отрицательная аномалия имеет форму прямоугольника, ориентированного на северо-запад. Интенсивность поля в среднем -300 ─ -400 гамм при «размахе» от -150 до -750 гамм. Отмечается плавный рост отрицательного поля в направлении с севера на юг. Переход отрицательного поля к положительному относительно постепенный, иногда - резкий, в особенности на юго-западном и северо-восточном флангах. Интенсивность положительного поля 200-500 гамм, иногда достигает 750 гамм. (Уровень нормального поля единый для обоих участков).

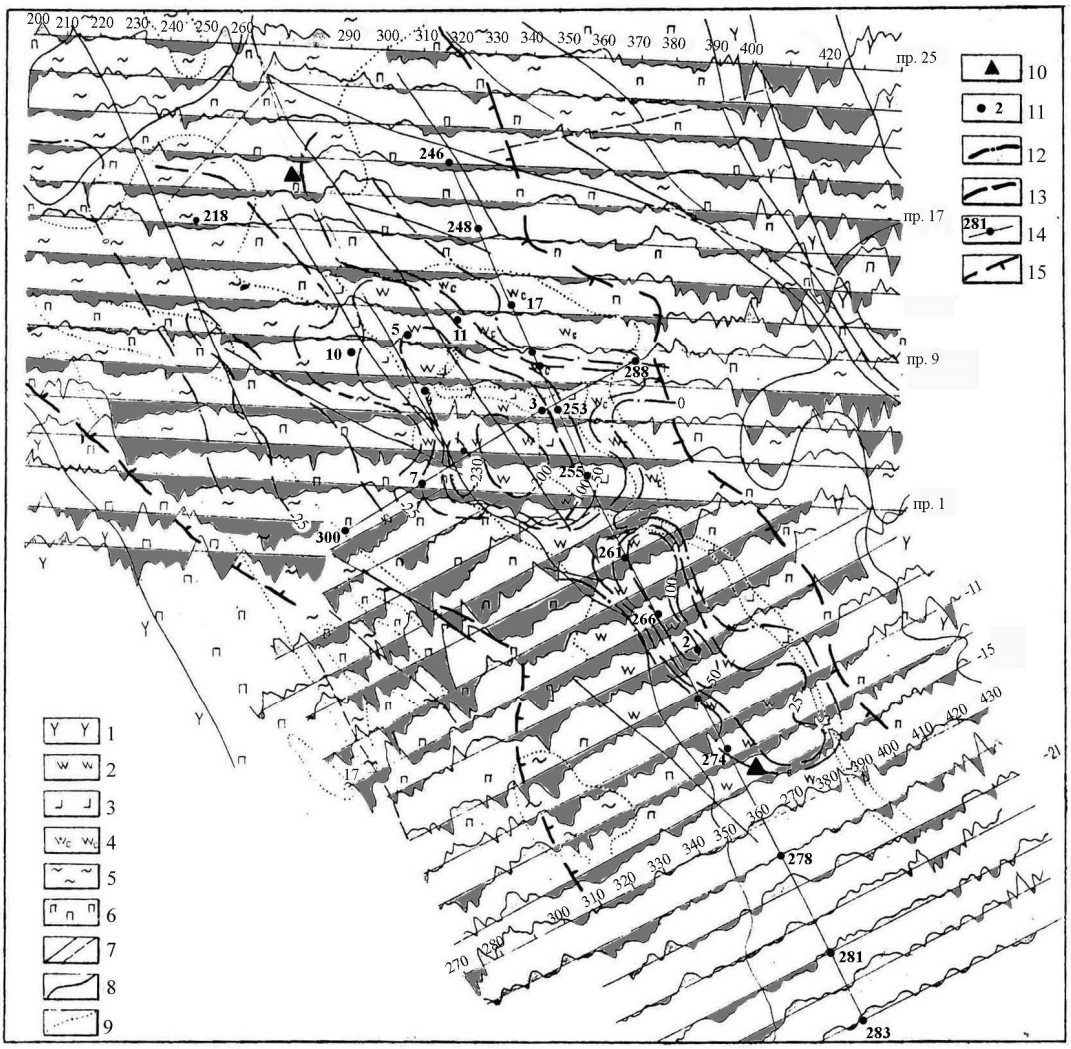


Рис. 41. Схема геологического строения и физические поля
Юбилейного участка Малетойваямского месторождения

1 - андезито-базальты; 2 - монокварциты; 3 - каолинито-кварцевые породы; 4 - серицито-кварцевые породы; 5 - аргиллизированные породы; 6 - пропилиты; 7 - разрывные нарушения: установленные и предполагаемые; 8 - литологические границы; 9 - границы фаций измененных пород; 10 - проявления серной минерализации; 11 - скважины; изолинии естественных электрических потенциалов; 12 - нулевые; 13 - отрицательные; 14 - профили ВЭЗ и ВЭЗ-ВП; 15 - предполагаемый контур распространения оруденения по комплексным геофизическим данным

Аномалия создана толщей изменённых пород, вскрытых всеми скважинами участка. Увеличение интенсивности аномалии в южном направлении отражает рост мощности изменённых пород. Так, в скв. 17 их мощность равна 123 м, в скважина 3 - более 221 м (скважина не вышла из кварцитов), скважина 2 остановлена в монокварцитах на глубине 225 м. Аналогичное распределение наблюдается

и по профилю скважин 10 - 7: в скважине 10 подошва (?) кварцитов, включающих две залежи, вскрыта на глубине 238 м; в скважине 7 (недобуренной) подошва второй залежи должна находиться на глубине 300-330 м при условии сохранения угла падения толщи.

На отрицательной аномалии выделяется ряд линейных минимумов поля протяжённостью 500-700 м и более, ориентированных на северо-запад (300^0) и, реже, на северо-восток (30^0), причём последним свойственна меньшая длина - 200-300 м. Отчётливое северо-западное простирание минимумов установлено и при съёмке по сети профилей, ориентированных на северо-запад, результаты которой здесь не приводятся. Минимумы обоих направлений часто пересекаются, ширина их - 150-250 м.

Убедительному доказательству природы линейных минимумов препятствует редкая сеть скважин на участке. Лишь для минимума, простирающегося вдоль профиля ВЭЗ между точками 225 и 274, установлена связь с толщей монокварцитов, вскрытых в скважине 2. Подобная зона вскрыта и в скважине. 5. Как известно, монокварциты фиксируют зоны дорудных нарушений [17, 36], что было доказано и на примере Центрального участка Малетойваямского месторождения. Совокупность данных даёт основание связывать и линейные минимумы Юбилейного участка с зонами дорудных нарушений.

Положительное поле за пределами отрицательной аномалии связано с неизменёнными андезитами и андезито-базальтами. Интенсивная изрезанность поля обусловлена сильной раздробленностью пород серией субпараллельных нарушений, ориентированных под углами 30^0 и 330^0.

IV.2.2. Естественное электрическое поле

Естественное электрическое поле (рис. 41) на участке представлено обширной интенсивной отрицательной аномалией северо-западного простирания. Она приурочена к отрицательной аномалии магнитного поля и состоит из двух минимумов - северного и южного. Разделение аномалии происходит в месте её «пережима» изолиниями - 20 мв (между ВЭЗ №№ 255 и 261). Общая протяжённость аномалии достигает по контуру нулевой изолинии 2500 м, по изолинии - 50 мв - 1500 м.

Северный минимум прямоугольного очертания интенсивностью до -300 + -410 мв. В его пределах выделяется несколько осей корреляции линейных минимумов (простирание 30^0 и 330^0). Протяжённость осей - до 450 м, ширина минимумов - 250-300 м. Аномалия асимметрична - на западном фланге отмечена узкая полоса интенсивного отрицательного поля, приуроченная к руслу реки Правый Малетойваям. Здесь переход к нормальному полю происходит с градиентом 3 мв/м. на остальной площади - переход плавный. Южный минимум - линейного типа размером 150х650 м, интенсивностью -100 + -125 мв. Переход в нормальное поле повсеместно (исключая южное окончание) резкий с градиентом 2 мв/м.

Отрицательная аномалия обрамлена нормальным полем интенсивностью 30-70 мв - вне зависимости от гипсометрического положения профилей (съёмка проведена на всей площади участка).

За исключением упоминавшегося минимума вдоль русла реки (вдоль линии скважин 5-4-1). остальная площадь аномалии расположена на удалении 100-200 м от него к востоку. Это ставит под сомнение фильтрацию, как возможный источник аномалии. Были рассмотрены геологические и гидрогеологические условия возникновения аномалии ЕЭП на Центральном участке. Все они свойственны и Юбилейному участку.

Так, по данным ВЭЗ в пределах аномалии ЕЭП мощность пород горизонта высокого сопротивления (300-1100 омм) составляет 130-180 м. В верхних частях разреза скважинами 1, 2, 3, и 4 установлены лимонитизированные породы. Интенсивное отложение лимонита происходит вдоль русла реки (на пр. 17-27). Измерения pH и Eh в грунтах по профилю 3 показали существование зависимости этих параметров и ЕЭП, аналогичных аномалии Центрального участка. И, наконец, сохранение знаков величины ЕЭП по данным повторных наблюдений (через год) свидетельствует о протекании на участке приподнятого блока залежей электрохимических процессов. Заметим, что подвижный электрод М опускался непосредственно в воду реки у пикета профиля и его потенциал держался постоянно в течение всего лета.

Связь аномалии ЕЭП с рудами хорошо видна в сопоставлении с геологическим строением участка. Северный минимум приурочен к выходу под рыхлые отложения монокварцитов, каолинито-кварцевых и серицито-кварцевых пород с серным и сульфидным оруденением. На их обрамлении, сложенном аргиллизированными и пропилитизированными породами, аномалия исчезает. Южный минимум в контуре изолинии - 50 мв связан с монокварцитами, выходящими под наносы в своде полукупольной структуры. Последняя с запада ограничена мощной зоной трещиноватости (В.Д. Дмитриев, 1970 г.). Это ограничение совпадает с изолинией - 25 мв.

Разрыв аномалии на два минимума (между ВЭЗ №№ 225 и 261) связан с мощной северо-северо-восточной (~ 45^0) зоной дробления шириной около 100 м, имеющей характер сбросо-сдвига. В этом месте в рельефе фиксируется уступ - северный минимум расположен гипсометрически на 10-15 м выше южного.

IV.2.3. Геоэлектрическое поле ВЭЗ

Геоэлектрический разрез участка характеризуется двумя группами кривых. Первая приурочена, главным образом, к отрицательной аномалии ЕЭП, вторая - установлена за ее пределами на площади отрицательной магнитной аномалии. Для участка характерна значительная анизотропия разреза, в особенности, на границах аномалии ЕЭП и периферии отрицательной магнитной аномалии.

Первая группа кривых характеризует многослойную среду QHKH и HKH. Это кривые по продольному профилю в интервале ВЭЗ №№246-255 и 261-278 (между ВЭЗ №№255-261, в месте разрыва аномалии ЕЭП на два минимума, установлены кривые QQH, QH, HKH). На поперечном профиле такие кривые установлены между скважинами 7 и 3 (рис. 42).

Данные электрокаротажа, разрезы скважин и качественная интерпретация кривых ВЭЗ дают основание рассматривать геоэлектрический разрез этой части участка в следующей общей схеме. Первый горизонт (высокого сопротивления) связан со слабо обводненными наносами мощностью до 10-15 м и ρ_2=300-2000 омм; второй горизонт (низкого сопротивления) связан с обводненными наносами и глинистыми породами, главным образом, мощностью 10-25 м и $\rho_к$ до 150 омм; третий горизонт (высокого сопротивления) связан с рудами верхней залежи. По данным ВЭЗ глубина залегания его подошвы 70-180 м, сопротивление 300-1100 омм; подошва четвертого горизонта (низкого сопротивления) лежит на глубинах более 90-180 м, он связан с глинистыми и пропилитизированными породами, разразделяющими залежи; пятый горизонт (высокого сопротивления и бесконечной мощности) является опорным и связан, видимо, с глубоко погруженными рудами нижней залежи.

Вторая группа кривых характеризует среду HKH, в которой отсутствуют высокоомные необводненные наносы. Отличием этой группы от первой является

резкое увеличение глубины залегания второго горизонта высокого сопротивления, что обусловлено увеличением мощности надрудного проводящего горизонта глинистых пород. В опущенных блоках, в скважине 7 их подошва вскрыта на 100 м, против 50 м в скважине 5. Второй особенностью является низкое сопротивление второго горизонта - 100-200 омм, против 300-1100 омм для кривых первой группы.

По данным ВЭЗ на участке устанавливается погружение подошвы второго горизонта высокого $\rho_к$ с севера на юг, вплоть до ВЭЗ №278, после которого фиксируется воздымание. Это согласуется с ростом интенсивности отрицательного магнитного поля и обусловлено увеличением мощности пород центральных фаций.

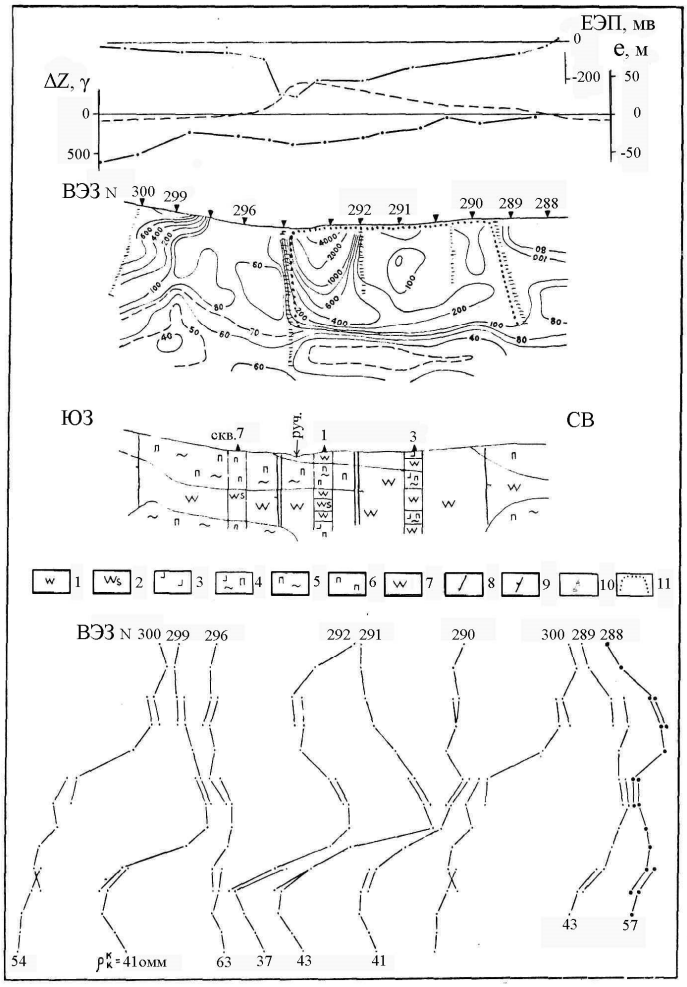


Рис. 42. Геолого-геофизический разрез по профилю скважин 7-3 Юбилейного участка Малетойваямского месторождения

1 - монокварциты; 2 - серные кварциты; 3 - каолинито-кремнистые породы; 4 - переслаивание каолинито-кремнистых, аргиллизированных и пропилитизированных пород; 5 - переслаивание аргиллизированных и пропилитизированных пород; 6 - пропилитизированные породы; 7 - существенно кварцевые породы, предполагаемые по геофизическим данным; 8 - нарушения, установленные по структурно-геологическим данным с указанием направления падения плоскости; 10 - зоны интенсивной трещиноватости, по структурно-геоморфологическим данным; 11 - контур структурной ловушки (полукупол), установленной по структурно-геоморфологическим данным

Выше было видно влияние блоковой структуры участка на распределение типов кривых ВЭЗ. В частности, на рис. 42 и 43 видна связь субвертикальных границ электрического разреза с нарушениями. При анализе рабочих планов изоом (АО=50, 100, 250, 500 и 750 м) отмечается приуроченность зон высокого сопротивления к центральному куполу. При этом, на планах изоом с АО до 250 м про-

стирание высокоомной толщи - северо-восточное, на планах с АО=500 и 740 м - северо-западное. Подобная смена простирания высокоомных зон с глубиной отмечена на месторождении р. Половинной (рис. 20). Видимо, на участке Юбилейном рудоконцентрирующую структуру пересекает одно из крупных нарушений северо-восточной ориентировки, контролирующее оруденение на глубине.

IV.2.4. Вызванная поляризация

Разрез участка характеризуется различными многослойными типами кривых ВЭЗ - ВП, отличительной чертой которых является нарастание поляризуемости с глубиной и анизотропия, в особенности на восточном окончании профиля (рис. 43).

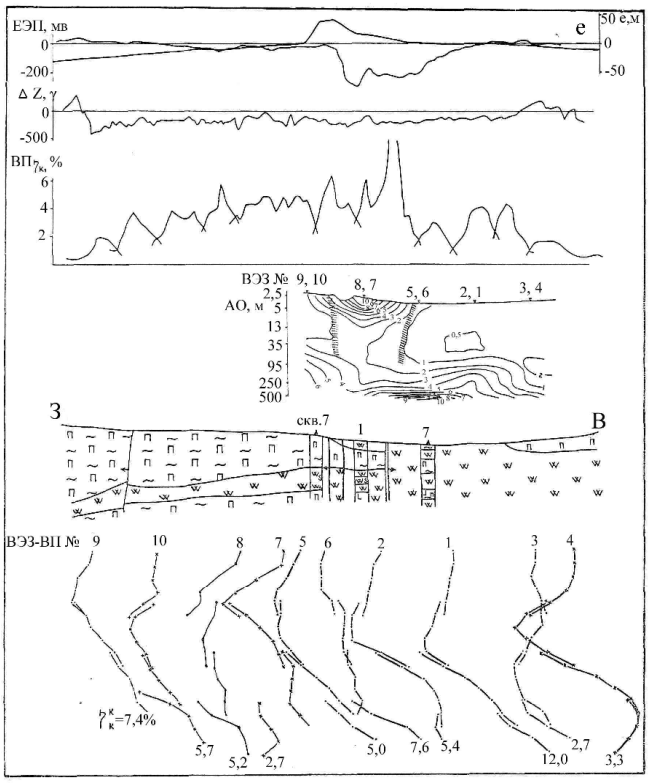


Рис. 43. Геолого-геофизический разрез по профилю ВП-ВЭЗ и ВП-ЭП Юбилейного участка Малетойваямского месторождения
Условные обозначения см. рис. 42

Сопоставление кривых с разрезами скважинами 7, 1 и 3, данными электрокаротажа и распределением сульфидов железа показывает связь аномалии поляризуемости с сульфидизацией. Начальные ветви кривых характеризуют увлажненные элювиальные отложения кварцитов. Второй горизонт второй горизонт низкой поляризуемости связан с безрудными бессульфидными (малосульфидными) аргиллизованными породами. Их поляризуемость менее 1%, мощность - 10-20 м. Нижележащие горизонты высокой поляризуемости связаны с сульфидами руд и вмещающих кварцитов. Коэффициент поляризуемости их достигает 10-12%, мощность значительна, так как на залежи опорным является горизонт высокой поляризуемости. В скважинах 1, 3, 7, 11 и др. сульфиды установлены до глубин 150-200 м и ниже.

По материалам ЭП - ВП сульфидизация распространена как на отрицательной аномалии ЕЭП, так и далеко за ее пределами и свойственна разрезу всей площади отрицательной магнитной аномалии. На всех профилях участка поляризуемость разреза резко падает от 5-2% до 1% и менее на границе отрицательного и положи-

тельного полей. Максимум поляризуемости приурочен к центральному блоку-куполу и южному полукуполу. Повсеместно отмечается асимметрия в распределении аномалии: пологое уменьшение интенсивности к западу, и резкое - на востоке. Это хорошо согласуется с поведением магнитного поля и блоковой структурой участка. Добавим, что на приведенном типичном профиле разрывные нарушения находят отражение, как на графиках ВП, так и на разрезах кажущейся поляризуемости.

IV.3. Малетойваямское рудное поле

IV.3 1. Сейсморазведка

Рассматриваемая площадь включает Центральный, Юбилейный и Юго-западный участки. Бурением изучены лишь площади этих участков, поэтому представления о строении остальной части рудного поля зиждутся на геологической интерпретации данных магнитометрии, ЕЭП, ВЭЗ, КМПВ. В частности, по КМПВ получены сведения о разрезе до глубин 500-700 м. Сейсморазведка проведена по пяти профилям, связывающим все участки поля. Два из них приведены на рис. 44 (СПР-1) и рис. 45 (СПР-2).

Волновая картина разреза характеризуется преломленными, дифрагированными и смешанными волнами, отражённые волны фиксируются крайне редко. Основываясь на физической сущности дифракции, В.Д. Бубнов (1970 г.) связывает возникновение дифрагированных волн с разрывами сплошности пород. При этом учитывалось, что чем ярче вертикальный градиент скорости (см. II.4), тем больше будет возникать центров дифракции. Их положение в вертикальной плоскости будет фиксировать предполагаемое нарушение.

На всех профилях КМПВ получены разрезы, подобные приведенным. Установлено две толщи: верхняя - с полным отсутствием центров дифракции, и нижняя - с многочисленными центрами. Отсутствие центров в верхней толще привело В.Д. Бубнова к мнению о распространении здесь изменённых пород с залеченной, в значительной мере, трещиноватостью. В нижней толще распространены породы с «раскрытой» трещиноватостью. Условно верхняя толща связана с изменёнными породами, нижняя - с неизменёнными.

Распределение вертикальных градиентов хорошо согласуется с наложением профилей в структуре рудного поля. СПР-0 и СПР-I пересекают Центральный и Юго-западный участки в сечениях наиболее мощных рудных тел и существенно кварцевых толщ. (СПР-I на Юго-западном участке располагается вдоль рудоподводящей зоны). СПР-II целиком расположен на восточном фланге участка, где руды перекрыты мощной толщей аргиллизированных пород (100-200 м). СПР-III связывает Юго-западный участок (расположенный в 1.5 км к югу от Центрального) и Юбилейный участок. Исключая эродированную часть Юбилейного участка, на остальной части профиля руды глубоко погружены под толщу аргиллизированных пород мощностью более 150-200 м.

IV.3.2. Корреляционные построения

Используя данные сейсморазведки, аргументированное данными бурения, построен график, изображённый на рис. 47. Проведённый анализ показал связь между магнитным полем и мощностью верхней толщи. Все коэффициенты согласно критерия Стьюдента являются значимыми, что свидетельствует о надёжности выявленных связей.

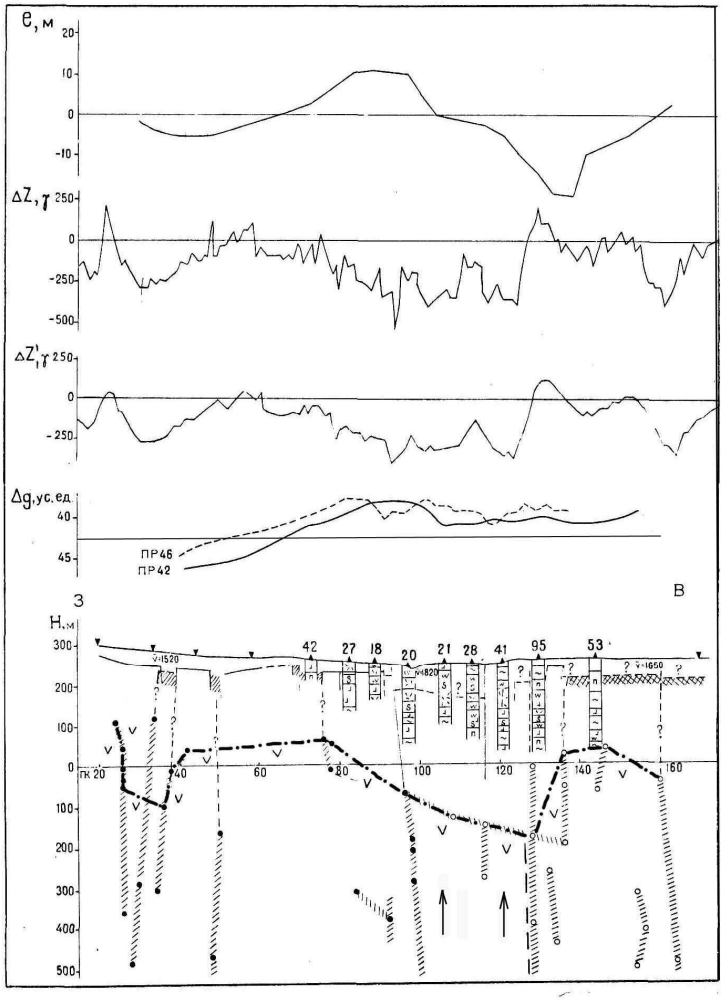
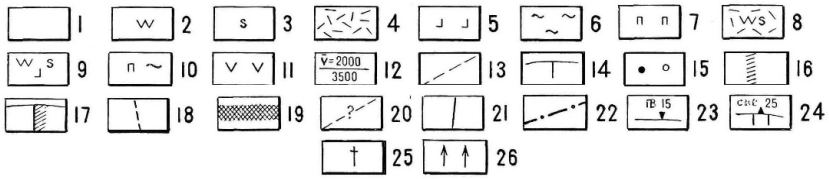


Рис. 44. Геолого-геофизический разрез по профилю СПР-1 (пр. 44) через Центральный участок Малетойваямского месторождения



Условные обозначения и подрисуночные подписи к рис. 44 и 45

e, м- кривая неотектонических структурообразующих движений; Δ Z - кривая наблюдённого магнитного поля; Δ Z - осреднённого (по 5 точкам) магнитного поля, Δg – поля силы тяжести.

По данным бурения: 1 - рыхлые отложения; 2 - монокварциты; 3 - серные кварциты; 4 - серные алунитовые кварциты, алунитовые кварциты; 5 - каолино-алунито-кварцевые и каолино-кремнистые породы; 6 - аргиллизированные породы; 7 - пропилитизированные породы; 8 - чередование маломощных пластов монокварцитов, серных и алунитовых серных кварцитов; 9 - чередование монокварцитов, серных кварцитов и каолино-кремнистых пород; 10 - чередование аргиллизированных и пропилитизированных пород.

По геофизическим данным: 11 - неизменённые эффузивы; 12 - преломляющие границы и значения средних и граничных скоростей; 13 - преломляющие границы, определённые приближённо; 14 - скоростные контакты; 15 - центры дифракции по уверенным и малоуверенным записям; 16 - разрывные нарушения по методу дифрагированных волн; 17 - разрывные нарушения по КМПВ; 18 - оси разрывных нарушений; 19 - зоны развития пород повышенной трещиноватости; 20 - предполагаемые оси разрывных нарушений; 21 - разрывные нарушения с указанием направления падения; 22 - верхняя граница распространения центров дифракции; 23 - пикеты профиля, пункты взрыва; 24 - скважины; 25 - точки пересечения сейсмопрофилей; 26 - предполагаемое направление подъёма гидротермальных рудоносных струй

Таким образом, по величине градиента приведённого в таблице 18 намечается возможность оценки мощности глинистых пород и мощности изменённых пород

в целом. Добавим, что полученные градиенты хорошо согласуются с таковыми, полученными для фактического распределения мощностей кварцитов и руд на Центральном участке (см. рис. 31-33).

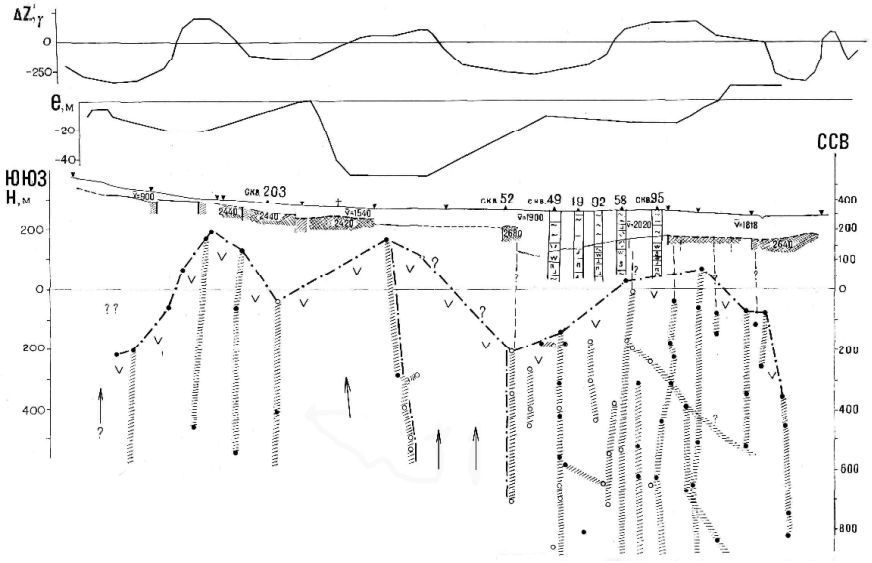


Рис. 45. Геолого-геофизический разрез через Центральный и Юго-Западный участки участки Малетойваямского месторождения

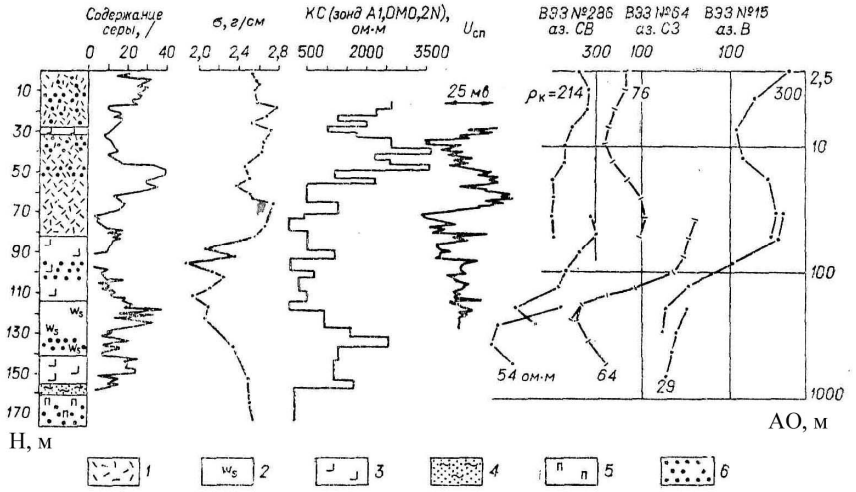


Рис.46. Геолого-геофизический разрез по скважине 1 Малетойваямского месторождения серы
1 - алунитовые серные кварциты; 2 - серные кварциты; 3 - каолинит-кварцевые породы с серой и без серы; 4 - аргиллизированные породы; 5 - пропилитизированные породы; 6 - сульфиды

Оценка мощности изменённых пород по профилю магнитного поля

Таблица № 18

Профили КМПВ	Коэффициент корреляции	Число наблюдений	Вертикальный градиент магнитного поля на единицу мощности, гамм/м
СПР-0	-0,820	34	1,51
СПР-I	-0,882	16	1,23
СПР-II	-0,938	18	0,97
СПР-III	-0,676	29	1,26
по всем СПР рудного поля	-0,818	102	1,23

На рис 44 и 45 видна также обратная связь сейсмогеологической границы с кривой структурообразующих движений. Поднятым блокам отвечает максималь-

ная мощность изменённых пород и отрицательное магнитное поле. Положительное поле отвечает блокам, испытывающим отставание в поднятии. Аналогичная картина установлена и по остальным сейсморазведочным профилям. Аналогичная картина устанавливается и по остальным сейсморазведочным профилям.

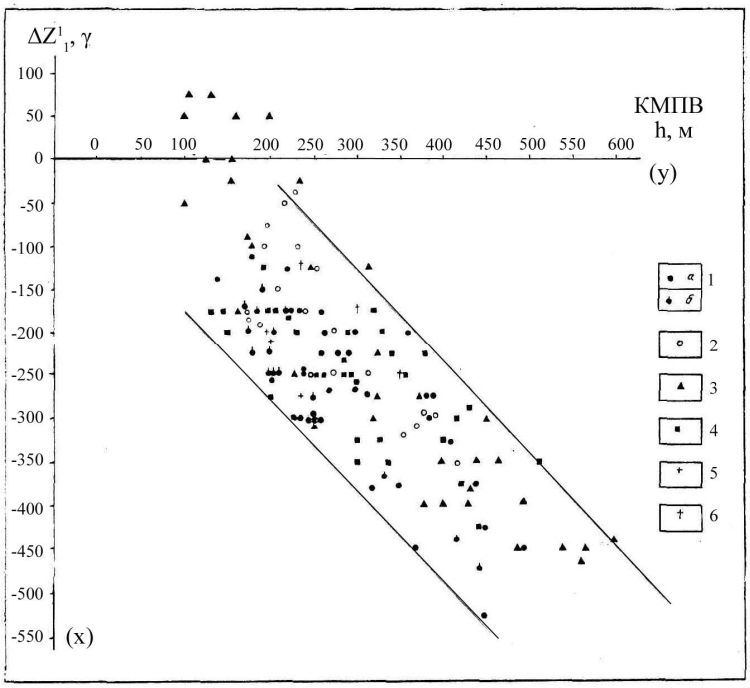


Рис. 47. Зависимость интенсивности магнитного поля от глубины залегания подошвы изменённых пород Малетойваямского рудного поля

1 - по профилю СПР-0 (а - глубина по точкам дифракции, б - то же, между точками); 2 - по профилю СПР-1 (Центральный участок); 3 - по профилю СПР-II; 4 - по профилю СПР-III; 5 - по профилю СПР-IIIб (Юбилейный участок); 6 - по профилю СПР-IV

Примечание: Приведены значения магнитного поля осреднённого по 5 точкам

Уравнения регрессии: 1 - y = 0,662x + 124,501; 2 - y = - 0,817x + 107,185;
3 - y = 1,033x + 81,234; 4 - y = - 0,793x + 86, 843; 1-6 - y = 0,815x + 98,048

IV.4. Тюлюльваямское серопроявление

Участок расположен в центральной части Вывенского глубинного разлома на крайнем юге рудоконцентрирующей структуры. Гипсометрически он приурочен к широкому и выровненному водоразделу, полностью лишённого растительности.

IV.4.1. Геологическая характеристика

Массив изменённых пород представлен корундсодержащими монокварцитами, алунитовыми кварцитами и каолинито- кварцевыми породами. В его центральной части установлено частично эродированное субвулканическое тело и ряд даек. По периферии развиты неизменённые эффузивы. Серная минерализация рассеянная, содержание серы в монокварцитах и алунитовых кварцитах не более 5-10%, сульфиды железа не установлены. На участке серопроявления пробурено 4 скважины, вскрывших монокварциты (скважина 3) и каолинит-кварцевые породы (скважина 1) с редкими прослоями алунитовых высокопористых и трещиноватых карцитов. Все скважины практически безводны, а весь их разрез интенсивно трещиноват – на устье скважин слышен шум падающей воды (Г.П. Поляков, 1967 г.).

Серопроявление было первым участком геофизических работ, на котором одновременно работы выполняли в 1966 г три геофизических отряда после проведения которых один отряд переехал на площадь серопроявлений Белый Яр, Красногорское (Ю.Л. Корякин), на Ветроваямское месторождение (В.Л. Шмелёв), проявления Ильгилькиваямское и Луновaямское, Центральный участок Малетойваямского месторождения (Г.П. Яроцкий).

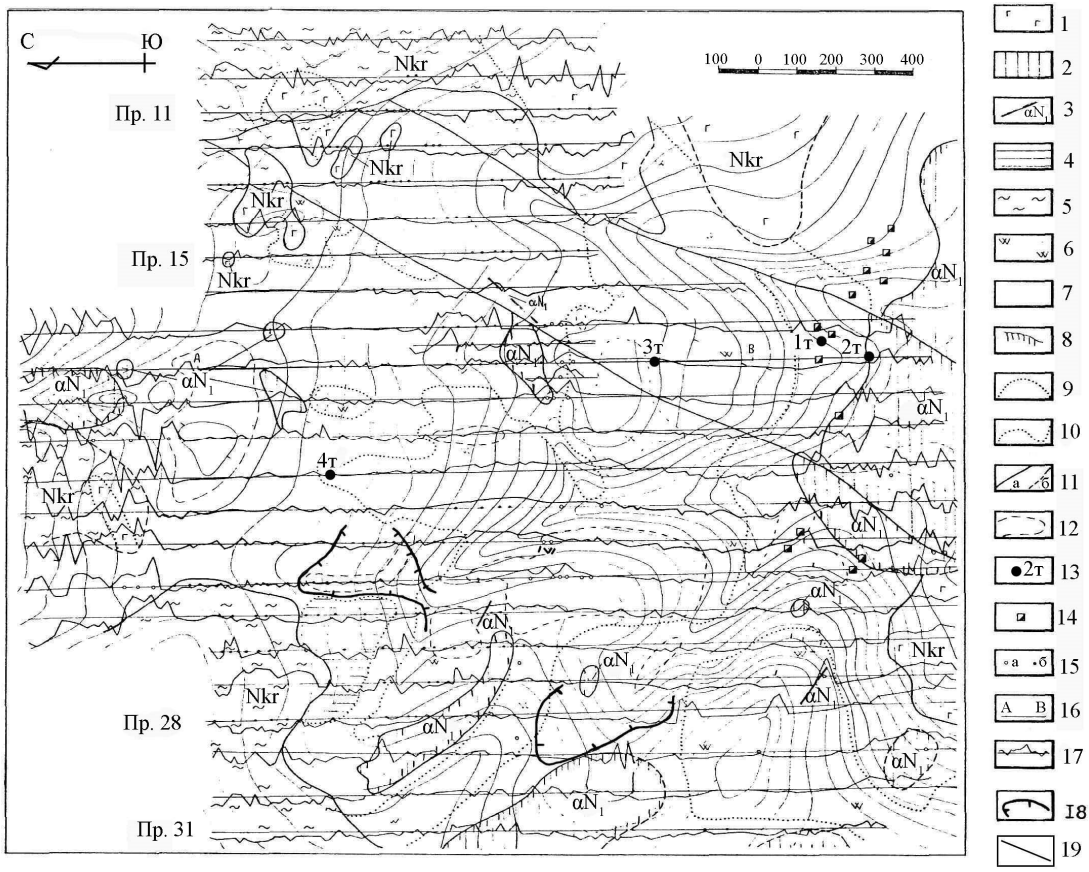


Рис. 48. Схема геологического строения и физические поля участка Тюлюльваямского серопроявления

1 - андезиты, андезито-базальты; 2 - субвулканические тела андезитов; 3 - дайки андезитов; 4 - каолинито-кремнистые породы; 5 - аргиллизированные породы; 6 - монокварциты; 7 - алунитовые кварциты; 8 - пропилитизация; 9 - литологические границы; 10 - границы фаций изменённых пород; 11 - геологические границы установленные (а) и предполагаемые (б); 12 - участки рассеянной серной минерализации; 13 - скважины; 14 - шурфы и канавы; 15 - места отбора магнитных образцов в коренном залегании (а) и в делювии (б); 16 - линия геолого-геофизического профиля (см. рис. 54); 17 - графики ΔZ, в 1 см - 1000 гамм; 18 - контуры отрицательных аномалий ЕЭП интенсивностью –50 + -700 мв и более; 19 - нарушения

IV.4.2. Магнитное поле

Магнитное поле участка представлено тремя хорошо дифференцированными кольцевыми аномалиями (рис. 48). Центральный максимум интенсивностью 200-300 гамм связан с субвулканическим телом андезитов, образцы которого обладают κ порядка 20 х 10^{-4} СГС. Кольцевой минимум, обрамляющий центральный максимум, связан с изменёнными породами, вскрытыми скважиной 3т и эрозионными врезами. Здесь вскрыты на 100 м монокварциты, в скважине 1 - мощность изменённых пород более 180 м. Интенсивность минимума -100 + -300 гамм, иногда -400 гамм. Внешний кольцевой максимум создан маломощными (до 10 м) эффузивами и отдельными субвулканическими телами. Для первых двух аномалий

характерны многочисленные мелкие нарушения, фиксируемые узкими линейными минимумами. Неизменённые породы участка обладают $\boldsymbol{\kappa} = 15 \times 10^{-4}$ СГС.

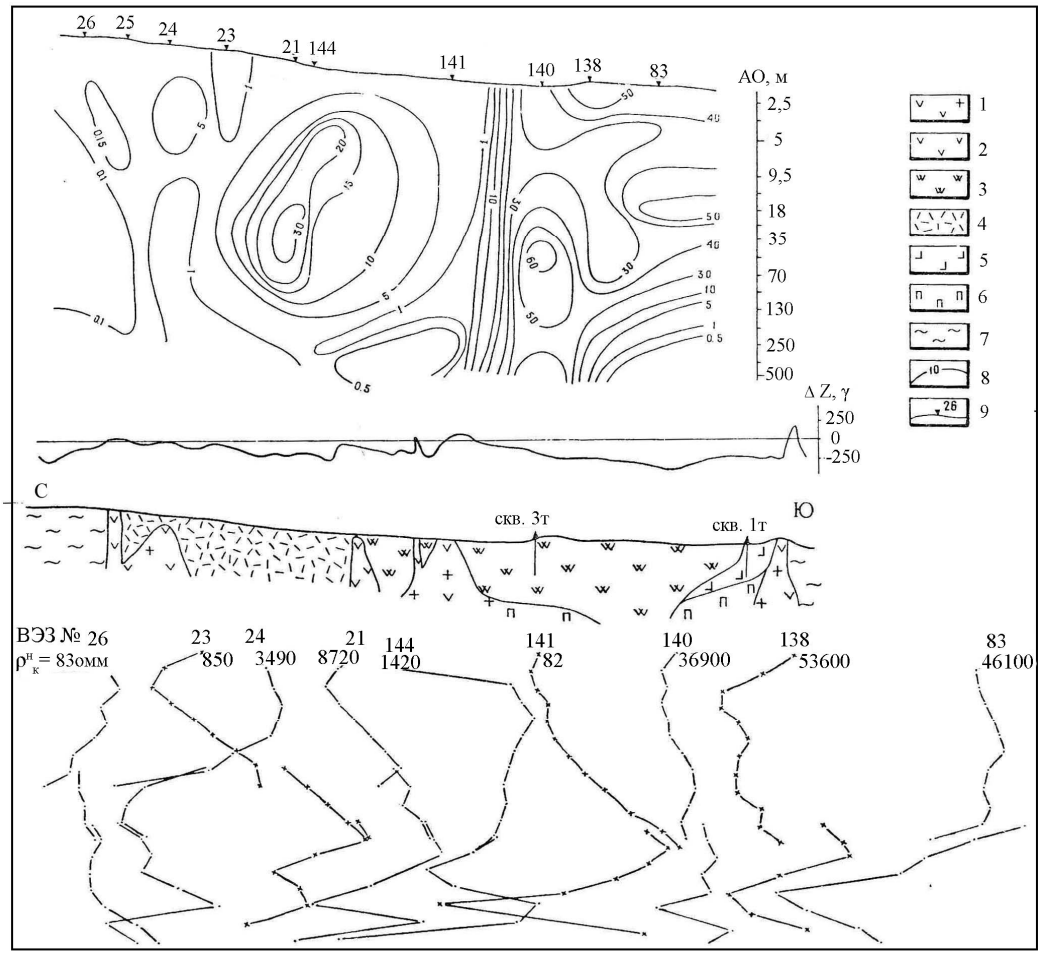


Рис.49. Геолого-геофизический разрез по профилю ВЭЗ Тюлюльваямского серопроявления

1 - субвулканические тела андезитов; 2 - дайки андезитов; 3 - монокварциты интенсивно трещиноватые; 4 - алунитовые кварциты, высокопористые и трещиноватые; 5 - каолинито-кварцевые породы; 6 - пропилитизированные породы; 7 - аргиллизированные породы; 8 - линии равных кажущихся электрических сопротивлений, тыс. омм; 9 - точки ВЭЗ.

Примечание: на кривых ВЭЗ приведены значения начальных $\rho_к$

IV.4.3. Естественное электрическое поле

ЕЭП изучалось на профилях 22-30. Выявлено два интенсивных локальных минимума (северный до -980 мв, южный до -340 мв), приуроченных к макропористым алунитовым кварцитам с убогой серной минерализацией. Высокая интенсивность минимумов, низкий местный базис эрозии (при глубине 50 м ствол скважины 3т был полностью осушен - скважиной вскрыты интенсивно трещиноватые породы), отсутствие в кварцитах сульфидов железа предполагают фильтрационную природу аномалий.

Повторные измерения производились в течение одного дня на разных отрезках профилей, а также несколько раз на площади минимумов в течение лета – все они не совпадали между собой на разную несистематическую величину. Это указывало на вероятную электрокинетическую их природу.

IV.4.4. Геоэлектрическое поле ВЭЗ

Отличительной особенностью геоэлектрического разреза является исключительно высокое сопротивление. На ВЭЗ, поставленных на трещиноватых монокварцитах (скважина 3т) оно достигает 75-150 тыс. омм; на площади развития макропористых алунитовых кварцитов - 10-30 тыс. омм (скважина 4т). На глинистых породах сопротивление падает до 300-150 омм (рис. 49).

IV.5. Лигинмываямское серопроявление

Участок серопроявления расположен в центральной части Вывенской шовной зоны в широкой межгорной долине реки Лигинмываям с асимметричными бортами: северным - пологим и широким, южным - крутым.

IV.5.1. Геологическая характеристика

Массив кварцитов контролируется мощной зоной нарушений северо-восточного простирания. Измененные породы представлены монокварцитами, алунитовами кварцитами, каолинито-кремнистыми породами и сульфидно-кварцевыми породами. На участке установлены небольшие останцы неизмененных андезитов (рис. 50). Сера в ассоциации с пиритом связана с монокварцитами и алунитовыми кварцитами с содержанием не более 10-15%. Пирит присутствует почти повсеместно в количестве до 20%, выполняя мелкие трещинки северо-восточного простирания, либо густо пропитывая породу. Скважинами 214, 216, 217 вскрыты сульфидно-кварцевые породы с убогой вкрапленностью серы.

На участке развита трещиноватость разных направлений, из которых наиболее распространены северо-восточные (30^0) и северо-западные (330^0) нарушения, причем первые являются дорудными. Субширотные и субмеридиональные нарушения - пострудные, по ним происходит разрыв монокварцевых тел (выполняющих осевые части дорудных нарушений) и фиксируются горизонтальные (до 100 м) и вертикальные перемещения. Ряд кислых источников (pH = 1-6) выносят сульфат-ионы, окисное и закисное железо. Гидрохимическая съемка показала наличие нескольких ореолов повышенных концентраций перечисленных компонентов (С.Е. Ермоленко, 1969 г.).

IV.5.2. Магнитное поле

Магнитное поле участка повсеместно положительно безаномальное интенсивностью от 100 гамм (на юге) до 1200-1500 гамм (на севере). Поле такого рода является единственным на проявлениях СКСР. В редких случая на участке можно установить наличие локальных минимумов, коррелируемых в северо-восточном направлении. Используя съемку на примыкающем участке Нордовом, расположенном к северо-востоку, можно установить общее простирание элементов поля - северо-восточное. Уровень нормального поля.

Описанное поле не обнаруживает прямой связи с немагнитными измененными породами, вскрытыми скважинами на глубину до 240 м. Отсутствует связь поля и с разрывными нарушениями и перемещениями блоков на площади развития кварцитов. Это позволяет считать, что в поле отражено расположение крупных магнитных масс на глубине. Расчеты по аномалиям аэромагнитной съемки м-ба 1:25000 дают глубину залегания верхней кромки магнитных масс порядка 500 м (Е.М. Семенов, 1970 г.). Их наличие подтверждается положением участка в гравитационном максимуме (рис. 54). Заметим, что в 2-х км к северо-востоку на участ-

ке Нордовом над измененными породами фиксируются минимумы магнитного поля интенсивностью -200 + -500 гамм (Г.П. Яроцкий, 1971 г.).

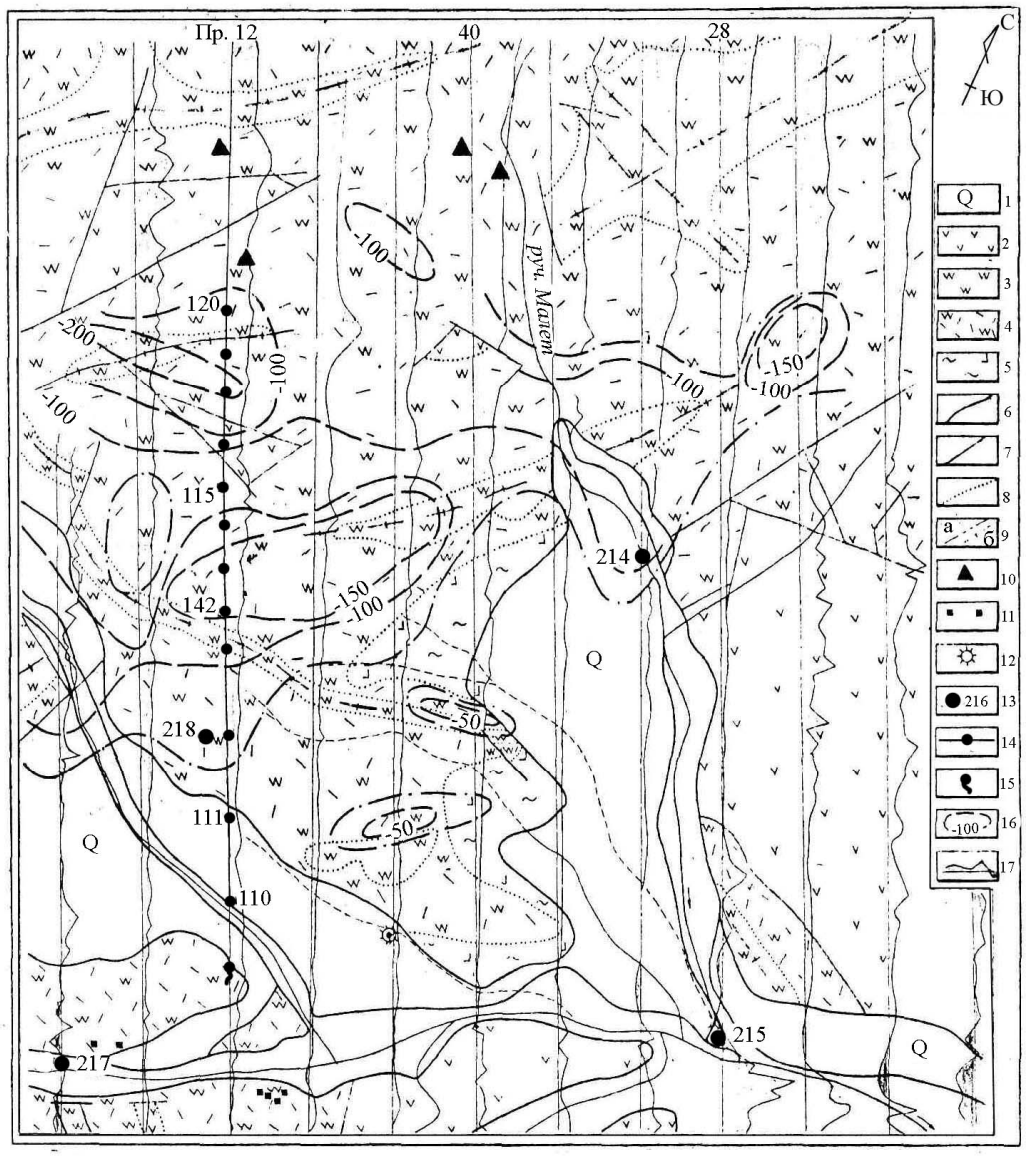


Рис. 50. Схема геологического строения и физические поля Лигинмываямского серопроявления

1 - рыхлые отложения; 2 - андезиты, их туфы и туфолавы; 3 - монокварциты в зонах дорудных нарушений; 4 - монокварциты и алунитовые кварциты; 5 - каолинито-кремнистые породы; 6 - геологические границы; 7 - границы изменённых пород; 8 - границы фаций; 9 - нарушения: а - дорудные, б - пострудные; 10 - проявления серной минерализации; 11 - сульфидизация пород; 12 - лимонитовые бугры; 13 - скважины; 14 - профиль ВЭЗ; 15 - источники кислых вод; 16 - изолинии ЕЭП (нулевая-штрих-пунктирная); 17 - графики ΔZ, в 1 см - 1700 гамм

IV.5.3. Естественное электрическое поле

ЕЭП на участке представлено несколькими локальными минимумами интенсивностью от -25 + -75 до -150 + -230 мв. Форма некоторых из них близка к изометричной, других - линейно-вытянутая. Осевые линии минимумов коррелируются в северо-западном и северо-восточном направлениях. Все минимумы приурочены к породам центральных фаций кварцитов. Данные гидрохимического опробования и широкое развитие пористых (выщелоченных) алунитовых кварци-

тов [28] дают основание связывать природу минимумов с окислением сульфидов железа. Аномалии ЕЭП не обнаруживают закономерной связи с рельефом и магнитным полем участка.

IV.5.4. Геоэлектрическое поле ВЭЗ

На участке установлен геоэлектрический разрез типов QH, НК, КНК, НКН. Реже фиксируются типы К и Q, располагающиеся без определенной закономерности. Отмечено высокое сопротивление пород (исключая наносы) в северной части участка – 10-40 тыс. омм, и относительно низкое - в южной, не более 1000 омм. В первой - аномалии ВЭЗ (№№ 120-142) располагаются в пределах отрицательной аномалии ЕЭП на приподнятых частях участка, во второй (ВЭЗ №№ 111-110) - в положительном поле ЕЭП в пониженных прирусловых частях участка (профиль 52 на рис. 50).

Геоэлектрический разрез участка хорошо увязывается с данными бурения и картирования. Глинистые и каолинито-кварцевые породы мощностью около 70 м (скважина 216) фиксируются низкими сопротивлениями на кривых ВЭЗ №110, 111. Это подтверждается низкими КС пород (менее 200 омм) на каротажных кривых. Нижележащие монокварциты и каолинито-кварцевые породы, мощностью около 80 м (КС 2000-4000) отражены на кривых ВЭЗ горизонтом высокого сопротивления - 3000-5000 омм. По данным ВЭЗ в интервале между №№ 111 и 115 расположены эти же породы. К северу от ВЭЗ № 115 сопротивление разреза возрастает до 5-40 тыс. омм. Здесь установлено распространение монокварцитов и алунитовых кварцитов. Аналогичные данные получены при сопоставлении ВЭЗ и разреза скважины 214, вскрывшей под рыхлыми отложениями толщу кварцитов.

Это дает основание считать, что существенно кварцевые породы отражаются на кривых ВЭЗ горизонтом высокого, а глинистые - низкого сопротивления. Весьма высокие сопротивления в северной части участка обусловлены значительной трещиноватостью и пористостью разреза и слабой его обводненностью при низком местном базисе эрозии.

IV.6. Такайпинское серопроявление

Участок является крайним северо-западным членом звена миграционной минеральной зональности рудоконцентрирующей структуры Малетойваямского узла. Рельеф участка - сглаженный, заболоченный.

IV.6.1. Геологическая характеристика

На участке распространены неизмененные вулканиты и измененные породы (рис. 51, 52). Последние представлены на поверхности монокварцитами, каолинито-кремнистыми (опаловами) и глинистыми фациями. Скважинами вскрыты также каолинито-опаловые и алунитовые (?) кварциты (Л.Л. Ляшенко, 1972 г.). Монокварциты часто пористые, с пустотами, выполненными гидроокислами железа, сульфидизированы - иногда мельниковит насыщает породу, превращая её в сульфидно-кварцевую. Алунитовые кварциты пористые, трещиноватые с сульфидами. Каолинито-кремнистые (опаловые) породы также содержат пирит и мельниковит в виде прожилков, пропитки и гнезд. Серная минерализация установлена на поверхности только в выщелоченных монокварцитах в виде сульфидно-серной пропитки, заполнения трещин и каверн.

На участке распространены нарушения северо-западного, субширотного и северо-восточного направлений. Последние часто на поверхности контролируются

грядой останцев монокварцитов, что говорит об их дорудном заложении. Уровень грунтовых вод на участке высок - 7-12 м (скважины 205, 210, 211). В 100 м к югу от скважины 211 слабокислый источник выносит воды, содержащие сульфат-ион (10-20 мг/л). Вокруг источника отлагается лимонит.

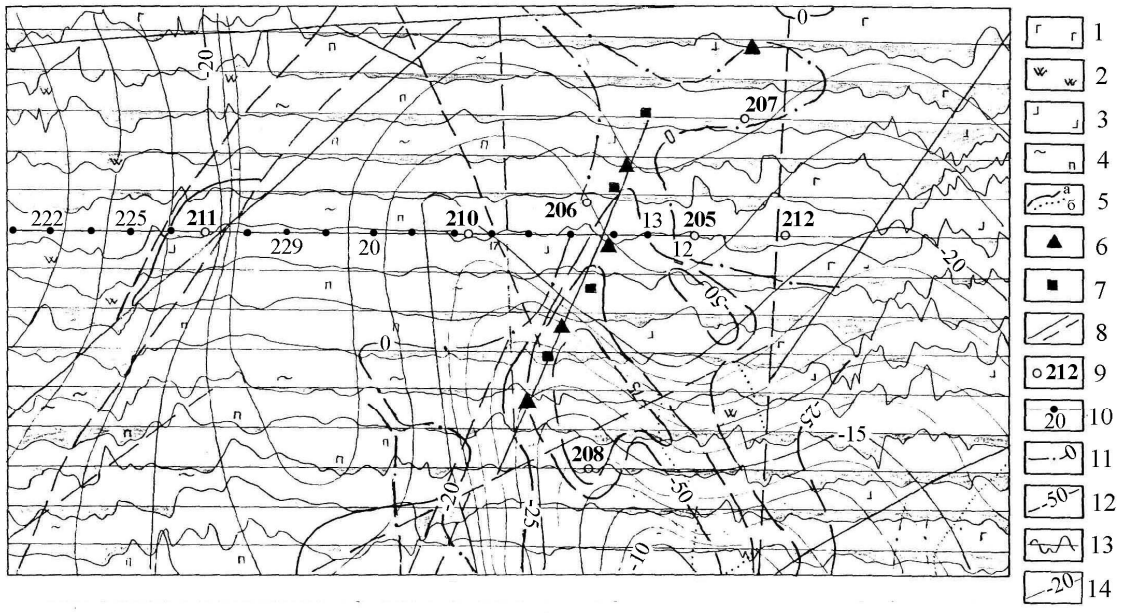


Рис. 51. Схема геологического строения и физические поля Тайкайпинского серопроявления

1 - андезиты, андезито-базальты; 2 - монокварциты; 3 - каолинито-кремнистые породы; 4 - монтмориллонитизированные и пропилитизированные породы; 5 - границы: а - литологические, б - фаций изменённых пород; 6 - проявления серной минерализации; 7 - сульфидизация; 8 - нарушения по геологическим данным: а - установленные, б - предполагаемые; 9 - скважины; 10 - профиль и точки ВЭЗ (см. рис. 57); 11 - нулевые изолинии ЕЭП; 12 - отрицательные изолинии ЕЭП; 13 - графики ΔZ, в 1 см - 1000 гамм; 14 - изодефы, м

IV.6.2. Магнитное поле

Устанавливается ступенчатое изменение интенсивности поля от скважины 211 к югу, выраженное в разделении на несколько линейных аномалий. Положительная аномалия в интервалах скважин 211-210 связана с толщей глинистых пород и пропилитов, оконтуренной изодефой 21 м. К югу от скважины 210 отрицательная аномалия фиксируется толщей существенно кварцевых (опаловых) пород, вскрытых скважине 205 на 200 м. Магнитное поле участка согласуется с блоковым строением участка. Относительно его приподнятой центральной части северная и южная части втянуты в замедленное опускание, причём к югу от скважины 205 намечается тенденция к подъёму блока (рис. 52).

IV.6.3. Естественное электрическое поле

ЕЭП на участке представлено отрицательной аномалией, ориентированной на северо-восток. Отдельные минимумы интенсивностью -50 + -75 мв простираются и в северо-западном направлении. Съёмка проводилась с интервалом в год, а также повторялась весной и осенью - аномалия сохранила знак и интенсивность. В плане она приурочена к отрицательной магнитной аномалии и наиболее высокоомной части разреза. В пределах аномалии скважинами вскрыта мощная зона окисления в трещиноватых и пористых каолинито-кремнистых, алунитовых и монокварцитовых породах, в интервалах от 40 м (скважина 205) до 127 м (скважина

206). С другой стороны, современная заболоченность участка и высокий уровень грунтовых вод препятствуют образованию зоны окисления. Видимо, существующая пористость в основном своём объёме относится к первичной пористости безрудных пород. Не исключено, что раньше участок находился на более высоком гипсометрическом уровне.

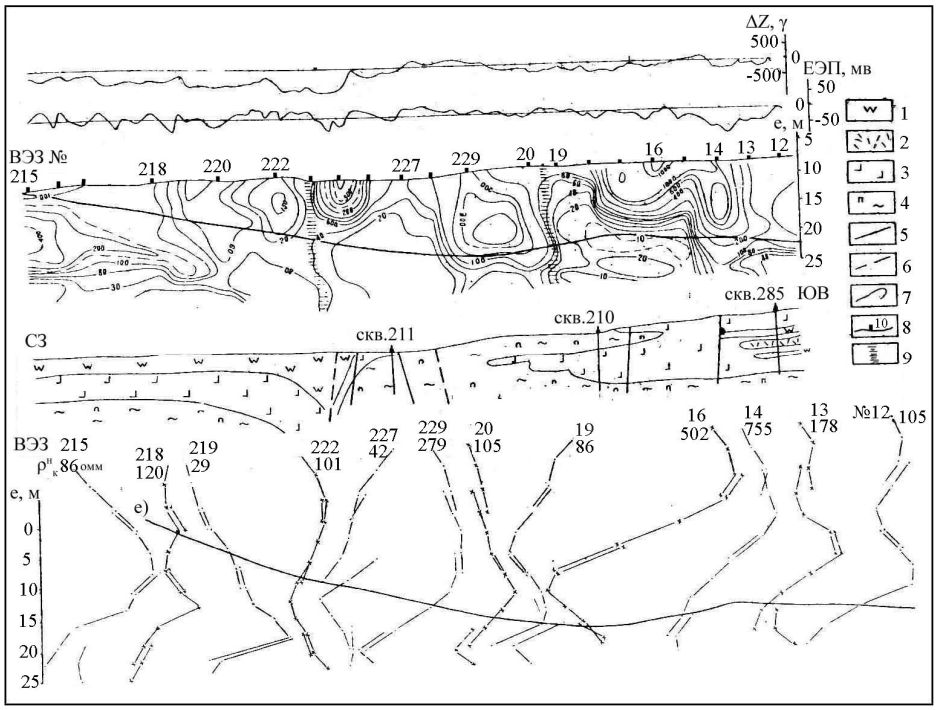


Рис. 52. Геолого-геофизический разрез по профилю ВЭЗ Такайпинского серопроявления

1 - монокварциты сульфидизированные; 2 - алунитовые кварциты сульфидизированные;3 - каолинито-кремнистые (опаловые) породы с сульфидами; 4 - монтмориллонитизированные и пропилитизированные породы; 5 - нарушения по данным бурения; 6 - нарушения предполагаемые по геофизическим данным; 7 - границы фаций; 8 - точки ВЭЗ; 9 - нарушения по структурно-геоморфологическим данным

Примечание: Внизу рисунка приведены кривые ВЭЗ и профиль структурообразующих движений (масштаб амплитуд параметра *е* в 1 делении -5м)

IV.6.4. Геоэлектрическое поле ВЭЗ

ВЭЗ свидетельствует о многообразии геоэлектрического разреза, отраженного в типах кривых НКН, КНК, НК, К, QНК, АНК. Характерно высокое сопротивление наносов (400-1800 омм) и низкое (10-200, редко 300 омм) - для нижележащих пород разреза. На разрезе сопротивлений по морфологии и интенсивности выделяется три части. В каждой части отмечается погружение точки максимума сопротивления на кривых ВЭЗ в южном направлении: в северной части - с АО = 40 м (№ 215) до АО = 220 м (№ 214), в центральной - с АО = 65 м (№ 229) до АО = 220 м (№ 19), в южной - с АО = 9 м (№ 16) до АО = 150 м (№ 12). Такая закономерность находит отражение в распределении магнитного поля и структуре участка.

Совокупность данных показывает, что горизонты высокого сопротивления обусловлены существенно кварцевыми породами, исключая связанные с наносами. Сопоставление разреза скважины 211 с ВЭЗ № 227 показывает, что толща глинистых пород характеризуется сопротивлением не более 20 омм и отражается мощным горизонтом низкого сопротивления. По ряду других профилей ВЭЗ установлено уменьшения сопротивления пород разреза с востока участка к западу

- от 200-300 омм до 50-120 омм. Это связано со сменой пород разреза: в этом направлении существенно кварцевых в скважине 209 глинистыми - в скважине 207.

IV.7. Заречный участок

Расположен в рудоконцентрирующей структуре Малетойваямского узла в 3 км к востоку от Центрального участка месторождения. Поверхность его заболочена. В некоторых местах на поверхности участка были обнаружены отдельные обломки кварцитов. Бурением на глубину 220 м вскрыты только пропилитизированные и аргиллизированные породы (скважина 202).

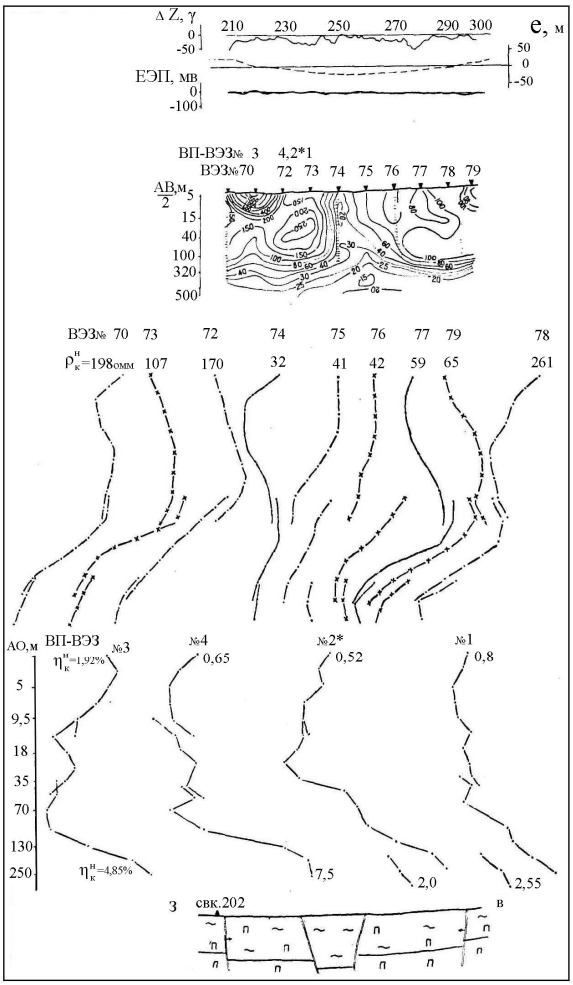


Рис. 53. Геолого-геофизический разрез по профилю ВЭЗ и ВП - ВЭЗ Заречного участка (условные обозначения см. рис. 42)

Магнитное поле участка отрицательное, малоградиентное интенсивностью - 300 + -500 гамм. Съёмкой ЕЭП получено нормальное поле. По ряду профилей ВЭЗ геоэлектрический разрез характеризуется типами кривых К, НК, Q с сопротивлением всей толщи не более 250 омм. На рис. 53 видно, что магнитное поле и разрез сопротивлений согласуются с блоковым строением участка. По данным ВП - ВЭЗ толще бессульфидных пород отвечает крайне низкая поляризуемость (до АО = 35-70 м). Лишь с глубины 80-90 м, когда по данным скважины 202 отмечается слабая сульфидизация, гематитизация и лимонитизация, поляризация пород начинает возрастать. Сопоставление кривых (рис.53) с кривыми Центрального и Юбилейного участков месторождения (рис. 38, 39, 43) показывает их различие по типу разреза и поляризуемости пород.

Как видно, все геофизические характеристики участка, за исключением магнитного поля, принципиально отличаются от рассмотренных выше Центрального и Юбилейного участков, свидетельствуя о таком же различии их геологического строения. Разрез участка признан бесперспективным на обнаружение серы.

IV.8. Методика геофизических работ при поисках сульфидно-серных месторождений

Материалы геофизических исследований на месторождениях серы и массивах безрудных изменённых пород, рассмотренные в главах II и IV, показывают существование на них аномальных физических полей. Сопоставление магнитных, геоэлектрических и гравитационных полей на объектах Камчатки, Курильских островов и Японии свидетельствуют о близости их количественных и качественных характеристик (табл. 15). Для того, чтобы установить случайное это совпадение или закономерность, обобщим результаты истолкования природы физических полей.

IV.8.1. Отрицательные аномалии магнитного поля

Аномалии установлены на всех серных месторождениях упомянутых регионов [45, 46, 47, 50, 58, 62]. Везде знак аномалий отрицательный, а значения интенсивности близки и лежат в пределах -200 + -900 гамм. Это явление определяется общими для объектов Японо-Курило-Камчатской дуги минеральным составом и соразмерной мощностью изменённых пород, их зональным расположением и диамагнитными свойствами слагающих их минералов. Вмещающие неизменённые породы повсеместно магнитны и создают положительные магнитные поля.

Единственным исключением среди рассмотренных примеров является участок Лигинмываямского серопроявления в СКСР. Несмотря на мощную толщу изменённых пород (более 200 м) магнитное поле над ними положительное. Такое безаномальное поле, как установлено, создано мощным сильно намагниченным телом, залегающим на малой глубине и «бронирующим» эффект от изменённых пород. Напомним, что на участке распространены высокотемпературные, бесперспективные на серу, кварциты. Поэтому положительное поле становится дополнительным - отрицательным - поисковым признаком.

Таким образом, природа отрицательных магнитных аномалий однозначно связывается с изменёнными породами центральных фаций массивов и месторождений, что является закономерностью. Характерная черта таких аномалий - отражение глубокими линейными минимумами зон дорудных нарушений, служивших каналами подъёма рудоносных гидротерм. В приповерхностной зоне они контролируются монокварцитами, выпадающими из растворов при резком падении в них давления и температуры [36], а в наиболее глубоких частях массивов - фиксируются глинистыми породами жильных тел [17, 18, 22].

IV.8.2. Естественное электрическое поле

Поле на рассмотренных объектах также является следствием двух важнейших всеобщих факторов: парагенезиса серы и сульфидов железа и общей пористости изменённых пород. Минеральный парагенезис отражает специфику и единство рудного процесса в структурах внутренних вулканических дуг Тихоокеанского сероносного пояса [2, 3, 4, 15]. Пористость является следствием геодинамической обстановки, существующей в полях давлений и подготовившей толщу исходных пород к последующему метасоматическому процессу [29]. Эти два фактора при-

вели к возникновению двух разных по природе отрицательных аномалий ЕЭП: электрохимической и электрокинетической.

На примере Центрального и Юбилейного участков Малетойваямского месторождения и ряда других объектов Японии показана связь отрицательных аномалий ЕЭП с окислением сульфидно-серных руд и отсутствие на них условий возникновения фильтрационных потенциалов. Прямая роль самородной серы в создании отрицательной аномалии отрицается. На изученных объектах с сульфидно-серным типом оруденения это доказать, естественно, невозможно. Поэтому приведём пример Ветроваямского месторождения в СКСР.

Над серной бессульфидной залежью, сложенной серными опалитами с содержанием самородной серы 20-60% [4], В.Л. Шмелёвым (1967 г.) было установлено поле ЕЭП интенсивностью ± 20 мв. Интересным, в этой связи, является факт изменения потенциала над залежью по знаку и величине, установленной повторными измерениями. Они достигли 60 мв при смене отрицательного знака на положительный (наблюдения в августе, повторное - в сентябре). В то же время на близрасположенных (в 30-70 м) небольших выходах бессерных опалитов с незначительным содержанием сульфидов железа, установлены отрицательные поля ЕЭП интенсивностью более - 50 мв.

Отвергают влияние серы на формирование отрицательных аномалий ЕЭП и японские исследователи. Повсеместно при измерениях на поверхности и в штольнях установлено, что минимумы ЕЭП возникают там, где присутствуют сульфиды железа, находящиеся в окислительной обстановке. Там же, где сульфидно-серные руды отсутствуют (выработаны в штольнях) - потенциал ЕЭП положителен. В высоко качественных серных рудах (содержание серы 40-60%) также установлены только положительные потенциалы [27, 45, 46].

Роль серы заключается в образовании серной кислоты, приводящей к сильному раскислению вод в зоне окисления руд [4, 28]. Как известно, pH растворов является одним из основных условий образования ЕЭП на сульфидных месторождениях [43]. Определяющее влияние pH растворов, омывающих сульфидно-серные руды, отмечается и японскими исследователями. В частности, указывается, что теоретически и эмпирически установлено падение потенциала на 70-90 мв с уменьшением pH на единицу. При исследованиях в шахте при сильной кислотности пород ЕЭП достигает -300 мв, а при нейтральной - составлял +100 мв [27], т.е. максимальная интенсивность минимума ЕЭП не превышает -390+-530 мв. Эта величина хорошо согласуется с предельной интенсивностью минимумов ЕЭП, установленной на рассмотренных примерах индентичных объектов. Заметим, что при приятой практике произвольного выбора нормального поля могут иметь место отклонения от теоретического максимума. Такой случай возможен на месторождении Мацуо [58]. Распространение преимущественно отрицательного поля (-100+-200 мв) позволяет при ином уровне получить нормальное поле на безрудных участках и максимумы интенсивности аномалий до -500+-550 мв, что соответствует предельному значению окислительно-восстановительного потенциала.

Интересны наблюдения на японских месторождениях, приведенные с целью изучения изменения ЕЭП с глубиной. Поле одного из минимумов интенсивностью на поверхности до -350 мв, на глубине 30 м уменьшалось до -250 мв, на 30 м - до 200 м, а на 50м - составляло лишь -100 мв (43). В другом случае минимум интенсивностью на поверхности более -300 мв в штольне горизонта 65 м изменился до +50 мв, другой - интенсивностью -150 мв в штольне горизонта 115 м уменьшился до +200 мв (45). Рост потенциала с глубиной (т.е. уменьшение отрицательных значений) обусловлен сменой окислительной среды на поверхности залежи, на восстановительную - на глубине. Такой смене способствует как увеличение щёлочности растворов, так и влияние сероводорода [43].

Характеристика аномальных геофизических полей
массивов изменённых пород,
проявлений и месторождений серы Корякии, Камчатки, Курил и Японии

Таблица 15

№№ п/п	Объекты (месторождения, проявления, массивы, участки)	Магнитное поле (знак аномалии, интенсивность, форма, градиентность наземных съёмок; м-ба 1:5000-1:10000; ΔZa	ЕЭП (знак аномалии, форма, градиентность), *mV;* съёмок м-ба 1:5000-1:10000	Кажущееся электрическое сопротивление, омм	Гравитационное поле, съёмки м-ба 1:200000 Δga	Магнитное поле аэромагнитной съёмки м-ба 1:25000 ΔTa	Отнесение объекта к классам промышленной классификации
1	2	3	4	5	6	7	8
РОССИЯ. Северо - Камчатский сероносный район							
1	Малетойваямское месторождение Центральный участок	Минимум, -300 + -700, близкий к изометричному, малоградиентный	Минимум, -50+-200 мв, близкий к изометричному, градиентный	300 - 900	Наблюдённый и остаточный минимумы	Знакопеременное, преимущественно положительное, высокоградиентное (-200+500 гамм)	Промышленная залежь сульфидно-серного месторождения
2	Малетойваямское месторождение Юбилейный участок	Минимум, -300 + -700, близкий к изометричному, малоградиентный	Минимум, -50+-400 мв, близкий к изометричному, малоградиентный	300 - 1100	Гравитационная ступень регионального поля; остаточный минимум	Положительное слабоградиентное интенсивностью около 500 гамм	Промышленная залежь серно-сульфидного месторождения
3	Малетойваямское рудное поле (верхнее течение р. Малетойваям)	Минимум, -400 + -900, близкий к линейному	Слабоотрицательное (-20+-30 мв) нормальное		Наблюдённый и остаточный минимум	Положительное, градиентное поле интенсивностью 500-1000 гамм	Краевые бессерные фации кварцитов
4	Тюлюльваямское проявление	Кольцевой минимум до -500 гамм с максимумом в центре, безградиентный	Минимум до -900 мв, градиентный	От 5 - 50 тыс. до 70 - 150 тыс	Наблюдённый и остаточный минимумы	То же	Проявление бесперспективное
5	Лигинмываямское проявление	Положительное, интенсивностью до 1500 гамм, безградиентное	Минимумы, -50+-200 мв, линейные и близкие к линейным	2 - 40 тыс.	То же	То же	То же

1	2	3	4	5	6	7	8
6	Южное проявление	Слабоотрицательное (до 200 гамм) и нормальное, безградиентное	Близкий к изометричному минимум, до -1000 мв и более	10 - 30 тыс.	То же	То же	То же
7	Такайпинское проявление	Минимум, -100 + -300 гамм, асимметричный, градиентный	Минимум, -50+-150 гамм, градиентный	до 300	Наблюдённый и остаточный минимумы	Знакопеременное, преимущественно отрицательное, инт. -300 - +300 гамм	То же
8	Заречный участок	Отрицательное -300 + -500 гамм, безаномальное	Нормальное	до 250	Остаточный и наблюдённый минимумы	Знакопеременное, преимущественно положительное, высокоградиентное (-200 - +500 гамм)	Безрудные аргиллизированные породы
9	Ильгилькиваямское проявление	Минимум, -50 + -1000 гамм, линейный, градиентный	Минимум интенсивностью до -900 мв	до 250-450	Остаточный и наблюдённый минимумы	Знакопеременное, преимущественно положительное, высокоградиентное (-200 - +500гамм)	Проявление бесперспективное
10	Луноваямское проявление	Минимумы, -50 + -500 гамм, близкие к линейным, градиентные	Минимумы, -50+-200 мв, близкие к линейным, градиентные	150-6000	Наблюдённый и остаточный минимумы	Положительное, градиентное, интенсивностью 500-1000 гамм	То же
11	Красногорское проявление	Минимум, -200 + -500 гамм, малоградиентный, знакопеременное (±1000-1500 гамм)	Исследование не проводились	300-1300	То же	То же	То же
Центрально - Камчатский сероносный район							
12	Месторождение р. Половинной	Минимум, -400 + -800 гамм, изометричный, малоградиентный	Знакопеременное, преимущественно отрицательное, -180+-200 мв	200-800	Наблюдённый максимум	Интенсивно положительное, градиентное	Месторождение мелкое, непромышленное

1	2	3	4	5	6	7	8
Южно-Камчатский сероносный район							
13	Кошелевское проявление	Минимум, -200+-800 гамм, близкий к изометричному, градиентный	Минимумы, -30+-100 мв, локальные, изометричные	400-1000	Ступень регионального поля	То же	Проявление не выясненных перспектив
Южно-Курильский сероносный район							
14	Месторождение Новое	Минимум, -200+-500 гамм, градиентный	Минимумы, -50+-200 мв, близкие к линейным	500-1500	Сведения отсутствуют	Сведения для п.п. 14-21 отсутствуют	Промышленная залежь сульфидно-серного месторождения
Я П О Н И Я Сероносный район Кусацу-Сиране (Иошин)							
15	Месторождение Ионаго участок Гонгэн	Минимум, -100+-400 гамм	Минимум, -20+-50 мв	20-500	Наблюдённый максимум		Крупная промышленная залежь, запасы 1 млн. тонн
	участок Сираива	Исследования не проводились	Минимум, -50+-200 мв	50-100	То же		То же
	участок Ку	Минимум, -200 + -400 гамм	Минимум, до -150 мв	Иссл. не проводились	То же		То же
16	Месторождение Ятоко	Иссследования не проводились	Три минимума, -20+-250 мв, изометричные	100-2500	То же		Три промышленные залежи
17	Месторождения: Исудзу	Отрицательные аномалии по отдельным профилям (-200+-500 гамм)	Минимум, -50+-300 мв, изометричный	500-1000	Наблюдённый максимум	См. п. 14	Промышленная залежь
	Адзума участок А	Минимум, -200 + -900 гамм, линейный, градиентный	Минимум, -50+-300 мв, линейный, градиентный	500-1000	То же		Промышленная залежь
	Адзума участок Б	Минимум, -300 + -800 гамм	Минимум, -50+-120 мв	100-1000	То же		Проявление невыясненных перспектив
Сероносный район Дзао (Нисиадзума)							
18	Месторождения Нумадзири: Амезава	Сведения отсутствуют	Минимум, -280+-350 мв, изометричный	400-2000	Ступень регионального наблюдённого максимума		Промышленная залежь

1	2	3	4	5	6	7	8
	участок Ямагами	То же	Минимум, -150+-330, градиентный	200-2000	То же		То же
Сероносный район Мацуо-Хатимантай							
19	Месторождение Хатимантай: участок Курагата	То же	Нормальное поле (±10 мв)	Иссл. не проводились	То же		Безрудные, аргиллизированные породы
	участок Аппи	То же	Минимум, -100+-200 мв, изометричный	200-2000	То же		Монокварцевые породы с серой и сульфидами
	участок старого штрека Аппи	То же	Три минимума: до -1800, -2000 и -2300 мв, изометричные, вытянутые	2000-28000	То же		Трещиноватые бессерные монокварцевые породы
	участок Наканасава	То же	Два минимума: до -900 и -2500 мв, изометричные, малоградиентные	800-1700 5500-12000	То же		То же
20	Месторождение Мацуо	То же	Четыре локальных минимума: до -657 мв, до -628 мв, +50+-150 мв, до -430 мв	Сведения отсутствуют	Ступень регионального наблюдённого максимума		Три промышленных сульфидно-серных залежи и кочеданная залежь (запасы серы - 63 млн. т)
21	Месторождение Угусу (кремнисто-алунитовое) участки Шибаяма и Ямуки	То же	Иаксимумы, до –800+ -1000 и более, изометричные	8000-20000	Сведения отсутствуют		Бессерный массив трещиноватых кремнисто-алунитовых и алунит-кремнистых пород
ПРИМЕЧАНИЕ: 1. Уровень нормального поля магнитной съёмки и съёмки ЕЭП объектов, перечисленных в п.п. 1-8 - единый; 2. Кажущееся электрическое сопротивление для объектов в СССР приведено по данным ВЭЗ, для объектов в Японии - по данным электропрофилирования установкой Венера. Указывается сопротивление изменённых пород, залегающих ниже рыхлых отложений.							

Аналогичный вывод получен на Лазурском месторождении в России (Алтай). При смене окислительной обстановки на восстановительную (в связи с изменением гидрогеологического режима, вызванного проходкой подземных выработок) аномалия ЕЭП от -145 мв изменялась до +140 мв. Там же, где уровень вод оставался постоянным - поле ЕЭП не изменилось. Наблюдениями четырёх лет было установлено, что изменение гидрогеологического режима нарушает установившееся направление потенциал-задающих реакций и влечёт изменение ЕЭП [10].

Рассмотренные примеры электрохимических процессов, создающих отрицательные аномалии ЕЭП интенсивностью до -550 мв, показывают, что полученные на ряде массивов изменённых пород поля ЕЭП интенсивностью -700 + -2300 мв, иногда меньше, имеют другую природу. Характерно, что породы на таких аномалиях обладают высокими, иногда исключительно высокими, сопротивлениями, достигающими многих десятков тыс. омм.

Исследования показали, что подобные отрицательные аномалии возникают в сильно трещиноватых существенно кварцевых (монокварцитах, опалитах) породах и в высокопористых - существенно глинистых образованиях. Последние представляют собой природные силикагели с высокой водопоглощающей способностью [4, 46]. Интенсивные отрицательные аномалии ЕЭП были установлены на ряде японских безрудных массивов изменённых пород [45, 51], а также на Тюлюльваямском, Лигинмываямском, Южном и Ветроваямском участках в СКСР. (В последнем случае аномалии установлены над каолинит-опаловыми безрудными породами [4].

Возникновение в интенсивно трещиноватых и пористых породах изменения величины аномалии в течении короткого времени (летом на Лигинмываямском участке отрицательные аномалии от -200 мв падали до -130 + -40 мв), высокое $\rho_к$ пород разреза, а также высокое гипсометрическое положение участков относительно местного базиса эрозии дают основание считать механизм таких аномалий электрокинетическим. Такой вывод после специальных работ получен также на кремнисто-алунитовом месторождении Угусу [51].

IV.8.3. Кажущееся электрическое сопротивление

Сопротивление пород и руд месторождений и безрудных массивов зависит от ряда факторов, рассмотренных в II.4. главы II. Устанавливается три общих группы объектов, различных по величине сопротивления изменённых пород разреза (включая наносы), полученного при объёмном исследовании разреза (ВЭЗ, ЭП).

Для первой группы объектов $\rho_к$ пород лежит в пределах 50-300 омм, редко достигая в отдельных случаях 500 омм. Вторая группа объектов характеризуется $\rho_к$ пород 200-2000 омм - это участки сернорудных залежей, выходящих под наносы. Третья группа объектов обладает весьма высоким $\rho_к$ изменённых пород: наиболее распространённые значения составляют 5-30 тыс. омм, в отдельных случаях достигают 40-70 тыс. омм и более.

Эти три общих группы объектов характеризуют три различные массивы изменённых пород. Объектами первой группы являются массивы безрудных пород с подавляющим распространением в разрезе существенно глинистых образований. Они располагаются на низких абсолютных отметках и во всех случаях водонасыщены. Объектами второй группы являются серные залежи, тоже значительно обводнённые. К объектам третьей группы принадлежат массивы с интенсивно трещиноватыми и высокопористыми безрудными породами центральных фаций. Они повсеместно расположены на гипсометрически поднятых участках и при низком местном базисе эрозии интенсивно дренируются.

Характерной особенностью геоэлектрического разреза объектов всех групп является общее снижение $\rho_к$ с глубиной. Оно достигает максимума в верхней части разреза (исключая наносы) и по мере увеличения глубины исследования значения $\rho_к$ падает независимо от того какие породы фиксируются в разрезе - существенно кварцевые, существенно глинистые или серные руды.

В этом плане представляет интерес сравнение сопротивлений на японских месторождениях, измеренных на поверхности и в штольнях. Так, на месторождении Нумандзири $\rho_к$ андезитов и изменённых пород в штольне уменьшилось в 10-40 раз [45], на месторождении Ятоко $\rho_к$ изменённых пород в штольне упало в 15-50 раз [27]. Установлено падение $\rho_к$ с глубиной на серном месторождении Мацуо [58] и кремнисто-алунитовом Угусу [51]. По материалам ВЭЗ и ЭП такая закономерность отмечается и на всех участках СКСР. При этом разрез сохраняет многослойную среду типов НК, НКН, КНК. Исключение составляют лишь мощные толщи глинистых пород - над ними устанавливаются кривые типов Q, QQ, а при ограниченной мощности - QH, QQH.

Изменение сопротивления с глубиной связано с рядом причин, среди которых объёмность измерений, влияние обрамляющих и подстилающих глинистых пород, изменение водообильности, смена гидрохимической обстановки и др. Выскажем предположение, что в последнем случае смена зоны свободной циркуляции поверхностных и смешанных вод зоной - застойных, а затем близкой к щелочным, очевидно, играет важное значение. В этой связи интересно объяснение падения $\rho_к$ с глубиной влиянием вод глубинного происхождения, высказанное С. Кунори и Х. Кобаяси [27].

Полученные данные показывают, что выделение в разрезе массивов геоэлектрических горизонтов, связанных с породами центральных фаций и серными рудами, производится как по абсолютной величине сопротивления, так и по типу кривых ВЭЗ. Интересно проследить, в этом свете, изменение сопротивления в пределах объектов конкретного сернорудного узла. Рассмотрим это на примере рудоконцентрирующей структуры Малетойваямского узла СКСР, в направлении с юга на север. Отметим, что в этом направлении уменьшается высотное положение участков и местный базис эрозии.

Тюлюльваямский участок (крайний юг структуры) характеризуется развитием интенсивно трещиноватых макропористых бессерных монокварцитов и алунитовых кварцитов, сопротивление которых 10-150 тыс. омм. Южный участок сложен интенсивно трещиноватыми и пористыми бессерными монокварцитами, диаспоровыми и алунитовыми кварцитами. Их сопротивление - 10-30 тыс. омм. Оба участка расположены в водораздельной части Корякского хребта и интенсивно дренируются.

Юбилейный участок Малетойваямского месторождения сложен серными кварцитами и алунитовыми кварцитами, монокварцитами, к которым приурочены серные руды. Их сопротивление - 300-1100 омм. Трещиноватость и пористость пород ниже, чем на двух упомянутых участках. Центральный участок месторождения сложен серными алунитовыми и серными кварцитами, монокварцитами, к которым приурочены серные руды. Их сопротивление - 300-900 омм. Пористость и трещиноватость разреза быстро падает с глубиной и значительно ниже, чем на первых двух участках. Оба участка месторождения интенсивно обводнены грунтовыми и подземными водами.

Такайпинский участок сложен существенно глинистыми породами с подчинённым распространением существенно кварцевых. Их сопротивление - 50-300 омм, редко - несколько более. Массив трещиноват и интенсивно обводнён грунтовыми и подземными водами.

Отличительной особенностью геоэлектрического разреза упомянутых и всех остальных объектов СКСР, а также Японии, является повсеместное низкое сопротивление аргиллизированных глинистых пород, развитых на флангах массивов и месторождений. Независимо от гипсометрического и структурного положения их $p_к$ составляет 200-10 омм.

Из приведённых описаний видно, что группирование объектов Малетойваямского узла по характеристике сопротивления изменённых пород определённым образом коррелируется с их положением в схеме миграционной минеральной зональности узла. Однако, кроме различий в минеральных парагенезисах, объекты отличны ещё и по важнейшей физической характеристике - пористости (общей), также коррелируемой с положением объекта в структуре узла. В главе III было показано, что часть серопроявлений узла располагается в горстовой структуре Вывенской шовной зоны, другая - в локальных структурах надразломного грабена, простирающегося на её северном обрамлении.

Горстовая структура испытывала восходящие движения, а сопредельный грабен - относительное опускание или замедленное поднятие. В такой геодинамической обстановке массивы изменённых пород, представляющие собой относительно жёсткие тела в толщах неизменённых пирокластов, более чутко реагируют на эти движения. Окружающие их породы в этих условиях запаздывают в подъёме, т.е. испытывают относительное опускание. При этом происходит значительное «раскрытие» структур-ловушек, выраженное в повышенной трещиноватости массива [11]. Естественно, что «раскрытость» растёт в направлении к наиболее интенсивно воздымающейся структуре - горсту шовной зоны. (В.Д. Дмитриев, 1970 г.). Используя эти факты и механизм образования пустот [29], приходим к выводу о том, что пористость (общая) является неотъемлимым и важнейшим свойством объектов рудоконцентрирующей структуры.

Положение объекта в структуре обусловило их магнитное поле. В одних случаях поле отражает влияние интрузивных тел, скрадывающих эффект от генетически связанных с ними вышележащих толщ кварцитов - на таких объектах поле положительное, либо близко к нормальному (участки Лигинмываямский, Тюлюльваямский, Южный). В других - аномалии созданы толщей изменённых пород и поле на них отрицательное (участки Центральный, Юбилейный, Такайпинский). Кроме этих взаимоотношений устанавливается также различная морфология полей. В первом случае это безаномальные (безградиентные), как правило, поля, во втором - своеобразная система пересекающихся линейных минимумов, создающих обширные характерные аномалии.

Естественное электрическое поле объектов также обусловлено их положением в рудоконцентрирующей структуре.Необычайно интенсивные отрицательные аномалии на Тюлюльваямском и Южном участках, связанных с интенсивными, главным образом, фильтрационными потенциалами в трещиноватых и пористых изменённых породах обусловлены электрокинетическим механизмом. Природа отрицательных аномалий ЕЭП на Юбилейном, Центральном и Такайпинском участках принципиальна иная – электрохимическая. Следует при этом полагать, что если в первом случае окисление имеющихся в разрезе сульфидов не отвергается, и это вносит свой вклад в аномалию, то во втором – роль фильтрационного потенциала, видимо, практически ничтожна.

IV.8.4. Закономерные связи физических полей и структурных условий локализации бессерных массивов вторичных кварцитов, серопроявлений и месторождений серы

Вышеизложенное приводит к выводу о предопределённости аномальных физических полей положением объекта в структуре сернорудного узла. Говоря ина-

че, совокупная характеристика объекта по аномальным полям позволяет определить его структурное положение, генетические особенности и вещественный состав т.е. решается обратная геологическая задача геофизики. В конечном счёте, такая характеристика обеспечит объективную классификацию и распознавание объектов рудоконцентрирующей структуры. Полученный вывод показывает также, что физические свойства пород и руд массивов, изученные на образцах, не могут быть достаточным условием оценки применимости какого-либо метода, так как одинаковые физические свойства создают в различных структурных условиях различные объёмные физические аномалии.

Это разнообразие - закономерное разнообразие - отражено в табл. 16, где на основе обобщения материалов по более чем 45 объектам Японо-Курило-Камчатской дуги предложена схема типизации геофизических полей. Она наиболее полна для методов, применяющихся повсеместно - магнитометрии, ЕЭП и сопротивлений, менее - для других. Типизация полей предполагает выявление (поиск) того или иного объекта по совокупности признаков и в предлагаемом выражении могут служить основой для реализации на ЭВМ.

Типизация полей определяет также круг основных геологических задач, решаемых апробированными (в той или иной степени) методами. Как видно из табл. 17 эти задачи являются наиболее важными, ставящимися перед геофизикой при картировании, поисках и, отчасти, разведки объектов. Естественно, что они предполагают и решение более частных вопросов.

IV.8.5. Методика геофизических работ при изучении массивов вторичных кварцитов, серопроявлений и поисках месторождений серы

Анализ физических полей на массивах изменённых пород проявлениях и месторождениях серы показывает принципиальную возможность отнесения изучаемого объекта к одной из этих групп на основании данных трёх методов, что особенно хорошо видно на примере рудоконцентрирующих структур узлов СКСР. В совокупности с данными о средних размерах залежей (II.1. главы II) и предельных размерах площади наибольшей вероятности локализации оруденения (III.2, III.4, III.6 главы III) Это позволяет рекомендовать проведение геофизических работ при поисках сульфидно-серных залежей в СКСР в масштабе 1:10000 и в следующей рациональной последовательности: магнитную съёмку на всей сероперспективной площади узла; съёмку ЕЭП на площади выявленных отрицательных магнитных аномалий; профильные ВЭЗ (ЭП) на выявленных минимумах магнитного поля и минимумах ЕЭП и, в первую очередь, в местах их наложения [62, 66, 67, 68].

Этот комплекс является основным при поисках эродированных и частично эродированных залежей. Для выявления участков залежей, погружённых под толщу аргиллизированных пород, и уточнения данных первого этапа и их интерпретации предлагается детализирующий комплекс, проводимый на магнитных минимумах, минимумах ЕЭП, аномалиях сопротивления: профильные ВП-ВЭЗ и ВП-ЭП; электропрофилирование на постоянном токе.

Для изучения структуры сернорудного узла, рудного поля и глубоких горизонтов месторождений рекомендуются комплексные профили - КМПВ, гравиметрии, ВЭЗ (ВП-ВЭЗ). При наличии на участке скважин необходима постановка параметрических наблюдений (ВЭЗ, ВП-ВЭЗ), изучение объёмной структуры поля ЕЭП, проведение электрокаротажа и литофизическое опробование керна. На всех этапах применения геофизики необходимо геологическое исхаживание и литофизическое опробование аномалий, гидрохимическое опробование источников и водотоков участка [62 - 68].

Исходя из размеров залежей и глубин их залегания, физических свойств изменённых и вмещающих пород (II.1, II.4 главы II) и интенсивности и размеров аномалий на реальных объектах (I. 3 и IV.1-IV.6) при проведении съёмок рекомендуется шаг наблюдений: магнитной съёмки - 10-20 м; съёмки ЕЭП - 20 м; электропрофилирования - 20-40 м; профильных ВЭЗ - 100, реже 150-200 м; гравиметрии - 20-50 м. Расположение профилей ВЭЗ - через 100-200 м, реже 300 м, причём величина питающей линии установок ВЭЗ (ЭП) более 1500-2000 м нецелесообразна. Для учёта влияния боковых границ раздела, и уточнения положения флангов залежей рекомендуется постановка крестовых ВЭЗ, в частности, трёхэлектродной установкой.

Предлагаемая схема методики работ является эффективной и рациональной - эффективность комплекса апробирована в реальных условиях [5, 22, 35, 45, 46, 47, 50, 51, 58, 62-68]. Естественно, что в конкретных условиях сернорудных узлов возможны частичные отклонения. Это касается взаимоотношений объёмов ВЭЗ и ЭП, сочетаний методов при изучении структуры узла, взаимоотношений детальности изучения участков геофизическими, геологическими и буровыми работами и т.п.

Типы аномальных физических полей
на серных месторождениях, массивах безрудных изменённых пород
и неизменённых вулканитах Северо-Камчатского сероносного района
России и Японии

Таблица 16

№№ п/п	Типы аномальных физических полей и их краткая характеристика	Объекты иследований					
		Эродированные серные залежи месторождений	Неэродированные серные залежи месторождений	Безрудные изменённые породы флангов и кровли месторождений	Эродированные участки проявлений серы	Массивы безрудных неизменённых пород	Безрудные неизменённые породы
1	2	3	4	5	6	7	8
РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ м-ба 1:200000							
	Аномалии силы тяжести (Δg)						
1.	Наблюдённые относительные максимумы	-	-	?	-	+	+, -
2.	Наблюдённые относительные минимумы	+	+	?	+	-	+, -
3.	Гравитационные ступени	+	+	?	?	-	?
4.	Остаточные максимумы	-	-	?	+	+	+, -
5.	Остаточные минимумы	+	+	?	+, -	-	+, -
6.	Ступени осреднённых и разностных аномалий	+	+	?	-	-	+, -
	Магнитные аномалии (Δ Ta)						
7.	Положительные поля интенсивностью 500-2000 гамм	-	-	?	+	+, -	+, -
8.	Знакопеременные, преимущественно положительные аномалии интенсивностью -200 + +500 гамм	+	+	?	+, -	-	?
ДЕТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ м-ба 1:5000 – 1:25000							
	Магнитные аномалии (Δ Za)						
9.	Отрицательные, интенсивностью	+	+	-	+	+	-

	-200 + -900 гамм						
10.	Слабоотрицательные (-200 + -100гамм) и близкие к нейтральным (± 200 гамм)	-	-	+	+	+	-
11.	Положительные поля интенсивностью более 200-300 гамм	-	-	-	+	+	+
	Естественное электрическое поле						
12.	Отрицательные аномалии интенсивностью -50 + -530 мв	+	-	-	-	-	-
13.	Отрицательные аномалии интенсивностью -700 + -2300 мв	-	-	-	+	+	-
14.	Отрицательные аномалии интенсивностью -25 + -75 мв	-	+	+	+	+	+
15.	Поля, близкие к нормальным (± 25 -30 мв)	-	+	+	+	+	+
	Электрическое сопротивление (ВЭЗ, ЭП)						
16.	Кривые ВЭЗ типов К, АК	+	-	-	+	+, -	-
1	2	3	4	5	6	7	8
17.	Кривые ВЭЗ типов НК, НКН, КНК	-	+	-	+	+	+, -
18.	Кривые ВЭЗ типов Н, Q, QQ, QH и другие	-	-	+	+	+,-	+
19.	Второй горизонт высокого $\rho_к$ на кривых ВЭЗ типа НКН, НК	-	+	-	+	+, -	+, -
20.	Третий горизонт высокого $\rho_к$ на кривых ВЭЗ типа КНК	+	+	+	+	+, -	+, -
21.	Значения $\rho_к$ = 200-2000 омм для горизонтов высокого сопротивления кривых типа К	+	-	-	-	-	-
22.	Значения $\rho_к$ до 300 омм для горизонтов высокого сопротивления кривых типа К	-	-	-	+	+, -	-
23.	Значения $\rho_к$ горизонтов высокого сопротивления (исключая первые) равные 5-130 тыс. омм кривых типа К	-	-	-	+	+	-
	Вызванная поляризация (ВЭЗ, ЭП)						
24.	Кривые ВП-ВЭЗ типов К, АК, АКН	+	+	-	?	?	?
25.	Кривые ВП-ВЭЗ типа Н	-	-	+	?	+	?
26.	Коэффициент поляризуемости = 1-1,5%	-	-	-	?	?	+
27.	То же, 1,5-17% и более	+	+	-	?	?	-
	Скоростной разрез						
28.	Пластовые скорости равные 2500-4750 м/сек	+	+	-	?	?	-
29.	То же, 660-2250 м/сек	-	-	+	?	?	+
30.	То же, 1200-1900 м/сек	-	-	+	?	?	+
	Аномалии силы тяжести (Δg)						
31.	Относительные максимумы кривых	+	+	-	?	?	-
32.	Относительные минимумы кривых	-	-	+	?	?	+

Примечание: Знаки в графах 3-8 обозначают: (+) - данный тип поля установлен на объекте; (-) - данный тип поля на объекте неустановлен; (+, -) - данный тип поля может существовать на объекте либо отсутствовать; (?) - обозначает отсутствие данных

IV.8.6. Геологические задачи, решаемые геофизическими методами

Рассмотренные в отдельных разделах всех глав учебного пособия фактические данные и их интерпретация позволяют сделать следующие основные выводы:

1. Аномальные физические поля массивов кварцитов, серопроявлений и месторождений предопределены их положением в геологической структуре узлов. Зависимость геофизических характеристик различных полей от положения объекта является закономерностью и позволяет производить распознавание объектов по совокупности признаков,свойственных массиву безрудных пород или перспективному объекту, т.е. возможной серной залежи.

2. Детальными геофизическими исследованиями при поисках залежей серы решаются задачи изучения геологического строения рудных узлов, полей, месторождений. Для достижения основной цели - выявления серных залежей - на современной стадии развития исследований прямых геофизических методов не существует. Это определяет косвенный путь поисков - применение комплекса методов.

3. Эффективность комплекса геофизических методов (равно как и геологоразведочных работ в целом) при поисках залежей предопределяется их постановкой на перспективных площадях с высокой вероятностью формирования залежей. Прогноз таких площадей возможен на основе установленного закономерного размещения серного оруденения в рудоконцентрирующих структурах сернорудных узлов Северо-Камчатского сернорудного района.

Основные геологические задачи, решаемые геофизическими методами при крупномасштабном картировании, поисках и разведке месторождений самородной серы вулканического генезиса

Таблица 17

№№ п/п	Методы, модификации исследований / Геологические задачи	Магнитная съёмка	Электроразведка				Гравиметрия	КМПВ
			Съёмка ЕЭП	ВЭЗ	ЭП	ВП (ЭП, ВЭЗ)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Выявление и оконтуривание изменённых пород	+	+	+	+	+	?	-
2	Определение распространения вулканитов	+	?	+	+	+	?	+
3	Выявление экструзивно-интрузивных тел	+	?	?	?	?	?	?
4	Выявление разрывных нарушений в вулканитах	+	+	+	+	?	?	+
5	Выявление разрывных нарушений в изменённых породах, определение падения плоскости	+	+, -	+	+, -	?	?	+
6	Выявление пострудных нарушений в массивах изменённых пород	+, -	+	+	+	+	?	+
7	Выявление эродированных серных залежей	+, -	+	+	+	+	+	+
8	Выявление окисляющихся руд эродированных залежей	-	+	-	-	+	-	+, -
9	Выявление интенсивно трещиноватых и пористых безрудных и сульфидизированных изменённых пород	-	+	-	-	+	-	+, -

10	Выделение в массивах изменённых пород существенно кварцевых фаций:							
	а) выходящих под рыхлые отложения;	-	+	+	+	?	+	+
	б) под аргиллизированными породами	-	-	+	+	?	+	+
11	Выявление в массивах изменённых пород аргиллизированных образований краевых фаций: а) в плане;	-	-	+	+	-	+	-
	б) в разрезе	-	-	+	+	-	+	+
	в т.ч. сульфидизированных	-	-	-	-		-	-
12	Определение мощности изменённых пород	+	?	+	-	?	-	+
13	Определение мощности аргиллизированных пород, приближённое	-	-	+	-	-	-	+

ПРИМЕЧАНИЕ: Знаки в графах 3-8 обозначают: (+) – данный тип поля установлен на объекте;
(-) – данный тип поля на объекте не установлен
(+, -) – данный тип поля может существовать на объекте либо отсутствовать;
(?) – обозначает отсутствие данных

ГЛАВА V. ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ СЕРНОГО ОРУДЕНЕНИЯ В СЕВЕРО-КАМЧАТСКОМ СЕРОНОСНОМ РАЙОНЕ

Установление закономерностей размещения серного оруденения в Северо-Камчатском сероносном районе основывается на представлениях об определяющей роли разрывной (блоковой) тектоники в распределении региональных минерагенических факторов. Такая постановка вопроса для района, расположенного в зоне перехода от континента к океану в Тихоокеанском подвижном поясе, представляется правомерной и необходимой. При этом предполагается, что реализация геодинамических напряжений привела к возникновению в районе системы дислокаций, обусловивших формирование структурно-вещественных комплексов верхнего структурного этажа, в котором размещены массивы вторичных кварцитов и серное оруденение.

V. 1. Методика интерпретации региональных геофизических данных

Методика исследования заключается в статистическом анализе наблюдённых и трансформированных региональных гравитационных (Δg) и магнитных (ΔTa) полей съёмок масштаба 1:200000 и сопоставлении полученных результатов с имеющимися геологическими данными. С целью получения представлений о дислокациях и объектах разных размеров и простираний и их классификации [48] проведено разделение полей по способу осреднения с получением карт осреднённых и разностных трансформант. Исходя из вероятных размеров дислокаций, играющих роль региональных минерагенических факторов, применены радиусы осреднения 6, 10, 16, 22, 26 и 32 км.

Сравнение карт показало, что трансформанты, полученные с радиусами 22, 26 и 32 км отличаются незначительно, поэтому в качестве основных использованы карты с радиусами осреднения 6, 10, 16 и 22 км. Применённая программа трансформации [1] позволила одновременно получить для трёх радиусов: карты осреднённого поля; разностные аномалии между наблюденными и осреднёнными полями с первым, вторым и третьим радиусами; разностные аномалии между осреднёнными полями с первым и вторым, с первым и третьим радиусами. Для выявления разных объектов оказывались информативными как карты осреднения, так разностных полей.

При анализе наблюдённых полей анализировались морфология и интенсивность. С целью выявления закономерностей в строении полей выявлялись логические и метрические признаки. Среди них: ступени поля; резкое ограничение аномалий; торцовое сочленение различно ориентированных аномалий; рассечение аномалий одного простирания аномалиями другого простирания; линейно вытянутые цепочки чередующихся минимумов и максимумов; смещение линейно вытянутых аномалий в плане; цепочки узких линейных аномалий, вытягивающиеся вдоль прямой линии; перерывы и резкие изменения в амплитуде ступеней и линейных аномалий, повторяемость аномалий, числовые закономерности и др. Особое внимание уделялось признакам, которые характерны для поперечных и оперяющих разрывов [25].

Выявленные признаки группировались и сопоставлялись с имеющимися геологическими данными. Это позволило конкретизировать геологическую природу признаков, а их закономерное распределение – распространить полученную геологическую информацию на остальную территорию и получить новые геологические результаты.

V. 2. Общая геологическая характеристика и конкретизация тектонической позиции района

Серные месторождения Тихоокеанского сероносного пояса приурочены к внутренним вулканическим дугам Тихоокеанского андезитового пояса. Подавляющее большинство месторождений Японии, Курил и Камчатки, Корякии связаны со сравнительно кислыми андезитами и пирокластами, образованными на поздних стадиях развития дуг. В пределах дуг месторождения концентрируются преимущественно на площадях выходов позднемиоцен-древнечетвертичных вулканитов, образуя сероносные районы [4, 15].

С этих позиций Северо-Камчатский сероносный район определяется [4] как территория развития эффузивно-пирокластических образований среднего и умеренно кислого состава, распространённых вдоль Камчатского перешейка и далее на северо-восток на протяжении 250 км от р. Караги – на юго-западе, до р. Ветроваям – на северо-востоке (V – на рис.1). Рассмотрим, как на указанной территории размещены важнейшие региональные факторы, обусловившие формирование сероносного района, рудных узлов и месторождений, и на этой основе конкретизируем границы района.

Этими факторами являются: ареал эффузивно-пирокластических образований рудоносного комплекса (в дальнейшем – эффузивный [7] комплекс); ареал экструзивно-интрузивного комплекса (в дальнейшем – интрузивный [7] комплекс); система разрывных нарушений. Перечисленные факторы известны в литературе под названием «минерагенических» (металлогенических) или «рудоконтролирующих» [7, 57]. В дальнейшем будет применяться первый термин. Добавим, что упомянутые факторы, отражая распределение серного оруденения, одновременно характеризуют тектоническую структуру района.

1. Комплекс эффузивных образований в СКСР разделяется (снизу вверх) на корфовскую (верхний миоцен-плиоцен) и апукскую (верхний плиоцен-нижний плейстоцен) свиты [6].

Корфовская свита является единственной рудоносной толщей района. Она представлена двумя подсвитами, из которых нижняя подвергалась гидротермальным изменениям, выраженным в превращении исходных пород во вторичные кварциты. Нижнекорфовская подсвита сложена туфами, туфобрекчиями, туфоконгломератами, лахаровыми и туфогенно-осадочными фациями андезитового состава с прослоями бурых углей с резко подчинённым распространением андезитов. Мощность 400-550 м. Верхнекофская подсвита сложена преимущественно андезитами, реже андезито-дацитами, с резко подчинённым количеством пирокластов. Процессы изменения в ней очень редки. Мощность свиты 300-400 м. В геофизике она рассматривается в качестве структурно-вещественного комплекса [38].

Образования пострудной апукской свиты совершенно не затронуты процессами изменения [6]. Они перекрывают отложения корфской свиты на ограниченных участках района и представлены покровами андезитов, андезито-базальтов, базальтов общей мощностью 300-400 м.

Ареал пород корфской свиты по данным геологической съёмки масштаба 1:200000 отличен от приведённого в [15]. Согласно материалам А.И. Поздеева, породы корфской свиты протягиваются к северо-востоку от р. Ветроваям ещё на 20 км – до р. Отыранваям. С противоположной стороны, на юго-западе, в Вироваямском узле на севере Камчатского перешейка образования отнесеные В.И. Голяковым (1963 г.) к корфской свите, Н.Т. Демидовым (1968 г.) отнесены - к березовской (нижний-средний миоцен). Основанием этому является значительно более

кислый состав последний, существенно отличный от умеренно-кислого состава пород корфской свиты [6].

Таким образом, полоса распределения рудоносной свиты по простиранию района сокращается примерно до 150 км. Такого мнения придерживается также Т.В. Тарасенко и И.Н. Титов [52].

2. На всей территории СКСР, исключая Вироваямский узел и площадь к югу от него (см. рис.1), в зоне Вывенского глубинного разлома распространены интрузивные образования среднего и умеренно-кислого состава: диоритовые, андезитовые и андезито-дацитовые. В Вироваямском узле Г.П. Поляков (1967 г.) установил иной – кислый состав субинтрузивного комплекса: гранодиориты, граносиениты, кварцевые диориты, дациты и редко – андезито-дациты и диорит-порфириты.

Таким образом, площадное распространение односоставного интрузивного комплекса совпадает с ареалом рудоносной корфовской свиты. Добавим, что к северо-востоку от р. Отыранваям установлен уже ультраосновной (дуниты, оливиниты), а к юго-западу от р. Валоваям (расположенный южнее Вироваямского узла) – преимущественно кислый (гранитоиды) интрузивные комплексы [6, 21].

3. Простирание разрывных нарушений разного ранга в районе по данным В.И. Голякова, В.В. Ковалёва и др. равно 10, 30, 50, 60, 320-330^0. Для Вироваямского узла Г.П. Поляковым установлена иная система: 20, 60, 70, 300 и 340^0. По материалам наземных геофизических съёмок на проявлениях Сеэрваямского, Малетойваямского (Г.П. Яроцкий, 1967-69 гг.) и Ветроваямского узлов (В.Л. Шмелёв, 1967 г.) простирание осевых линий аномалий магнитного поля равно 30 и 330^0 , в Вироваямском – 20 и 300-310^0 (Ю.Л. Корякин, 1967 г.).

4. Простирание региональных аномальных полос гравитационных и магнитных максимумов, фиксирующих Вывенский глубинный разлом, на вышеуказанной территории различно. К югу от р. Анапки – 40^0, к северо-востоку от р. Отыранваям – около 70^0, в их междуречье выдержено около 60^0.

Изложенные данные дают основание считать, что выделенная ранее территория СКСР [4] не может рассматриваться как единая, или, по крайней мере, как однородная тектоническая структура, развивавшаяся по единому плану. Лишь на протяжении 150 км вдоль Вывенского разлома – от р. Анапки до р. Отыранваям – рассмотренные основные стратиграфические и тектонические характеристики района являются общими и постоянными. Именно на этой территории развита та тектоно-магматическая структура, которая предопределила зарождение и формирование сероносного района (Va – на рис.1).

Ширина района ограничена на северо-западе и юго-востоке границами распространения рудоносной корфовской свиты и равна в среднем 40 км (рис. 63). Таким образом, максимальная площадь вероятного распространения серного оруденения составляет около 6000 кв. км.

Анализ гравитационных и магнитных полей Корякско-Камчатского региона позволил установить [69, 70, 71], что рассмотренные геологические особенности строения СКСР определяются ограничением его территории по простиранию двумя северо-западными глубинными разломами: Ребро Рекиннинско) - Анапкинским на юго-западе и Парень-Таловско-Тиличикском – на северо-востоке (рис. 58). Разломы являются поперечными по отношению к региональным структурам Камчатского простирания и получили наименование алеутских [69]. Они принадлежат к системе аналогичных разломов, выделенных на территории всего региона [12, 54, 55, 73, 75].

Конкретизировав территорию района, перейдём к рассмотрению размещения региональных минерагенических факторов и их роли в формировании района.

V. 3. Системы тектонических разрывов – факторов формирования тектонической структуры района

Согласно геологическим и геофизическим данным в районе существует система разрывных нарушений разного ранга и направлений.

Вывенский глубинный разлом – главная магмоконтролирующая структура. Геофизическая характеристика разлома с различной степенью детальности рассматривалась Л.А. Майковым, Г.П. Декиным, А.Н. Портновым, Е.М. Семёновым, а его роль в геологическом развитии региона – Т.В. Тарасенко, Б.В. Лопатиным.

В гравитационном поле Вывенский разлом отчётливо выражен зоной интенсивных положительных аномалий, ограниченной с юго-востока и северо-запада гравитационными ступенями высокой и средней интенсивности соответственно. Генеральное простирание зоны – около 60^0, ширина 12-20 км (на крайнем юго-западе, в нижнем течении р. Анапки она, видимо, может быть увеличена до 30 км). Северо-западное и юго-восточное обрамление зоны в полосе шириной 5-20 км по обе стороны выражено также положительным полем, но значительно меньшей интенсивности. (рис. 54, 58)

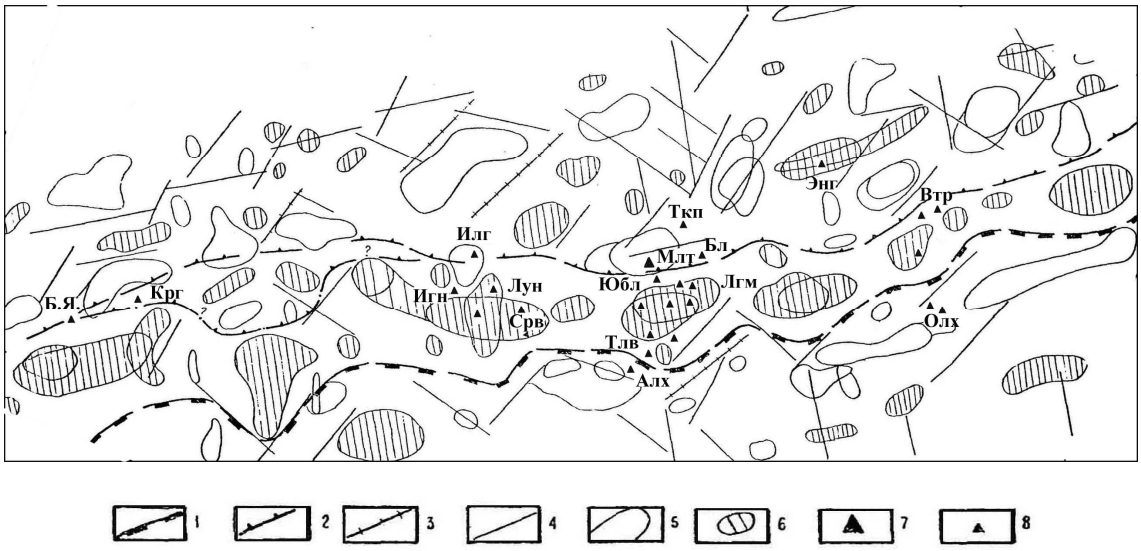


Рис. 54. Схема геологической интерпретации наблюдённого и трансформированного гравитационного поля Северо-Камчатского сероносного района

1 – гравитационные ступени высокой интенсивности и большой протяженности; 2 – гравитационные ступени средней интенсивности и большой протяженности; 3 – гравитационные ступени средний интенсивности, малой протяженности – обычно на границах локальных аномалий; 4 – линии, отражающие простирание изаномал осредненного поля, иногда ступени; 5 – остаточные и разностные минимумы (по картам трансформант с радиусами осреднения 6, 10, 16 км); 6 - остаточные и разностные максимумы (по картам трансформант с радиусами осреднения 6, 10, 16 км); 7 – месторождения; 8 – серопроявления (см. также рис.55):

Б.Я. – Белый Яр; Крг – Красногорское; Илг – Ильгилькиваямское; Срв – Сеэрваямское; Игн – Игунаваямское; Лун – Луноваямское; Тлв – Тюлюльваямское; Алх – Мя-Альховаямское; Лгм - Лигинмываямское; Юбл – Юбилейное; Млт – Малетойваямское; Бл – Белое; Ткп – Такайпинское; Энг – Энынгваямское; Олх – Ольховое; Втр - Ветроваямское

Зона интенсивно положительного поля распадается на отдельные линейно-блоковые аномалии, образованные разрывами прямолинейного северо-восточного направления изоаномал. Границы аномалий устанавливаются по характерному изгибу изолиний наблюдённого поля в зоне разлома, и, в основном, за её пределами. Аномалии состоят из ярких единичных гравитационных эллипсовидных максимумов размером по большой оси до 10 ÷ 30 км, четкообразно вытянутых вдоль зоны.

Рис. 55. Карта графиков ΔTa
СЕВЕРО-КАМЧАТСКОГО СЕРОНОСНОГО РАЙОНА
Составил Г.П. Яроцкий по материалам Л.А. Майкова, В.И. Голякова, Г.П. Полякова, В.М. Ковалёва, Ю.С. Турчиновича, Н.П. Митрофанова
1973 г.
СЕРНОРУДНЫЕ УЗЛЫ
I – ВЕТРОВАЯМСКИЙ
II – ИПИХЛЯУТВАЯМСКИЙ (по геолого-геофизическим данным)
III – МАЛЕТОЙВАЯМСКИЙ
IV – СЕЭРВАЯМСКИЙ
V – АНАПКИНСКИЙ (предполагаемый по геофизическим данным)
VI – ВИРОВАЯМСКИЙ
VII – ОТЫРАНВАЯМСКИЙ (предполагаемый по геолого-геофизическим данным)
1 - Ветроваямское и Дальнее, 2 - Ченинг, 3 - Ольховое, 4 - Энынгваямское,
5 - Такайпинское, 6 - Белое, 7 - Малетойваямское, 8 - Юбилейное, 9 - Южное,
10 - Лигинмываямское, 11 - им.Г.М. Власова, 12 - Тюлюльваямское,
13 - Луноваямское, 14 - Игунаваямское,
15 - Сеэрваямское, 16 - Ильгилькиваямское,
17 - Красногорское, 18 - Красный откос,
19 - Белый Яр и Вертолётное,
20 - Мя-Альховаямское
Поля вторичных кварцитов
Серопроявления и месторождения, их номера
Отложения лимонита
Сероводородные и кислые источники
Разрывные нарушения по геологическим данным
Графики ΔT, в 1 см - 1250 гамм
Сернорудные узлы (контуры условны)

Ещё более отчётливо проявлена зона разлома на картах остаточных аномалий, в виде полосы локальных максимумов шириной 12-20 км, которая с севера-запада и юго-востока обрамлена полосами локальных минимумов. Протяжённость зоны около 150 км. Характерно, что размеры аномалий в зоне разлома почти не меняются при увеличении радиуса осреднения от 6 до 16 км, градиенты поля между остаточными аномалиями разного знака, как правило, значительны.

В магнитном поле Вывенский разлом отражён северо-восточной зоной интенсивных положительных аномалий, ограниченной ступенями поля (рис.55). Она в плане принципиально совпадает с зоной максимумов гравитационного поля (рис. 54, 56). Зона так же распадается на ряд линейно-блоковых ромбовидных аномалий, которые совпадают с таковыми в гравитационном поле. Поле в аномалиях-блоках сравнительно однородно, интенсивно положительно, с отдельными локальными максимумами. Ширина зоны максимумов 10-25 км, генеральное простирание – 60^0, на северо-востоке она ограничивается отрицательным полем, на юго-западе – разрывом интенсивно положительного поля градиентным и слабоположительным полем. Протяжённость зоны составляет около 150 км.

Вывенский разлом является главной магмоконтролирующей структурой района. В его зоне происходило формирование крупных интрузивных тел и малых интрузий. Являясь северо-восточной ветвью Камчатско-Вывенского пояса глубинных разломов, Вывенский разлом играет роль шовной зоны, разграничивающей две крупные складчатые структуры юго-запада Корякского нагорья [52].

Субалеутские северо-западные поперечные разрывы – рудоконцентрирующие структуры. Выше говорилось о том, что в гравитационном и в магнитном полях Вывенского разлома отмечается характерная особенность – их линейно-блоковое строение в виде четковидной системы локальных линейно-блоковых аномалий. К центральной части аномалий приурочены уже упоминавшиеся наблюдённые и остаточные локальные гравитационные максимумы. Установлено их метрическое закономерное размещение в зоне разлома: расстояние между их центрами по оси разлома равно в среднем 25 км. Примерно такие же расстояния между линиями, разделяющими аномальную зону на линейно-блоковые аномалии (рис. 54-57).

К северо-западу и юго-востоку от центра каждой линейно-блоковой аномалии фиксируются полосы чередующихся локальных минимумов и максимумов гравитационного поля, не наблюдаемых на остальной части зоны (рис. 54). Ширина полос остаточных аномалий 3-10 км, их простирание около 330^0, т.е. ортогонально зоне глубинного разлома. К некоторым полосам приурочены отдельные знакопеременные высокоградиентные аномалии магнитного поля интенсивностью -200 ÷ +500 гамм (рис. 56). Напомним, что наземными магнитными съёмками в Ветроваямском, Малетойваямском и Сеэрваямском узлах установлено широкое развитие линейных протяжённых и коротких магнитных минимумов, реже максимумов северо-западного простирания 330^0 [62]. На площади Вироваямского узла простирание подобных аномалий составляет $300\text{-}310^0$ (Ю.Л. Корякин, 1967 г.).

Таким образом, устанавливаются логические и метрические закономерности размещения максимумов в зоне Вывенского разлома на протяжении 150 км, и приуроченных к ним перпендикулярных полос чередующихся локальных остаточных гравитационных аномалий – минимумом и максимумов. Метрические закономерности выражены принципом постоянства расстояний – в среднем 25 км, и выдержанности направлений – 330^0.

Сопоставление закономерностей физических полей и их характерных признаков с геологическими и структурно-геоморфологическими данными позволяет идентифицировать полосы чередующихся локальных аномалий с разрывами, поперечными к Вывенскому разлому. Параллельность разрывов Ребро-Анапкинскому и Парень-Таловско-Тиличикскому алеутским глубинным попереч-

ным разломам, ограничивающим СКСР, послужила основанием именовать их субалеутскими [69, 71]. Согласно данным В.И. Голякова на территории СКСР северо-западные нарушения имеют характер сбросов и зон дроблений. Длина их достигает 66 км, ширина – 1-8 км, амплитуды смещений – 100-400 м.

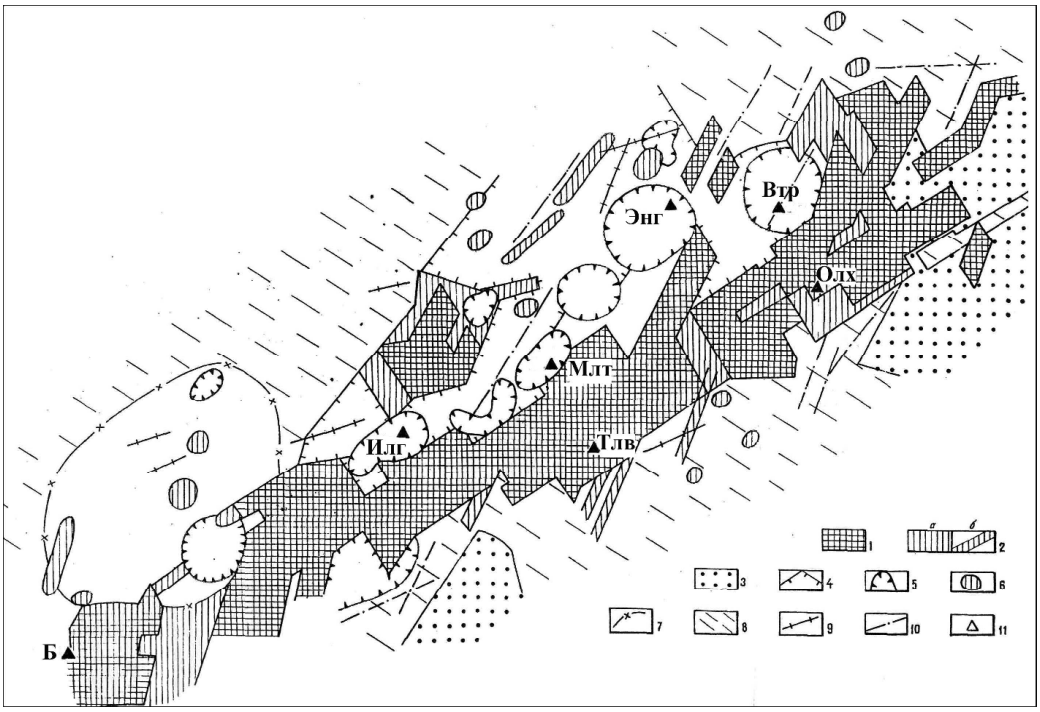


Рис.56. Схема районирования магнитного поля Северо-Камчатского сероносного района

1 – площади положительного градиентного поля интенсивностью 500 – 1000 гамм с локальными максимумами интенсивностью 1500 – 2000 гамм; 2 – площади положительного малоградиентного поля интенсивностью 100 – 500 гамм –а, то же, на участках линейных аномалий-б; 3 – площади положительного безградиентного поля интенсивностью 200-300 гамм; 4 – границы площадей знакопеременного преимущественно отрицательного градиентного поля интенсивностью от -150 ÷ -400 гамм до +200 гамм; 5 – отдельные аномалии знакопеременного преимущественно положительного высокоградиентного поля интенсивностью -200 ÷ +500 гамм; 6 – локальные изометричные положительные аномалии интенсивностью 400 – 1000 гамм; 7 – площадь высокоградиентного поля интенсивностью -500 ÷ -1000 гамм; 8 – площади отрицательного безградиентного поля интенсивностью -200 ÷ -500 гамм; 9 – осевые линии отдельных линейных минимумов; 10 – осевые линии отдельных линейных максимумов; 11 – серопроявления и месторождения (см. также рис.54, 55)

Б. – Белый Яр; Илг – Илькилькиваямское; Млт – Малетойваямское; Тлв – Тюлюльваямское; Энг – Энынгваямское; Втр – Ветроваямское; Олх – Ольховое

В пределах СКСР по геофизическим данным выделено семь субалеутских разрывов (с северо-востока на юго-запад): Тиличикский (за пределами рис. 57), Отыранваямский, Ветроваямский, Ипихляутваямский, Малетойваямский, Сеэрваямский, Анапкинский. На юго-западе, в Вироваямском узле, уже за пределами СКСР выделяется Белоярский разрыв.

Ветроваямский и Малетойваямский разрывы, как серию параллельных трещин, выделил по геологическим данным Г.М. Власов [4]. В 1970 г. В.М. Ёркин, В.Д. Дмитриев, В.М. Никольский выделили по геологическим и структурно-геоморфологическим данным Сеэрваямский и Игунаваямский разрывы, которые согласно геофизическим данным являются зоной единого Сеэрваямского разрыва. Остальные разрывы установлены тоже по геолого-геофизическим данным. Упомянутые авторы наделяют выделенные ими разрывы функцией рудоконтролиру-

ющих. Мы придерживаемся другой точки зрения и рассмотрим роль субалеутских разрывов на примере хорошо изученного Малетойваямского узла (рис. 57, 60, 62).

На крайнем юго-западе в зоне этого разрыва на юго-востоке шовной зоны расположено Тюлюльваямское проявление. Здесь установлено распространение интенсивно трещиноватых и пористых кварцитов с убогой серной минерализацией. В кварцитах - повышенные содержания серебра, свинца, кобальта. К северо-западу от Тюлюльваямского проявления на водоразделе в центральной части зоны находится Южное проявление, где развиты интенсивно трещиноватые и пористые высокотемпературные диаспоровые кварциты с анатазом, андалузитом, сульфидами железа, баритом. Серная минерализация убогая, рассеянная. В кварцитах установлены повышенные концентрации свинца, серебра. Проявление расположено в центральной части шовной зоны.

Севернее от Южного в зоне разрыва расположен Юбилейный участок Малетойваямского месторождения. Здесь развиты среднетемпературные серицитовые с андалузитом и алунитовые кварциты, интенсивно сульфидизированные, появляются серные кварциты. Сера образует залежи с промышленными содержаниями. В скважине 2ю в нескольких интервалах установлены барит, халькозин, ковеллин, диагенит, золото.

Последним в рассматриваемом ряду стоит Центральный участок Малетойваямского месторождения, примерно в 6,3 км от края шовной зоны. Здесь развиты низкотемпературные алунитовые кварциты, серные кварциты, моноквацриты, опалиты с малым содержанием сульфидов железа, а также гипсом, баритом. Сера образует залежи с промышленными концентрациями и среднем содержанием серы выше, чем на участке Юбилейном. В кварцитах нижних горизонтов установлены повышенные содержания меди, золота, ртути, марганца, мышьяка. Участок расположен на северо-западном краю шовной зоны.

К северо-востоку от Центрального участка геолого-геофизическими работами в зоне разрыва низкотемпературные глинистые с убогой серной минерализацией вторичные кварциты выявлены как на поверхности, так и на глубине (Е.Е. Белков, Г.П. Яроцкий, 1971 г.) на участке Такайпинском, фактически расположенном уже за пределами разрыва.

Эти факты иллюстрируют смену высокотемпературных и среднетемпературных рудоносных кварцитов и рудных ассоциаций низкотемпературными в направлении от Вывенской шовной зоны к северо-западу. Смена прослежена в полосе Малетойваямского разрыва на протяжении около 15 км. Аналогичное распространение кварцитов и рудных элементов установлено также в зоне Сеэрваямского разрыва (Н.П. Митрофанов, Ш.Ш. Гимодеев, 1967 г.).

Рассмотренная закономерность размещения рудовмещающих (рудоносных) пород и химических элементов металлов известна в литературе как минеральная миграционная зональность. Она является индикатором т.н. рудоконцентрующей структуры. Одна из особенностей таких структур – проявление в виде широких зон дроблений, принадлежащих к диагональной системе разрывов [56, 57].

Таким образом устанавливается роль субалеутских разрывов – роль рудоконцентрирующих структур района, рассматриваемых в геофизике в качестве локализующих рудоконцентрирующих структурно-вещественных комплексов.

Субкамчатские северо-восточные секущие разрывы – рудоконтролирующие структуры. В местах расчленения полей Вывенского разлома на линейно-блоковые аномалии заложена система разрывов, впервые в СКСР выделяемая по геофизическим данным (Г.П. Яроцкий, 1973 г.).

На рис. 55 и 56 видно, что к северо-востоку и юго-западу от зоны интенсивных положительных магнитных аномалий Вывенского разлома в ряде мест фиксируются отдельные положительные магнитные линейные аномалии – в виде узких

изолированных полос, одиночных максимумов, либо узких линейных ответвлений северо-северо-восточного направления. Ещё более отчётливо эти аномалии устанавливаются по карте изодинам. Разнообразные варианты корреляции наблюдённого магнитного поля и трансформант по отдельным профилям показали, что подобные характеристики поля закономерно концентрируются в полосах северо-северо-восточного направления. В ряде мест они подтверждаются слабыми ступенями наблюдённого и трансформированного гравитационного поля.

В большинстве своём магнитное поле в полосах характеризуется значением 300-500 гамм, иногда (на крайнем северо-востоке) 700-1000 гамм, что в целом близко по интенсивности полю аномалий в зоне Вывенского разлома. В отдельных местах полосы прерываются отрицательными аномалиями различной интенсивности, в результате чего создаётся цепь чередующихся знакопеременных аномалий рис. 55 и 56).

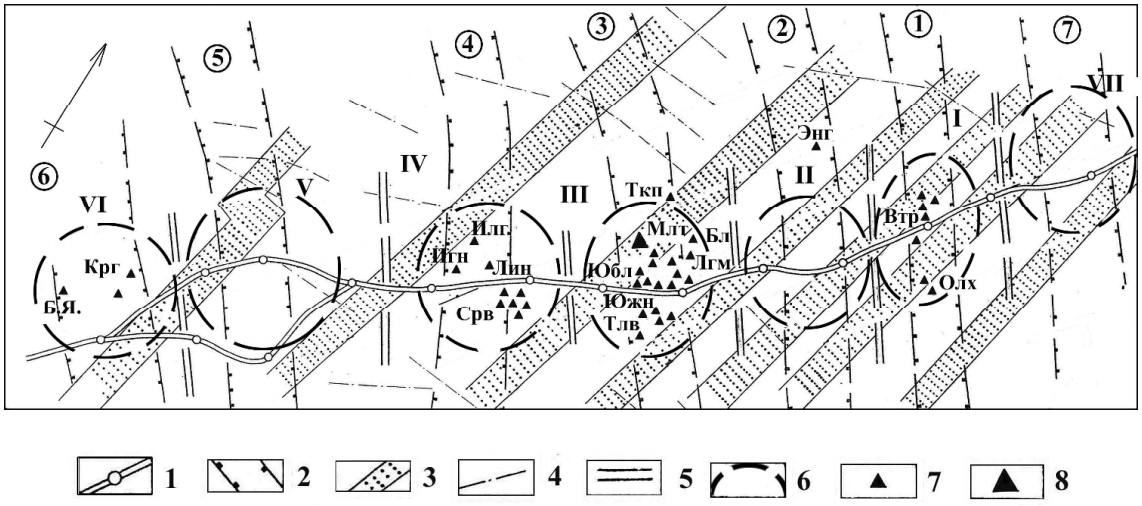


Рис. 57. Схема результатов геологической интерпретации магнитного и гравитационного полей Северо-Камчатского сероносного района и прогноза рудных узлов

1 – осевая линия Вывенской шовной зоны северо-восточного простирания – главной магмоконтролирующей структуры района; 2 – зоны поперечных субалеутских разрывов северо-западного простирания – рудоконцентрирующих структур района: 1 – Ветроваямской; 2 - Ипихляутваямской; 3 – Малетойваямской; 4 – Сеэрваямской; 5 - Анапкинской; 6 – Белоярской; 7 – Отыранваямской; 3 – зоны секущих субкачатских разрывов северо-восточного простирания – рудоконтролирующие структуры района; 4 – отдельные нарушения субширотного простирания; 5 – границы линейно-блоковых аномалий шовной зоны; 6 - сернорудные узлы района (контуры условны): известные: I – Ветроваямский, III – Малетойваямский, IV – Сеэрваямский, VI – Вироваямский (к СКСР не принадлежит); прогнозируемые: II – Ипихляутваямский, V – Анапкинский; VI – Белоярский; VII – Отыранваямский; 8 – серопроявления (наименования см.рис.54); 9 – месторождения (наименования см.рис.54)

Простирание полос – 30^0 (для Вироваямского узла около 25^0), ширина – 5-10 км. Длина их к юго-западу от осевой линии Вывенского разлома равна 15-30 км, к северо-востоку – 50-80 км. С глубинным разломом полосы образуют углы от 20^0 (на северо-востоке) до 40^0 (на юго-западе), с субалеутскими разрывами – 60^0. По данным наземных магнитных съёмок на участках Малетойваямского, Сеэрваямского и Ветроваямского узлов установлено широкое развитие линейных максимумов и минимумов северо-восточного простирания – 30^0 [62].

Характерные признаки физических полей и их сопоставление с геологическими данными свидетельствует о связи выделенных полос с тектоническими разрывами. В ряде мест полосы контролируются отдельными нарушениями или группой сближенных субпараллельных коротких нарушений того же простирания. Согласно данным В.И. Голякова, В.В. Ковалёва и др., они классифицируются как

зоны сланцеватости, смятия и надвиговых чешуй, что принципиально отличает их от северо-западных сбросов и зон дробления. Особенностью зон является и развитие в ряде мест мелких экструзивно-интрузивных тел. Протяжённость нарушений от 14 до 60 км, амплитуды горизонтальных перемещений достигают 700 м, простирание – северо-северо-восточное (около 30^0-40^0).

Эти данные с уверенностью позволили идентифицировать выделенные геофизические полосы с зонами разрывов, а наличие отдельных проявлений интрузивного магматизма и интенсивность магнитного поля – связывать с ними магмоконтролирующую функцию. Учитывая их простирание, согласное структурам Камчатки (рис. 1), назовём их субкамчатскими (Г.П. Яроцкий, 1971 г.). На территории района выделено семь субкамчатских разрывов, один, из которых простирается и на площадь Вироваямского узла.

Рассмотрим роль субкамчатских разрывов в размещении серного оруденения на примере Такайпинского, Энынгваямского, Ветроваямского и Малетойваямского участков (рис. 57). Типичная схема формирования массивов вторичных кварцитов с минерально-миграционной зональностью приведена на рис.60 и 62.

Такайпинское проявление расположено на периферии третьего субкамчатского разрыва в 8 км к северо-востоку от Центрального участка Малетойваямского месторождения. Проявление удалено от оси Вывенского разлома на 15 км. Скважинами здесь вскрыта толща низкотемпературных существенно глинистых кварцитов, интенсивно сульфидизированных и бессерных. Энынгваямское проявление, размещённое в Ипихляутваямской рудоконцентрирующей структуре (2), расположено между вторым и третьим субкамчатскими разрывами. Удаление от оси Вывенского разлома составляет около 20 км. Средне- и низкотемпературные кварциты содержат убогую серную минерализацию. Ветроваямское месторождение размещено в 2 км от оси Вывенского разлома в Ветроваямской рудоконцентрирующей структуре (1), практически вне субкамчатского разрыва. По масштабам оруденения – это проявление, содержащее переплавленные бессульфидные серные руды импрегнационного генезиса[4].

Малетойваямское месторождение (Центральный и Юбилейный участки) в отличие от рассматриваемых других участков размещено в месте пересечения Малетойваямской рудоконцентрирующей северо-западной структуры (3) третьим с юго-запада субкамчатским разрывом. Расстояние от осевой части Вывенского разлома составляет 6-9 км. По масштабам серное оруденения в средне- и низкотемпературных кварцитах оно относится к сравнительно крупным месторождениям СКСР.

Имеющиеся геологические данные свидетельствуют об отсутствии в субкамчатских разрывах той миграционной минеральной зональности, которая свойственна рудоконцентрирующим субалеутским разрывам. Кроме того, на вышерассмотренном примере Малетойваямской рудоконтролирующей структуры (3) видно, как распространение в ней кварцитов к северо-западу от месторождения ограничено субкамчатским разрывом. Характерно, что единственное месторождение самородной серы в Малетойваямском узле расположено в месте пересечения субалеутского и субкамчатского разрывов. Добавим, что места пересечения во многих случаях отмечаются в магнитном поле характерными аномалиями (5 – рис. 56).

Разрывы, подобные субкамчатским, описаны в литературе под названием «рудоконтролирующих структур». Отличительной их особенностью является то, что в месте пересечения их с рудоконцентрирующими располагаются, как правило, наиболее крупные месторождения [56, 57].

Прочие разрывы. Кроме описанных систем тектонических нарушений в СКСР выделены разрывы других, видимо, второстепенных направлений. Это субвывенские, оперяющие Вывенский разлом (угол 10-20^0), субмеридиальные и субширотные. Устанавливается, что по последним зачастую происходит смещение нарушений других направлений. Перечисленные разрывы характеризуются фрагментарностью проявления и в геофизических полях, и по геологическим наблюдениям.

V. 4. Ареалы эффузивных и интрузивных пород – структурно-вещественных комплексов тектонической структуры района

Ареал корфовской рудоносной свиты на юго-западе и северо-востоке района ограничен, как упоминалось, поперечными глубинными алеутскими разломами. На северо-западе и юго-востоке её границы обусловлены протяжённостью субкамчатских разрывов. Это отразилось на площадном распространении комплекса по отношению к Вывенскому разлому: около 3/5 ареала расположено к северу от его осевой линии.

В магнитном поле образования корфовской свиты, будучи магнитными, выражены преимущественно положительными значениями, и лишь в тех случаях, когда они превращены в изменённые породы – локальными понижениями поля. В гравитационном поле образования свиты отражаются остаточными аномалиями в тех случаях, когда участвуют в строении блоковых или пликативных структур. На существование таких структур к северу от Вывенского разлома указывали В.Д. Дмитриев (1970 г.), А.Н. Портнов (1969-1971 гг.)

Ряд новейших локальных поднятий и опусканий на территории совпадает с положением гравитационных максимумов и минимумов, соответственно. Согласно геологическим данным к локальным поднятиям приурочены известные выходы изменённых пород и проявлений серы района. Глубина заложения локальных структур, очевидно, значительна. Об этом свидетельствует то, что, остаточные аномалии получены при радиусах осреднения 6, 10 км, а иногда 16 и 22 км. Размеры локальных структур до 5 – 15 км, иногда более. Серия локальных поднятий и опусканий фиксирует положение Малетойваямского субалеутского разрыва (3), отдельные структуры отмечаются в Сеэрваямском (4), Ипихляутваямском (2) и Ветроваямском (1) разрывах. Добавим, что некоторые структуры имеют, видимо, в верхних этажах и тектоническое ограничение, что превращает их в блоки.

К юго-западу от Сеэрваямского (4) разрыва в бассейне р. Анапки образования корфовской свиты широко перекрыты в ряде мест покровами пострудной апукской свиты. В зоне Анапкинского узла они занимают обширную площадь, создавая своеобразную аномалию магнитного поля (7 – на рис. 56). Образования апукской свиты на остальной площади района распространены небольшими участками. В гравитационном поле покровы свиты не проявляются.

Интрузивные породы. В зоне максимумов, заключённой между гравитационными ступенями, также распространены образования корфовской свиты. Однако природа остаточных максимумов здесь связана с геологическими причинами иного рода. По мнению А.Н. Портнова (1969-71 гг.) локальные максимумы наблюдённого гравитационного поля в зоне разлома обусловлены присутствием под покровом эффузивов кайнозойского возраста высокоплотных субинтрузий основного и среднего состава, залегающих на небольшой глубине, а также и блоковыми поднятиями верхнемелового фундамента в зоне Вывенского разлома, обрамлённого менее плотными породами прилегающих структур. (Плотность интрузий диоритового состава на 0,1-0,5 г/см^3 выше средней плотности осадочных

образований, развитых, как предполагает А.Н. Портнов, под толщей эффузивного комплекса).

Если рассматривать схему остаточных гравитационных аномалий (рис. 54), то устанавливается повсеместная приуроченность локальных максимумов к закартированным телам диоритов, андезитов и андезито-дацитов размером 10-50 кв. км (В.И. Голяков, В.В. Ковалёв). Как отмечает Е.М. Семёнов (1970 г.) эти тела фиксируются локальными аномалиями поля ΔТа съёмки масштаба 1: 25000. Ещё более отчётливо они проявляются на карте остаточных магнитных аномалий – в виде чётких локальных максимумов интенсивностью до 3600 гамм, что обусловлено магнитными свойствами тел (κ достигает 24 х 10^{-4} СГС) , так и значительной вертикальной мощностью. По материалам съёмки Е.М. Семёновым в зоне разлома выделено ряд новых тел среднего состава, в частности, в районе Тюлюльваямского и Лигинмынваямского проявлений, а также в месте пересечения Вывенского разлома Ипихляутваямским и Ветроваямским поперечными северо-западными разрывами. Разрозненные на поверхности тела Е.М. Семёнов считает выходами единых сравнительно крупных неэродированных интрузивов.

Такая точка зрения находит подтверждение в том, что при малых радиусах осреднения гравитационного поля (6 и 10 км) отмечается «распад» некоторых наблюденных единичных максимумов линейно-блоковых аномалий на два-три локальных остаточных максимума, совпадающих в плане, в ряде случаев, с остаточными максимумами магнитного поля. Такой «распад» хорошо фиксируется на картах разностных остаточных аномалий, полученных путем вычитания осредненного поля с радиусом 10 км от такового – с радиусом 6 км. Примером тому служат максимумы в районе Игуноваямского, Тюлюльваямского, Ветроваямского проявлений и др. (рис. 54). При увеличении радиусов происходит обратное явление – слияние их в единую аномалию. Добавим, что такие взаимоотношения послужили основанием к вынесению на рис. 54 как остаточных, так и разностных аномалий, полученных с разными радиусами осреднения.

Таким образом, мы приходим к выводу о сложном строении объектов, образующих гравитационные и магнитные аномалии объектов в Вывенской шовной зоне, в частности, о наличии в верхних частях ее разреза штокообразных тел. С этими телами, сформированными в последнюю вспышку вулканизма в районе, связаны постмагматические процессы серообразования [2, 3, 4, 41].

V. 5. Прогнозирование участков локализации месторождений серы

В последовательном рассмотрении закономерностей размещения серного оруденения в районе предлагаемая модель является конечным этапом геологической интерпретации комплекса геологических и минерагенических данных. Предлагается модель рудообразующей системы формирования участков локализации оруденения, как мест значительного скопления полезного ископаемого, т.е. вероятного месторождения. Знание положения таких участков в структурах узлов позволит локализовать площадь поисков. Настоящий раздел написан геологом Г.П. Поляковым с участием автора.

Для рассматриваемого типа оруденения может быть предложен качественный подход, использованный ранее многими исследователями [19, 20, 61 и др.]. Он сводится к расчёту местоположения изотерм, ограничивающих распространение рудоносных фаций пород в окрестностях охлаждающегося интрузивного тела, с которым пространственно и генетически ассоциирует оруденение. В настоящем случае задача усложняется необходимостью учёта взаимодействия двух и более тепловых источников. Поэтому при расчётах динамики температурного поля та-

кой системы удобно использовать методику описания температурных изменений в средах при периодических тепловых воздействиях [20, 61].

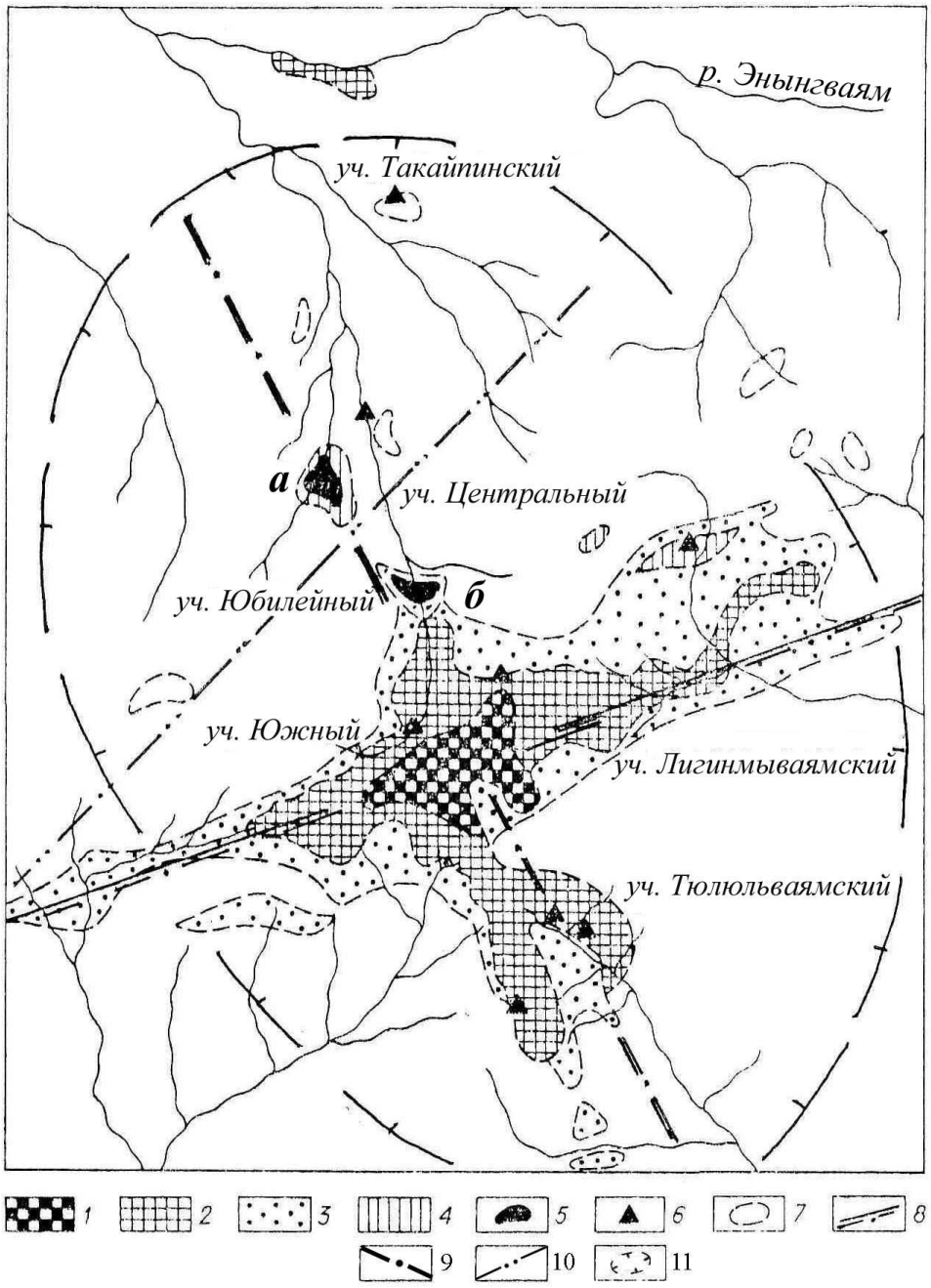


Рис. 58. Схема распространения комплексов минеральных фаций вторичных кварцитов Малетойваямского рудного узла [41], с дополнениями Г.П. Яроцкого

1 – высокотемпературные кварциты с диаспором, анатазом, андалузитом, турмалином; 2 – среднетемпературные кварциты с серицитом, баритом; 3 – породы высоко- и среднетемпературной аргиллизации и пропилизации; 4 – площадь распространения среднетемпературных серных и алунитовых кварцитов; 5 – залежи: а – сульфидно-серных, б - серно-сульфидных руд; 6 – проявления самородной серы; 7 – породы опализации и аргиллизации

Дополнения. Геолого-геофизические данные: 8 – осевая линия Вывенского глубинного разлома (по геофизическим данным); 9 – осевая линия рудоконцентрирующей структуры узла; 10 – осевая линия рудоконтролирующей структуры узла; 11 – контуры узла

Исходные условия построения модели. Учёт влияния нескольких источников предпринят с целью установления оптимального расстояния «интрузия - месторождение серы». Исходными посылками для этого являются следующие, хорошо

известные [2, 4, 14, 15, 16, 36] и установленные нами, факты из геологии вулканических месторождений серы: а) серное оруденение концентрируется в рудных узлах и ассоциирует с вторичными кварцитами; б) в строении массивов кварцитов устанавливается миграционная зональность минеральных и рудных ассоциаций, обусловленная различной степенью влияния интрузии; в) серное оруденение ассоциирует с высоко-, средне- и низкотемпературными кварцитами, образуя крупные (промышленные) скопления в последних двух типах; г) процессы импрегнационно-метасоматического отложения серы протекают в ограниченном интервале температур – 120-95^{0}С.

Развитие процесса гидротермального метаморфизма и рудообразования происходит вблизи поверхности на участках локального вывода глубинного тепла (от конечного объёма магмы) в уже сформированную толщу пород верхних структурных этажей. Эта толща обладает, очевидно, определённым гидрогеологическим режимом и гидродинамическими свойствами, обусловленными литологическим составом и характером тектонических дислокаций пород (см. главу I). При этом подземные воды в этой толще всегда образуют единую систему. Поскольку динамика переноса энергии и вещества подчиняется одним и тем же физическим законам, то изотропность этой среды можно принять и в случае переноса через неё тепла от точечного источника в такой среде.

Как известно от источника со стационарным температурным режимом имеет место тепловой поток, равный, согласно первому закону Фурье: $q = - \lambda \, grad \, t^0$, где λ – коэффициент теплопроводности среды; t^0 – температура в источнике [30].

При периодическом изменении температуры в источнике от него отделяется тепловая волна, амплитуда которой экспоненциально убывает по мере удаления от источника по закону: $A(x) = A\bar{e}\sqrt{\frac{w}{2a^2}}x$ где $A(x)$ – амплитуда волны в точке x; A – амплитуда волны в источнике при x=0; w – циклическая частота изменения температуры; a – коэффициент температуропроводности среды; x – координата волны. Граничным условием процесса является функция: $A(x) = A \cos w\tau$ где τ - время движения волны.

Условия распространения тепловых волн в реальных многофазных геологических средах отличается от условий идеального случая влиянием формы и размеров источника, а также анизотропией тепловых свойств среды. Эти факторы обуславливают пространственную деформацию волн и дисперсию их амплитуд. В связи с этим, точное решение задачи о положении тепловой аномалии с заданным интервалом температур невозможно. Однако, поскольку в макрообъёме многофазных сред процесс теплопередачи подчиняется закону Фурье с тем большей точностью, чем больше этот объём [23], можно найти некоторую площадь, на которой процесс формирования тепловой аномалии наиболее вероятен.

Тепловое поле субинтрузий. Для подтверждения сказанного выше проведены расчёты тепловых полей системы субинтрузивных тел Малетойваямского рудного узла в полосе Вывенского разлома и сделаны построения изотерм в интервале температур 50-130^0, соответствующих температурам образования кварцитов и серных руд.

Временные и температурные параметры интрузий-источников тепла выбраны на основе исследований процессов формирования тепловых полей, проведённых В.А. Кудрявцевым с сотрудниками [26]. Температурапроводность принята по данным В.Н. Кобрановой [23] равной а = 2,5 х 10 м^2/час, что соответствует среднему её значению для пород Малетойваямского рудного узла. Начальная температура источника – 1000^{0}С. Период становления и теплоотдачи интрузии диаметром 2 км равен 1 х 10^4 лет, т.е. частота источника w = 1/1 х 10^4 лет [26]. За точки от-

счёта приняты геометрические центры субинтрузивных тел, положение которых определено по геофизическим данным.

Экспонента $A = \varphi(x)$, вычисленная по второму уравнению, приведена на рис 60. Принимая источники за одновременно образованные и находя значение x, на которых A равно 50^0 и 130^0С, наносим найденные изотермы в виде окружностей. Площади, ограниченные этими изотермами от двух источников и являются, в принципе, сероперспективными (рис. 59).

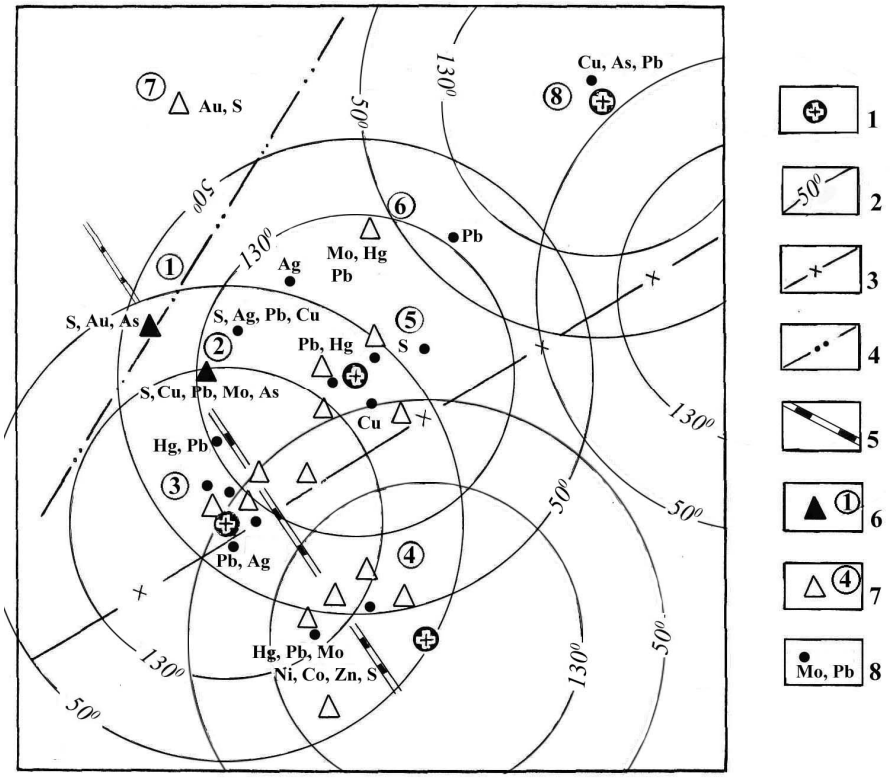


Рис. 59. Схема расположения месторождений и проявлений Малетойваямского узла в тепловом поле магматических тел (по Г.П. Полякову и Г.П. Яроцкому [41])

1 – геометрические центры источников теплового поля – экструзивно-интрузивных тел; 2 – изолинии теплового потока; 3 – осевая линия Вывенского магмоконтролирующего глубинного разлома (идеализирована); 4 - осевая линия субкамчатского рудоконтролирующего разрыва; 5 - осевая линия субалеутского рудоконцентрирующего разрыва; 6 – серные месторождения; 7 - серопроявления; 8 – рудные точки других полезных ископаемых (по данным спектрального анализа).Проявления и месторождения: (1) – Малетойваямское; (2) – Юбилейное, (3) – Южное; (4) – Тюлюльваямское; (5) – Лигинмываямское; (6) – Белое; (7) – Такайпинское; (8) – Октябрьское

Примечание: п.п. 1, 3, 4 и 5 – по геофизическим данным

Локализация полезных ископаемых в узлах. Рассмотрение построенной на этой основе формальной схемы и фактических данных о распространении проявлений полезных ископаемых Малетойваяского узла показывает:

а) известные серные залежи Малетойваямского месторождения располагаются в интервале температур 50^0 и 130^0. Так, Центральный участок, характеризующийся развитием средне-и низкотемпературных кварцитов, расположен в зоне пересечения изотерм порядка 100^0. Положение Юбилейного участка, с его среднетемпературными кварцитами, тяготеет к тепловой области, ограниченной изотермами около 130^0. Отклонение положения участков от оптимального интервала температур сероотложений связано с идеализацией геологического пространства, представленного изотропной средой, но фактически сильно изотропной;

б) мелкие серопроявления располагаются между различными изотермами от трёх источников тепла. В этих случаях отложения серы происходит, вероятно, в

результате остывания сероносных растворов, а серная минерализация носит наложенный и рассеянный характер;

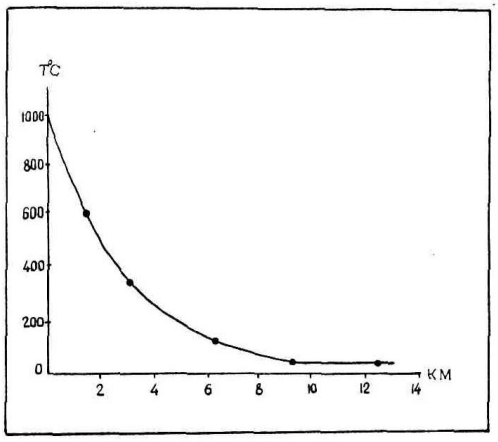


Рис.60. Кривая изменения температуры на фронте тепловой волны при удалении её от источника тепла – экструзивно-интрузивного тела (по Г.П. Поляков 1971 г.)

в) зоны развития высокотемпературных метасоматитов – эпидотовых пропилитов, диаспоровых и корундсодержащих кварцитов, тяготеют к участкам пересечения изотерм более 130^0 (проявления Южное, Тюлюльваямское, Лигинмываямское, Октябрьское). Такие участки перспективны на обнаружение рудных полезных ископаемых - меди, ртути, свинца, молибдена, золота, серебра и др. и бесперспективны на промышленные залежи серы.

Положение участков локализации крупных скоплений серы, определённое согласно рассмотренной формальной модели рудообразующей системы, в сопоставлении с фактическим размещением единственного в узле Малетойваямского месторождения серы, подтверждает справедливость тезиса о расположении месторождения, наиболее значительного по масштабу оруденения, в месте пересечения рудоконцентрирующих и рудоконтролирующих структур [56, 57] и в приложении к изучаемому району. Это даёт основание считать наиболее перспективными на обнаружение серных залежей именно участки пересечения субалеутских и субкамчатских разрывов в северо-западной полосе сероносности (рис. 63). Площадь таких участков определяется размерами конкретных разрывов и составляет от 30 до 70 кв. км.

Таким образом, общая площадь шести наиболее перспективных участков узлов района составит около 250-300 кв. км. В случае установления симметричности минеральной зональности в узлах относительно глубинного разлома площадь, видимо, удвоится.

V. 6. Геофизические закономерности размещения массивов вторичных кварцитов и серного оруденения районов России и Японии

Массивы вторичных кварцитов, в большинстве известные в СКСР, ограничены гравитационныеми и магнитными максимумами шовной зоны. Они же пространственно приурочены к телам интрузивного комплекса, свидетельствуя о связи «интрузия-массив». Это также согласуется с положением Г.М. Власова о сопряженности серных месторождений с андезитовыми стратовулканами «над интрузиями», прошедшими стадию кальдерообразования [2, 4]. Все известные в районе проявления и месторождения серы связаны только с массивами кварцитов.

На рис. 61 показаны основные массивы, различные по тесноте связи с интрузиями. Согласно геологическим данным в полосе гравитационных максимумов размещены массивы высокотемпературных кварцитов – массивы 2,3,4,6, часть I. Массив 9, отдельные части (северные или южные) массивов 1,3,4 расположены вне полосы максимумов, либо на гравитационных ступенях – здесь развиты средне- и низкотемпературные кварциты. Высокотемпературные кварциты генетически и пространственно связаны с телами интрузивного комплекса, средне- и низкотемпературные – проявляют с ними пространственно удалённую парагене-

тическую связь (Г.П. Поляков, 1968 г.; С.Е. Ермоленко, 1968 г., В.М. Еркин, 1970 г.).

На рис. 61 и 58 видна еще одна особенность размещения массивов: подчинение их простирания Вывенскому разлому, с одной стороны, и северо-западному простиранию поперечных рудоконцентрирующих разрывов – с другой. Последнее подчеркивается также простиранием отдельных остаточных аномалий в Анапкинском, Сеэрваямском и Малетойваямском разрывах (рис. 54).

Размещение массивов кварцитов в зонах региональных гравитационных и магнитных максимумов, либо на ступенях их положительного поля, характерно не только для СКСР, но и для остальной территории Корякско-Камчатского региона. В частности, в зонах максимумов расположены массивы месторождения р. Половинной и проявления вулкана Кошелева, а также ряд массивов к югу от СКСР (Эруваямское месторождение [4]). Это - региональная закономерность размещения тех массивов, с которыми связаны более-менее значительные месторождения. В связи с этим, особо интересно размещение в гравитационном поле сернорудных районов Японии (рис. 62).

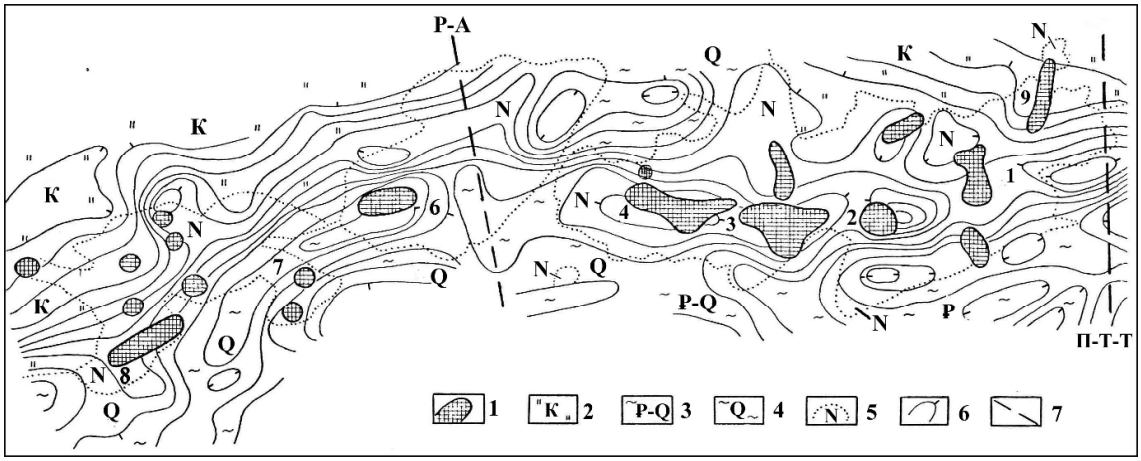


Рис. 61. Схема размещения массивов вторичных кварцитов
Северо-Камчатского сероносного района и прилегающей территории в гравитационном поле
(бергштрихи направлены в сторону уменьшения интенсивности)

1 – массивы; 2 – вулканогенно-кремнистые образования; 3 – осадочные отложения; 4 – рыхлые отложения; 5 – эффузивно-пирокластические образования и комагматические экструзивные тела среднего и умеренно-кислого состава; 6 – изоаномалы (генерализованные); 7 – региональные поперечные глубинные разломы: Р-А – Ребро (Рекиннско)-Анапкинский, П-Т-Т – Парень-Таловско-Тиличикский. Массивы: 1 – Ветроваямский, 2 – Ипихляутваямский, 3 – Малетойваямский, 4 - Сеэрваямский, 6 – Вироваямский, 7 – Кичигинский, 8 – Карагинский, 9 – Отыранваямский

Сернорудные районы Японии. Часть из районов расположена в положительном поле, либо на гравитационных ступенях: Акан-Сиретоко, Ибори, Мацуо-Хатимантай, Дзао-Нисидзума. В них известны крупные месторождения с запасами 2,5-10 млн. т и более: Акан, Хоробецу, Абута, Мацуо [4, 22, 32, 34, 46]. Другие – в отрицательных аномальных гравитационных полях: Окусири, Татеяма, Иошин, Кудзю. Здесь распространены, главным образом, сублимационные месторождения с незначительными запасами [4, 33, 34]. Характерна приуроченность первой группы районов к вулканам, сложенным андезитами, дацитами, риолитами, вторых – к кальдерам с отложениями пемзовых потоков и игнимбритов [4].

Проявления и месторождения серы в СКСР. По отношению к Вывенскому разлому и региональным геофизическим полям района они группируются в трёх полосах сероносности: центральной, северо-западной и юго-восточной (рис. 63).

Центральная полоса характеризуется зоной линейно-блоковых аномалий, цепью локальных остаточных гравитационных максимумов и интенсивно положительным магнитным полем, фиксирующих Вывенскую шовную зону. Северо-западная полоса сероносности характеризуется цепью локальных остаточных гравитационных минимумов и отдельными высокоградиентными знакопеременными магнитными аномалиями, примыкающими к шовной зоне на севере. Юго-восточная полоса характеризуется цепью локальных остаточных гравитационных минимумов и своеобразным магнитным полем на границе интенсивно положительного градиентного и положительного малоградиентного полей, примыкающих к шовной зоне с юга (рис. 54-56).

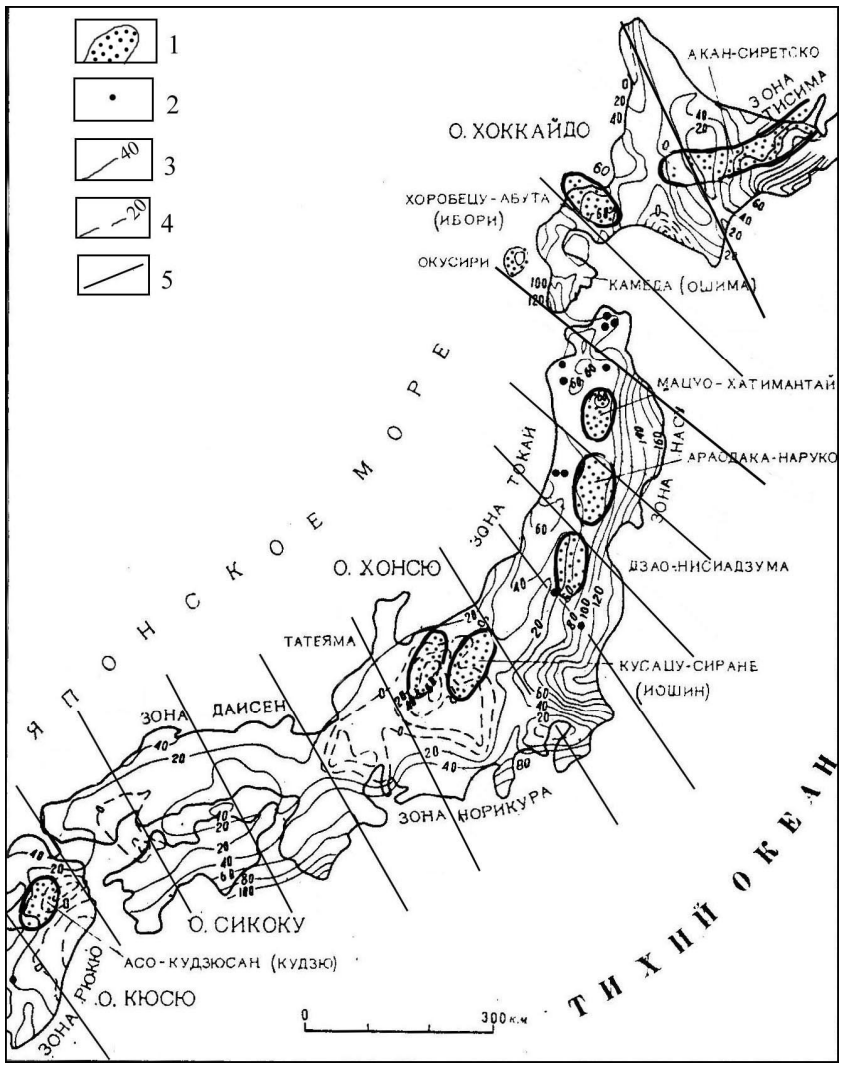


Рис. 62. Размещение серных районов Японии в гравитационном поле
([34] с дополнениями Г.П. Яроцкого)
1 – главные районы; 2 – отдельные месторождения; изоаномалы (сечение поля через 20 мгл): 3 – положительные; 4 – отрицательные.
Дополнения: 5 – поперечные межглыбовые (сквозькоровые и коровые) разломы северо-западного направления

В центральной полосе сероносности в направлении с востока на запад располагаются следующие проявления и месторождения, включая Вироваямский узел (рис. 54): Чеинг, Лигинмываямское, им. Г.М. Власова, Южное, Тюлюльваямское, Луноваямское, Сеэрваямское, Игунаваямское, Красный Откос.

В северо-западной полосе сероносности расположены проявления: Энынгваямское, Такайпинское, Малетойваямское, Белое, Юбилейное, Ильгилькиваямское,

Красногорское, Белый Яр и Вертолётное. Отметим, что проявления Белое, Юбилейное, Ильгилькиваямское, Красногорское, Белый Яр и Вертолётное расположены в полосе гравитационной ступени наблюдённого поля.

В юго-восточной полосе сероносности расположены проявления Ольховое и Мя-Альховаямское.

Перспективы полос сероносности на выявление промышленных залежей серы. Проявления центральной полосы, связанные с высокотемпературными кварцитами Вывенского разлома, являются бесперспективными, что доказано буровыми работами на Ветроваямском, Белом, Южном, Лигинмываямском, Тюлюльваямском проявлениях. Это свидетельствует о необходимости исключения проявлений серы центральной полосы сероносности из объектов поисков на серу. Вместе с тем, кварциты этой полосы являются перспективными на металлические полезные ископаемые (ртуть, медь, золото, др.). Перспективность северо-западной полосы на серу предопределяется наличием в ней крупного Малетойваямского месторождения. Установленные в главе III закономерности свидетельствуют о возможности выявления месторождений серы и в других аналогичных рудоконцентрирующих структурах района. Перспективы юго-восточной полосы не ясны и выделение её в известной мере формально, так как основано лишь на двух известных проявлениях, однако положение их в висячем крыле Вывенской зоны разломов является отрицательным фактором в данной минерагении.

Выделенные полосы сероносности позволяют сократить территорию вероятного распространения серного оруденения в районе, определённую по ареалу рудоносной корфовской свиты (6000 кв. км). При средней ширине полос 20 км (расстояние между крайними серопроявлениями вкрест полос) и протяжённости 150 км их общая площадь составит около 3000 кв. км.

V. 7. Закономерности размещения и прогноз сернорудных узлов в районе

Сернорудные узлы. В предыдущих разделах главы рассмотрены закономерности строения региональных физических полей и установлена их связь с региональными минерагеническими факторами, определившими закономерности размещения серного оруденения в СКСР. Кроме размещения в трёх полосах сероносности серное оруденение группируется на ограниченных площадях – массивах вторичных кварцитов, так как вне массивов вторичных кварцитов серное оруденение неизвестно. По этому критерию в районе по геологическим данным [4, 52] выделено три сернорудных узла: Ветроваямский (I), Малетойваямский (II) и Сеэрваямский (III).

Расположение известных сернорудных узлов закономерно. Эта закономерность определяется периодичностью повторения на территории района минерагенических факторов и выражается принципом равных расстояний – для всех факторов, и одинаковых направлений – для разрывных дислокаций и формы массивов вторичных кварцитов (рис. 57).

Прогноз новых сернорудных узлов. Установление закономерного размещения факторов в районе даёт основание к формальному прогнозу на его территории ещё трёх новых площадей-сернорудных узлов: Отыранваямского (VI), Ипихлянутваямского (II), Анапкинского (V). Дополнительными геологическими признаками правомерности выделения узлов являются: наличие на всех прогнозируемых площадях образований рудоносной корфовской свиты; на площадях II и III - рудовмещающих вторичных кварцитов; на площади II – кислых сероводородных источников и отложений лимонита. Наличие на площади распространения кварцитов кислых источников и лимонита (рис. 54) является поисковым признаком серного оруденения [4]. По степени перспективности узлы располагаются в по-

следовательности: Ипихляутваямский, Отыранваямский и Анапкинский, причём, положение последнего в современной структуре Анапкинского наложенного опускания (В.Д. Дмитриев, 1970 г.) с обширным распространением покровов базальтов пострудной апукской свиты, резко сокращает площадь выходов рудоносных образований, равно как и его перспективы.

Таким образом, на территории СКСР существует шесть площадей - узлов, известных и прогнозируемых, где наиболее вероятна концентрация серного оруденения. При средней площади узла равной 250 кв. км их общая территория составит около 1500 кв. км.

V.8. Закономерности тектонической приуроченности Северо-Камчатского сероносного района в структурах вулканических поясов Корякско-Камчатского региона

Тектоническая позиция сероносности. Установление закономерностей размещения серного оруденения в СКСР позволило выделить три полосы сероносности, характеризующихся принципиально различными региональными физическими полями. Дадим оценку тектонической приуроченности этих полос сероносности.

Вывенский разлом разделяет две крупных структуры Корякского нагорья – Центрально-Корякскую (на севере) и Олюторскую (на юге) складчатые области [53] и определяется как парный, заключающий шовную зону. В современном тектоническом плане шовная зона, заключённая между Анапкинским и Отыранваямским сернорудными узлами, является горстовой структурой.

С юга и севера шовная зона – полоса интенсивных положительных гравитационных и магнитных аномалий, обрамляется полосами полей пониженных и отрицательных значений. Причём, гравитационная ступень на юге зоны более высокой интенсивности, а значение поля к северу от зоны более интенсивны, чем к югу. Кроме того, по отношению к зоне установлена по геолого-геофизическим данным несимметричность площади ареала рудоносной корфовской свиты района и протяжённости субкамчатских разрывов – около 3/5 их частей расположено к северу от зоны.

Эти факты дают основание считать, что Вывенский разлом падает на рассмотренной территории на северо-запад. В таком случае, площадь развития корфовской свиты и залегающих под ним образований постгеосинклинального комплекса [52], отражает надразломную структуру. Характеристики физических полей позволяют отнести структуру к надразломному грабену [56]. Классические геоморфологические признаки грабена – цепи впадин, выраженных в виде озёр, расширенных частей речных долин и т.п. – в изобилии распространены в среднем и нижнем течении рек, текущих с водораздела Корякского хребта на север (на рис. 57 линия водораздела примерно совпадает с осью глубинного разлома). Местным водосбором для них является обширная долина р. Энынвваям с многочисленными меандрами, старицами и болотами, текущей на запад в 20-25 км к северу от водораздела – осевой линии шовной зоны.

К югу от шовной зоны также устанавливается полоса признаков, геофизических и геоморфологических, характеризующих приразломный грабен – структуру, прилегающую к лежачему блоку зоны. Напомним, что в тектоническом плане оба грабена рассматриваются как современные структуры опусканий. В локальных структурах надразломного грабена, главным образом, блоковых, формировались ловушки, локализовавшие процессы гидротермального метаморфизма [11].

Таким образом, выделенные полосы сероносности приурочены к шовной зоне и двум грабенам. В надразломном грабене, в месте его сочленения с шовной зо-

ной, расположено самое крупное Малетойваямское месторождение серы СКСР. Аналогичная зависимость отмечена Ч. Нишиваки для размещения крупных месторождений сернорудных районов Японии [42]. Вместе с приуроченностью месторождений Японии к ступеням гравитационного поля (см. V.6. и рис.59), эта зависимость рассматривается как важнейшая региональная закономерность размещения крупных (для конкретного района) месторождений серы, т.е. как региональный минерагенический фактор.

В этом свете на составленной схеме размещения перспективных площадей вероятность локализации месторождений серы представляется, на современной стадии изученности района, наибольшей в полосе сочленения шовной зоны с надразломным грабеном в месте пересечения субалеутских и субкамчатских разрывов (рис. 57). Всесторонняя аргументация определения площадей позволяет рекомендовать проведение на них детальных поисков месторождений серы.

О глыбово-клавишной структуре коры региона. Распределение в СКСР региональных минерагенических факторов, полос сероносности и сернорудных узлов закономерно и обусловлено разгрузкой геодинамических напряжений, источником которых являются, вероятно, планетарные процессы в зоне перехода океан-континент [11, 12, 54, 69, 70]. Эти процессы привели к возникновению системы разрывных дислокаций, создавших, в частности, глыбово-клавишную структуру Корякско-Камчатского региона и обусловивших специфику развития его отдельных глыб [11, 75]. Глыбы образуются серией глубинных разломов, поперечных по отношению к складчатым структурам региона, и контролируют размещение рудных районов различных полезных ископаемых – серы, олова, золота, ртути и др. [52, 53]. Располагаясь через 60-150 км вдоль оси полуострова и на материковой части региона, поперечные разломы, таким образом, ограничивают протяжённость рудных районов, что было показано на примере СКСР [11, 70]. В минерагении они играют роль региональных геохимических барьеров [73, 76].

На рассмотренной территории Северо-Камчатского сероносного района среди таких разломов особенно ярко выделяется своими индикационными геофизическими признаками Ребро (Рекиннинско)-Анапкинский разлом в деформации региональных гравитационного и магнитного полей: на рис. 55-58 это выражено резким изменением простирания их основных элементов (ступеней, локальных аномалий) и формированием особых локальных аномалий. Индикационные геофизические признаки подтверждены локальным проявлением апукских базальтов, северо-западной прямолинейностью русла р. Апуки и развитием в её бассейне озёр и болот.

Парень-Таловско-Тиличикский разлом отражён дискордантным простиранием элементов гравитационного поля и снижением уровня магнитного поля. Разлом на площади аргументируется ограничением простирания комплексов корфовской свиты и умеренно кислых экструзивно-интрузивных тел. На северо-западе к СКСР прилегает южная часть Западно-Корякского рудного района с золотом и серебром, оловом [70]. Согласно нашей интерпретации гравиметрического и магнитного полей его рассекает на две части Парень-Таловско-Тиличикский разлом.

В южной части Западно-Корякского района расположены проявления и месторождения олова, фактически полностью отсутствующие в северной части. Разлом ограничивает поднятую глыбу полуостровов Ильпырского, Ильпинского и Говена и падает на юго-запад. Именно в висячем крыле воздымающейся глыбы (с её Северо-Камчатским сероносным районом), на площади Западно-Корякского рудного района и расположены проявления и месторождения олова, ассоциирующие с олигоценовыми гранитами, гранодиоритами, гранодиорит-порфирами. Но ещё более ярким геологическим аргументом наличия поперечного разлома явля-

ется факт наличия в южной части района подавляюще золотого и золото-серебряного оруденения, а в северной части исключительно – серебренного [21].

Выделение поперечных структур в т.ч. разломных является сложным этапом геологической интерпретации геофизических данных . Для них характерна невыдержанность индикационных признаков и чередование по простиранию разных признаков, но в целом лежащих в одном господствующем направлении [25]. В регионе их выделение надёжно лишь по комплексу региональных геофизических съёмок – гравиметрической, аэромагнитной, электроразведочной и сейсморазведочной с аргументацией разнообразными геологическими фактами. Видимо, поэтому они не получили столь достойного отражения ни в тектонике, ни в минерагении как в многочисленных частных работах, так и в фундаментальных исследованиях. Примером тому является фундаментальный труд «Карта полезных ископаемых Камчатской области» [21]. На ней исключительно малочисленная разломная нагрузка, а прилагаемая врезка «Схема металлогенического районирования» полностью лишена тектонической нагрузки. Наши исследования [13. 76] свидетельствуют, что все минерагенические таксоны региона (металлогенические зоны, рудные и рудно-россыпные районы) в самой полной мере подчиняются разломно-блоковой тектонике, созданной системой поперечных глубинных разломов.

В этом свете необходимо отметить удивительное совпадение протяжённости сернорудных районов в Японии – их длина по простиранию равна 130-150 км, причём расстояния между центрами районов (вдоль вулканических зон) также равны или кратны этой величине (рис. 62). Это обусловлено спецификой развития отдельных участков земной коры и вулканических зон Японских островов и является свидетельством ещё одной закономерности размещения сернорудных районов в Японо-Курило-Камчатской дуге, созданной системой поперечных северо-западных разломов диагональной планетарной сети трещиноватости [71, 75].

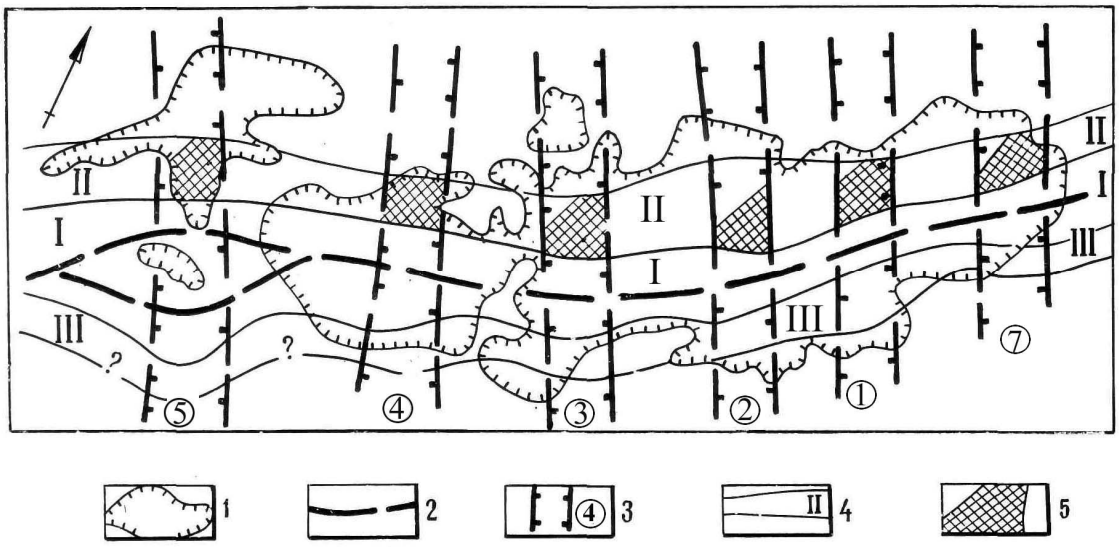


Рис. 63. Схема размещение региональных минерагенических факторов в Северо-Камчатском сероносном районе и прогноза рудных полей

1 – ареал эффузивно-пирокластических образований корфовской свиты – рудоносной толщи района; 2 – осевая линия Вывенской шовной зоны – главной магмоконтролирующей структуры района; 3 – субалеутские поперечные разрывы – рудоконцентрирующие структуры сернорудных узлов района: 1 – Ветроваямская, 2 – Ипихляутваямская, 3 – Малетойваямская, 4 – Сеэрваямская, 5 – Анапкинская, 7 – Отыранваямская; 4 – полосы сероносности: I – Центральная, II – Юго-западная, III – Юго-восточная; 5 – участки наибольшей вероятности промышленной концентрации серного оруденения известных и потенциальных рудных полей – участки детальных поисков

Рассмотренные особенности строения СКСР отражают определяющую роль разрывной тектоники как в размещении серного оруденения района, так и в формировании его тектонической структуры. Установленная система тектонических нарушений и особенности магматизма хорошо согласуются с концепцией тектонических очаговых структур, развиваемой М.А. Фаворской и И.Н. Томсоном [56, 57].

В свете этой концепции и рассмотренных в главе фактов, территория распространения серного оруденения СКСР может быть отнесена к т.н. элементарным тектоно-магматическим блокам, контролирующим рудные районы. Такие блоки получили название первичных очаговых структур, контролирующих в частности, ареалы магматизма одного возраста и резкого преобладания в них вещественных разностей определённого состава. В пределах первичных структур выделяются вторичные структуры, обусловленные изолированными интрузивными телами и контролирующие рудные узлы [56]. В структурно-геоморфологической классификации таких структур выделенная территория СКСР может быть отнесена к типу положительных удлинённых блоков, прогнозируемых авторами [56]. Для этого типа характерны: продольные региональные разломы, поперечные разрывы, грабены [57]. В СКСР роль первых выполняет шовная зона Вывенского глубинного разлома, вторых – субалеутские и субкамчатские разрывы, третьих – надразломный грабен [70, 71, 72]

Концептуальные итоги геологической интерпретации геофизических данных.

1. Северо-Камчатский сероносный район приурочен, в выделенных по геолого-геофизическим данным границах, к однородной тектонической очаговой структуре. Необходимыми и достаточными элементами очаговой структуры и сероносного района являются: а) Вывенская шовная зона – главная горстовая магмоконтролирующая структура; б) субалеутские поперечные разрывы – рудоцентрирующие структуры; в) субкамчатские поперечные разрывы – рудоконтролирующие структуры; г) ареал образований среднего и умеренно-кислого состава корфовской свиты – рудоносная толща; д) надразломный грабен с пликативными и блоковыми локальными структурами – структурами-ловушками; е) интрузивный комплекс среднего и умеренно-кислого состава – источник рудоносных флюидов и тепловых полей; ж) измененные породы формации вторичных кварцитов – серовмещающие образования. Эти элементы являются региональными минерагеническими факторами Северо – Камчатского сероносного района.

2. Серное оруденение в Северо-Камчатском сероносном районе располагается в трех полосах сероносности. Центральная полоса приурочена к современной горстовой структуре шовной зоны и характеризуется высокотемпературными кварцитами с проявлениями рассеянной серной минерализации. Северо-западная полоса приурочена к зоне сочленения горстовой структуры и надразломного грабена и характеризуется средне- и низкотемпературными кварцитами с промышленной концентрацией серы. Юго-восточная полоса приурочена к зоне сочленения горстовой структуры и приразломного грабена и надежными характеристиками в настоящее время не обладает.

3. Серное оруденение, располагаясь в различных структурных условиях, концентрируется в обособленных сернорудных узлах. Узлы формируются в местах пересечения шовной зоны поперечными разрывами, в которых устанавливается минеральная миграционная зональность метасоматитов. Зональность выражена сменой в направлении от шовной зоны к надразломному грабену высокотемпературных кварцитов – среднетемпературными – низкотемпературными, с соответствующей рудной минерализацией и может быть объяснена с позиции формальной модели теплового поля интрузий.

4. Северо-Камчатский сероносный район является минерагеническим таксоном Корякско-Камчатского региона с двумя группами полезных ископаемых, связанных с породами формации вторичных кварцитов: первые – самородная сера, алюмосодержащие и глинозёмистые руды; вторые – руды меди, ртути, золота и серебра, свинца, молибдена и др. Вторичные кварциты являются многообъёмными рудами с крупными запасами полезных ископаемых.

5. Распределение важнейших региональных минерагенических факторов района закономерно и подчинено законам симметрии подобия. Это позволило провести прогноз трех новых сернорудных узлов и выделить в пределах всех узлов района участки наибольшей вероятности локализации месторождений самородной серы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ, интерпретация и обобщения геофизических и геологических данных позволили установить закономерности отражения в аномальных физических полях структурного положения и геологического строения месторождений сульфидно-серных руд в Северо-Камчатском сероносном районе и разработать методику применения геофизических методов от стадии регионального изучения до детальных поисков.

Успешному разрешению поставленных перед исследованием задач способствует физико-геологическая модель, максимально одекватная реальным объектам, и примененная комплексная интерпретация геолого-геофизических данных, основанная на статистическом и качественном истолковании физических полей. Такая методика освобождала интерпретатора от априорного влияния имеющихся геологических данных, которые привлекались на конечной стадии исследования и являлись, как правило, критериями истинности результатов геологической интерпретации геофизических данных. Вместе с тем, во многих случаях данные формальной интерпретации позволили по-новому истолковать разрозненные и иногда необъяснимые геологические факты. Как в первом, так и во втором случаях, углублённый комплексный анализ позволил получить ряд принципиально новых геологических результатов, недоступных по экономическим либо методологическим условиям.

На территории Северо-Камчатского сероносного района выделены региональные минерагенические факторы, большинство из которых по геологическим данным не выделялось. Установлена определяющая роль блоковой тектоники в размещении факторов, роль каждого из них в размещении серного оруденения и формировании однородной тектонической структуры, предопределившей создание сероносного района. Установлено, что закономерное распределение факторов подчинено принципам симметрии подобия. Это дало основание к прогнозу трёх новых сернорудных узлов.

Последовательный анализ закономерностей размещения серного оруденения позволил сократить исходную территорию возможного распространения серного оруденения - 6000 кв. км до отдельных шести узлов общей площадью около 1500 кв. км. Привлечение модели теплового поля источников рудоносных флюидов и использование роли разрывной тектоники позволило выделить в каждом из шести узлов участки наибольшей вероятности локализации оруденения – рудные поля площадью размером 30-50 кв. км каждый.

Сравнительное рассмотрение месторождений серы Японо-Курило-Камчатской островной дуги показывает наличие общих геологических закономерностей их строения, позволивших определить теоретически эффективный комплекс геофизических методов при поисках сульфидно-серных залежей. Анализ аномальных физических полей на реальных объектах СССР и Японии показал закономерную общность качественных и количественных характеристик полей, обусловленных общностью геологического строения объектов. Это заключение означает, что однотипному геологическому строению объектов, расположенных на четверти дуги меридиана Тихоокеанского рудного пояса, отвечают однотипные геофизические поля и наоборот.

Анализ аномальных физических полей на массивах бессерных кварцитов, проявлениях и месторождениях Малетойваямского сернорудного узла Северо-Камчатского сероносного района показал их обусловленность положением объектов в рудоконцентрирующей структуре узла. Изучение природы аномальных полей и объективные закономерности их формирования позволили определить эффективный рациональный комплекс геофизических методов при поисках

сульфидно-серных залежей на участках наибольшей вероятности локализации оруденения узлов. Причём, размеры участков и объектов поисков позволили рекомендовать проведение крупномасштабных съемок, минуя среднемасштабные, что сокращает сроки работ. Эффективность предложенной методики работ и интерпретации их результатов подтверждена выявлением бурением по рекомендациям автора учебника крупной залежи на Юбилейном участке Малетойваямского месторождения. По ряду признаков залежь фактически является новым серно-сульфидно типом месторождениий с рудно-метальным профилем полезных ископаемых (медь, золото, др.).

Рассмотренный круг геологических задач, решаемых геофизикой, по своей сути направлен на выявление перспективных аномалий, заверка которых бурением даст однозначный ответ о наличии промышленных запасов оруденения, т.е. месторождения. В процессе решения этих задач одновременно решаются вопросы изучения геологического строения площади, в частности, некоторые задачи разведочного характера. Вместе с тем, вопросы определения размеров объекта, элементов его залегания, гидрогеологических условий и условий разведки и эксплуатации и т.п. в работе не рассматривались - это не входило в цели исследования. Не нашли места также особенности поисков залежей, которые могут быть перекрыты неизменёнными образованиями, по той причине, что они не известны в Северо-Камчатском (Ильпинском) сероносном районе.

Для решения такого рода задач представляется необходимым совершенствование методики и техники полевых работ и приёмов количественной интерпретации данных, полученных в условиях весьма сложного геологического разреза. Несомненно, что их разрешение будет способствовать совершенствованию геофизических методов поисков и разведки вулканических месторождений серы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Белякова К.П.* Программа для решения геофизических задач на ЦВМ «Трансформация-3». ВИРГ, Л. : 1971, 22 с.
2. *Власов Г.М., Василевский М.М.* Гидротермально изменённые породы Центральной Камчатки, их рудоносность и закономерности пространственного размещения. Недра, М. : 1964, 220 с.
3. *Власов Г.М.* О тихоокеанском сероносном поясе //Сов. геол., 7, 1969. С. 24-37
4. *Власов Г.М.* (редактор) Вулканические серные месторождения и некоторые проблемы гидротермального рудообразования. Наука, М. : 1971, 360 с.
5. *Власов Г.М., Яроцкий Г.П.* Детальные поиски //Вулканические серные месторождения и некоторые проблемы гидротермального рудообразования. Недра, М. : 1971. С. 314-322
6. *Геологическая* карта Камчатской области. Ред. Г.М. Власов. ГуЦР. 1976. 4 л
7. *Геологический словарь.* Том 1,2,4. Недра, М. : 1973
8. *Грунторад Я.Н.* Электрическое поле поляризованных проводников в однородных и неоднородных средах //Уч. Записки ЛГУ № 249, вопр. геоф. вып. 10. Л. : 1958. С. 134-156
9. *Гольденберг Е.С.* (редактор). Геофизические исследования при крупномасштабных геологосъёмочных работах. Алма-Ата, 1970. С. 214
10. *Давыдов А.Я.* Положительные аномалии естественного электрического поля над сульфидными рудными телами //Сов. геол., 7, 1961
11. *Дмитриев В.Д., Яроцкий Г.П.* Роль напряжений в формировании рудоносных структур Корякско-Камчатского региона //Механика литосферы. Недра, М. : 1974. С. 64-66
12. *Дмитриев В.Д., Декин Г.П., Яроцкий Г.П.* Некоторые особенности строения Корякско-Камчатского региона и его металлогенической специализации //Металлогения и новая глобальная тектоника. Недра, Л. : 1973. С. 92-93
13. *Дортман Н.Б., Васильева В.И. и др.* Физические свойства горных пород и полезных ископаемых СССР. Недра, М. : 1964. С. 326
14. *Ёркин В.М.* О двух типах серного оруденения на Камчатке //ДАН СССР, 175 № 2, 1967
15. *Ёркин В.М., Никольский В.М.* Новые данные о серных месторождениях Камчатки //Разв. и охрана недр, № 2, 1968. С. 2-5
16. *Ёркин В.М* Особенности сероносных фаций вторичных кварцитов Камчатки и Корякского нагорья //Молодые гидротермально изменённые породы и минералы Камчатки и Курильских островов. Наука, М. : 1969 С. 102-112
17. *Ивао Ш.* Геохимическое изучение кремнистых и алунитовых месторождений района Угусу, Япония //Геохимия современных поствулканических процессов. Мир, М. : 1965
18. *Ивао Ш.* Японские месторождения глин и кремнезема вулканического происхождения //Вулканизм и рудообразование. Мир, М. : 1973. С. 222-239
19. *Казанли Д.Н.* Температурные поля интрузивных тел и их роль в контактактовом и рудном минералообразовании //Изв. АН. Каз. СССР, серия геол., вып. 12, 1952
20. *Карслоу Г.*, *Эгер Д.* Теплопроводность твёрдых тел. Наука, 1964
21. *Карта* полезных ископаемых Камчатской области м-ба 1:500000. С-Пб. ВСЕГЕИ. 1999. 19 л.
22. *Кимура Т.* Отчёт об исследовании месторождений серы рудника Нумандзири в профектуре Фукусима //Тисицу тёсасё гэппо, 1953, т. 4 № 4. Японск. ВЦП, М. : 1973. С. 25-36
23. *Кобранова В.Н.* Физические свойства горных пород. Гостоптехиздат, М. : 1962, 490с.

24. *Комаров В.А. , Пишпарёва П.А. и др.* Теоретические основы интерпретации наблюдений в методе вызванной поляризации. Недра. Л. : 1968. С. 158-184
25. *Кунин Н.Я.* Комплексирование геофизических методов при геологических исследованиях. Недра. М. : 1972. С. 105-173
26. *Кудрявцев В.А., Маламед В.Г., Шарапов В.Н.* Расчёты температурных полей зон плавления и контактного метаморфизма //Вестник МГУ, № 5, 1958
27. *Кунори С.*, *Кобаяси Х.* Данные электроразведки на серных разработках Ятоко в префектуре Гумма. Япония. //Тисицу тёсасё гэппо», 1954, т. 5, № 7. Японск. ВЦП, М. : 1973. С. 43-55
28. Лейн А.Ю., Иванов В.М. Процессы окисления на вулканогенных месторождениях самородной серы Курило-Камчатского района //Кора выветривания. Наука. М. : 1968
*29. Летников Ф.А.*Закономерности перераспределения веществ земной коры в полях давлений //Давления и механические напряжения в развитии состава структуры и рельефа литосферы. Л. : 1969. С. 45-46
30. Лыков А.В., Михайлов Ю.А. Теория тепло- и массопереноса. Госэнергоиздат. М-Л. : 1963, 535с.
*31. Маркушин Я.*В., *Борцов В.Д., Ткаченко Г.Г.* О поляризуемости горных пород, содержащих ферромагнитные минералы //Разв. и охрана недр, № 6, 1967. С. 29-34
32. Мори К., *Кодзима С.* Сейсморазведка на руднике Абута, Хоккайдо. //Тисицу тёсасё гэппо, 1957, т. 8, № 11. Японск.. ВЦП, М. : 1973. С. 49-57
33. Мукаяма Х. Вулканические месторождения серы в Японии //Вулканизм и рудообразование. Мир. М. : 1973. С. 234-242
34. Муракоси Т., *Хасимото С.* Геология и минеральные ресурсы Японии. ИЛ, 1961, 287с.
35. Мураоко М. и др. Отчёт об исследовании месторождений серы рудника Адзума в префектуре Гумма. //Тисицу тёсасё гэппо, 1954, т. 5, № 7. Японск. ВЦП, М. : 1974. С. 11-18
36. Набоко С.И. Гидротермальный метаморфизм пород в вулканических областях. Наука. М. : 1963. 171с.
37. Нагата Г. Магнетизм горных пород. Мир, 1965. 347с.
38. Никитин А.А., Хмелевской В.К. Комплексирование геофизических методов. ООО «Изд-во ГЕРС». М. : 2004. С. 13-50, 128-132, 168-181, 198-209
39. Никольский В.М. Генетические типы серных месторождений Камчатки //Сб. трудов ВЗПИ, вып. 68 «Геол. и полезные ископ. Корякского нагорья и Камчатки». М. : 1971. С. 92-97
40. Реферативные журналы. Геология, № 3, 1954; №№ 1, 3, 4, 5 - 1956
41. Поляков Г.П., Яроцкий Г.П. Метасоматическая зональность вторичных кварцитов Малетойваямского рудного узла Северной Камчатки //Рудная зональность и физико-химия гидротермальных систем. Наука. Сиб. отд. 1980. С. 43-49
42. Смирнов В.И. Зоны Беньофа и магматогенное рудообразование //Геол. рудных м-ний. Наука. XVI, 1974. С. 3-17
43. Свешников Г.Б. Электрохимические процессы на сульфидных месторождениях. Изд-во ЛГУ, Л. : 1967. 160с.
44. Семёнов А.С. Электроразведка методом естественного электрического поля. Изд-во ЛГУ, Л. : 1968. 380с.
45. Сибато К. Электроразведка рудника Нумадзири в префектуре Фукусима. //Тисицу тёсасё гэппо, 1953, т. 4, № 4. Японск. ВЦП, М. : 1973. С. 37-48
46. Сибато К. Доклад о результатах электроразведки месторождений серы в районе Мацуо-Хатимантай в префектуре Иватэ. //Тисицу тёсасё гэппо, 1954, т. 5, № 1. Японск. ВЦП, М. : 1973. С. 41-48.

47. Сияма Д. Геофизическая разведка месторождений серы района Кусацу-Сиране. (Тисицу тёсасё гэппо», 1954, т. 5, № 3. Японск.). ВЦП, М. : 1973. С. 25-36
48. Справочник геофизика. Том 1-5. Недра, М. : 1960, 1961, 1963, 1968, 1969
49. Соловьёв Г.А., Ляхов Л.Л. Об изменении физических свойств пород в пределах молибденовых месторождений //Изд-во ВУЗов. Геол. и разв., № 1. 1968
50. Сугиямо М., *Такагари С.* Геофизическая разведка на руднике Ионаго в префектуре Нагано, Камитаки-Гун. //Тисицу тёсасё гэппо, 1955, т. 6, № 1. Японск. ВЦП, М. : 1972
51. Суяма Д. и др. Результаты электроразведки на месторождении кварца рудника Угусу в префектуре Судзуока. //Тисицу тёсасё гэппо, 1958, т. 9, № 3. Японск. ВЦП, М. : 1974. С. 47-62
52. Тарасенко Т.В., Титов И.Н. Основные черты металлогении центральной и юго-западной части Корякского нагорья //Материалы по геол. и полезным ископаемым Корякского нагорья. Дальневосточное книжное изд-во, Петропавловск-Камчатский, 1969. С. 3-20
53. Тарасенко Т.В., Лопатин Б.В., Декин Г.П. К вопросу о тектоническом районировании центральной и юго-западной части Корякского нагорья //Материалы по геол. и полезным ископаемым Корякского нагорья. Дальневосточное книжное изд-во, Петропавловск-Камчатский, 1969. С. 65-76
54. Тарасенко Т.В., Дмитриев В.Д. и др. Мегаблоки и металлогеническая зональность Корякского нагорья и Камчатки //Металлогения и новая глобальная тектоника. Недра, Л. : 1973. С. 93-95
55. Тарасенко Т.В., Дмитриев В.Д., Лопатин Б.В., Яроцкий Г.П. Рудоконтролирующие структуры Камчатки, центральной части Корякского нагорья и Пенжинского сектора Охотско-Чукотского вулканического пояса //Геодинамика вулканизма и гидротермального процесса. Петропавловск-Камчатский, 1974. С. 155-156
56. Томсон И.Н., Фаворская М.А. О типах очаговых структур в связи с ними оруденения //Закономерности размещения полезных ископаемых, т. 10. Наука, М. : 1973. С. 49-65
57. Фаворская М.А., Томсон И.Н и др. Связь магматизма и эндогенной минерализации с блоковой тектоникой. Недра, М. : 1969. 264с.
58. Фудзита И. Обнаружение крупной залежи пирита с помощью трёх геофизических методов. //Engeerig and Mining Journal 1954, т. 155, № 12. Англ. ВЦП, М. : 1973. С. 84-88
59. Хаин В.К. Общая геотектоника. Недра., М. : 1973. С. 310-340
60. Шарапов И.П. Применение математической статистики в геологии. Недра., М. : 1965. 260с.
61. Шкловер А.М. Теплоотдача при периодических тепловых воздействиях. Госэнергоиздат, 1961. С. 15-30, 65-124
62. Яроцкий Г.П. Применение магнитометрии при изучении вторичных кварцитов Камчатки //Молодые гидротермально изменённые породы Камчатки и Курильских островов. Наука, М. : 1969. С. 174-182
63. Яроцкий Г.П. К вопросу об эффективности геофизических методов при поисках серного оруденения в Северо-Камчатском сероносном районе //Материалы по геол. и полезным ископ. Корякского нагорья. ДВ изд-во, П-Камчатский. 1969. С. 77-81
64. Яроцкий Г.П. Геофизические поисковые признаки серного оруденения во вторичных кварцитах Камчатки //Критерии рудоносности метасоматитов. Алма-Ата, 1969. С. 341-342
65. Яроцкий Г.П. Физические свойства вулканитов и измененных пород Северо-Камчатского сероносного района //Геол. и геоф., № 3, 1970. С. 74-80

66. Яроцкий Г.П. О природе естественного электрического поля Малетойваямского месторождения серы //Труды ВЗПИ, вып. 68. Геол. и полезные ископ. Корякского нагорья и Камчатки. М. : 1971. С. 111-117
67. Яроцкий Г.П., Поляков Г.П. Комплекс геофизических методов при поисках м-ний серы на Камчатке //Геол. и геоф., № 4, 1973. С. 85-92
68. Яроцкий Г.П., Поляков Г.П. Изучение сульфидно-серных м-ний Камчатки методом вызванной поляризации //Геол. и геоф., № 9, 1974. С. 154-159
69. Яроцкий Г.П. Некоторые особенности геофизических полей и строения земной коры Корякско-Камчатского региона //Геодинамика вулканизма и гидротермального процесса. П-Камчатский. 1974. С. 44-45
70. Яроцкий Г.П. Поперечные глубинные разломы и некоторые аспекты строения земной коры Корякско-Камчатского региона //Глубинное строение, магматизм и металлогения Тихоокеанских вулкан. поясов. Влад. 1976. С. 110-112
71. Яроцкий Г.П. Проявление симметрии в размещении разрывных дислокаций и минерагенических факторов Северо-Камчатского сероносного района //Симметрия стрктур геол. тел. М. : 1976. С. 88-90
72. Яроцкий Г.П. Оценка территории Корякско-Камчатского региона в связи с рудоносностью вторичных кварцитов //Количеств. оценка прогнозных запасов и перспек. ресурсов мин. сырья при регион. металлогенических исследованиях. Л. : 1978. С. 154-156
73. Яроцкий Г.П. Прогноз рудоносных площадей в Центрально-Камчатском вулканическом поясе (на основе геофизических исследований) //Тр. Всесоюзнного вулканолог. совещ. «Вулканизм и формирование полезных ископаемых в подвижных областях Земли». Тбилиси, 1980. С. 333-335
74. Яроцкий Г.П. Иерархия минерагенических факторов Северо-Камчатского сероносного района //Прогнозирование и оценка рудных объектов в вулканических поясах. Хабаровск. 1988
75. Яроцкий Г.П. Глыбово-клавишная тектоника коры окраины континента - инструмент прогноза рудоносных таксонов //Материалы XII научн. прак. конф. (Билибинские чтения) «Геология и металлогения Северо-Востока Азии на рубеже тысячелетий». Магадан. 2001
76. Яроцкий Г.П. Тектоника и минерагения зоны перехода континент-океан //Геодинамика, магматизм и минерагения конт. окраин Севера Пацифики. Материалы всерос. сов. Том 3. Магадан. 2003. С. 244-249

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ……3

ВВЕДЕНИЕ……7

Глава I. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МАССИВОВ ВТОРИЧНЫХ КВАРЦИТОВ И ВУЛКАНИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ САМОРОДНОЙ СЕРЫ И ЭЛЕМЕНТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ……11

I. 1. Роль разломной тектоники в формировании структуры геологической модели массивов и месторождений……11
I. 2. Размеры массивов и залежей месторождений как параметрический элемент модели……19
I. 3. Минеральный состав изменённых пород и руд и зональное их размещение в массивах кварцитов и месторождениях, как минерагенический элемент геологической модели……20
I. 4. Зональность размещения массивов и серных руд как структурно-вещественный элемент геологической модели……23
I. 5. Гидрогеологический фактор геологической модели массивов и месторождений ……24
I. 6. Физические свойства вторичных кварцитов и серных руд, месторождений, как основа петрофизической модели ……25

Глава II. ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВАЯ МОДЕЛЬ МАССИВОВ ВТОРИЧНЫХ КВАРЦИТОВ И ВУЛКАНИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ САМОРОДНОЙ СЕРЫ……37

II.1. Физико-геологическая модель и теоретический комплекс геофизических методов поисков месторождений серы……37
II. 2. Проектный эффективный поисковый геофизический комплекс……38

Глава III. К ИСТОРИИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ПОИСКАХ ВУЛКАНИЧЕСКИХ СЕРНЫХ ЕСТОРОЖДЕНИЙ……39

III. 1. Общие сведения об изучении месторождений в СССР……39
III. 2. Геофизические работы при изучении и поисках месторождений в СССР……40
III. 3. Общие сведения о результатах геофизических работ при поисках вулканических серных месторождений в Корякско-Камчатском регионе……43
III. 4. Применение геофизических методов при изучении месторождений в Японии……48

ГЛАВА IV. Геологическая интерпретация геофизических данных поисков месторождений серы в Северо-Камчатском сероносном районе……60
IV.1. Центральный участок сульфидно-серного оруденения. Малетойваямское месторождение……60
IV.1.1. Геологическая характеристика ……60
IV.1.2. Магнитное поле……61
IV.1.3. Естественное электрическое поле……68
IV.1.4. Геоэлектрический разрез ВЭЗ……70
IV.1.5. Геоэлектрический разрез ВП……74
IV.1.6. Поле силы тяжести……76
IV.2. Юбилейный участок серно-сульфидного и полиметаличенского оруденения. Малетойваямское месторождение……78
IV.2.1. Геологическая характеристика……78
IV.2.2. Естественное электрическое поле……80
IV.2.3. Геоэлектрическое поле ВЭЗ……81
IV.2.4. Вызванная поляризация……83
IV.3. Малетойваямское рудное поле……84
IV.3 1. Сейсморазведка……84
IV.3.2. Корреляционные построения……84

IV.4. Тюлюльваямское серопроявление……..….87
IV.4.1. Геологическая характеристика……...87
IV.4.2. Магнитное поле……..88
IV.4.3. Естественное электрическое поле……89
IV.4.4. Геоэлектрическое поле ВЭЗ……90
IV.5. Лигинмываямское серопроявление……..…90
IV.5.1. Геологическая характеристика…….....90
IV.5.2. Магнитное поле……90
IV.5.3. Естественное электрическое поле……91
IV.5.4. Геоэлектрическое поле ВЭЗ……92
IV.6. Такайпинское серопроявление……..…92
IV.6.1. Геологическая характеристика……92
IV.6.2. Магнитное поле……93
IV.6.3. Естественное электрическое поле……93
IV.6.4. Геоэлектрическое поле ВЭЗ……94
IV.7. Заречный участок……....95
IV.8. Методика геофизических работ при поисках сульфидно-серных месторождений……...96
IV.8.1. Отрицательные аномалии магнитного поля……96
IV.8.2. Естественное электрическое поле……96
IV.8.3. Кажущееся электрическое сопротивление……102
IV.8.4. Закономерные связи физических полей и структурных условий локализации бессерных массивов вторичных кварцитов, серопроявлений и месторождений серы……104
IV.8.5. Методика геофизических работ при изучении массивов вторичных кварцитов, серопроявлений и поисках месторождений серы……105
IV.8.6. Геологические задачи, решаемые геофизическими методами……108

Глава V. ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ СЕРНОГО ОРУДЕНЕНИЯ В СЕВЕРО-КАМЧАТСКОМ СЕРОНОСНОМ РАЙОНЕ……110

V. 1. Методика интерпретации региональных геофизических данных……110
V. 2. Общая геологическая характеристика и конкретизация тектонической позиции района……111
V. 3. Системы тектонических разрывов – факторов формирования тектонической структуры района……113
V. 4. Ареалы эффузивных и интрузивных пород – структурно-вещественных комплексов тектонической структуры района
V. 5. Прогнозирование участков локализации месторождений серы……...121
V. 6. Геофизические закономерности размещения массивов вторичных кварцитов и серного оруденения районов России и Японии……...125
V. 7. Закономерности размещения и прогноз сернорудных узлов в районе……128
V.8. Закономерности тектонической приуроченности Северо-Камчатского сероносного района в структурах вулканических поясов Корякско-Камчатского региона……129

ЗАКЛЮЧЕНИЕ……..134
…
ЛИТЕРАТУРА……..136

Яроцкий Георгий Павлович — горный инженер-геофизик, окончил Львовский политехнический институт. Кандидат геолого-минералогических наук, академик Российской академии естественных наук, председатель Камчатского отделения Русского географического общества. Работал на Колыме и Чукотке, на Камчатке и в Корякии, в Монголии и Воркуте в геологических организациях, академических институтах, вузах, ведущий научный сотрудник Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. Занимался геофизическими методами поисков и разведки золота, подземных термальных и холодных минеральных и пресных вод, радиоактивного сырья, угля, флюорита, самородной серы, при геологическом картировании и прогнозе рудоносных площадей.

В 1961 г. в составе первооткрывателей Паужетского месторождения парогидротерм разработал каротажный комплекс изучения высокотемпературных скважин, в 1965-74 гг. — комплекс геофизических методов поисков, разведки и прогноза месторождений самородной серы на юго-западе Корякского нагорья, на основе которых в 1967 г. выявлено месторождение Юбилейное. С 1974 г. разрабатывает теорию глыбово-клавишной структуры земной коры и закономерностей минерагении окраины азиатского континента. В 1993 г. описал неизвестный в ихтиологической науке биогеоценоз биологической системы тихоокеанского лосося и угленосной геологической системы в Корякско-Камчатском регионе, с 1994 г. занимается природно-ресурсным картографированием территорий Камчатского края. С 1997 г. преподаёт геологические и другие дисциплины в вузах Камчатки, энтузиаст и инициатор открытия геологической специальности в Камчатском гостехуниверситете, введения геологизации высшего образования в Камчатском госуниверситете им. Витуса Беринга.

Продолжает исследования тектоники и минерагении, природно-ресурсного картографирования территории, природопользования и хозяйствования, в т.ч. развития горнопромышленного комплекса, с целью разработки стратегии социально-экономического развития в Корякско-Камчатском регионе.