

Г. П. ЯРОЦКИЙ, Г. П. ПОЛЯКОВ

КОМПЛЕКС ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ПОИСКАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕРЫ НА СЕВЕРЕ КАМЧАТКИ

Геологопоисковыми работами на Камчатке выявлен новый Северо-Камчатский сероносный район, в пределах которого обнаружены три месторождения и более 70 проявлений серы.

Серные месторождения Камчатки проявлениями кайнозойского вулканизма приурочены к внутренней дуге Тихоокеанского вулканического пояса. Они непосредственно ассоциируют с гидротермальноизмененными породами формации вторичных кварцитов, обширные площади распространения которых приурочены к вулкано-тектоническим сводовым структурам в полосе Вывенской зоны глубинных разломов. Образование измененных пород вызвано гидротермальными процессами в зонах тектонических нарушений, заложенных в вулканогенно-пирокластических толщах преимущественно андезитового состава [1, 3]. Развитие этих процессов гидротермального метаморфизма и, следовательно, формирование серы сероотложения относятся к миоцен-плиоценовому времени.

С 1965 г. при поисках месторождений серы в данном районе применяются геофизические методы, которыми в настоящее время решаются задачи картирования площадей развития вторичных кварцитов и поисков в их пределах месторождений.

Эффективность комплекса геофизических исследований определяется следующими особенностями вулканогенных серных месторождений Северо-Камчатского района. Рассмотрим их на примере Малетойваямского месторождения.

Залежи серы приурочены к центральным фациям массивов гидротермально-метасоматических пород, образованных в толще вулканитов и имеющих зональное строение. Зональность массивов выражается сменой от центра к периферии монокварцевых пород серными и алунитовыми кварцитами, а последних, в свою очередь, аргиллизированными породами — каолинитовыми и хлорит-монтмориллонитовыми.

Различия вещественного состава фаций измененных и вмещающих пород определяют их дифференциацию по физическим свойствам: намагниченности, плотности, электропроводности и др. Кроме того, специфические свойства элементарной серы — элемента весьма активного в зоне гипергенеза — обуславливают возникновение во вмещающих породах и подземных водах специфических физико-химических процессов и химических реакций, приводящих к формированию вокруг рудных тел своеобразной гидрохимической обстановки, также отражающейся на распределении физических свойств горных пород. Физические свойства пород и руд месторождения приведены в таблице и на рис. 1.

Степень гидротермального изменения пород	Породы, руды, минералы	Плотность (σ), г/см ³	Магнитная восприимчивость (κ) в $1 \cdot 10^{-6}$ СГС	Кажущееся сопротивление (ρ_k), Ом · м	
Неизмененные вулканиты	Базальты	2,77/68	3460/32		
	Андезито-базальты	2,68/21	2960/62		
	Андезиты	2,59/294	2365/522		
Слабоизмененные породы — пропилиты	Туфы среднего состава	2,39/51	1600/26	15—200	
	Андезиты	2,40/146	1200/84	30—500	
Измененные породы	Вторичные кварциты	Монокварциты (содержание серы S до 10%)	2,61/49	30/594	150—1000
		Алунитовые кварциты ($S=10—25\%$)	2,50/249	30/280	500—10000
		Серные кварциты ($S=20—50\%$)	2,45/182	30/182	1500—10000
		Каолинит-кварцевые (S до 10%)	2,82/175	30/075	200—1000
		Каолинит-кварцевые (без серы)			25—200
	Аргиллизированные породы	Каолинитовые и хлорит-монтмориллонитовые	2,13/107	30/107	25—200
Минералы	Сера	2,07	—0,62	$10^{12}—10^{15}$	
	Кварц	2,65	—1,20	$10^{10}—10^{14}$	
	Пирит	5,02	20—150	$10—7—10^2$	

Примечания: 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, объемная магнитная восприимчивость и удельное электрическое сопротивление. 3. В знаменателях — количество образцов, использованных для определения средних значений плотности (σ) и магнитной восприимчивости (κ).

В общем плане это месторождение можно представить в виде пластообразного тела, сложенного измененными породами и заключенного в толще лав и туфов андезитового состава. Оно неоднородно по физическим свойствам. В центральной части месторождения породы имеют повышенную плотность, практически немагнитны и характеризуются высоким кажущимся электрическим сопротивлением по отношению к окружающим аргиллизированным породам. Вмещающие месторождение неизмененные вулканиты, как правило, сильно магнитны, имеют относительно низкие значения ρ_k и невысокую среднюю плотность. Аргиллизированные породы переходной зоны характеризуются наименьшими из рассмотренных пород значениями плотности и кажущегося сопротивления.

Совокупность указанных геолого-физических факторов является благоприятным условием для применения геофизических методов.

На месторождении в разные годы выполнены: магнитная съемка и съемка ЭЭП по сети 50×10 м, ВЭЗ с шагом 100—50 м и ЭП установками на постоянном токе и в модификации ВП.

По данным магнитометрии, массив вторичных кварцитов и аргиллизированные породы выделяются четкой отрицательной аномалией ΔZ (рис. 2), что объясняется диамагнитными свойствами серно-кварцевых фаций в центре массива, являющимися результатом интенсивного гидротермального метаморфизма исходных вулканитов. Возрастание намагниченности пород к периферии массива является следствием снижения степени метаморфизма при формировании краевых глинистых фаций измененных пород.

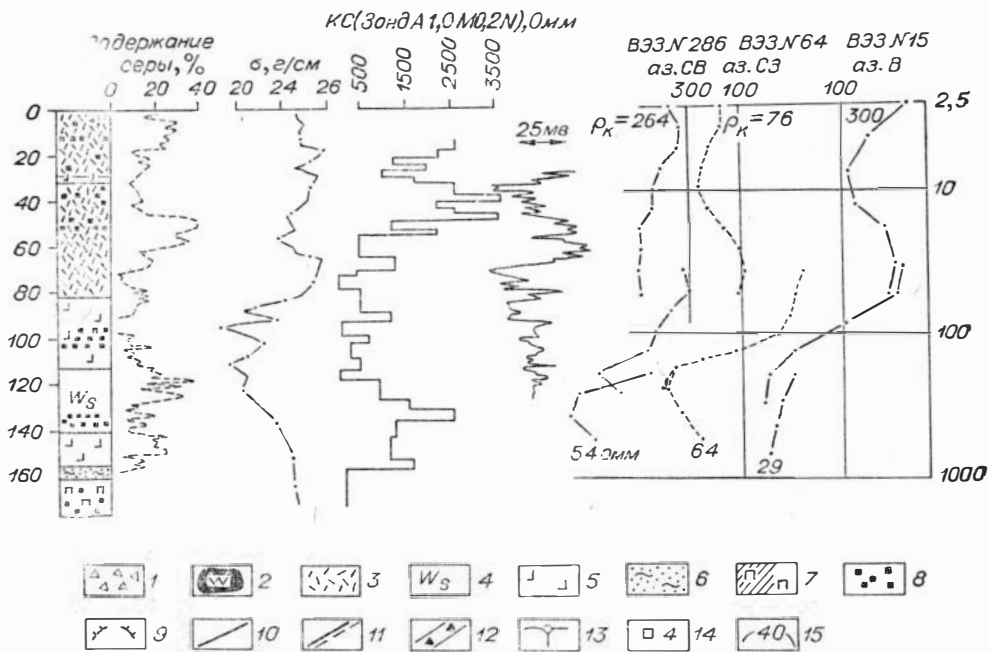


Рис. 1. Литолого-геофизический разрез по скв. 1 Малотиваямского месторождения серы. 1 — рыхлые отложения; 2 — монокварциты; 3 — алунтовые кварциты с пиритом и каолинитом; 4 — серные кварциты; 5 — каолинит-кварцевые породы с серой или сульфидами; 6 — аргиллизированные породы; 7 — пропилитизированные породы; 8 — сульфиды; 9 — контуры сульфидно-серного оруденения 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.

От редакции. Вместо значения $\rho_k = 264$ у кривой ВЭЗ № 286 аз. СВ следует читать $\rho_k = 214$.

Характерной особенностью аномалии является закономерная коррелируемость отдельных минимумов в СВ и СЗ направлениях.

При разведке месторождения было установлено, что эта корреляция обусловлена наличием немагнитных тел, сложенных главным образом различными фациями гидротермальноизмененных пород [6]. Группы коррелируемых минимумов ΔZ и ΔV фиксируют положение систем рудных тел различной протяженности и мощности [1, 3—5], которые могут быть аппроксимированы прямоугольными призмами.

Аномалия ЭЭП на месторождении связана с электрохимическими процессами в рудных телах вследствие взаимодействия элементарной серы и сульфидов с окружающей средой — породами и подземными водами.

Проведенные нами исследования окислительно-восстановительных потенциалов (ОВП) на аномалиях ЭЭП показали, что колебания уровня поля обязаны своим происхождением интенсивным окислительно-восстановительным реакциям, зоне гипергенеза. Значения ЭЭП при этом прямо пропорциональны значениям ОВП при очень малых переходных коэффициентах (порядка 0,9). Это обусловлено тем, что элементарная сера устойчива только при равенстве активностей восстановленных и окисленных форм серы (сульфидной и сульфатной). Следовательно, та часть пространства, где устойчиво существует элементарная сера, обладает определенным и постоянным значением ОВП, в принципе всегда отличным от ОВП вмещающих пород и подземных вод. Разность потенциалов между рудными телами и окружающей средой проявляется на поверхности в виде аномальных значений ЭЭП. Таким образом, аномалии ΔV и E_h (ОВП) являются важными косвенными признаками

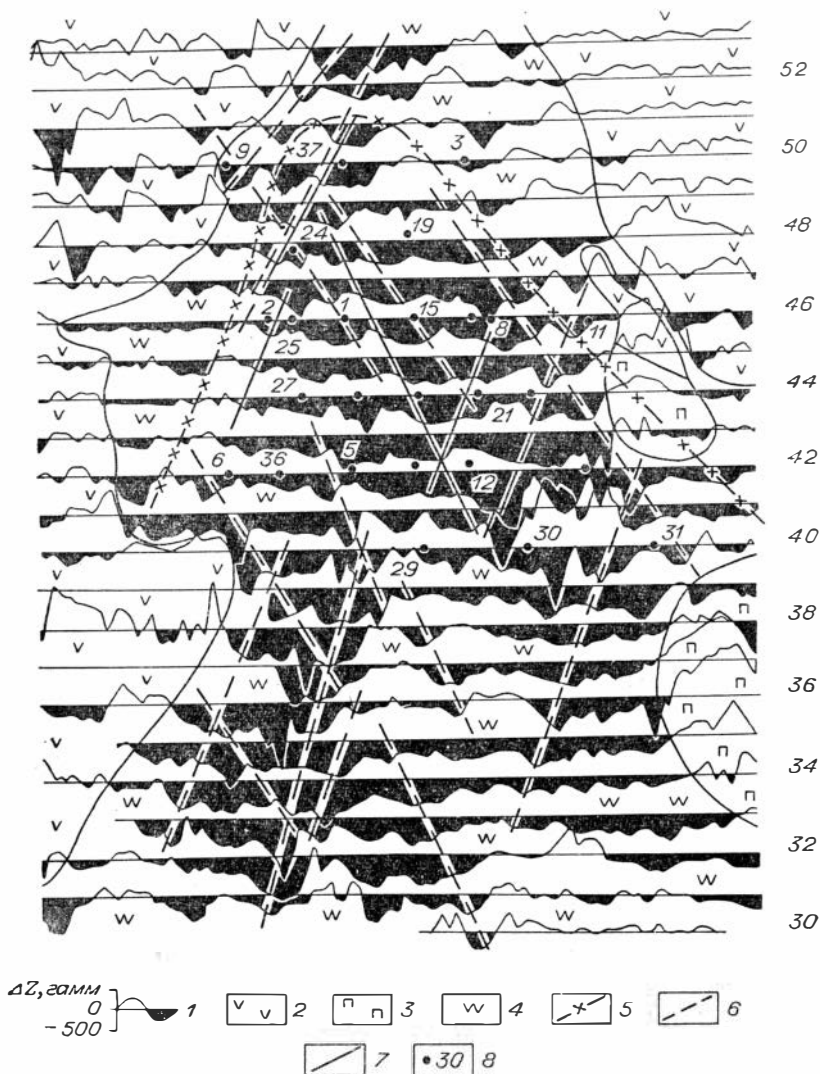


Рис. 2. Графики ΔZ Малотойваймского месторождения серы.

1 — графики магнитного поля; 2 — эффузивы; 3 — пропелитизированные породы; 4 — вторичные кварциты нерасчлененные; 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.

наличия серных залежей, и их введение в методику поисков серных залежей представляется обязательным.

ВЭЗ проводилась установками АМНВ и АМНВ ∞ с АВ = 1000—1900 м и показателем прогрессии не более 1,35. Наблюдения велись по профилям, пересекающим месторождение в четырех направлениях. Полученные кривые объединяются в три общие группы, обусловленные зональностью пород, наличием в разрезе серы и ориентировкой линий ВЭЗ относительно залежи (рис. 3, 4).

Кривые первой группы распространены в пределах эродированной части месторождения и характеризуют трехслойную геоэлектрическую среду типа К. Первый горизонт сложен наносами с включением окисленных руд. Иногда они образуют два горизонта — этому случаю соответствует кривая типа АК. Второй горизонт приурочен к серным рудам верхней залежи. Его мощность по данным каротажа изменяется от 50

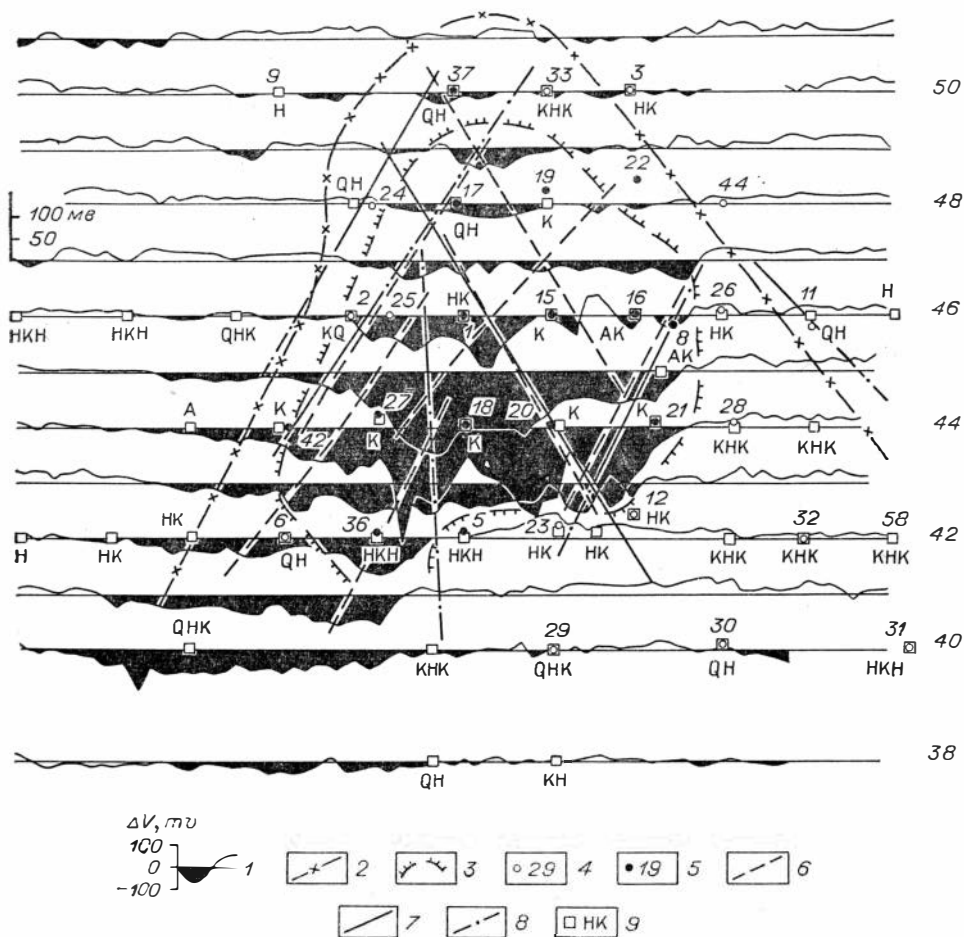


Рис. 3. Графики ЕЭП Малотиваямского месторождения серы.

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.

(скв. 1) до 90 м (скв. 21). Третьим горизонтом являются безрудные породы.

Вторая группа кривых ВЭЗ, характерная для юго-восточной и южной частей месторождения, соответствует многослойным разрезам типов *КНК* и *НКН*, в которых второй горизонт высокого сопротивления связан с серными рудами, перекрытыми аргиллизированными породами. Мощность последних от 38 (скв. 28) до 86 м (скв. 29, 31). Опорным горизонтом служат аргиллизированные породы и пропилиты. Для выявления руд в этой части месторождения необходимо применение установки с $AB=1400-1900$ м.

К третьей группе относятся кривые безрудных периферийных частей месторождения. Здесь фиксируются кривые типов *Н*, *НК*, *QH*, *НКН*, распределяющиеся без определенной закономерности. По величинам v_2 и μ_2 они резко отличаются от подобных кривых второй группы.

На тип кривой и величину ρ_k оказывают большое влияние не только анизотропия и беспорядочная изменчивость наклонов границ метасоматического разреза, но и физико-химические процессы в системе порода — поровый раствор. Взаимодействие серы с водой приводит к

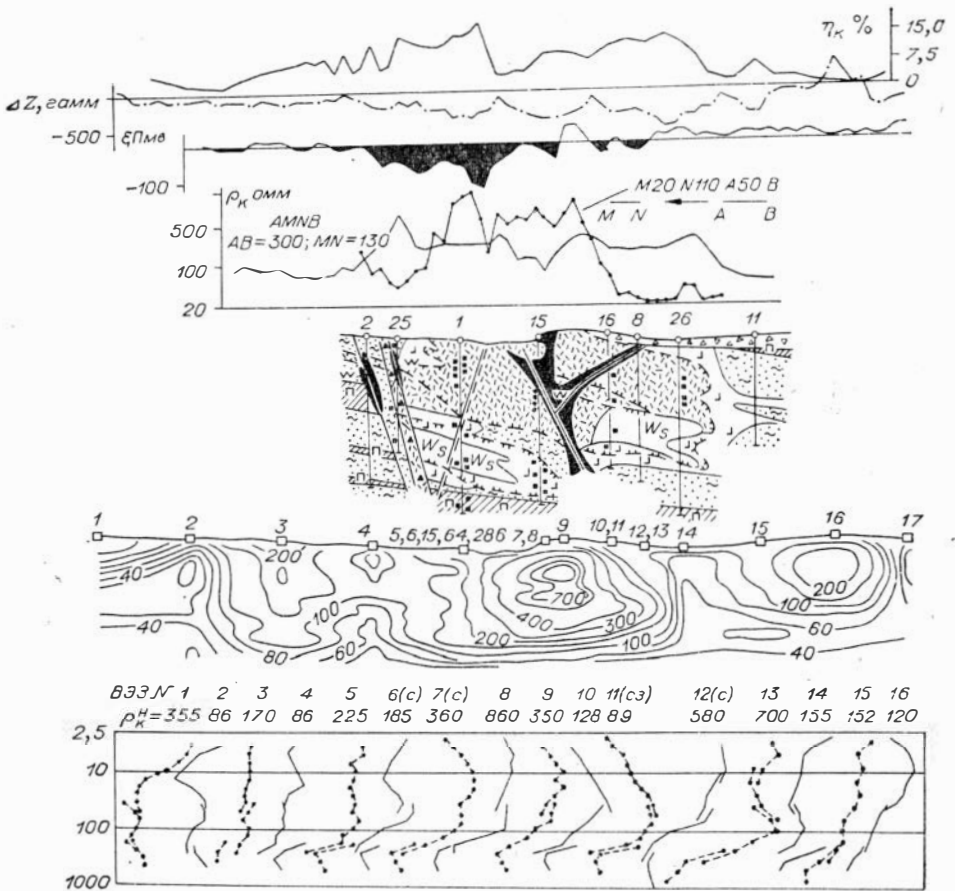


Рис. 4. Геолого-геофизический разрез по линии скв. 2—11 Малотиваямского месторождения серы. Усл. обозн. см. рис. 1.

формированию равновесного порового раствора вокруг рудных тел. Результат взаимодействия с этим раствором вмещающих пород сильно зависит от их минерального состава. Породы, образованные в тех же условиях, что и серные руды, равновесны жидкой фазе, поэтому они плохо поддаются влиянию наведенного электрополя, т. е. их кажущееся сопротивление достаточно велико. Напротив, породы, образованные в других физико-химических условиях, весьма активно взаимодействуют с подземными водами и в силу этого резко снижают сопротивление внешнему полю. Так, например, серные руды, монокварциты с серой, сульфидные и кварциты имеют относительно высокое сопротивление (тысячи Ом·м), а каолинит-кремнистые (кварцевые) и хлорит-монтмориллонитовые породы, а также туфы и андезиты — низкое (до сотен Ом·м). Этим и определяется изменение типа кривых по мере удаления от рудного тела.

Имеющиеся несоответствия истинного разреза граничным условиям теоретических палеток исключают в настоящее время количественную интерпретацию кривых.

ЭП на постоянном токе показывает, что симметричная и дипольная установки при определенных условиях уверенно фиксируют положение высокоомного горизонта, связанного с серными рудами, что является необходимым при редкой сети ВЭЗ. Однако при использовании

этого метода также необходим учет влияния гидрохимической обстановки.

По данным метода ВП (установка срединных градиентов $AB = 300$ м, $MN = d = 20-10$ м; ВЭЗ — ВП с $AB = 1000$ м), установлено, что в разрезе максимальной поляризуемостью — до 12—15% — характеризуются сульфидно-серные руды эродированной части залежи (минимум в центре графика ВП на рис. 4 обусловлен влиянием питающего электрода). Аномалии ВП по данным ВЭЗ отмечаются и к западу от скв. 2 и 42 (см. рис. 2 и 3), где они связаны с сульфидизированными породами и кварцитами. По кривым ВЭЗ — ВП устанавливается мощность зоны окисления, удовлетворительно согласующаяся с данными бурения.

Изложенные данные свидетельствуют о закономерной связи физических полей с геологическим строением месторождения, составом его пород и гидрохимическими условиями их существования.

Итак, надежными геофизическими поисковыми признаками месторождений серы в Северо-Камчатском районе являются:

1. Минимумы магнитного поля на площади развития измененных пород связаны с потенциально сероносными вторичными кварцитами. По данным магнитометрии картируются массивы кварцитов, намечается положение дорудных трещинных зон и нарушений, служивших каналами движения гидротермальных растворов [1, 3, 4, 6].

2. Минимумы ЕЭП, приуроченные к минимумам ΔZ и связанные с окислительно-восстановительными процессами на участках сульфидно-серных залежей.

3. Горизонт высокого сопротивления на кривых K (AK) в пределах минимумов ΔZ и ЕЭП, связанные с рудными телами, и второй горизонт высокого сопротивления на кривых KHK , NKN , связанный с рудами, перекрытыми толщей аргиллизированных пород. Кривые H , HQ , Q в пределах месторождения характеризуют безрудный разрез.

4. Аномалии ВП в пределах минимумов ΔZ и ЕЭП, связанные с сульфидами во вторичных кварцитах. Этим методом определяется наличие сульфидов как в окисляющихся рудах, так и в неэродированных частях залежей, а также во вмещающих породах.

Результаты работ последних лет свидетельствуют об эффективности геофизических методов при поисках серы в Северо-Камчатском районе. В 1967 г. на основании изложенных критериев была выделена комплексная аномалия, в пределах которой в 1968—1969 гг. скважинами вскрыты промышленные руды. Месторождение названо «Юбилейным» [7].

Опыт геолого-геофизических работ на ряде месторождений и проявлений серы в районе дает основание считать эффективной следующую последовательность в осуществлении методики геофизических поисков:

- 1) проведение магнитометрии и съемки ЕЭП;
- 2) постановка ВЭЗ и ЭП на магнитных минимумах и в местах наложения минимумов ΔZ и ΔV ;
- 3) постановка ВП (ВЭЗ и ЕП) и ОВП по детализационным профилям в пределах упомянутых минимумов.

Сеть съемки в первом случае определяется размерами объектов и для севера Камчатки рекомендуется равной 100—50×20—10 м. В остальных двух случаях работы ведутся в профильном варианте с шагом 100—20 м, который определяется шириной проверяемой аномалии и характером изменения изучаемого параметра.

Опыт геологоразведочных работ показывает также, что поиски эффективны при условии обоснованного выбора участков поисковых исследований и своевременной проверки бурением перспективных аномалий.

ЛИТЕРАТУРА

1. В л а с о в Г. М., В а с и л е в с к и й М. М. Гидротермальноизмененные породы Центральной Камчатки, их рудоносность и закономерности пространственного размещения. «Недра», 1964.
2. Г а р р е л с Р., К р а й с т. Растворы, минералы, равновесия. ИЛ, 1968.
3. И в а о Ш. Геохимическое изучение кремнистых и алунитовых месторождений района Угсу, Япония. Сб. Геохимия современ. поствулканич. процессов. «Мир», 1965.
4. Н а б о к о С. И. Гидротермальный метаморфизм пород в вулканических областях. Изд-во АН СССР, 1963.
5. С е м е н о в А. С. Электроразведка методом естественного электрического поля. ЛГУ, 1968.
6. Я р о ц к и й Г. П. Применение магнитометрии при изучении вторичных кварцитов Камчатки. В сб. Молодые гидротермальноизменен. породы Камчатки и Курильск. островов. Тр. Ин-та вулканологии СО АН СССР. «Недра», 1969.
7. Я р о ц к и й Г. П. К вопросу об эффективности геофизических методов при поисках скрытого серного оруденения в Северо-Камчатском сероносном районе. Вopr. геол. и полезн. ископ. Корякск. нагорья. Камч. геогр. об-во АН СССР. Петропавловск-Камчатский, 1969.

*Камчатское ГУ,
г. Петропавловск-Камчатский
Государственный науч.-иссл.
институт горнохимического сырья,
Москва*

*Поступила в редакцию
8 сентября 1972 г.*

