МЕТОД ПЕРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР

МЕТОД ПЕРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

(МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО)

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ЛЕНИНГРАД • 1973

УДК 550.837.6

Метод переменного естественного электрического поля. (Методическое руководство). Л., «Недра», 1973. 128 с. (М-во геологии СССР). Авт.: Г. А. Тарасов, Г. М. Сомов, А. А. Елисеев, Г. К. Антонов.

В книге, которая является методическим руководством, дано краткое физическое обоснование метода перемеиного естественного электрического поля, (ПЕЭП), описан принцип работы и приведены основные технические данные прибора МСЗ-1, предназначенного для метода ПЕЭП, изложеиы методика полевых работ и осиовы интерпретации результатов измерений. Приведены примеры применеиия метода ПЕЭП при решении геологических задач, оценены его эффективность и место в комплексе геофизических работ.

Руководство составлено в связи с началом (1971 г.) промышленного выпуска приборов МСЗ-1 и предназначено для широкого внедрения этих приборов и метода ПЕЭП в производственную практику полевых геофизических и геологических партий Министерства геологии СССР и других ведомств, решающих задачи геологического картирования и поисков.

Руководство рассчитано на инженеров и техников-геофизиков.

Иллюстраций 67, приложений 3, список литературы — 75 назв.

М 0295—324/043(01)—73 147—73

ВВЕДЕНИЕ

Методы электроразведки, использующие естественные электромагнитные поля Земли, в зависимости от диапазона частот и круга решаемых геологических задач можно разделить на две группы.

К первой группе относятся магнитотеллурические методы, использующие поля в диапазоне частот 0,001—3 гц [4, 6]. Они позволяют расчленять геологический разрез на глубину до нескольких десятков километров, изучать рельеф кристаллического фундамента и применяются при мелкомасштабных работах в платформенных областях, а также в комплексе поисково-разведочных работ на нефть и газ. Для работы этими методами в СССР выпускается серийная аппаратура — станции ЭТЛ-57 и МТЛ-62.

Ко второй группе относятся способы, использующие естественные электромагнитные поля Земли в диапазоне частот 3—1000 гц. Среди них можно выделить методы, основанные на измерении элементов осредненного пространственного эллипсоида поляризации магнитной компоненты электромагнитного* поля, отношений ее составляющих или корреляционных связей между ними. Из этих методов наибольшей известностью пользуется АФМАГ [58, 70]. Аппаратура для его реализации создана фирмой «Мак-Фар» и носит название Mark-II, -III и -IV. Комплекты аппаратуры отличаются по чувствительности и диапазону рабочих частот, которые выбираются в пределах от 20—30 до 500 гц.

Метод АФМАГ предназначен для поисков массивных сульфидных руд и геологического картирования. В нашей стране нет серийно выпускаемой аппаратуры для работы этим методом. Макеты приборов были разработаны в Институте автоматики и электрометрии СО АН СССР [13, 44], в Институте автоматики АН Киргизской ССР [35], в ВИТР [3], в Казахском филиале ВИРГ [34] и в ЦНИГРИ [9]. Однако до промышленного производства они не доведены.

К этой же группе относятся методы, основанные на использовании авто- и взаимнокорреляционных функций составляющих поля [48]. Для их реализации во ВНИИгеофизике изготовлены

* Далее в тексте магнитную компоненту поля будем называть переменное магнитное поле, а электрическую компоненту — переменное электрическое поле.

и опробованы в полевых условиях макеты аппаратуры [43]. Эту аппаратуру предполагалось использовать для «высокочастотного» магнитотеллурического зондирования и решения поисковых задач. В настоящее время предпринимаются попытки использования нормированной автокорреляционной функции переменного естественного электрического поля в полосе частот 0,1—10 гц для прямых поисков рудных тел на основе выделения аномалий вызванной поляризации [56].

Во вторую же группу входят методы, базирующиеся на использовании переменного естественного электрического поля. Нами разработан способ использования этого поля [18, 51], специально предназначенный для решения задач геологического картирования в рудных районах. Способ позволяет картировать контакты пород, зоны тектонических нарушений, дайки и другие геологические объекты, отличающиеся по электрическому сопротивлению от вмещающих пород. Для расчленения геологического разреза используется непосредственно измеряемая средняя за ограниченный интервал времени напряженность шумовой части переменного естественного электрического поля в узкой полосе частот субзвукового диапазона.

Среднюю напряженность поля измеряют с помощью прибора МСЗ-1, разработанного в ОКБ Мингео СССР по нашему техническому заданию и на базе научно-методического образца прибора, получившего наименование «Аргунь» [50]. С помощью прибора «Аргунь», а также других приборов и макетов изучены особенности переменного естественного электрического поля в диапазоне частот 2 гц — 200 кгц, а также выполнены опытно-методические исследования. В итоге этих работ сформулированы основы метода ПЕЭП. Метод успешно применен для решения задач геологического картирования полевым партиями НИИ и производственными организациями в 1964—1971 гг. в Забайкалье, европейской части СССР, Казахстане и на Кавказе. Работы проведены в масштабах 1 : 2000—1 : 100 000.

Результаты измерений методом ПЕЭП во многом идентичны данным методов электропрофилирования на постоянном или низкочастотном переменном токе. В то же время метод ПЕЭП имеет ряд преимуществ перед этими методами благодаря легкости измерительной установки, простоте организации полевых работ [47]. Стоимость работ методом ПЕЭП существенно меньше стоимости работ методами электропрофилирования, особенно при мелкомасштабных съемках. Годовой экономический эффект от применения этого метода составляет 8600 руб. на один прибор МСЗ-1.

Глава I

ОСОБЕННОСТИ НИЗКОЧАСТОТНОГО ПЕРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

§ 1
ПРОИСХОЖДЕНИЕ И АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫЙ СПЕКТР ПОЛЯ

Электромагнитные поля, наблюдаемые на Земле, порождаются различными причинами как земного, так и космического происхождения. Они имеют широкий диапазон частот и условно подразделяются на магнитотеллурические и электромагнитные поля. Происхождение, структура и основные особенности этих полей различны.

Основной причиной существования электромагнитных полей в диапазоне частот 3—1000 гц* является грозовая активность [12], хотя определенный энергетический вклад в это поле вносят также магнитный эффект метеоритов, вариации потенциала атмосферного электричества, быстрые вариации геомагнитного поля Земли и другие [23]. Низкочастотное электромагнитное поле создается молниевыми разрядами дальних гроз в центрах мировой атмосферно-электрической активности, а также местных гроз. Количество грозовых дней в этих центрах велико и колеблется от 100 до 240 в году [21].

Каждую секунду в поверхность земного шара ударяет около 100 молний, поэтому электромагнитное поле Земли существует постоянно и лишь несколько меняется его интенсивность вследствие перемещения основных грозовых центров и изменения условий распространения электромагнитной энергии.

Сигналы от разрядов молний на достаточно большом расстоянии от места их возникновения называют атмосфериками. Атмосферик состоит из серии высокочастотных колебаний с преимущественной частотой несколько килогерц и апериодического колебания — «хвоста» — с преимущественной частотой несколько сот герц [24]. Поэтому электромагнитное поле гроз имеет два максимума спектральной плотности мощности (0,5—1 и 6—8 кгц) [59]. По мере увеличения расстояния от места возникновения разряда до точки приема величина низкочастотного максимума увеличивается, а высокочастотного — уменьшается. Низкочастотный максимум смещается в сторону низких, а высокочастотный — в сторону высоких частот [32].

Спектр электромагнитного поля Земли в диапазоне частот 3—100 гц в значительной мере зависит от частотных характеристик

* Диапазон 3—1000 гц сверхнизкочастотный по отношению к радиочастотам и «высокочастотный» по отношению к магнитотеллурическим вариациям естественного поля.

объемного резонатора Земля — ионосфера [2]. При распространении электромагнитных волн вдоль земной поверхности поглощение энергии на резонансных частотах эндовибратора минимально. Поэтому на этих частотах повышается спектральная плотность мощности, что особенно заметно на первых частотах эндовибратора $8 \pm 0{,}1$, $14{,}1 \pm 0{,}2$, $20 \pm 0{,}4$, $26 \pm 0{,}8$ гц и т. д.

Нами выполнены измерения амплитудно-частотного спектра вариаций переменного естественного электрического поля* в различных геологических условиях в 1964—1971 гг. в Забайкалье (рис. 1, *а*),

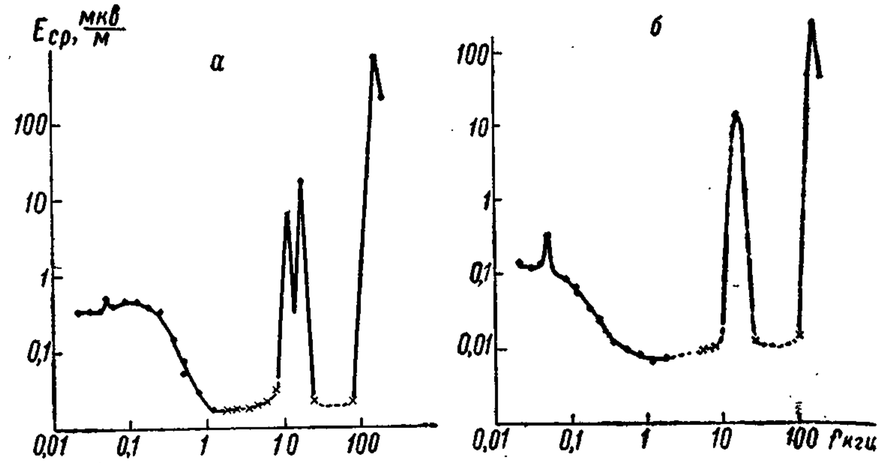


Рис. 1. Спектр средней напряженности переменного естественного электрического поля.

в Северном и Южном Казахстане, на Северном Кавказе, в Закавказье (рис. 1, *б*) и на территории Карелии, Белоруссии и Украины. Полученные нами данные и данные других исследователей [60] позволяют сделать вывод, что напряженность переменного естественного электрического поля имеет максимум в диапазоне частот 8—300 гц. Напряженность поля на частотах 500—2000 гц существенно (в десятки раз) меньше. Величина напряженности переменного естественного электрического поля и характер его спектра зависят также от электрических параметров геологического разреза в точке наблюдения.

§ 2
СТРУКТУРА ПОЛЯ И ВАРИАЦИИ ЕГО СРЕДНЕЙ НАПРЯЖЕННОСТИ

Переменное естественное электрическое поле в точке приема создается совокупным воздействием большого количества источников различной интенсивности, случайно распределенных во времени

* Измерения проведены с помощью макета устройства, включающего селективный микровольтметр В-6-2. В макете использован принцип измерения, положенный в основу прибора МСЗ-1 (см. § 5). При включении входных фильтров нижних частот, которые обеспечивали подавление радиопомех, этот макет позволил регистрировать напряженность поля в диапазоне 20—1800 гц с неравномерностью ±1 дб.

и пространстве. Вследствие этого мгновенные значения напряженности поля изменяются случайным образом, и, следовательно, к ним может быть применен аппарат теории случайных процессов. Расчет показывает, что функция распределения мгновенных значений сигналов поля отличается от нормальной (рис. 2) и при узкополосной регистрации это отличие может быть охарактеризовано коэффициентом эксцесса. Анализ широко-(8—100 гц) и узкополосных (14—18 гц) записей вариаций напряженности поля показывает, что поле имеет сложный импульсно-шумовой характер. Импульсы поля вызываются отдельными мощными или близкими грозовыми разрядами.

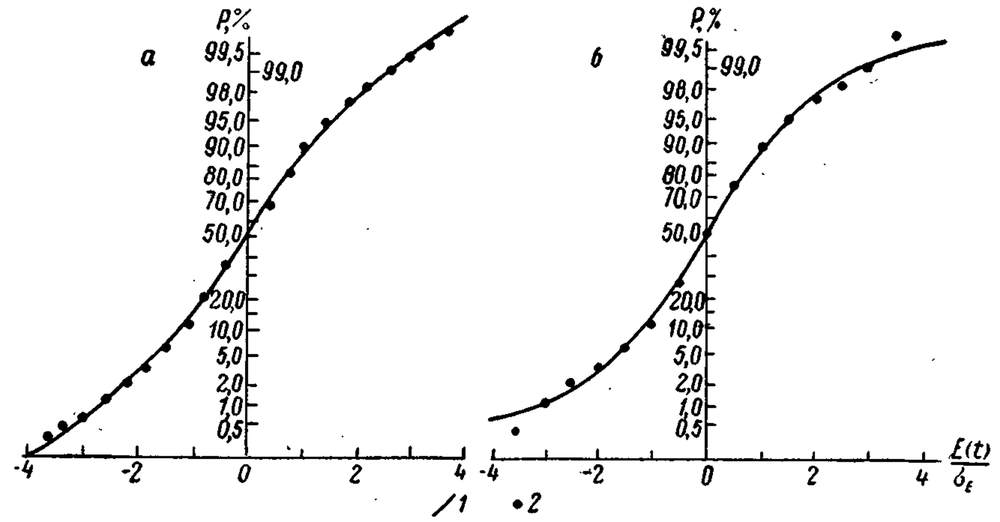


Рис. 2. Кривые интегрального распределения плотности вероятности мгновенных значений сигналов переменного естественного электрического поля на выходе избирательной системы (1) при полосе пропускания 14—18 гц (*а*) и 8—100 гц (*б*) и соответствующие им значения теоретического распределения (2).

Они несут большую часть энергии поля. Шумовая составляющая поля существует постоянно, а импульсы приходят сравнительно редко [10], поэтому стабильность напряженности поля во времени, создаваемого шумовой и импульсной составляющими, существенно различна.

Вариации средней напряженности шумовой составляющей поля обладают рядом характерных особенностей. Анализ измерений, проведенных в различных районах страны (Карелия, Украина, Кавказ, Казахстан, Забайкалье) показывает, что уровень средней напряженности плавно изменяется во времени. Изменение этого уровня за один час обычно не превышает 10—15%, а максимальная разница средних уровней в течение суток достигает 150—170%. Интервалы времени, в течение которых уровень средней напряженности поля имеет минимальные значения, для разных районов страны неодинаковы, но для одного и того же района временной ход уровня средней напряженности поля повторяется. Для Забайкалья минимальное значение уровня средней напряженности наблюдается в период с 11 до 14 ч местного времени. Во всех районах плавные

изменения уровня средней напряженности поля за интервалы 2—4 ч с удовлетворительной точностью аппроксимируются прямыми линиями. Примеры графиков вариаций средней напряженности поля и приведены на рис. 3. Кроме суточных изменений среднего уровня напряженности имеют место также сезонные изменения. Однако, как показали измерения, эти изменения не превосходят суточных. Невелики также годичные изменения уровня средней напряженности, что подтверждается результатами измерений на одном и том же профиле с годовыми интервалами.

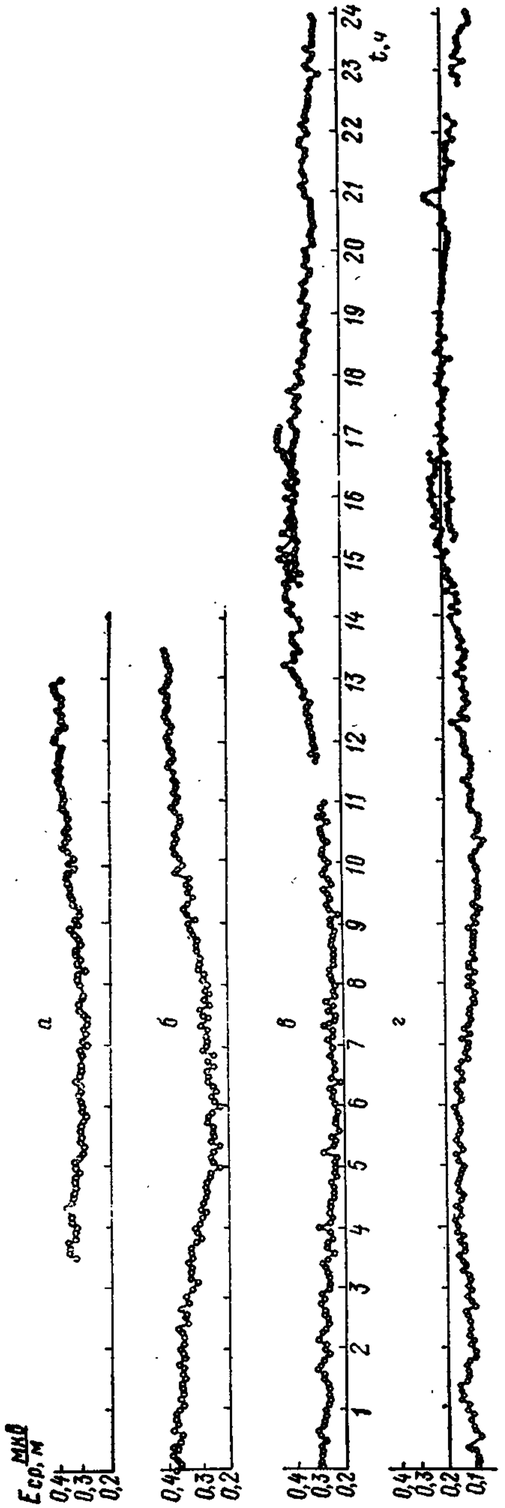


Рис. 3. Вариации переменного естественного электрического поля.
а — 5.IX 1964 г.; б — 3—9.VII 1965 г.; в — 20.VII 1966 г.; г — 24—25.VII 1967 г.

На фоне плавного хода суточных и сезонных изменений среднего уровня напряженности поля имеются случайные флюктуации. Они имеют нормальный закон распределения, и их удобно характеризовать с помощью статистических параметров ν_1 и ν_2.

Параметр ν_1, являющийся коэффициентом вариаций отклонений отдельных замеров относительно среднеарифметической величины замера для группы, рассчитывается по формуле

$$\nu_1 = \left| \sqrt{\frac{1}{mn-1} \times \sum_{k=1}^{n} \sum_{i=1}^{m} \left(\frac{\Delta U_i}{\Delta U_{ср\,(k)}} - 1 \right)^2} \right| \cdot 100\%, \qquad (1)$$

где m — число измерений в группе; n — число групп измерений; i — номер измерения в группе; k — номер группы измерений; ΔU_i — величина «напряжения» между приемными электродами, полученная при единичном измерении; $\Delta U_{ср}$ — среднеарифметическая величина «напряжения» для группы измерений.

Парамер ν_2 характеризует наиболее вероятное изменение средней напряженности поля за интервал времени между центрами групп измерений. Он рассчитывается по формуле*

$$\nu_2 = \left| \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^{n} \left(\frac{\Delta U_{ср\,(k)}}{\Delta U_{ср\,(k-1)}} - 1 \right)^2} \right| \cdot 100\%, \qquad (2)$$

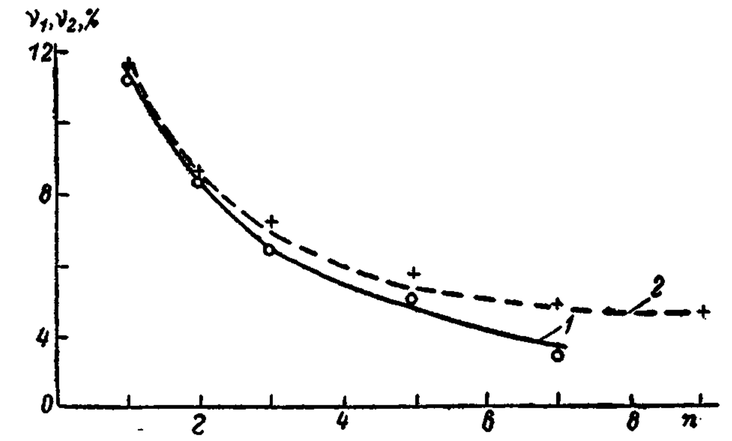


Рис. 4. Зависимость коэффициента вариаций ν_1 (1) средней напряженности и параметра ν_2 (2) от количества замеров в группе; $f = 16$ гц.

Параметр ν_2 зависит от числа измерений в группе (рис. 4), а также от интервалов времени между центрами групп. Величина ν_2 остается практически постоянной при интервалах времени от 3 до 15 мин и возрастает при дальнейшем увеличении этого интервала, что обусловлено плавным изменением средней напряженности поля во времени.

Наблюдения в различных районах страны показывают, что при отсутствии помех величины ν_1 и ν_2 изменяются от 6 до 10%. Они мало меняются в течение суток, обычно увеличиваются к вечеру. Параметры ν_1 и ν_2 не зависят от уровня средней напряженности поля. В то же время эти параметры весьма чувствительны к изменению структуры поля. При увеличении интенсивности промышленных помех наблюдается уменьшение величин ν_1 и ν_2, а уровень средней напряженности поля повышается. Повышение средней напряженности поля наблюдается также во время местной грозы. Но в этом случае вследствие увеличения импульсной составляющей поля резко увеличивается разброс отдельных замеров и, следовательно, возрастают параметры ν_1 и ν_2.

* Обозначения те же, что и в формуле (1).

Синхронные измерения напряженности поля в существенно удаленных точках показывают, что высокая идентичность флюктуаций поля наблюдается на расстоянии в сотни километров.

§ 3
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДОЙ И ОСОБЕННОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ ПОЛЯ

Электрическая компонента электромагнитного поля грозовых разрядов, распространяющегося в волноводе Земля — ионосфера, направлена субвертикально, а магнитная — горизонтально по касательной к фронту волны. Вследствие конечной проводимости Земли фронт электромагнитной волны у ее поверхности наклоняется в сторону распространения. Поэтому в точках, удаленных от источников, электрическая компонента вблизи поверхности Земли имеет вертикальную и горизонтальную составляющие, а на поверхности — только горизонтальную составляющую. Магнитная компонента остается горизонтальной. При одновременном действии большого количества источников на поверхности однородной или горизонтально-слоистой среды имеет место эллиптическая поляризация мгновенных значений электрического и магнитного полей, а осредненная поляризация близка к круговой. При взаимодействии электромагнитного поля с горизонтально-неоднородной средой осредненная поляризация электрической и магнитной компонент из круговой превращается в эллиптическую. Кроме того, возникает вертикальная составляющая магнитной компоненты, синфазная с горизонтальной. Это воспринимается как наклон плоскости поляризации магнитной компоненты.

Таким образом, при взаимодействии со средой компоненты электромагнитного поля испытывают изменения, изучение которых позволяют получить сведения об особенностях геологического строения среды. Так, кажущееся сопротивление ρ_T однородной или горизонтальнослоистой среды определяется из соотношений

$$\rho_T = 2\frac{1}{f}|Z_n|^2,$$

где f — частота вариаций поля; $|Z_n| = |E_x/H_y|$ — модуль входного импеданса среды; E_x и H_y — взаимно перпендикулярные составляющие электрического и магнитного полей, измеренные на поверхности среды.

Для однородной среды кажущееся сопротивление равно ее удельному сопротивлению. В случае горизонтальнослоистой среды ρ_T зависит от параметров разреза (мощности и сопротивления слоев) и частоты вариаций поля. Следует отметить, что на поверхности горизонтально-однородной среды напряженность магнитной компоненты поля с точностью до нескольких процентов равна удвоенной величине напряженности возбуждающего поля и не зависит от электрических параметров [6].

На горизонтально-неоднородных средах зависимости между параметрами разреза и компонентами естественного электромагнитного поля более сложные. В какой-то мере они будут рассмотрены в гл. IV. Отметим только, что магнитная компонента поля при изменении электрических параметров геологического разреза изменяется меньше, чем электрическая. Исключение представляют электропроводящие объекты, над которыми магнитная компонента поля изменяется больше, чем электрическая.

На средах, аппроксимируемых двухмерными моделями (бесконечно протяженные контакты, субвертикальные и наклонные пласты, дайки и т. д.), а также осесимметричных средах (купольные структуры), большие оси осредненных абсолютных эллипсов поляризации электрического и магнитного полей взаимно перпендикулярны и соответственно перпендикулярны к простиранию геологических структур или параллельны ему. При этом отношение главных осей осредненных абсолютных эллипсов электрического и магнитного полей существенно различно. На трехмерно-неоднородных средах главные оси абсолютных осредненных эллипсов поляризации электрического и магнитного полей не перпендикулярны.

Таким образом, особенности геологического разреза вызывают изменения абсолютных осредненных величин составляющих электрического и магнитного полей и параметров их абсолютных осредненных эллипсов поляризации. Причем наиболее чувствительной к изменениям электрических параметров разреза является электрическая компонента поля. Измерения средней напряженности компонент электромагнитного поля в субзвуковом диапазоне частот, выполненные в различных районах нашей страны, показывают, что электрическая компонента изменяется от сотых долей до единиц микровольт на метр, а магнитная компонента колеблется в пределах 10^{-8}—10^{-9} э.

Таким образом, исследования показали, что в звуковом и субзвуковом диапазоне частот естественное электромагнитное поле Земли имеет сложный импульсно-шумовой характер. Наибольшая напряженность шумовой части естественного поля наблюдалась в диапазоне частот 8—300 гц. Напряженность полей, создаваемых промышленными установками, а также длинно- и сверхдлинноволновыми радиостанциями, может превосходить уровень естественного поля в десятки тысяч раз. Уровень средней напряженности поля в полосе 17—23 гц плавно изменяется во времени. При отсутствии сильных местных гроз эти изменения как суточные, так и сезонные незначительны. Флюктуации средней напряженности поля в рассматриваемой полосе частот невелики и могут быть оценены с помощью параметров ν_1 и ν_2.

Достаточная стабильность уровня средней напряженности поля во времени, небольшая и поддающаяся учету величина ее кратковременных флюктуаций, а также отмеченная зависимость напряженности

переменного естественного электрического поля от параметров геоэлектрического разреза в точке измерения, делает ее весьма благоприятной для использования при геофизической разведке. Способ электроразведки, основанный на использовании средней напряженности этого поля для решения задач геологического картирования, назван нами методом переменного естественного электрического поля — методом ПЕЭП. При этом для расчленения геологического разреза могут быть использованы данные об изменении средней напряженности электрического поля как в одном азимуте (например, по направлению вкрест простирания геологических объектов), так и в нескольких азимутах.

Глава II

АППАРАТУРА И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СРЕДНЕЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ПЕРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

§ 4
ПРИНЦИП ИЗМЕРЕНИЙ

Сложный импульсно-шумовой характер переменного естественного электрического поля, низкий уровень полезных сигналов и высокий уровень периодических и импульсных помех, предъявляют специфические требования к полевому прибору, предназначенному для измерения средней напряженности шумовой составляющей поля.

Требования сводятся к тому, что измерительный прибор должен осуществлять узкополосную фильтрацию, существенное усиление и интегрирование принимаемых сигналов, одновременно подавляя периодические и импульсные помехи искусственного и естественного происхождения [18]. Задача подавления периодических помех решается путем использования полосовых и режекторных фильтров. Особенность их применения при измерениях средней напряженности естественного поля состоит в том, что они должны выполнять фильтрацию на входе прибора таким образом, чтобы исключить перегрузку его входных каскадов от полей помех.

Применение узкополосной системы позволяет уменьшить импульсные помехи. Для их подавления применяется амплитудный ограничитель, который имеет два порога — верхний и нижний, выбранные так, что все сигналы, превышающие верхний порог, ограничиваются, а сигналы, не достигающие нижнего порога, не участвуют в интегрировании. Пороги уменьшают вклад импульсной составляющей поля и обеспечивают пропорциональность измеренного и истинного среднего значения шумовой составляющей. Так как соотношение импульсной и шумовой составляющих поля меняется в зависимости от атмосферно-электрической активности, то необходима корректировка порогов ограничения в период полевых измерений.

Для достижения максимально возможной точности измерения средней напряженности шумовой составляющей поля при минимальном времени осреднения использован принцип равновесного интегрирования. Равновесное интегрирование сигналов осуществляется с помощью RC-цепочки, при этом постоянная времени интегратора взята существенно больше времени интегрирования. Средняя напряженность отсчитывается при неподвижной стрелке измерительного прибора. Для этого через время T после начала интегрирования разрывается цепь интегратора и измеряется напряжение на

конденсаторе интегрирующей RC-цепочки. Это напряжение весьма мало, поэтому перед измерением оно усиливается.

Таким образом, прибор, предназначенный для измерения средней напряженности переменного естественного электрического поля, в простейшем варианте состоит из избирательного усилителя, делителя напряжения, амплитудного ограничителя, детектора, интегрирующей RC-цепочки, реле времени, усилителя постоянного тока и стрелочного индикатора. Если на вход такого прибора подавать периодические сигналы постоянной величины с частотой настройки избирательного усилителя, то напряжение на конденсаторе интегратора через время T будет пропорционально амплитудному значению сигнала. Подавая на вход прибора сигнал с заземленной приемной линии, получаем с учетом градуировки среднее за время T амплитудное значение сигнала переменного естественного электрического поля в узкой полосе частот, вырезаемой избирательной системой. Эта величина, отнесенная к единице длины приемной линии, будет средней напряженностью поля в указанной полосе частот.

§ 5
ПРИБОР МСЗ-1

Прибор МСЗ-1 разработан в ОКБ Мингео СССР. Он предназначен для измерения средней напряженности переменного естественного или искусственного электрического поля в полосе частот 17—23 гц.

Комплект прибора

1. Индикатор	1
2. Выносной делитель напряжения 1 : 100	1
3. Комплект ремней	1
4. Тренога с планшетом	1
5. Кабель наружного питания	1
6. Электроды стальные	4
7. Электроды латунные	6
8. Катушка с проводом марки ПСРП-0,35 длиной 500 м	1
9. Техническая документация	1
10. ЗИП, комплект	1
11. Укладочные ящики	2

Основные технические данные индикатора

1. Диапазон измеряемых величин	
естественного переменного электрического поля, мв	$2 \cdot 10^{-3}$—100
искусственного электрического поля, мв	$3 \cdot 10^{-3}$—300
2. Входное сопротивление, Мом	1
3. Резонансная частота, гц	20 ± 1
Полоса пропускания на уровне 0,7, гц	Не менее 11
4. Крутизна затухания частотной характеристики за пределами полосы пропускания, дб/октава	Не менее 20
5. Подавление промышленных помех частотой 50 ± 1 гц, при включенном режекторном фильтре, дб	Не менее 60
6. Время интегрирования, сек	20

7. Нормальные климатические условия работы индикатора:	
Температура воздуха, °С	20 ± 5
Относительная влажность воздуха, %	65 ± 15
8. Предельные климатические условия работы индикатора:	
Температура воздуха при относительной влажности (65 ± 15) %, °С	—15° и +50°
Температура воздуха при относительной влажности до (95 ± 3) %, °С	+25
9. Индикатор сохраняет нормальную работоспособность, после пребывания в воздухе:	
С относительной влажностью (95 ± 3) % и температурой +30° С, ч	Через 12
С температурой (—40 ± 3) °С при относительной влажности (65 ± 15) %, ч	Через 4
С температурой (+65 ± 3) °С при относительной влажности (65 ± 15) %, ч	Через 4
10. Напряжение калибровочного сигнала внутреннего генератора соответствует 100 мкв синусоидального напряжения частотой 20 гц, поданного на вход индикатора при нормальных условиях. Изменение величины калибровочного сигнала при предельных климатических условиях (п. 8), %	Не более ± 5
11. Питание индикатора от трех батарей типа 11,5-ПМЦГ-У-1,3, размещенных в корпусе индикатора, или от двух внешних батарей, подключаемых к индикатору кабелем наружного питания, напряжением, в	20 ± 5 и 12 ± 3
12. Продолжительность работы комплекта внутренних батарей, ч	Не менее 20
Потребляемый индикатором ток, ма:	
От внешней батареи 20 ± 5 в	Около 40
От батареи 12 ± 3 в	6
13. Сопротивление изоляции кожуха индикатора от шасси при нормальных климатических условиях, Мом	Не менее 100
14. Индикатор вместе с источниками питания оформлен в виде отдельного блока, мм	300×160×210
Вес, кг	5,5

Технические данные полевого оборудования

В состав полевого оборудования входят:

стальные приемные электроды
латунные приемные электроды
катушка с проводом
тренога
планшет
делитель напряжения
ремни
кабель

Стальной приемный электрод изготовлен из стержня (с износоустойчивым покрытием) диаметром 12 мм, длиной 790 мм. На электроде имеются изоляционная ручка, винт с гайкой для подсоединения проводов, крючки для намотки провода и выступ для вдавливания электрода в грунт. Стальные электроды служат для быстрого кратковременного заземления приемной линии.

Латунный приемный электрод изготовлен из стержня диаметром 16 мм, длиной 500 мм. На электроде имеется винт с гайкой для подсоединения проводов. Латунные электроды служат для долговременного заземления приемной линии.

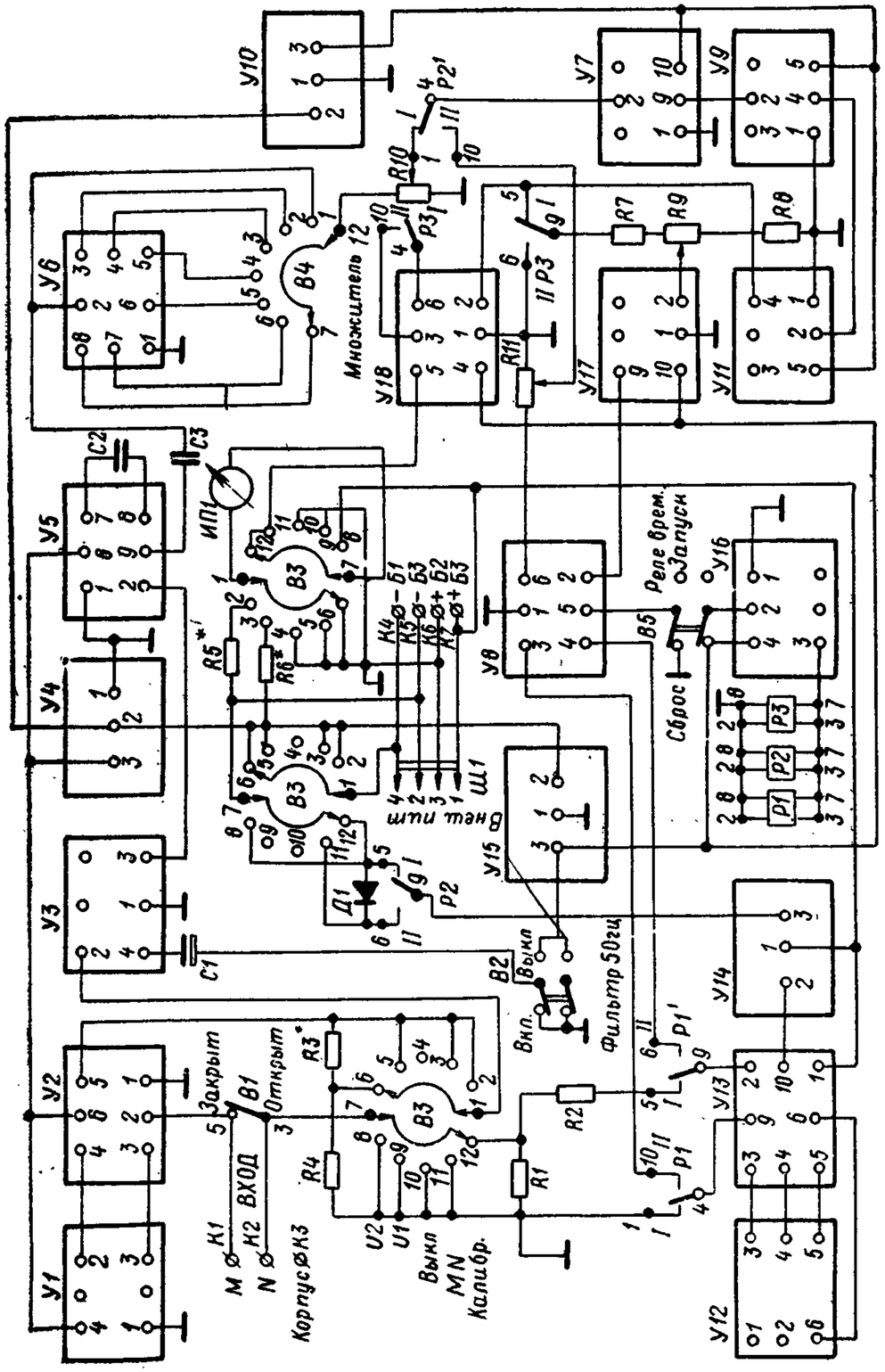


Рис. 5. Принципиальная электрическая схема индикатора МСЗ-1.

Катушка состоит из станка, собственно катушки, штепсельной клеммы, зажимной гайки, оси и ручки. Катушка изготовлена из алюминиевого сплава, станок — из стальных трубок. Зажимная гайка служит для предотвращения произвольного вращения катушки на оси после намотки и смотки провода. Катушка вмещает 500 м провода марки ПСРП сечением 0,35 мм².

Тренога состоит из алюминиевого основания и трех разъемных раздвижных деревянных ног, снабженных подножками, позволяющими вдавливать заостренные концы ног в грунт. В центре основания треноги размещен невыпадающий винт. Он служит для крепления индикатора на треноге.

Планшет изготовлен из фанеры толщиной 12 мм. На нижней стороне планшета сделаны три углубления для фиксации планшета на основании треноги, а на верхней стороне — четыре углубления под ножки индикатора. В центре планшета имеется отверстие для винта, крепящего индикатор к основанию треноги.

Делитель напряжения состоит из двух резисторов типа МЛТ-0,5, помещенных в отдельный металлический корпус. На корпусе делителя напряжения расположены два контакта для подключения к клеммам *MN* индикатора и розетка для подключения приемной линии. Подключение делителя позволяет ослабить напряжение, поступающее на вход индикатора, в 100 раз. Входное сопротивление делителя 1 Мом, выходное сопротивление 10 ком.

Ремни служат для переноски индикатора в полевых условиях при работе без треноги. Концы ремней снабжены специальными карабинами для крепления за кольца, имеющиеся на корпусе индикатора.

Кабель служит для подключения к индикатору внешних источников питания. На одном конце кабеля находится разъем типа 2РМ-14, на другом — концы проводов с бирками. Номера бирок соответствуют номерам контактов разъема (рис. 5).

§ 6
СХЕМА ИНДИКАТОРА И ЕГО ОСНОВНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ УЗЛОВ

Принципиальная электрическая схема * индикатора МСЗ-1 включает в себя 18 отдельных модулей, а также элементы регулировки, коммутации и связи между модулями (см. рис. 5). Модули изготовлены на прямоугольных платах из одностороннего фольгированного гетинакса способом печатного монтажа. Монтаж индикатора вместе с источниками питания выполнен в металлическом корпусе. На лицевой панели корпуса (рис. 6) расположены ручки переключателей, две клеммы для подключения приемной линии, клемма

* Перечень элементов принципиальной схемы индикатора и его отдельных блоков дан в приложении № 1.

«Корпус», соединенная с корпусом индикатора, разъем типа 2РМ-14 для подключения с помощью кабеля наружных источников питания, измерительный прибор и ручки трех потенциометров для калибровки. Конструкция корпуса индикатора позволяет закрепить его на стандартной треноге.

На боковых стенках корпуса имеются скобы для крепления ремней и две пары замков. Нижняя пара замков предназначена для закрепления крышки корпуса при работе без треноги.

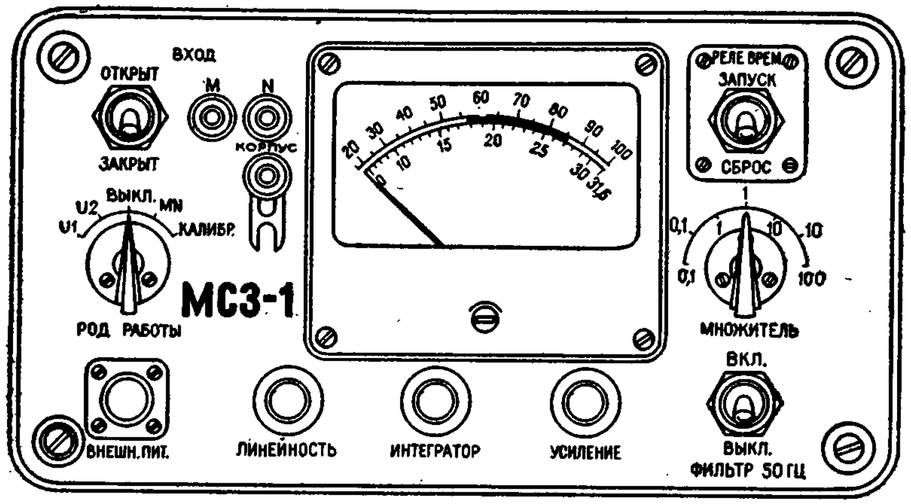


Рис. 6. Лицевая панель индикатора МС3-1.

Рассмотрим схемы и конструкции отдельных модулей индикатора.

Входной усилитель (рис. 7, *У2* на рис. 5) состоит из однокаскадного лампового резистивного усилителя и эмиттерного повторителя, включенного на выходе для снижения выходного сопротивления усилителя до уровня, необходимого для согласования со следующим каскадом. Усилитель собран на лампе 1Ж42А и трех транзисторах. На входе усилителя установлен полосовой фильтр (*С1—С3* и *R1—R3*) с граничными частотами $f_{min} = 3$ гц и $f_{max} = 220$ гц. Этот фильтр защищает усилитель от перегрузки инфранизко- и высокочастотными помехами. Цепочка *R4—C4* — развязывающий фильтр. Стержневой пентод 1Ж42А имеет очень критичные зависимости крутизны от напряжения на экранной сетке и внутреннего сопротивления от напряжения на аноде. Поэтому в усилителе предусмотрена возможность регулировки анодного (резистор *R5*) и сеточного (резистор *R6*) напряжений. От того, насколько правильно подобраны эти напряжения, зависит уровень собственных шумов усилителя.

Транзисторы *Т1—Т3* включены по схеме эмиттерного повторителя. Питание эмиттерного повторителя, цепей анода и экранной сетки лампы от стабилизатора напряжения (*У4*, рис. 5). Напряжение накала и смещения подается на усилитель от преобразователя

напряжения (*У1*, рис. 5). Входное сопротивление модуля около 1 Мом на частоте 20 гц; выходное сопротивление 50—100 ом; коэффициент усиления по напряжению 5—6; уровень собственных шумов, приведенный ко входу, не более 0,8 мкв.

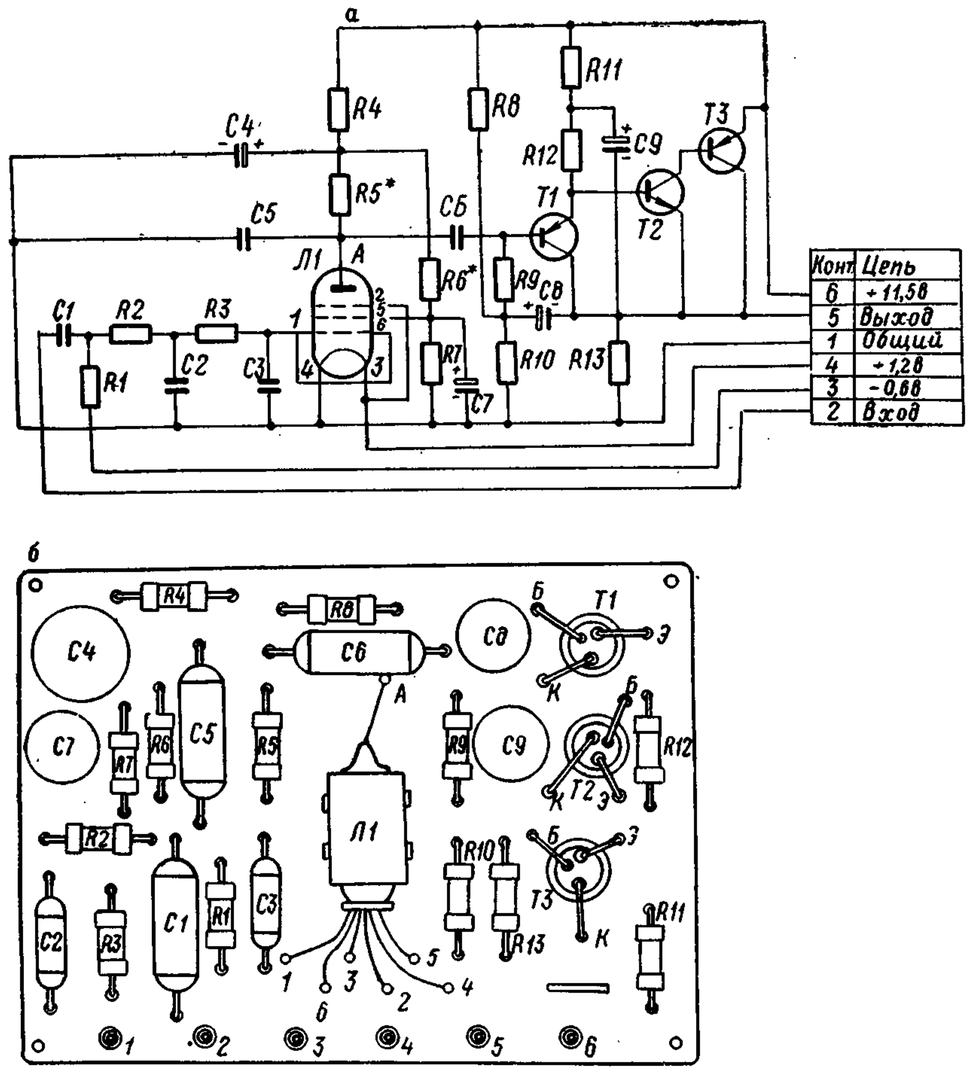
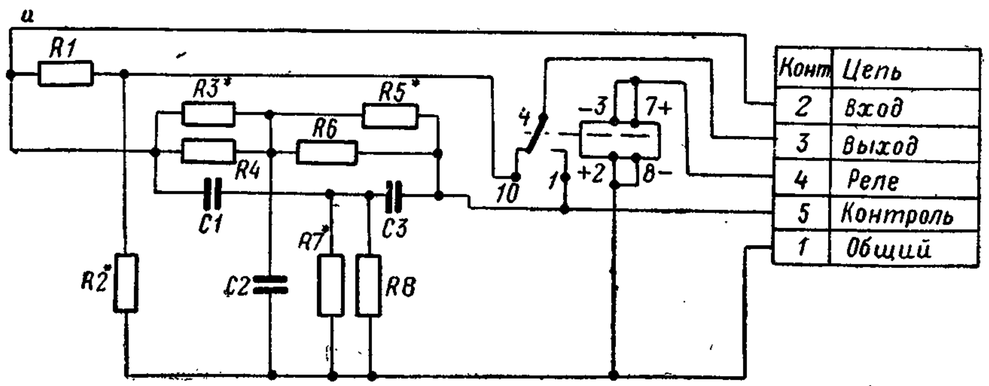


Рис. 7. Входной усилитель.
а — **принципиальная схема;** *б* — **общий вид.**

Режекторный фильтр (рис. 8, *У3* на рис. 5) выполнен по схеме симметричного *ТТ—RC* моста с коэффициентом передачи 0,003 на частоте 50 гц. При помощи дистанционного переключателя *Р1* типа РПС-20, тумблер цепи питания которого выведен на лицевую панель, вместо фильтра может быть включен линейный делитель напряжения *R1—R2*, коэффициент передачи которого (0,4) равен коэффициенту передачи режекторного фильтра на частоте 20 гц. Для настройки моста используются резисторы *R3*, *R5*, *R7*. Линейный делитель настраивается с помощью подбора резистора *R2*.

Усилитель УБУ-6 (рис. 9, *У5* на рис. 5) выполнен на трех транзисторах *Т1—Т3* с непосредственными связями и двумя цепями общей отрицательной обратной связи: по току — *R4*, по постоянному напряжению — *R7* и *R8*. Эти сопротивления подбираются таким образом, чтобы максимальное неискаженное напряжение синусоидального сигнала было не менее 3 в, а при дальнейшем увеличении этого сигнала происходило бы ограничение одновременно снизу



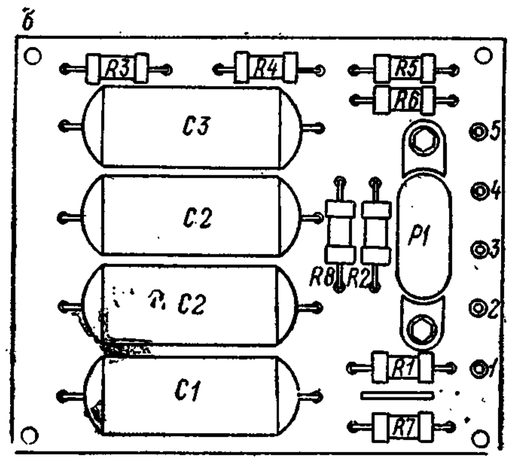


Рис. 8. Режекторный фильтр.
а — принципиальная схема; *б* — общий вид.

и сверху. Первые два каскада усилителя (*Т1* и *Т2*) для предотвращения генерации развязаны по питанию от общей схемы сопротивлением *R3* и стабилитроном *Д1*, который в данном случае выполняет роль конденсатора большой емкости. Подбором сопротивления *R3* устанавливается ток 1 ма через стабилитрон. Для уменьшения выходного сопротивления усилителя на выходе включен эмиттерный повторитель на одном транзисторе *Т4*, а для сужения полосы пропускания частот снаружи подключен конденсатор емкостью 0,1 мкф (*С2*, см. *У5* на рис. 5). Коэффициент усиления модуля с подключенным конденсатором *С2* составляет 100—120 в полосе частот 10—300 гц, входное сопротивление на частоте 20 гц около 30 ком, а выходное сопротивление менее 350 ом.

Аналогичный *усилитель*, только без подключенной к наружным клеммам емкости, используется в функциональном узле ампли-

тудного селектора (*У17* на рис. 5). Полоса пропускания частот у него 10—30 000 гц, а остальные параметры такие же, как в усилителе *У5*.

Аттенюатор УБА-1 (рис. 10, *У6* на рис. 5) выполнен из прецизионных резисторов типа БЛП по цепочечной схеме. Достоинством такой схемы является постоянство входного (13,5 ком) и выходного (3,5 ком) сопротивлений на всех ступенях деления. Аттенюатор обеспечивает в полосе частот 0—50 000 гц коэффициент деления 10 дб (в 3,16 раза) с точностью 0,5% на ступень и не требует специальной подстройки элементов. Аттенюатор имеет восемь ступеней,

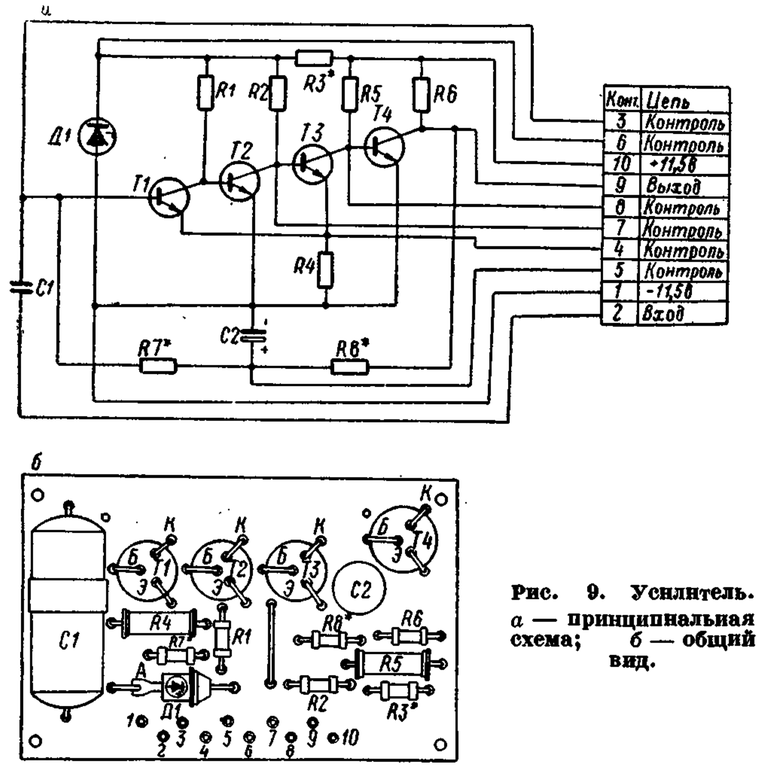
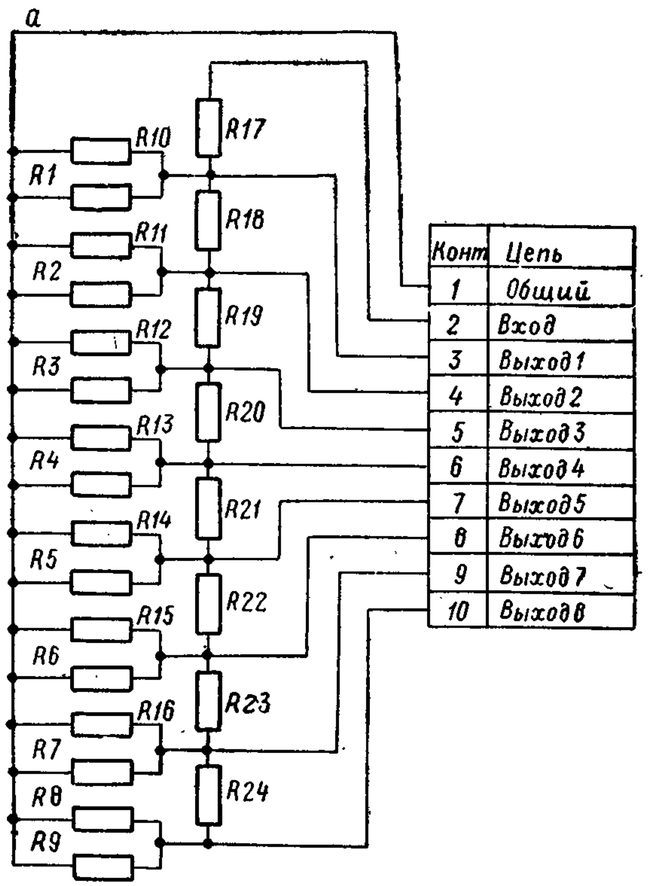


Рис. 9. Усилитель.
а — принципиальная схема; *б* — общий вид.

семь из которых задействованы в индикаторе МСЗ-1, что обеспечивает подавление сигнала в 3160 раз.

Преобразователь напряжения (рис. 11, *У1* на рис. 5) выполнен на двух транзисторах типа МП-112 (*Т1*, *Т2*), с трансформаторной обратной связью. Частота генерации преобразователя определяется индуктивностью обмоток *1—2* и *3—4* и цепочками *R1—C1* и *R2—C2*. Подбором резисторов *R1* и *R2* преобразователь настраивается на частоту 40—50 кгц, при этом получается наилучший к. п. д., равный 35% при напряжении пульсаций на выходе менее 0,1 мкв. Конденсатор *С3* включен для предотвращения срыва генерации. Резистор *R5* — гасящее сопротивление. С помощью этого резистора регулируется напряжение на выходе преобразователя и, следовательно, его выходные напряжения. Выпрямитель напряжения 1,2 в для питания цепей накала лампы 1Ж42А выполнен



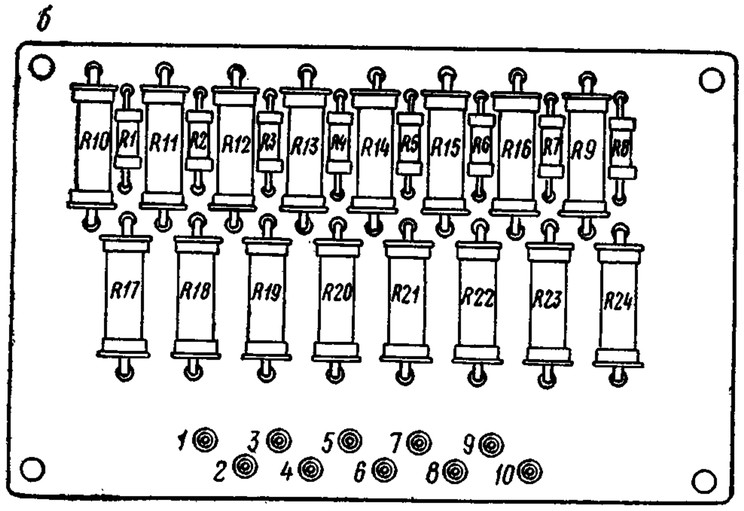
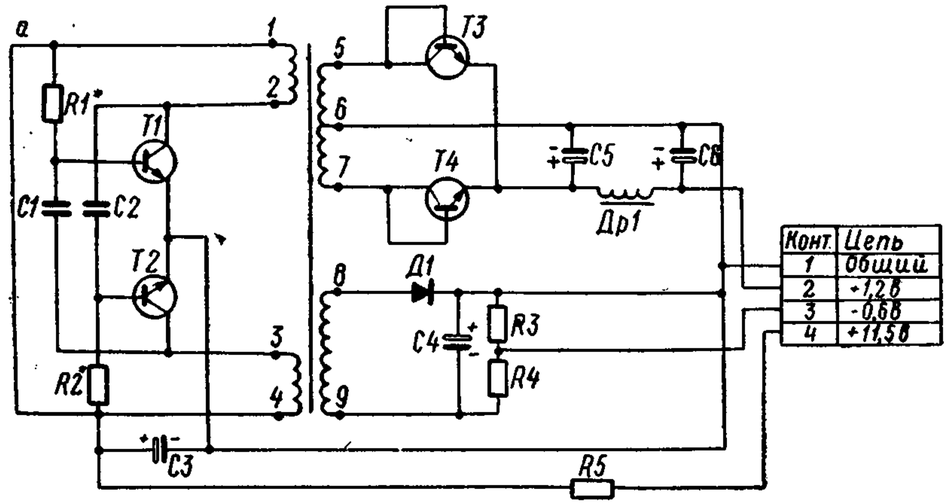


Рис. 10. Аттенюатор.
а — **ириицииальная схема;** *б* — **общий вид.**



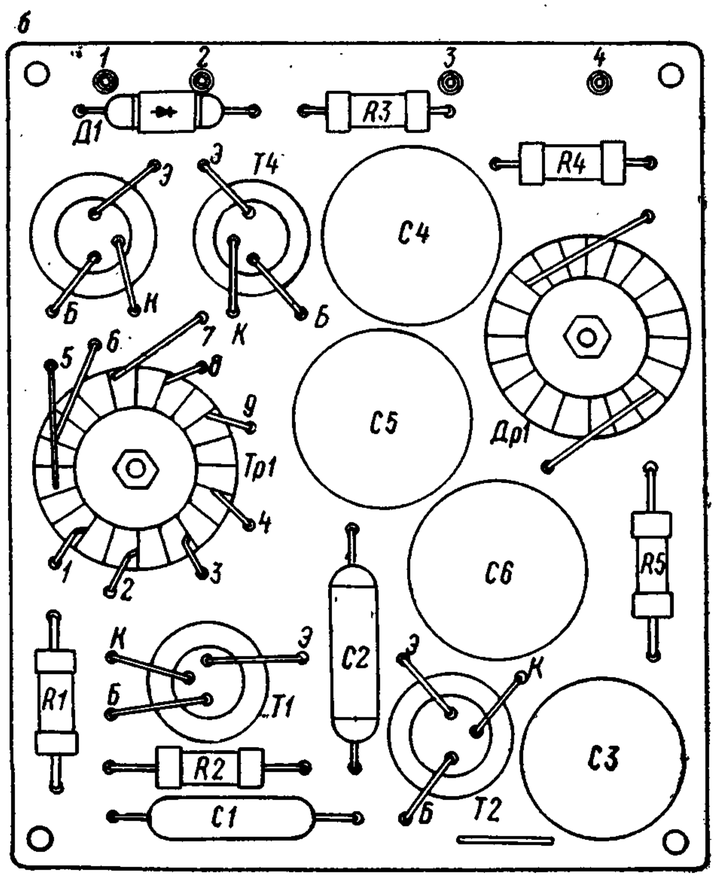


Рис. 11. Преобразователь напряжения.
а — **принципиальиая схема;** *б* — **общий вид.**

по двухполупериодной схеме на транзисторах *Т3* и *Т4*, работающих в диодном режиме. Сглаживающий фильтр *LC* собран по *П*-образной схеме и состоит из конденсаторов *С5* и *С6* и дросселя *Др1*. Напряжение смещения выпрямляется по однополупериодной схеме на диоде *Д1*. Ток, потребляемый преобразователем, при включенной нагрузке составляет 4,5 ма.

Стабилизатор напряжения (рис. 12, *У4* на рис. 5) выполнен на составном эмиттерном повторителе с опорным диодом *Д2* в цепи базы первого транзистора *Т1*. Диод *Д1* включен в прямом направлении для температурной компенсации; резистор *R1* ограничивает ток через стабилитрон. Для снижения выходного сопротивления стабилизатора включены конденсаторы *С1* и *С2*. Транзистор *Т2*

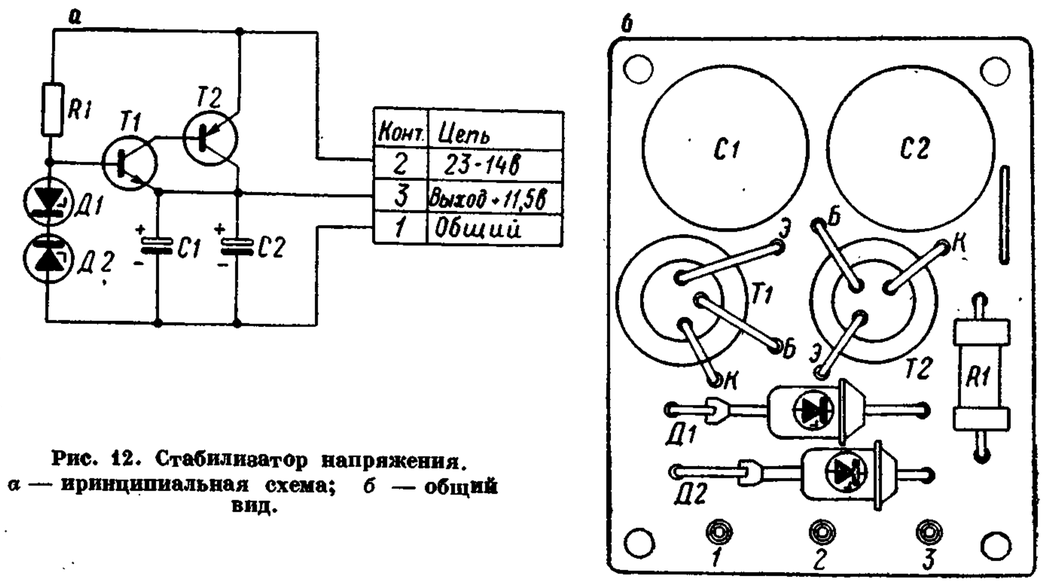


Рис. 12. Стабилизатор напряжения.
а — принципиальная схема; *б* — общий вид.

является регулирующим элементом и определяет допустимый ток нагрузки, который составляет для транзистора МП-112 не более 20 ма при мощности рассеивания на коллекторе 150 мвт. В качестве опорного диода используется стабилитрон типа Д813 или Д814-Д.

Для температурной компенсации используется такой же стабилитрон, но он может быть заменен без ущерба для характеристик стабилизатора любым другим маломощным стабилитроном типа Д808—Д814 или кремниевым диодом типа Д223 с любой буквой. Стабилизаторы *У10* и *У15* (см. рис. 5) аналогичны описанному. Стабилизатор *У14* (рис. 5) отличается от рассмотренного опорным диодом Д808 и соответственно выходным напряжением (8 в). В стабилизаторах *У4*, *У10* и *У15* выходное напряжение 11,5 в.

Все названные модули вместе с элементами, подключенными к их внешним контактам, и линиями коммутации, а также резистор переменного сопротивления *R10* (см. рис. 5), выполняющий роль регулятора усиления, входят в состав единого функционального блока — первого избирательного усилителя. Общий коэффициент усиления его изменяется от 0,025 до 250.

Усилитель УБУ-2 (рис. 13, *У7* на рис. 5) выполнен по аналогичной схеме с усилителем УБУ-6. Отличие заключается в меньшей глубине обратной связи по току и в наличии сложного малошумящего эмиттерного повторителя на входе *Т1—Т2*. Уменьшение глубины обратной связи (резистор *R12*) позволяет получить большой коэффициент усиления по напряжению, но при этом резко уменьшается входное сопротивление усилителя *Т3—Т5*, что приводит к необходимости ставить на входе эмиттерный повторитель *Т1—Т2*. Конденсатор *С5*, шунтирующий выходную цепь транзистора *Т3*, включен для повышения устойчивости работы усилителя. Коэффициент усиления по напряжению 1000, полоса пропускания 10—20 000 гц. Входное сопротивление 0,8—1 Мом, выходное сопротивление 300 ом. Максимальное неискаженное выходное напряжение не менее 3 в. Питание на этот усилитель, а также на активные полосовые фильтры подается через стабилизатор *У10* (см. рис. 5).

Фильтр полосовой (рис. 14, *У9* и *У11* на рис. 5) выполнен на двух эмиттерных повторителях *Т1—Т2* и *Т3—Т4*. Он представляет собой двухзвенный активный фильтр с положительными обратными связями и гальванической межзвенной связью. Первое звено — фильтр верхних частот (ФВЧ) — настроен на частоту 16 гц. Рабочая точка эмиттерного повторителя *Т1—Т2* устанавливается делителем напряжения *R3* и *R4* + *R5*. Суммарное сопротивление этого делителя одновременно является сопротивлением пассивного звена ФВЧ. Второе звено представляет собой фильтр нижних частот (ФНЧ) второго порядка. Смещение на базу *Т3* подается с выхода ФВЧ через резисторы *R10—R7*, которые входят в пассивный фильтр ФНЧ. Пассивные элементы *ФНЧ* настраиваются на частоту 38 гц. Квазирезонансная частота полосового фильтра 24 гц. Коэффициент передачи на рабочей частоте (20 гц) составляет примерно 0,75.

Звенья фильтра на указанные выше частоты настраиваются подбором резисторов *R2*, *R3*, *R4* для ФВЧ и *R8*, *R9* для ФНЧ. Правильность настройки звена ФВЧ контролируется на внешнем контакте (*3*) модуля.

В индикаторе МСЗ-1 для увеличения затухания за пределами полосы пропускания установлено последовательно два полосовых фильтра. Полоса пропускания одного фильтра на уровне 0,7 составляет 21 гц (37—16 гц). Крутизна затухания в области нижних и верхних частот за пределами полосы пропускания 11,5 дб/октава.

Усилитель УБУ-2 (*У7* на рис. 5) и два полосовых фильтра, а также линии коммутации и связи между ними составляют второй крупный функциональный блок — второй избирательный усилитель. Его общий коэффициент усиления в полосе пропускания 500. Частотная характеристика, полученная на выходе включенных каскадно первого и второго избирательных усилителей, приведена на рис. 15.

Амплитудный детектор (рис. 16, *У18* на рис. 5) состоит из предварительного усилителя *Т1* с коэффициентом усиления 10, эмиттерного повторителя *Т2*, ограничителя малых амплитуд на

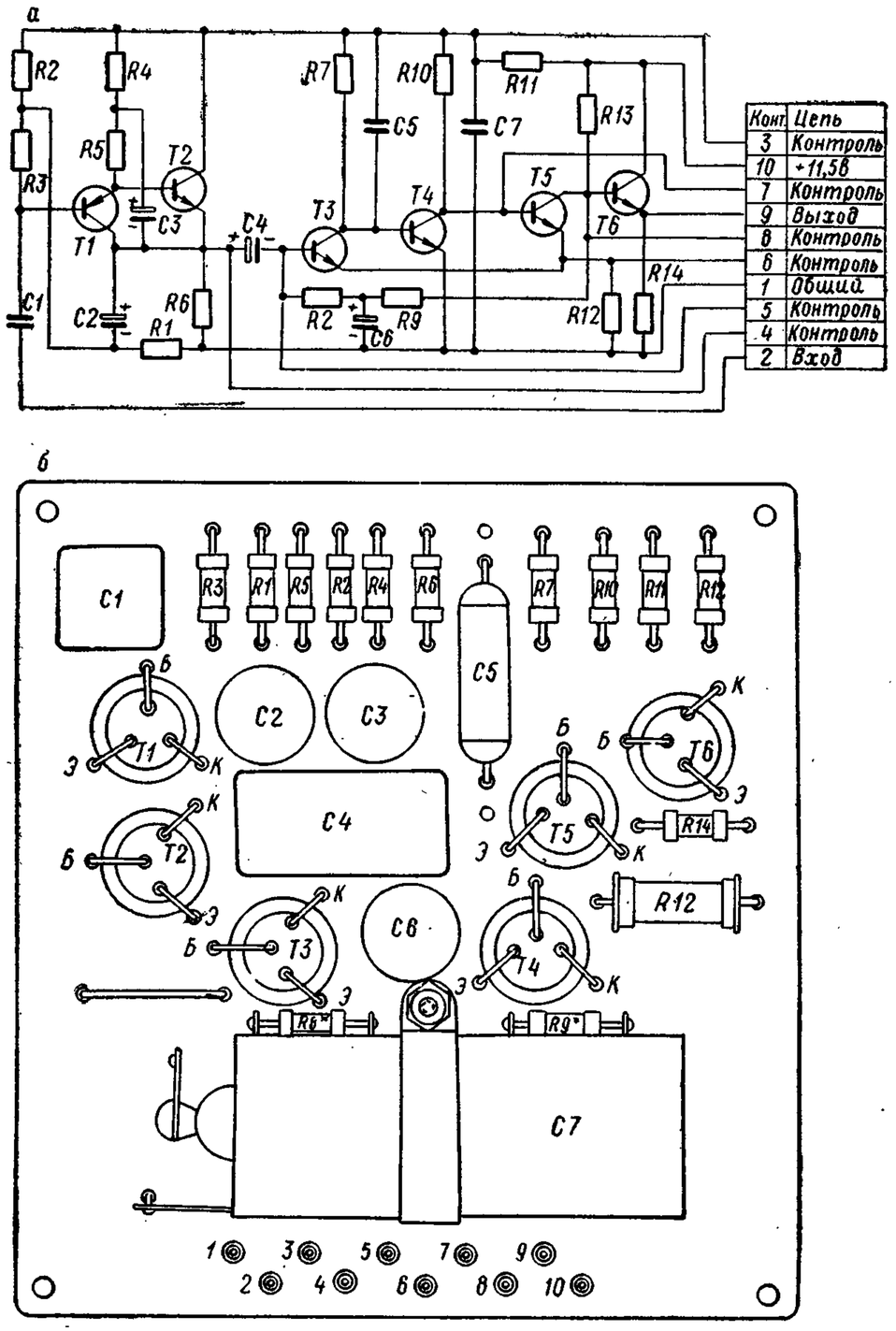


Рис. 13. Усилитель.
а — **принципиальная схема;** *б* — **общий вид.**

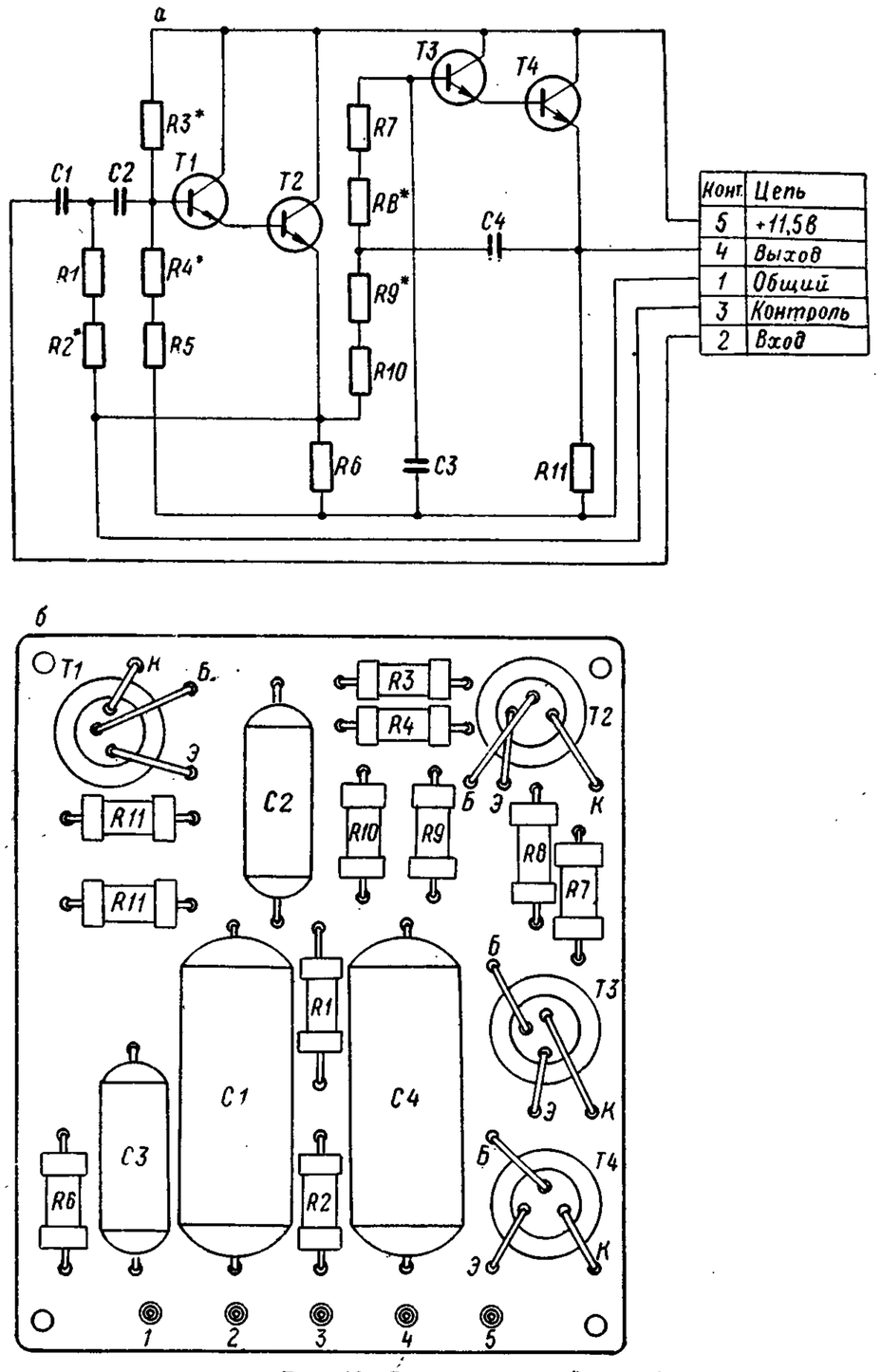


Рис. 14. Фильтр полосовой.
а — **иринципиальная схема;** *б* — **общий вид.**

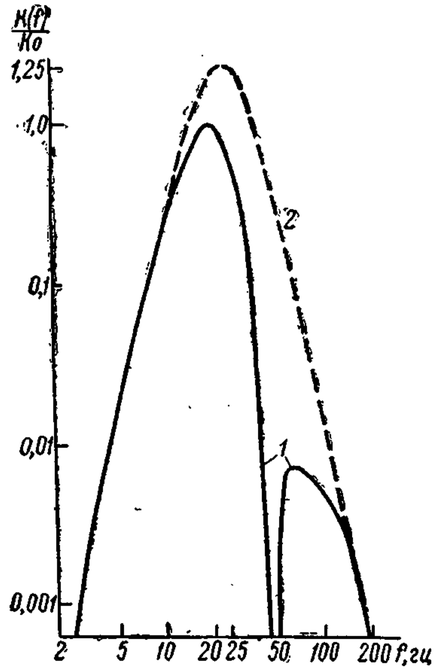


Рис. 15. Частотная характеристика на выходе второго избирательного усилителя.
1 — при включенном, *2* — при выключенном режекторном фильтре.

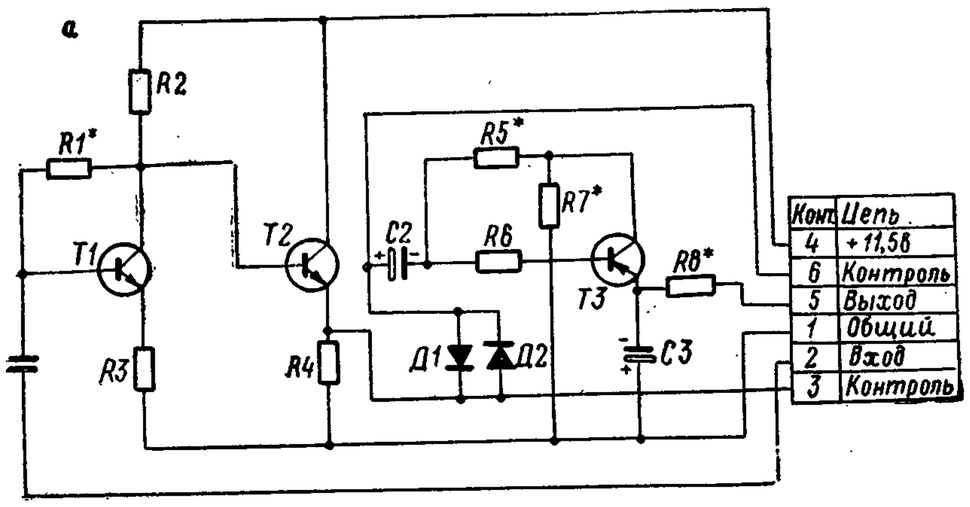


Рис. 16. Детектор.
а — принципиальная схема; *б* — общий вид.

диодах *Д1* и *Д2* и линейного детектора *Т3*. Ограничитель малых амплитуд делает схему детектора нелинейной, что позволяет оценивать величину сигнала в таком виде, в каком он поступает на интегратор после амплитудного селектора (*У17* на рис. 5). При измерении величины напряжения на конденсаторе интегратора с помощью дистанционного переключателя закорачиваются внешние контакты модуля *3* и *6*, к которым подключены диоды, и детектор работает в линейном режиме.

В модуле детектора предусмотрен подбор четырех резисторов. С помощью резистора *R1* устанавливается рабочая точка транзистора *Т1*. При подборе сопротивления этого резистора форма выходного напряжения контролируется с помощью осциллографа, подключаемого к внешнему контакту *3* модуля. В правильно настроенном усилителе, подключенном к нагрузке детектора, максимальное неискаженное синусоидальное напряжение на контакте *3* модуля должно составлять 1,8 ± 0,1 в. При большем напряжении начинается одновременное ограничение синусоидального сигнала сверху и снизу. Подбором резисторов *R5* и *R7* можно установить нелинейность детектирования, соответствующую заданной нелинейности градуировки шкалы измерительного прибора. Одновременное уменьшение величин сопротивлений *R5* и *R7* при сохранении их отношения позволяет увеличить нелинейность детектирования.

Сопротивление *R8* является добавочным к измерительному прибору, и его величина подбирается такой, чтобы при величине синусоидального напряжения 1,8 в на контакте *3* модуля стрелка измерительного прибора отклонялась на всю шкалу.

Питание на амплитудный детектор, а также на амплитудный селектор *У17* подается через стабилизатор *У15* (см. рис. 5).

Измерительный прибор изготовлен на базе микроамперметра М-24, имеющего чувствительность 100 мка на всю шкалу (100 делений). На циферблате измерительного прибора имеется две шкалы: 20—100 и 6—31,6 деления. В средней части шкалы *100* от деления 56 до 86 имеется зачерненный сектор, указывающий допустимые изменения напряжений питания.

Интегратор (рис. 17, *У8* на рис. 5) включает в себя нелинейный диодный детектор *С3—Д1—Д2—R5*, интегрирующую цепь *R4—C2* и модулятор на двух транзисторах *Т1—Т2*. Модулятор предназначен для преобразования постоянного напряжения заряда конденсатора *С2* интегратора в переменное с частотой 20 гц. Управляющее напряжение на модулятор подается от генератора *У13* (см. рис. 5).

Реле времени (рис. 18, *У16* на рис. 5) выполнено на основе триггера Шмитта, на входе которого установлена интегрирующая *RC*-цепь *С1—R1—R5*, а в коллекторную цепь выходного транзистора *Т3* включена обмотка контактного реле типа РПС-18/4. Реле времени предназначено для подключения схемы накопления на время интегрирования к источнику сигналов и последующего переключения ее к измерительному прибору. Коммутация узлов

индикатора осуществляется с помощью трех двойных дистанционных переключателей типа РПС-20 (*Р1*, *Р2*, *Р3* на рис. 5), подключенных к реле времени.

В исходном положении (сброс) наружные контакты *2* и *4* модуля реле времени закорочены. При этом на базу составного транзистора *Т1—Т2* через резистор *R2* поступает напряжение 11,5 в от стабилизатора *У15*. Напряжение на эмиттерах транзисторов *Т2* и *Т3* при-

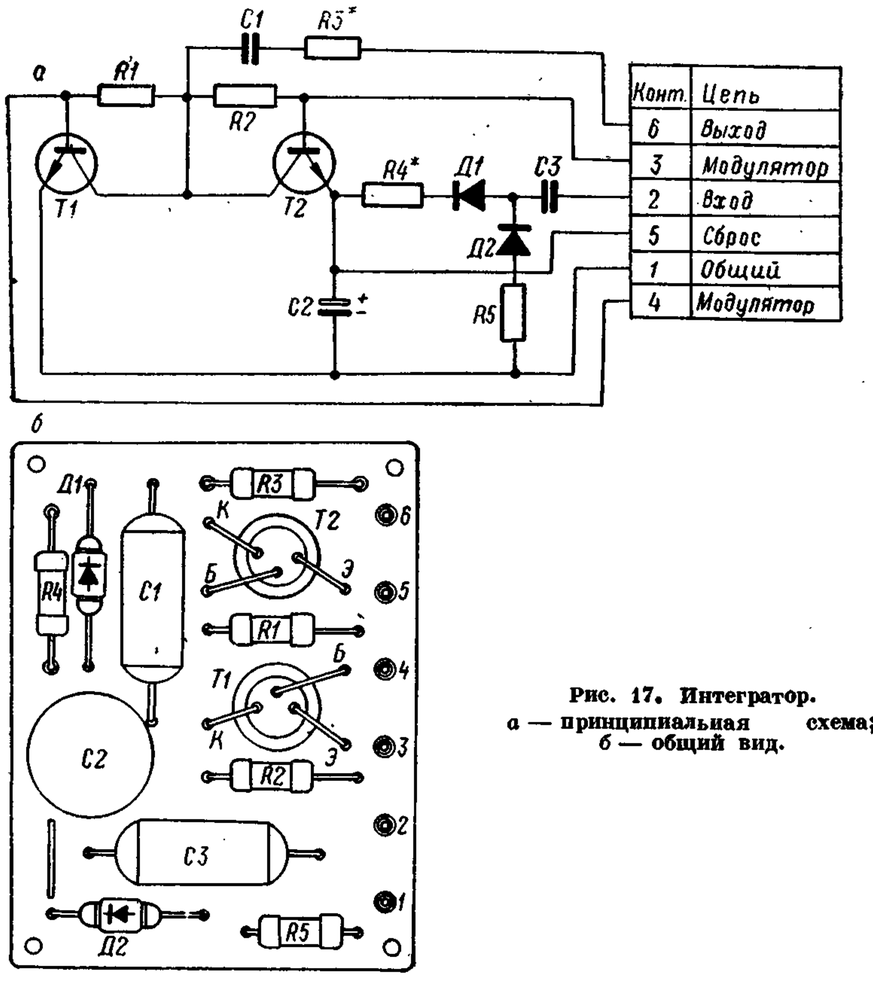


Рис. 17. Интегратор.
а — принципиальная схема; б — общий вид.

близительно равно 2 в. При таком режиме составной транзистор *Т1—Т2* открыт, а транзистор *Т3* закрыт и ток через его коллекторную цепь не течет. Следовательно, нет тока в обмотке реле РПС-18/4 и его якорь прижат к контакту *Л*. Конденсатор *С4* при этом закорачивается через обмотки дистанционных переключателей, подключенных к наружным контактам *1* и *3*.

В рабочем положении (запуск), когда контакты *2* и *4* модуля не замкнуты, в результате протекания тока через резисторы *R1* и *R5*, а также через цепь базы транзистора *Т1* на конденсаторе *С1* начинает накапливаться заряд. Это приводит к уменьшению потен-

циала на базе транзистора *Т1*. Когда потенциал его базы уменьшится до потенциала эмиттера, ток через составной транзистор прекратится. Одновременно потенциал на базе *Т3* возрастает до величины, большей потенциала змиттера, и *Т3* открывается. Протекающий через его коллекторную цепь ток вызывает срабатывание реле РПС-18/4. В результате якорь притягивается к контакту *П*. В этот момент через обмотки дистанционных переключателей *Р1*, *Р2* и *Р3* проходит

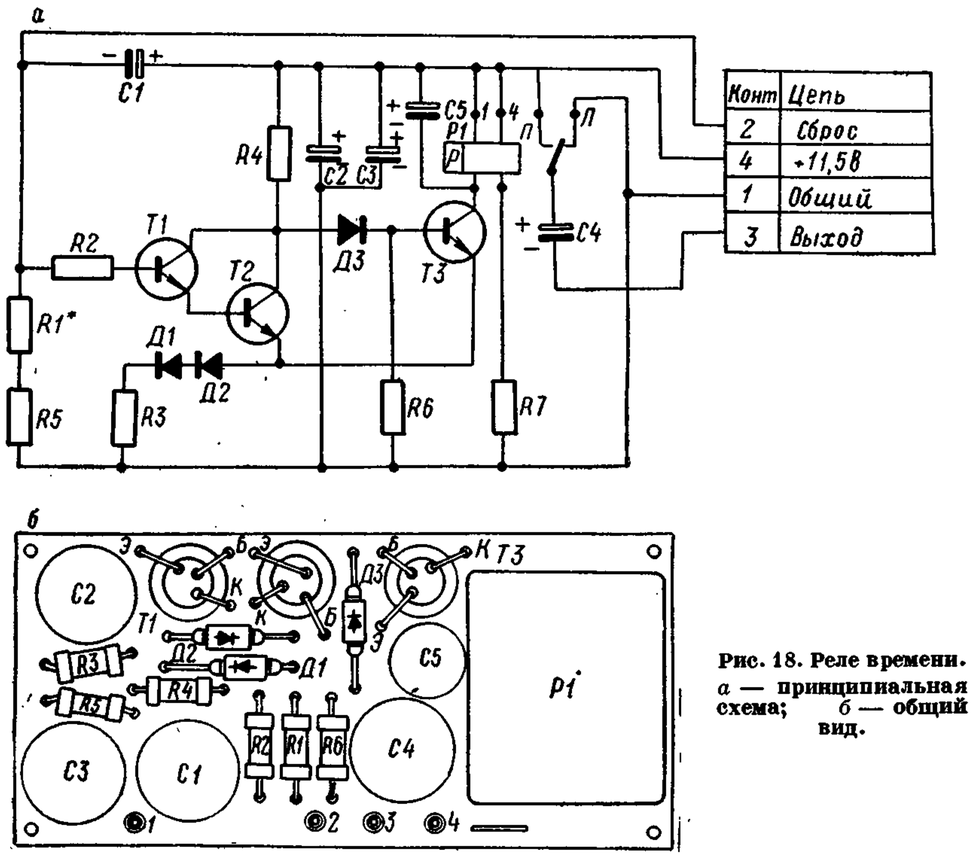
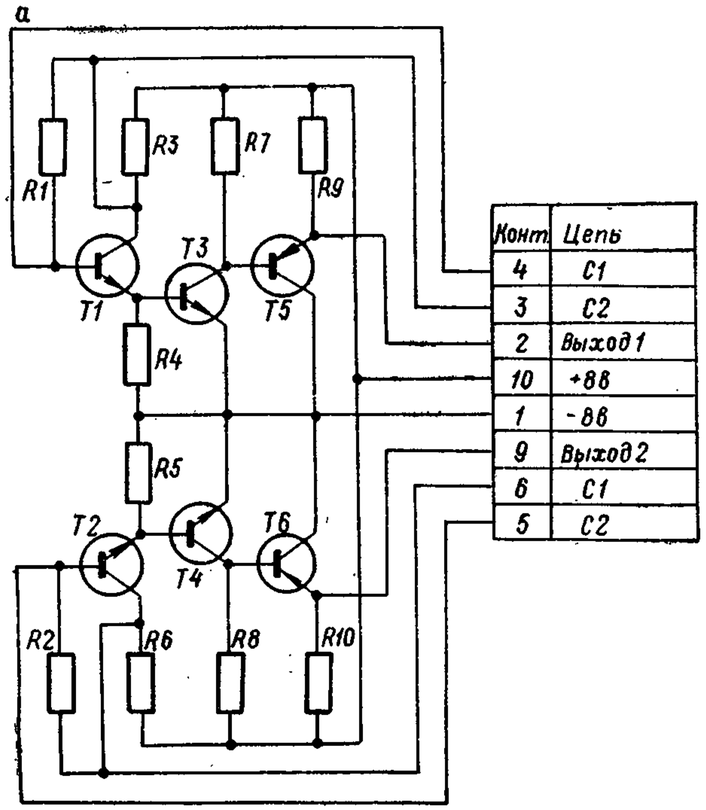


Рис. 18. Реле времени.
а — принципиальная схема; б — общий вид.

импульс тока и переводит их в рабочее положение. Конденсатор *С4* этим током заряжается до напряжения 11,5 в, после чего ток прекращается.

После перевода реле времени в исходное положение (сброс) путем замыкания внешних контактов модуля *2* и *4* на базу составного транзистора поступает напряжение 11,5 в. Составной транзистор отпирается, а транзистор *Т3* запирается. Ток через реле РПС-18/4 прекращается, его якорь возвращается в исходное положение и притягивается к контакту *Л*. Конденсатор *С4* разряжается через обмотки дистанционных переключателей и они возвращаются в исходное положение.

Интервал времени между моментами запуска реле времени и перехода дистанционных переключателей в рабочее положение равен времени интетрирования (*Т*). При заводской настройке это



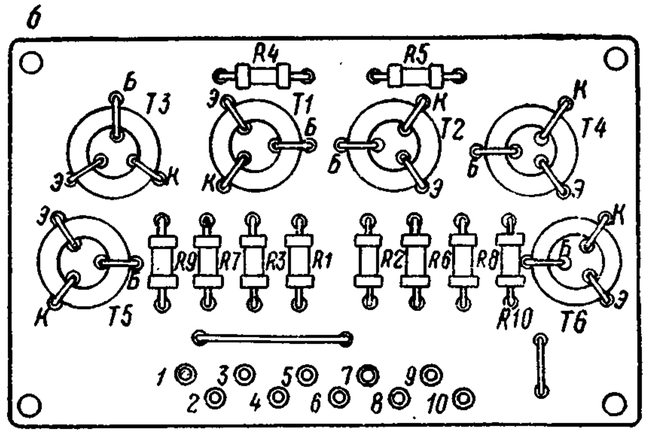


Рис. 19. Задающий генератор.
а — принципиальная схема; б — общий вид.

время устанавливается равным $T_0 = 20$ сек путем подбора резистора *R1*. При необходимости уменьшить время интегрирования можно к внешним контактам подключить шунт. Величина сопротивления шунта может быть приближенно определена по формуле

$$R_ш = \frac{1}{0{,}668T^{-1} - 0{,}0334}, \text{ ком.}$$

Для увеличения времени интегрирования надо увеличить сопротивление *R1*.

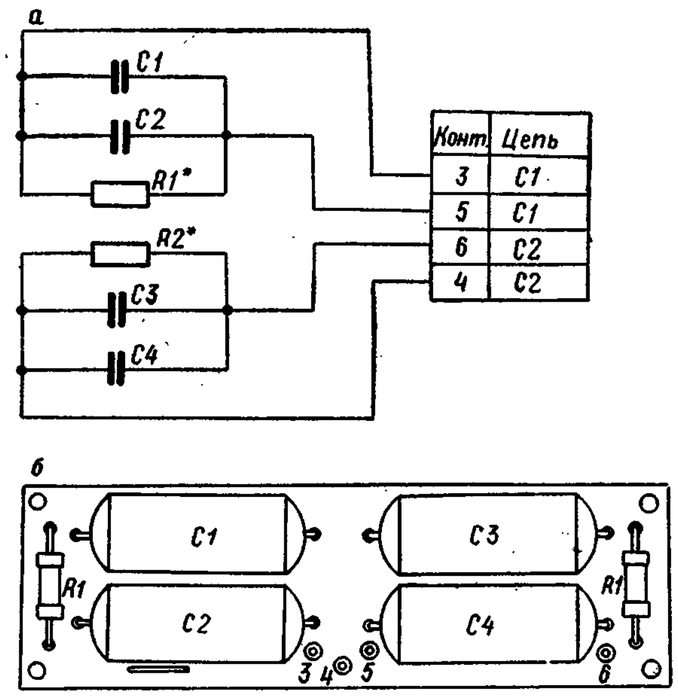


Рис. 20. Фильтр генератора.
а — принципиальная схема; *б* — общий вид.

Задающий генератор УБГ-2 (рис. 19; *У13* на рис. 5) и *фильтр генератора* (рис. 20; *У12* на рис. 5) предназначены для совместной работы и представляют собой генератор прямоугольных колебаний частотой 20 гц. Частоту генератора в небольших пределах (2—3 гц) можно настроить путем подбора резисторов *R1* и *R2*. Напряжение генератора, стабилизированное по частоте и амплитуде, используется для калибровки индикатора МСЗ-1 и управления модулятором интегратора. Питание генератора от стабилизатора *У14* (см. рис. 5).

Кроме рассмотренных конструктивных элементов индикатора МСЗ-1 следует отметить: регулятор линейности интегратора, состоящий из двух постоянных *R7* и *R8* и одного переменного *R9* резисторов, регулятор коэффициента передачи интегратора (переменный резистор *R11*), делители напряжения генератора (резисторы *R2*, *R1*), диод *Д1*, служащий для обеспечения питания генератора

У13 при калибровке интегратора, а также резисторы *R5* и *R6*, включенные в цепях контроля источников питания индикатора.

Ручная коммутация узлов индикатора производится с помощью ручек «Род работы» и «Множитель», а также тумблеров «Вход», «Фильтр 50 гц», «Реле времени». При регулировке индикатора перед началом и в процессе эксплуатации используются ручки «Усиление», «Интегратор» и «Линейность».

§ 7
РАБОТА УЗЛОВ ИНДИКАТОРА ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ

При различных видах и на разных этапах измерений работают разные группы узлов индикатора.

1. При измерении величины напряженности гармонического сигнала частотой 20 гц и оценке среднего уровня напряженности сигналов ПЭП, а также при оценке уровня напряженности поля

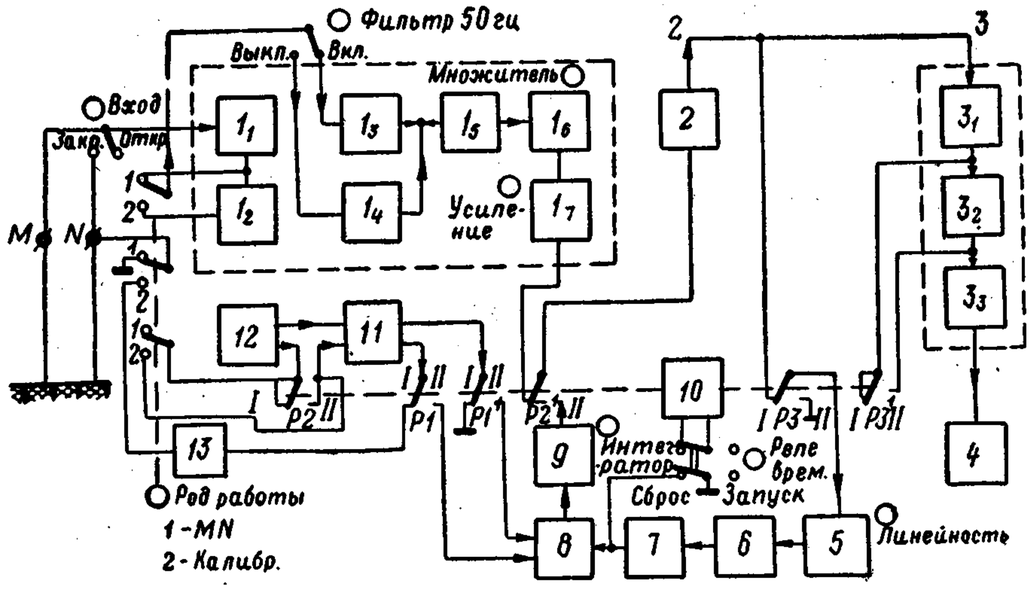


Рис. 21. Структурная схема индикатора МСЗ-1.

помех на частоте 50 гц работают следующие узлы: первый избирательный усилитель *1*; второй избирательный усилитель *2*; амплитудный детектор *3*; измерительный прибор *4* (рис. 21).

2. При интегрировании сигналов дополнительно включаются реле времени *10* и интегратор *7* с амплитудным селектором *6* и регулятором линейности интегратора *5*.

3. При измерении напряжения на конденсаторе интегратора *7* после окончания интегрирования сигналов выключаются первый избирательный усилитель *1* и реле времени *10*, а включаются генератор прямоугольных колебаний на частоте 20 гц *11* с источником питания генератора *12* и модулятор *8*.

Исходное состояние схемы индикатора, соответствующее измерению величины напряженности гармонического сигнала частотой 20 гц или оценке среднего уровня напряженности сигналов ПЭП, или оценке поля помех на промышленной частоте, показано на структурной схеме (рис. 21). Положение переключателей следующее: тумблер «Вход» — «Открыт», переключатель «Род работы» — *MN**, тумблер «Фильтр 50 гц» — «Включен»**, тумблер «Реле времени» — «Сброс». При этом клемма *N* соединена с шасси индикатора, выход интегратора закорочен тумблером «Реле времени». Дистанционные переключатели находятся в положении *I*. В результате источник питания *12* отключен от генератора *11* и последний не работает, выход первого избирательного усилителя подключен ко входу второго избирательного усилителя; выход второго избирательного усилителя переключен к регулятору линейности. В амплитудном детекторе включены усилитель детектора 3_1, ограничитель 3_2 и линейный детектор 3_3.

На клеммы *MN* подается сигнал от заземленной приемной линии. Далее этот сигнал поступает на входной усилитель 1_1 и через переключатель «Род работы» и режекторный фильтр на 50 гц 1_3 на усилитель 1_5. С этого усилителя сигналы, отфильтрованные от инфранизкочастотных и высокочастотных помех и помех на частоте 50 гц, идут через аттенюатор 1_6 и регулятор усиления 1_7 на дистанционный переключатель *P2* и далее на вход второго избирательного усилителя *2*. После усиления сигнал проходит через два одинаковых последовательно включенных полосовых фильтра.

С выхода второго избирательного усилителя сигналы поступают в две параллельные цепи: а) через амплитудный детектор на измерительный прибор *4*, который показывает напряженность сигналов, действующих на входные клеммы *MN*; б) через дистанционный переключатель *P3*, регулятор линейности *5* и амплитудный селектор *6* на интегратор *7*. Однако накопления заряда на конденсаторе интегратора при этом не происходит, так как конденсатор закорочен на шасси индикатора.

Схема индикатора переводится во второе функциональное состояние для интегрирования сигналов переключением тумблера «Реле времени» в положение «Запуск». При этом плюсовой вывод конденсатора интегратора отсоединяется от шасси индикатора, и на конденсаторе начинает накапливаться заряд. Через 20 сек срабатывает реле времени и переводит дистанционные переключатели *P1—P3* в положение *II*. С этого момента схема находится в третьем функциональном состоянии. При этом осуществляется измерение величины напряжения на конденсаторе интегратора.

---

* Или калибровка, если измеряется сигнал от внутреннего генератора 11 индикатора.

** При оценке уровня напряженности промышленных помех тумблер «Фильтр 50 гц» выключен, а вместо него включается сопротивление 1_4, обеспечивающее эквивалентное затухание сигнала на частоте 20 гц.

Дистанционные переключатели *P1—P3* отключают вход амплитудного селектора с регулятором линейности *5* от выхода второго избирательного усилителя *2* и закорачивают его на корпус; отключается ограничитель малых амплитуд 3_2 в амплитудном селекторе; подключается источник питания *12* к генератору *11*, а выход генератора к модулятору *8* интегратора; выход модулятора интегратора *8* ко входу второго избирательного усилителя через регулятор усиления интегратора *9*. На модулятор *8* поступает постоянное напряжение с конденсатора интегратора и модулирующее напряжение прямоугольной формы с генератора *11*. На выходе модулятора *8* получается напряжение прямоугольной формы частотой 20 гц, амплитуда которого пропорциональна напряжению коиденсатора интегратора.

Переменное напряжение с выхода модулятора поступает через регулятор усиления интегратора *9* и дистанционный переключатель *P2* на второй избирательный усилитель *2*, который выбирает и усиливает первую гармонику, а затем через амплитудный детектор поступает иа измерительный прибор. Отсчет по измерительному прибору дает величину напряжения иа конденсаторе интегратора *7*, которое с учетом калибровки соответствует среднему за 20 сек напряжеиию сигнала, действующего на входные клеммы *MN*.

После переключения тумблера «Реле времени» в положение «Сброс» конденсатор интегратора закорачивается и разряжается на шасси, а реле времени переводит схему прибора в первое функциональное состояние. Индикатор МСЗ-1 калибруется с помощью внутреннего генератора *11*. Для этого переключатель «Род работы» ставится в положение «Калибровка». При этом источник питания *12* подключается к генератору *11*. От генератора сигнал величиной *8* в поступает через делитель *R1* и *R2* 1_3 — (1 : 80) на входной усилитель 1_1 и с него через делитель *R3* и *R4* *13* (1 : 10000) (см. рис. 5 и 1_2 на рис. 21) иа режекторный фильтр и в последующие каскады индикатора. В остальном работа блоков индикатора при калибровке такая же, как и при измерении сигнала, поступающего с приемной линии *MN*.

§ 8
ПОДГОТОВКА ИНДИКАТОРА К РАБОТЕ

Порядок подготовки иидикатора к работе следующий.

1. Устанавливают в отсек питания индикатора три батареи типа 11,5 ПМЦГ-У-1,3 или 11,5 ПМЦГ-У-120 ч. Для этого ставят переключатель «Род работы» в положение «Выключен», отвинчивают четыре винта на крышке, расположенной иа задней стенке корпуса, снимают крышку, зачищают контакты у батарей и вставляют батареи, соблюдая поляриость (правильное положение батарей — этикеткой наружу), ставят крышку на место и завинчивают винты.

2. Проверяют напряжение источников питания. Для этого устанавливают переключатель «Род работы» (см. рис. 5, 6) в положение

U1, затем *U2*. При положении *U1* проверяют напряжение двух батарей, включенных последовательно и питающих основные узлы схемы. Эти батареи расположены справа в отсеке питания. При положении *U2* проверяют батарею, питающую генератор. Батареи считают пригодными для работы, если стрелка измерительного прибора отклоняется в пределах зачерненного сектора шкалы.

3. Приводят дистанционные переключатели в исходное положение. Для этого устанавливают переключатель «Род работы» в положение «Калибровка», тумблер «Реле времени» в положение «Запуск», а тумблер «Фильтр 50 гц» в положение «Выключен». Примерно через 30—40 сек переключают тумблер «Реле времени» в положение «Сброс», а тумблер «Фильтр 50 гц» в положение «Включен».

4. Калибруют индикатор. Калибровка индикатора состоит из калибровки усилительного тракта и интегратора.

Для калибровки усилительного тракта индикатора устанавливают ручки иа лицевой панели в следующие положения: «Вход» — «Закрыт»; «Фильтр 50 гц» — «Включен»; «Множитель» — *1* (для шкалы 100); «Род работы» — «Калибровка», «Реле времени» — «Сброс». При этом стрелка измерительного прибора должна остановиться на делеиии 100. Если она показывает другое число делений, то, вращая ручку «Усиление», добиваются, чтобы стрелка измерительного прибора встала на деление 100. На этом калибровка усилительного тракта заканчивается.

Для калибровки иитегратора тумблер «Реле времени» переводят в положение «Запуск». Положеиие всех остальных переключателей и тумблеров остается таким же, как и при калибровке усилительного тракта. Через 20 сек после запуска стрелка измерительного прибора покажет интегрированный отсчет. Если он будет отличаться от 100 делений, то, вращая ручку «Интегратор», добиваются установки стрелки измерительного прибора на делении 100. После этого тумблер «Реле времени» переводят в положение «Сброс» и проверяют правильность калибровки усилительного тракта.

5. Определяют нелинейность интегратора индикатора. Эту операцию проводят после завершения калибровки индикатора. Оставляя все ручки индикатора в прежнем положении, переключатель «Множитель» переводят в положение *10* и берут отсчет $\Delta U_{100}^{(1)}$ по шкале 100, далее производят интегрирование и берут интегрированный отсчет $\Delta U_{100}^{(2)}$ по той же шкале. Разница в отсчетах равна нелинейности δ_0 интегратора:

$$\delta_0 = (\Delta U_{100}^{(1)} - \Delta U_{100}^{(2)}),\ \%.$$

Нелинейность интегратора регулируют с помощью ручки «Линейность». Ее поворачивают на некоторый угол против часовой стрелки, если нелинейность надо увеличить, и по часовой, если уменьшить. После каждого поворота ручки «Линейность» надо откалибровать по усилению интегратор и только потом определять его нелинейность.

Нелинейность интегратора устанавливают равной нулю, если предполагается измерять напряженность поля, изменяющуюся по периодическому закону. При измерении напряженности переменного естественного электрического поля нужную нелинейность устанавливают опытным путем непосредственно на участке работ.

§ 9
ПОЛЕВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ С ИНДИКАТОРОМ

Оценка величины сопротивления приемной линии. Эта операция необходима для проверки качества заземлений и состояния приемной линии. Она производится после подготовки индикатора к работе. Для ее осуществления все ручки коммутации переводят в такое же положение, как и при калибровке усилительного тракта. Заземленную приемную линию подключают к клеммам *MN*. Так как переключатель «Род работы» стоит в положении «Калибровка», то при закороченных клеммах *MN* измерительный прибор должен показывать отсчет 100. Тумблер «Вход» переводят в положение «Открыт». Если при этом отсчет на приборе уменьшится не больше чем на одно деление (1 мкв), то сопротивление приемной линии считается допустимым. При меньшем отсчете необходимо улучшить качество заземления приемных электродов. Отсчет будет близким к нулю, если приемная линия не заземлена или оборвана.

Величину сопротивления приемной линии $R_{п.л}$ можно оценить по следующей формуле:

$$R_{п.л} = 10(100 - \Delta U_{100}^{(0)}) \text{ ком},$$

где $\Delta U_{100}^{(0)}$ — отсчет при открытом входе индикатора и положении ручки «Род работы» — «Калибровка», мкв.

Оценка уровня помех на частоте 50 гц. Уровень помех оценивают на участке перед проведением работ, а также непосредственно в процессе профильных наблюдений вблизи линий электропередач и других энергетических установок. Для осуществления этой операции приемную линию подсоединяют к клеммам *MN*, переключатель «Род работы» ставят в положение *MN*, тумблер «Вход» в положение «Открыт», тумблер «Фильтр 50 гц» в положение «Включен», а тумблер «Реле времени» в положение «Сброс», переключателем «Множитель» подбирают соответствующий предел измерения, начиная с наиболее грубого. Затем тумблер «Реле времени» ставят в положение «Запуск» и через 20 сек берут отсчет.

Отсчет берут по верхней шкале измерительного прибора, если «клювик» переключателя «Множитель» указывает на верхний индекс его шкалы, и по нижней шкале измерительного прибора, если «клювик» указывает на нижний индекс шкалы «Множителя». После этого тумблер «Реле времени» переводят в положение «Сброс» и повторно берут отсчет. Взяв 2—3 отсчета, тумблер «Фильтр 50 гц» переводят в положение «Выключен», с помощью переключателя «Множитель» опять подбирают предел измерения и делают еще 2—3 измерения.

Отсчеты умножают на величины индексов множителя и получают замеры ΔU в микровольтах. По первой и второй группе замеров определяют $\Delta U_{ср}$ с фильтром и $\Delta U_{ср}$ без фильтра.

По величине $\frac{\Delta U_{ср.\,б.ф}}{\Delta U_{ср.\,с.ф}} = \gamma$ можно оценить отношение уровня сигнала-помехи к уровню полезного сигнала ζ по формуле

$$\zeta = k_{б.ф} \sqrt{\gamma^2 - 1},$$

где $k_{б.ф}$ — коэффициент подавления сигнала на частоте 50 гц в тракте индикатора при выключенном фильтре 50 гц.

Он может быть определен, используя паспортные данные прибора МСЗ-1, по формуле

$$\lg k_{б.ф} = 0{,}145 + 0{,}05\eta,$$

где η — крутизна спада частотной характеристики индикатора в сторону высших частот в децибеллах на октаву (берется из паспорта прибора); при $\eta = 20$ дб/октава $k_{б.ф} = 14$.

Уровень помех на частоте 50 гц можно оценить только при отсутствии перегрузок входных каскадов индикатора*. Показателем перегрузок служит существенное нарушение сбойки шкал при различных положениях переключателя «Множитель». Перегрузки обусловливают резкое уменьшение замеров на более чувствительных пределах измерения, вызываемое запиранием входных каскадов прибора. Так как перегрузки зависят только от абсолютной величины сигнала помехи, поступающей на вход прибора, то их можно уменьшить, применив выносной делитель или уменьшив длину приемной линии. Влияние помех можно уменьшить также переходом на более грубые пределы измерения, так как при этом снижается перегрузка наиболее чувствительных к ней каскадов индикатора, стоящих после аттенюатора.

Расчет показывает, что нормальная работа индикатора не нарушается, если помеха не превосходит уровень полезного сигнала более чем в 300 раз при условии, что абсолютная величина помехи, действующей на входе индикатора, менее 0,15 в.

Установка нелинейности интегратора индикатора. Нелинейность интегратора индикатора устанавливают непосредственно на участке работ перед началом измерений средней напряженности переменного естественного электрического поля и изменяют при существенном изменении уровня грозовой активности вследствие смены времени года или при переходе к измерениям искусственно создаваемого периодического электрического поля.

---

* Перегрузки могут создавать поля на частотах 150, 250 гц и т. д., от воздействия которых индикатор слабо защищен.

Нелинейность интегратора устанавливают следующим образом. На участке, где промышленные помехи практически отсутствуют, раскладывают и заземляют приемную линию такой длины, чтобы сигнал на входе индикатора вызывал отклонение стрелки измерительного прибора на 90—95 делений (шкала 100, множитель *1*). Выполняют 16—20 измерений «напряжения» переменного естественного электрического поля, беря отсчеты попеременно по шкале 100 множитель *1* и шкале 30 множитель *10*. По результатам измерений, пользуясь формулой

$$\delta_{\text{пеэп}} = \frac{\Delta U_{\text{ср }100} - \Delta U_{\text{ср }30}}{316} \cdot 100\%,$$

где $\Delta U_{\text{ср }100}$ — среднеарифметическая величина «напряжения» поля, рассчитанная по измерениям на шкале 100; $\Delta U_{\text{ср }30}$ — та же величина, рассчитанная по измерениям на шкале 30, выполняют расчет нелинейности интегратора при измерениях переменного естественного электрического поля. Далее, отключив приемную линию, закрыв вход индикатора, с помощью калибратора устанавливают нелинейность интегратора, равную $-\delta_{\text{пеэп}}$, если $\delta_0 = 0$, или равную $\delta_0 - \delta_{\text{пеэп}}$, если $\delta \neq 0$. После каждого поворота ручки «Линейность» необходимо заново калибровать интегратор индикатора, прежде чем определять его нелинейность.

Измерение средней напряженности переменного естественного электрического поля. К клеммам *MN* подготовленного к работе и включенного индикатора МСЗ-1 подключают приемную линию. Переключатель «Род работы» переводят в положение «Калибровка», переключатель «Множитель» ставят на индекс *1*, тумблер «Фильтр 50 гц» — в положение «Включено», открывают вход прибора и оценивают сопротивление приемной линии. Если оно велико, то проверяют приемную линию и улучшают качество заземления электродов.

Далее переключатель «Род работы» переводят в положение *MN*, переключатель «Множитель», начиная с грубых пределов, ставят в такое положение, при котором стрелка измерительного прибора будет колебаться в средней части шкалы. После этого тумблер «Реле времени» переводят в положение «Запуск». Во время интегрирования следят за стрелкой измерительного прибора и судят о характере поступающих сигналов. Через 20 сек стрелка измерительного прибора показывает отсчет. После записи отсчета тумблер «Реле времени» переводят в положение «Сброс».

Если во время интегрирования было много бросков стрелки с длительным зашкаливанием, то результат измерения бракуют.

По окончании измерений тумблер «Вход» переводят в положение «Закрыт», тумблер «Род работ» в положение «Выключен», приемную линию отключают.

Измерение напряженности периодических сигналов. Перед измерениями этих сигналов калибруют усилительный тракт, регулируют линейность шкал индикатора, оценивают сопротивление приемной линии. При измерении напряженности периодических сигналов производят все те же операции, что и при измерении средней напряженности переменного естественного электрического поля, за исключением интегрирования*. Если измеряемый сигнал большой, то на вход индикатора включают выносной делитель.

Особенности эксплуатации. Индикатор МСЗ-1 перевозят к месту работ, а также на участок съемки и обратно в укладочном ящике, предохраняя от резких толчков. Индикатор МСЗ-1 включают не менее чем за 5 мин перед началом измерений. При переходе с точки на точку допускается выключение индикатора, если время перехода более 10 мин. Индикатор выключают только при установке тумблера «Реле времени» в положение «Сброс», а тумблера «Фильтр 50 гц» в положение «Включен». Для очередного измерения индикатор включают за 15—30 сек до интегрирования. При полевых измерениях индикатор защищают от прямых солнечных лучей, а также от дождя и снега.

После возвращения с участка работ индикатор держат в сухом отапливаемом помещении. В холодную погоду индикатор МСЗ-1 вносят в помещение и держат там в закрытом укладочном ящике, чтобы он не отпотел.

Перечень характерных неисправностей прибора МСЗ-1 и методы их устранения даны в приложении 2.

Указания по технике безопасности. При проведении полевых работ с прибором МСЗ-1 следует руководствоваться общими правилами техники безопасности для полевых геофизических работ. С приближением грозы измерения на приборе МСЗ-1 должны быть немедленно прекращены, прибор выключен и приемная линия отключена от него. Во время грозы запрещается подходить к проводам растянутой приемной линии.

---

* В том случае, если амплитуда измеряемого периодического сигнала закономерно изменяется, можно произвести интегрирование и получить среднюю величину напряженности этого сигнала за время интегрирования.

Глава III

МЕТОДИКА ПОЛЕВЫХ РАБОТ И ОБРАБОТКА НАБЛЮДЕНИЙ

В полевых работах методом ПЕЭП условно можно выделить три этапа: изучение характерных особенностей электрического поля в районе работ и на участке съемки, профильные или маршрутные наблюдения и увязка наблюдений. Последовательность выполнения этих этапов зависит от конкретных условий в районе работ, задач, поставленных перед съемкой методом ПЕЭП, и требуемой точности съемки. Этап изучения особенностей поля, как правило, предшествует остальным этапам. Увязку наблюдений можно выполнять как перед началом профильных или маршрутных измерений путем создания сети опорных точек, так и после их завершения.

§ 10

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОЛЯ В РАЙОНЕ РАБОТ

Особенности поля исследуют перед началом работ в новом районе. Для этого выбирают площадку, на которой выполняют наблюдения за характером изменения напряженности поля во времени, т. е. так называемые «временные наблюдения». Расстояние от этой площадки до участков съемки зависит от степени грозовой активности в районе работ. В равнинных районах оно может достигать нескольких десятков — первых сотен километров. Место для площадки нельзя выбирать вблизи источников электрических помех: линий электропередач, телеграфных и телефонных линий, действующих буровых установок и т. д.

Величину приемной линии MN берут с таким расчетом, чтобы можно было выполнять измерения в средней части шкалы одного из пределов измерительного прибора. Особое внимание уделяют качеству заземления приемной линии. Заземление выполняют с помощью глубоко забитых в грунт групп латунных или железных электродов. Сопротивление заземлений не должно превышать 5—10 ком и изменяться в процессе наблюдений. Необходимо, чтобы провод приемной линии неподвижно лежал на грунте. Перед проведением наблюдений проверяют калибровку индикатора и устанавливают нелинейность интегратора индикатора. Наблюдения выполняют группами по 3—5 измерений. Интервал времени между центрами групп берут равным 5 мин. Период наблюдений на площадке охватывает весь рабочий интервал суток. Общее количество измерений составляет 150—170 групп. Запись наблюдений ведут в полевом журнале (приложение 3). В нем записывают время наблюдения, величины отсчетов и множителей, а также условия измерений. Результаты наблюдений обрабатывают следующим образом.

Сначала рассчитывают среднеарифметическое значение напряжения $\Delta U_{ср}$ для каждой группы измеренных напряжений поля ΔU_i:

$$\Delta U_{ср}, \text{мкв} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} \Delta U_i, \text{мкв}.$$

Для того чтобы перейти к значениям средней напряженности $E_{ср}$ переменного естественного электрического поля, $\Delta U_{ср}$ делят на длину приемной линии в метрах*. По полученным значениям в логарифмическом масштабе строят графики вариаций $E_{ср}$ во времени. Примеры таких графиков приведены в гл. I (см. рис. 3).

Анализ графиков позволяет установить общие закономерности изменения уровня средней напряженности поля в течение рабочего дня в данном районе и выделить тот интервал времени, в котором уровень средней напряженности поля мало изменяется. Эти интервалы времени наиболее благоприятны для профильных и увязочных наблюдений. Далее по формулам (1) и (2) рассчитывают параметры ν_1 и ν_2. Эти параметры обычно колеблются в пределах 6—10%. Уменьшение или увеличение этих параметров свидетельствует об изменении структуры поля вследствие местной грозовой активности или промышленных помех. Меняя число отсчетов в группе, можно в определенных пределах уменьшить или увеличить точность определения $E_{ср}$ при профильных наблюдениях.

Величину ν_2 используют для оценки аномалий, полученных при профильных наблюдениях. Если при переходе с точки на точку величина $E_{ср}$ изменяется более чем на ν_2, то с вероятностью 67% при нормальных условиях можно считать, что это вызвано изменением электрического сопротивления пород. Вероятность возрастает до 99,7%, если величина $E_{ср}$ изменяется более чем на $3\nu_2$. Аномалии могут быть оценены с помощью прозрачной палетки, на которой в логарифмическом масштабе отложены величины ν_2, $2\nu_2$, $3\nu_2$.

В районах с повышенной грозовой активностью объем временных наблюдений должен быть увеличен для того, чтобы установить интервал прохождения местных гроз. Следует отметить, что в высокогорных районах повышение уровня поля и его временных параметров может быть вызвано тихими электрическими разрезами, не сопровождающимися характерными для грозы явлениями (молнии, гром).

* Результаты расчетов записывают в полевом журнале.

На первом этапе также оценивают уровень промышленных помех. Это делают непосредственно на участках работ. Косвенными признаками наличия интенсивных помех на промышленной частоте 50 гц являются высокий уровень значений $E_{ср}$ (в обычных условиях $E_{ср}$ редко превышает 1 мкв/м) и существенная стабильность измеряемых напряжений ΔU_i (уменьшение параметра ν_1). Уровень помех можно оценить путем измерений напряжений поля с фильтром, вырезающим сигнал на частоте 50 гц, и без него (см. гл. II). Измерения с прибором МСЗ-1 можно производить, если в среднем по участку отношение уровня сигнала-помехи к уровню полезного сигнала ζ не превосходит 300. Однако вследствие нестабильности поля промышленных помех величина ζ может скачкообразно меняться. Поэтому все возможные источники должны быть отмечены в полевом журнале и учтены при интерпретации результатов наблюдений. В ряде случаев выбором азимута приемной линии можно уменьшить влияние поля помех, так как оно часто имеет линейную поляризацию.

Помехи, препятствующие применению метода ПЕЭП, создаются при проведении геофизических работ с использованием искусственных переменных электромагнитных полей, а также импульсов постоянного тока. Особенно большие помехи возникают при работе с аппаратурой ИКС. Это ограничение, накладываемое на использование метода ПЕЭП, должно учитываться при организации работ.

§ 11

НАБЛЮДЕНИЯ НА ПРОФИЛЯХ

Одноазимутные измерения. Работы методом ПЕЭП выполняют, как правило, по заранее разбитой сети профилей. В масштабах 1 : 50 000 и мельче можно ограничиться прокладкой магистралей. Отдельные маршруты можно проходить без предварительной разбивки. Направление профилей и маршрутов выбирают вкрест простиранию искомых объектов или основных структурных элементов исследуемого участка. Приемную линию при выделении объектов как повышенного, так и пониженного сопротивления располагают вдоль профиля. Размер приемной линии MN выбирают, исходя из требуемой детальности съемки, с учетом уровня средней напряженности поля в районе работ.

В состав полевой бригады при работе по заранее подготовленной сети наблюдений входят три человека: старший техник-оператор, техник-вычислитель (помощник оператора), старший рабочий III разряда. При маршрутной съемке с одновременной полуинструментальной разбивкой профиля наблюдений добавляется один рабочий II разряда. Оператор производит измерения, следит за правильной работой индикатора, определяет необходимое количество замеров на точке, переносит прибор во время работы. Вычислитель ведет полевой журнал, вычисляет среднее значение из всех замеров на точке и строит графики, докладывает оператору об отклонении отдельных замеров от среднего более чем на 7%, вместе со старшим рабочим переносит приемную линию и заземляет ее. При маршрутной съемке ведет пикетажный журнал и вместе с рабочим II разряда закрепляет точки наблюдений.

На каждом пикете выполняют два-три измерения ΔU_i*. Если отдельные отсчеты отличаются от $\Delta U_{ср}$ более чем на 7%, то количество замеров увеличивают и принимают меры по улучшению качества заземления приемных электродов. В том случае, если разброс замеров существенный ($\nu_1 > 15\%$) и наблюдается несбойка шкал (нарушена нормальная работа индикатора), то съемку методом ПЕЭП следует прекратить. Такие явления могут наблюдаться при приближении грозового фронта или при высоком уровне ветровых помех.

После окончания измерений на пикете вход индикатора закорачивают, переводя тумблер «Вход» в положение «Закрыт». Приемную линию от индикатора не отключают, если расстояние между точками наблюдения невелико, а ландшафт местности позволяет переходить с одной точки на другую, перенося прибор вместе с приемной линией. В процессе полевых измерений индикатор калибруют через 1—1,5 ч, а также при подозрении на нарушение его работы.

В полевой журнал записывают величину отсчета, множитель, время наблюдения, пикет, профиль, участок, калибровку и т. д. В примечании указывают ориентировку линии MN на профиле и положение точки записи (точку записи обычно относят к середине приемной линии). Там же отмечают факторы, осложняющие измерения (грозы, промышленные помехи, сильный ветер и пр.), и условия заземления приемных электродов.

По полученным на каждой точке замерам ΔU_i вычисляют среднеарифметические значения $\Delta U_{ср}$ и $E_{ср}$. Графики $E_{ср}$ по профилям строят в логарифмическом масштабе, что обеспечивает равноточное (с одинаковой относительной погрешностью) изображение [49] результатов наблюдений во всем диапазоне измеренных величин, упрощает увязку наблюдений и их интерпретацию. Модуль логарифмического масштаба выбирается с таким расчетом, чтобы четко выделить интересующие аномалии.

Одноазимутные измерения методом ПЕЭП с учетом увязки представляют в виде плана графиков $E_{ср}$. В случае необходимости для наглядности расстояние между профилями при графическом представлении материалов может быть существенно увеличено по сравнению с масштабом изображения результатов съемки вдоль профиля. По графикам $E_{ср}$ строят планы зон корреляции или после проведения увязки планы изолиний $E_{ср}$. При проведении корреляционных линий руководствуются принципами, разработанными для электропрофилирования методами сопротивления [11].

---

* Количество измерений на точке может быть увеличено или уменьшено в зависимости от требуемой точности определения $E_{ср}$.

Геологическую интерпретацию планов графиков $E_{ср}$, планов зон корреляции, а также изолиний $E_{ср}$ производят на основе имеющихся геологических материалов с учетом данных о характере аномальных полей над различными геологическими объектами (см. гл. IV). Использование изолиний $E_{ср}$ для геологической интерпретации особенно эффективно при изучении рельефа высокоомного фундамента.

Многоазимутные измерения. Площадные многоазимутные измерения методом ПЕЭП выполняют по предварительно разбитой сети профилей. Многоазимутные измерения можно также выполнять на отдельных точках, например, при трассировании зон дробления и гидротермального изменения, маломощных крутопадающих даек и пластов. Эти точки привязывают к общей сети геофизических или геологических наблюдений.

При площадных съемках приемную линию вращают вокруг ее центра, совмещенного с точкой наблюдения (круговая установка). Измерения производят последовательно в 4—6 азимутах с повторением замеров в исходном азимуте. Азимуты приемной линии определяют с помощью горного компаса или глазомерным способом. Большей производительности измерений позволяет достичь трехазимутная установка, которая состоит из трех приемных линий, образующих равносторонний треугольник, в вершинах которого помещают приемные электроды*.

При трассировании геологических объектов, а также при определении их элементов залегания целесообразно вращать приемную линию вокруг ее конца, заземленного на точке наблюдения. Длину приемной линии при многоазимутных измерениях выбирают так же, как и при одноазимутных.

Точкой записи круговой установки является центр приемной линии или неподвижный электрод, а трехазимутной установки — ее центр «тяжести». Полевые наблюдения с круговой и трехазимутной установкой производят оператор, вычислитель и один-два рабочих. Во всех других отношениях при многоазимутных измерениях методика полевых работ не отличается от методики одноазимутных наблюдений методом ПЕЭП. По полевым данным рассчитывают средние величины напряженности переменного естественного электрического поля в каждом азимуте. Результаты многоазимутных измерений с круговой установкой на каждой точке представляют в виде графика средней напряженности в полярных координатах — так называемой круговой диаграммы средней напряженности.

Круговая диаграмма является геометрическим местом концов проекций эллипса поляризации поля на направления измерения средней напряженности поля. По этим диаграммам определяют величины главных осей (большой $E_{ср\,max}$ и малой $E_{ср\,min}$) абсолютного

* При измерениях с этой установкой для переключения линий целесообразно изготовить простейшее коммутирующее устройство.

осредненного эллипса поляризации переменного естественного электрического поля, угол между его большой осью и направлением профиля съемки α или азимут большой оси эллипса. За большую ось круговой диаграммы принимают наибольший отрезок прямой, соединяющий две точки на диаграмме и проходящей через ее центр. Малая ось проходит через центр диаграммы перпендикулярно к большой оси и одновременно является наименьшим отрезком, соединяющим две точки диаграммы.

Величину отношения и направление главных осей абсолютного осредненного эллипса поляризации по данным измерений с трехазимутной установкой при расположении приемных электродов в вершинах равностороннего треугольника определяют по номограммам (рис. 22, 23 см. вклейку), которые рассчитаны по формулам

$$\frac{E_{ср\,max}}{E_{ср\,min}} = \sqrt{\frac{1+a+b+2\sqrt{(a-b)^2+(1-a)(1-b)}}{1+a+b-2\sqrt{(a-b)^2+(1-a)(1-b)}}};$$

$$\alpha = \frac{1}{2}\operatorname{arctg}\frac{(b-a)\sqrt{3}}{2-(a+b)},$$

где $a = \left(\frac{E_2}{E_1}\right)^2$; $b = \left(\frac{E_3}{E_1}\right)^2$; E_1 — средняя величина напряженности поля по направлению, совпадающему с линией профиля; E_2 — та же величина по направлению, идущему под углом 120 или 300° к линии профиля*; E_3 — та же величина по направлению, идущему под углом 60 или 240°.

При составлении номограммы была принята во внимание реально получаемая при использовании вышеописанной методики точность измерения средних напряженностей поля в каждом азимуте и расчета их отношений, а также невозможность определения с приемлемой точностью угла между большой осью эллипса поляризации и линией наблюдения, когда отношение его большой оси к малой не превышает 1,2. Анализ точности определения по номограмме угла между большой осью эллипса поляризации и линией наблюдения показывает, что при точности измерения $E_{ср}$ в каждом азимуте $\pm 7\%$ среднеквадратичная ошибка определения угла при $E_{ср\,max}/E_{ср\,min} > 1{,}2$ составляет $\pm 5{,}8°$ и почти не зависит от величины угла. Точность определения отношения осей эллипса поляризации при данной методике работ с использованием трехазимутной установки ниже точности определения угла и зависит от величины отношения осей. Чем больше это отношение, тем больше ошибка. В связи с тем, что зависимости между величинами ошибок в определении $E_{ср\,max}/E_{ср\,min}$ и отношениями E_2/E_1, E_3/E_1 и абсолютными значениями $E_{ср\,max}/E_{ср\,min}$ довольно сложны, величины среднеквадратичных ошибок определения отношений при точности измерения $E_{ср} \pm 7\%$ указаны непосредственно на номограмме.

* Углы отсчитывают по часовой стрелке от направления вдоль профиля в сторону возрастания нумерации положительных пикетов.

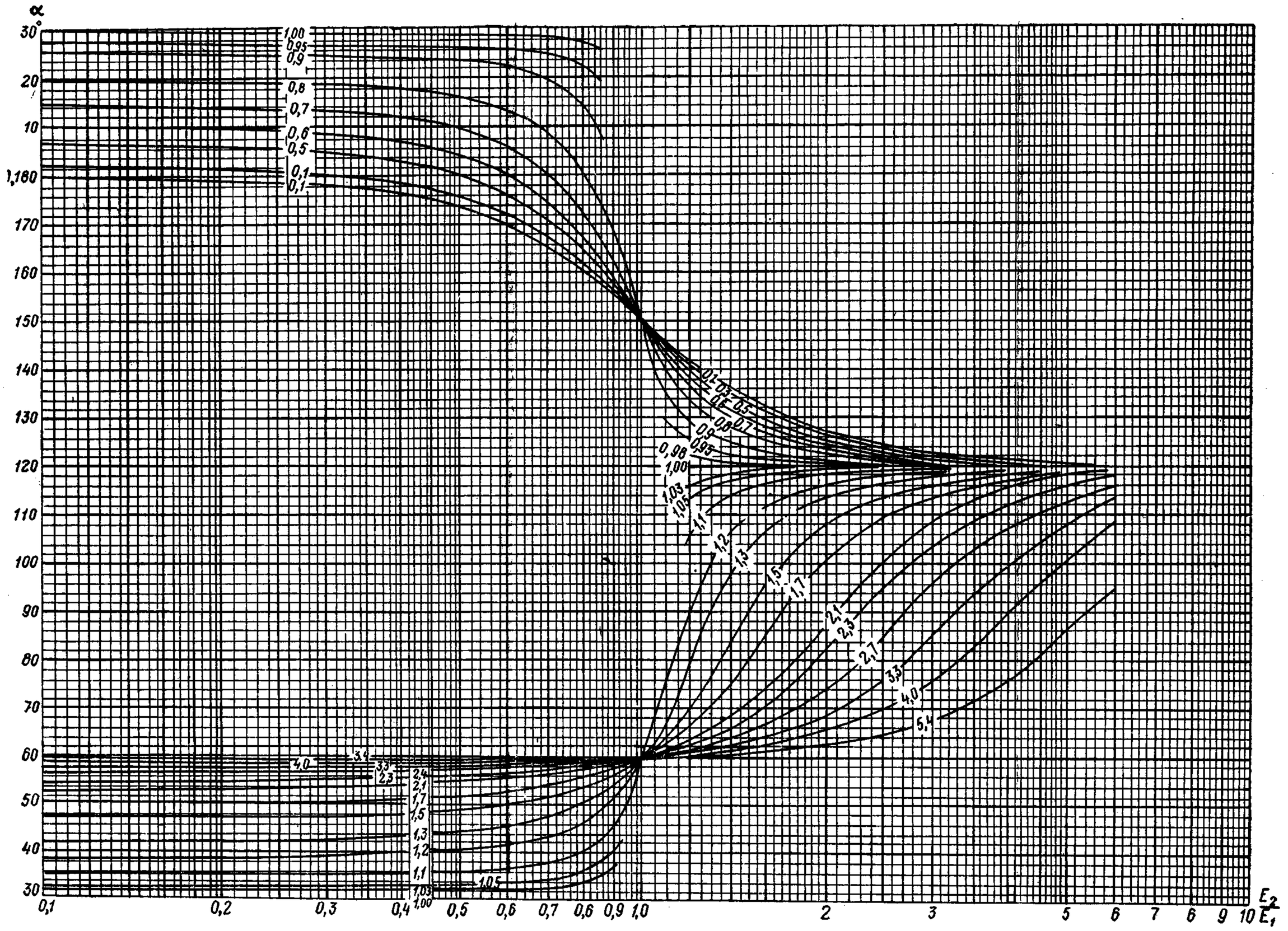


Рис. 22. Номограмма для определения угла между большой осью абсолютного осредненного эллипса поляризации переменного естественного электрического поля и линией профиля по величине отношений средних напряженностей поля, измеренных с трехазимутной установкой.

Индексы кривых соответствуют значениям E_3/E_1.

Заказ 2161

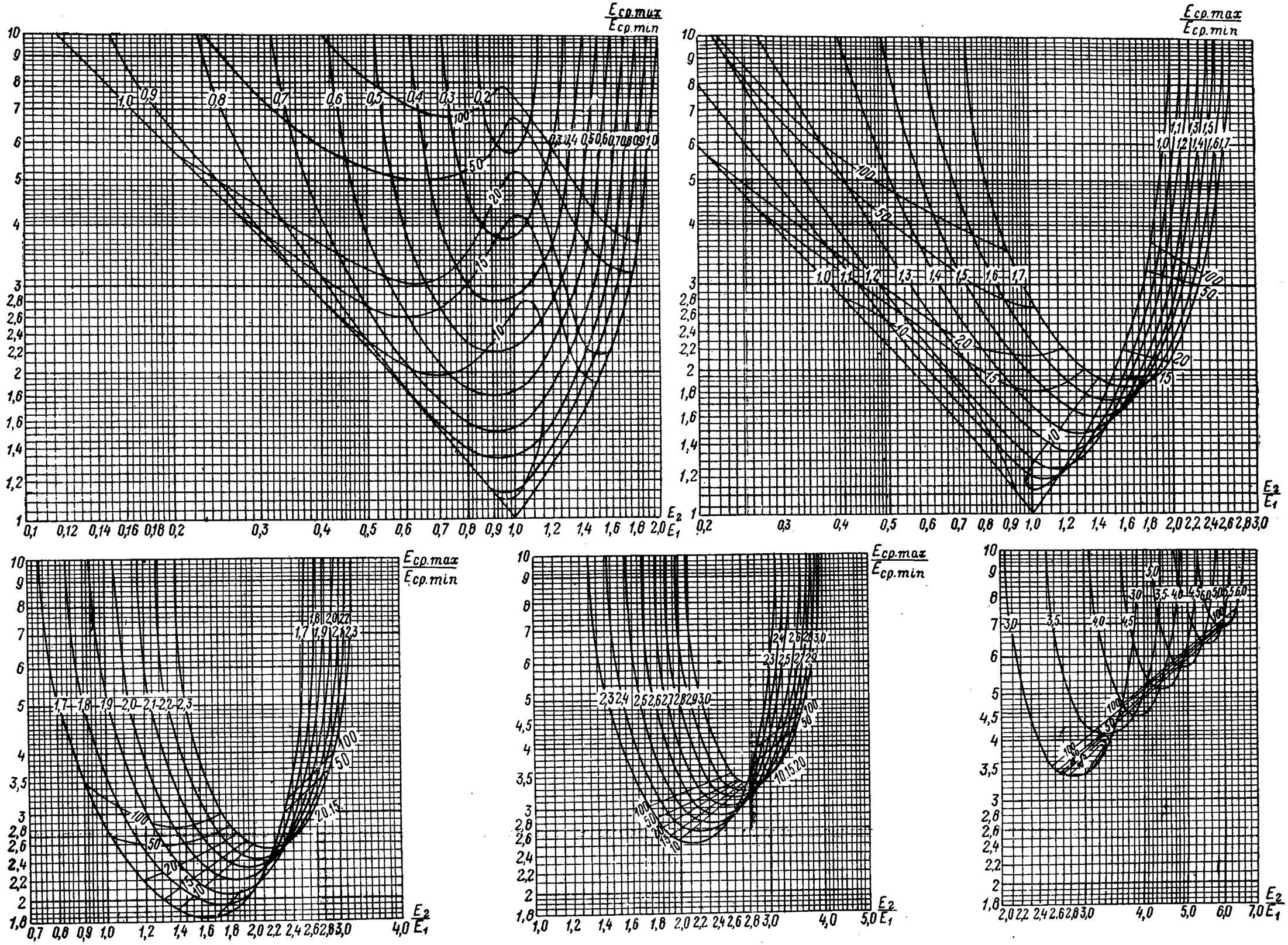


Рис. 23. Номограмма для определения отношения главных осей абсолютного осреднённого эллипса поляризации переменного естественного электрического поля по величине отношений средних напряжённостей поля, измеренных с трехазимутной установкой.

Для определения величин угла α и $E_{ср\ max}/E_{ср\ min}$ вычисляют отношения E_2/E_1 и E_3/E_1. По номограмме (рис. 22) находят искомый угол α. Аналогичным образом по номограмме (рис. 23) определяют отношение большой и малой осей круговых диаграмм (эллипсов поляризации) напряженности переменного естественного электрического поля и оценивают точность определения этого отношения.

Номограммы можно также использовать для расчета параметров абсолютного осредненного эллипса поляризации электрического поля при измерениях с круговой установкой. Для этого из измерений, выполненных в различных азимутах, составляют группы по три измерения в каждой. При этом в каждую группу должны входить значения напряженности, измеренные в азимутах, отличающихся на 120°, например: 0, 120, 240°; 30, 150, 270°; 90, 210, 330°. Полученные по номограммам для каждой группы измерений параметры абсолютного эллипса поляризации осредняют.

Основными итоговыми материалами многоазимутных измерений являются планы круговых диаграмм или главных осей осредненных эллипсов поляризации*. Вспомогательными материалами служат представленные в виде графиков или изолиний отношения главных осей $E_{ср\ max}/E_{ср\ min}$, величины площади эллипса $^1/_4\ \pi E_{ср\ max}E_{ср\ min}$, величины углов между большой осью круговой диаграммы и направлением профиля наблюдения и другие параметры.

Геологическую интерпретацию представленных в виде графиков или изолиний параметров круговых диаграмм (эллипсов поляризации) производят на основе имеющихся геологических материалов с учетом сведений об особенностях поляризации переменного естественного электрического поля над различными геологическими объектами (см. гл. IV).

§ 12
УВЯЗКА НАБЛЮДЕНИЙ

Профильные, маршрутные одноазимутные и многоазимутные измерения методом ПЕЭП увязывают, чтобы учесть изменения среднего уровня напряженности переменного естественного электрического поля во времени. Эта увязка в общем осуществляется так же, как и при магнитной съемке, работах методом естественного поля по способу потенциала и т. д. Возможно много вариантов увязки наблюдений. Рассмотрим некоторые из них. Наиболее простой представляется привязка всех наблюдений к наблюдениям, выполненным на опорном пункте.

Опорный пункт выбирают вдали от источников промышленных помех. Уровень помех на опорном пункте определяется перед началом измерений. Величина помех на нем не должна превышать величину полезного сигнала более чем в 100 раз ($\zeta < 100$). Напряженность переменного естественного электрического поля на опорном пункте измеряют между двумя жестко закрепленными на местности долговременными заземлениями. Наблюдения на опорном пункте выполняют перед началом измерений на профиле и после их окончания. Каждое наблюдение состоит из 3—5 измерений ΔU_i. При этом промежуток времени между наблюдениями на опорном пункте не должен превышать 2—3 ч. Если измерения на профиле занимают существенно больше времени, то их следует проводить в несколько приемов, чередуя с измерениями на опорном пункте. Азимуты приемной линии на опорном пункте и полевых точках должны примерно совпадать.

Считая, что за время наблюдения на профиле уровень поля изменялся линейно, вносят поправки в профильные измерения, а затем все измерения приводят к среднему уровню напряженности поля, установленному при первоначальных измерениях на опорном пункте. Если планшет съемки большой, то создают несколько опорных пунктов. В качестве таких пунктов могут быть использованы точки на профилях съемки. Средние значения напряженностей поля на опорных пунктах увязывают между собой дву-трехкратными замкнутыми ходами.

Необходимо отметить, что продолжительность каждого увязочного хода должна ограничиваться интервалом времени, в течение которого изменение среднего уровня поля можно считать линейным. Длинные увязочные ходы делят на несколько отрезков, каждый из которых увязывают отдельно, а затем связывают между собой. Увязку и закрепление на местности опорных пунктов рациональнее сделать до выполнения профильных наблюдений. Это позволит окончательно увязать и построить графики $E_{ср}$ профильных (маршрутных) измерений, не дожидаясь завершения съемки на всей площади работ.

Уравнивание увязочных ходов, связывающих опорные пункты, а также привязку всех профильных измерений к одному уровню можно производить аналитическим или графическим способом. При графическом способе увязки результаты измерений вдоль увязочного хода представляют в виде графика $E_{ср}$ в логарифмическом масштабе. По оси абсцисс откладывают интервалы времени между центрами групп измерений на каждом опорном пункте и подписывают их координаты (профиль, пикет) (рис. 24). Затем проводят линию, параллельную оси абсцисс, на уровне значения $E_{ср}$ 1, полученного по измерениям вначале увязочного хода на исходном опорном пункте, и линию, соединяющую средние значения напряженности поля, полученные вначале и при завершении увязочных измерений на этом же опорном пункте. На величины отрезков $\Delta \lg E_{ср}$, заключенных между этими линиями, для моментов времени, в которые проведены измерения на пунктах увязочного хода, смещают каждое значение $E_{ср}$, с тем чтобы привести их к одному уровню, равному $E_{ср}1$.

При наличии нескольких увязочных ходов их уравнивают между собой аналогичным образом, используя данные связывающего их

* Для трехазимутных измерений итоговыми материалами могут также служить планы графиков средней напряженности, построенные по измерениям в каждом азимуте.

хода. После этого привязывают все профильные (или маршрутные) наблюдения к единому уровню, за который принимают среднее значение напряженности поля на одном из опорных пуиктов.

Профильные или маршрутные наблюдения можно увязывать также после их завершения путем выполнения специальных увязочных замкнутых ходов, направленных вкрест профилей съемки. На каждом профиле делают измерения не менее чем на трех следующих друг за другом пикетах. Эти пикеты выбирают по графикам $E_{ср}$ на отрезках профилей с примерно равными значениями напряженности. Увязочный ход проходит через середины коротких профилей, съемка на которых не занимает более 2—3 ч. При большей

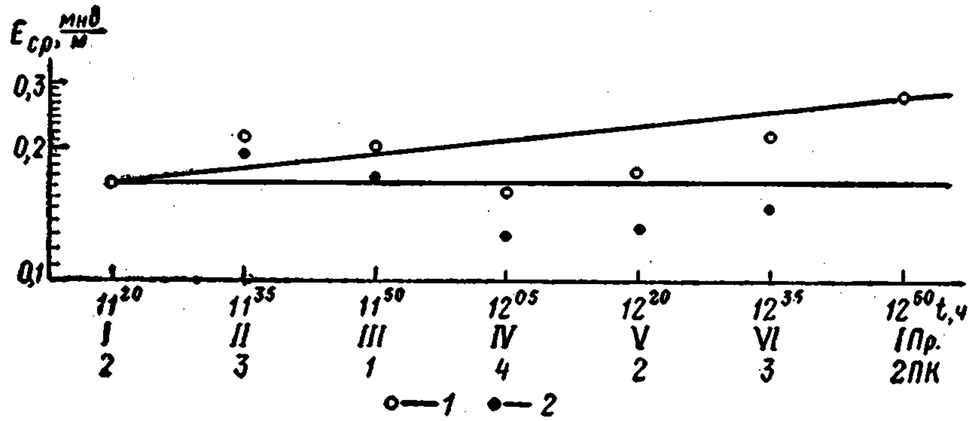


Рис. 24. Пример увязки значений средних напряженностей поля по замкнутому ходу. *1* — значения $E_{ср}$ в опорных точках; *2* — увязанные значения $E_{ср}$.

длине профилей увязочные ходы прокладывают по их концам. Затем эти ходы увязывают между собой и уравнивают.

Для увязки отдельных планшетов выполняют связывающий их замкнутый ход. При этом для простоты увязки измерения выполняют на тех же точках, которые использовались при увязке профилей в пределах планшета. Последовательность и техника операций при увязке планшетов такая же, как и при увязке коротких профилей.

Многоазимутные измерения увязывают так же, как и одноазимутные, но лишь в тех случаях, когда при геологическом истолковании предполагают использовать абсолютные величины главных осей эллипса поляризации или их произведения.

§ 13
ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПОЛЕВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Для оценки точности полевых измерений методом ПЕЭП проводят контрольные наблюдения по отдельиым профилям и маршрутам в объеме 5% от общего количества точек наблюдения. Результаты основных и контрольных измерений строят в логарифмическом масштабе и совмещают друг с другом. По степени сходства графиков

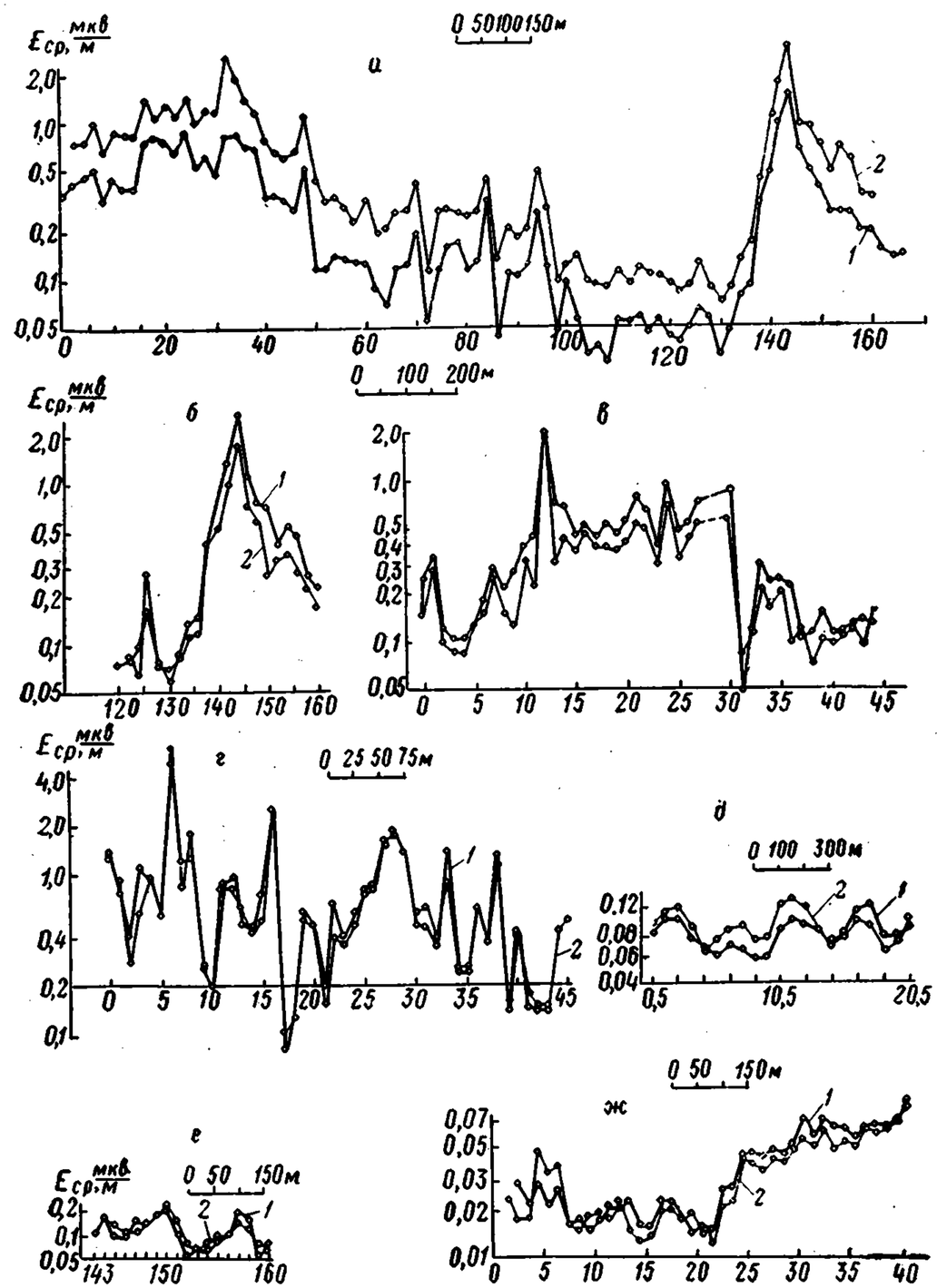


Рис. 25. Графики $E_{ср}$ метода ПЕЭП, полученные при основных (*1*) и контрольных (*2*) наблюдениях в 1968 г.

а — участок $П_{ш}$: *1* — 27 июня, *2* — 1 августа; *б* — участок $П_{ц}$: *1* — 30 июля, *2* — 31 июля; *в* — участок *В*, *1* — 16 июля, *2* — 17 июля; *г* — участок *П*: *1* — 27 июля, *2* — 29 июля; *д* — участок *Б*; *1* — 20 июня, *2* — 21 июня; *е* — участок *Г*; *1* — 1 июля, *2* — 10 июля; *ж* — участок *Л*; *1* — 28 августа, *2* — 29 августа.

качественно оценивают полевую точность. Предлагаемая методика работ обеспечивает удовлетворительную точность совпадения основных и контрольных наблюдений. Примеры сопоставления графиков $E_{ср}$, снятых в разное время на одних и тех же профилях, приведены на рис. 25.

Количественную оценку точности наблюдений методом ПЕЭП производят на основе расчета среднеквадратичной ошибки воспроизведения относительной величины средней напряженности поля ε. Величину ε рассчитывают следующим образом. Для каждого пикета контрольного профиля вычисляют отношение q_i средних напряженностей, полученных при основных и контрольных наблюдениях*. Их объединяют в группы из 5—7 отношений, взятых для соседних пикетов профиля. Для каждой группы отношений определяют среднеарифметическое значение:

$$q_{ср\,p} = \frac{1}{s}\sum_{j=1}^{s} q(j),$$

где p — номер группы отношений; j — номер отношения в группе; s — количество отношений в группе.

Далее рассчитывают среднеквадратичную величину отклонений отношений в группе от среднего во всем группам:

$$\varepsilon = \left| \sqrt{\frac{1}{sg-1}\sum_{p=1}^{g}\sum_{j=1}^{s}\left(1-\frac{q_j}{q_{ср\,p}}\right)^2} \right| \cdot 100\%,$$

где g — общее количество групп.

Расчеты, выполненные по данным основных и контрольных наблюдений для различных регионов, показывают, что полевая точность наблюдений методом ПЕЭП при отсутствии помех составляет 7—12%.

§ 14
ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ НАБЛЮДЕНИЯ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ СРЕДНЕЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЛЯ

Многочисленные наблюдения в различных регионах показывают, что измеряемые напряжения переменного естественного электрического поля невелики и в ряде случаев соизмеримы с помехами искусственного и естественного происхождения. Помехи, создаваемые грозами и электрическими полями промышленных сооружений, и способы защиты от них рассмотрены ранее. Здесь мы остановимся на помехах, вызываемых э. д. с. поляризации приемных электродов, э. д. с., индуцированной в приемной линии магнитным полем Земли,

* Из расчетов целесообразно исключить явные промахи, заметные после построения графиков основных и контрольных наблюдений.

э. д. с., возникающей в приемной линии за счет электростатических полей в воздухе и квазистационарных полей в земле.

Сигналы, вызываемые этими причинами, снижают точность измерений средней напряженности переменного естественного электрического поля при работе на низкоомных разрезах с короткими приемными линиями. Экспериментальные наблюдения показывают, что при измерении малых величин напряженности переменного естественного электрического поля в осложненных условиях (высокое и

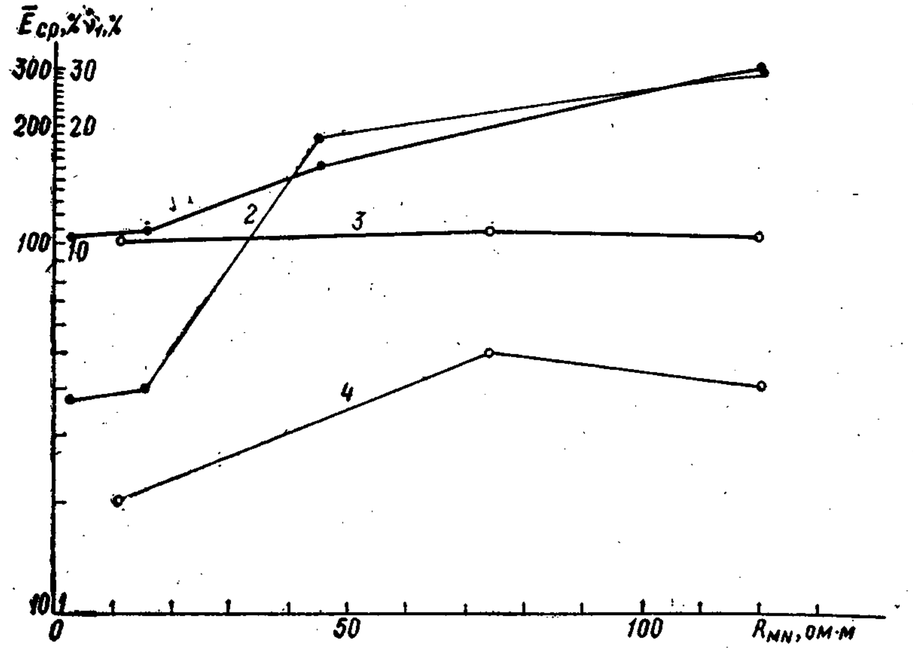


Рис. 26. Зависимость нормированной средней напряженности поли (1,3) и коэффициента вариаций отдельных измерений (2,4) от сопротивлении заземления приемных электродов при неподвижной (3, 4) и колеблющейся (1,2) под действием ветра приемной линии.

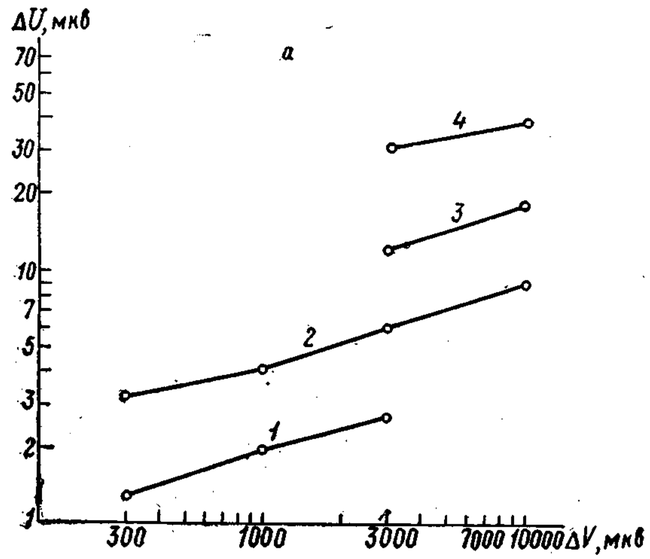
неустойчивое переходное сопротивление заземлений, большая и изменчивая э. д. с. поляризации приемных электродов, сильный и меняющийся по величине ветер) суммарное воздействие неблагоприятных факторов, может вызвать завышение (в 2—3 раза) измеряемого напряжения и увеличить разброс ($\nu_1 = 20 \div 30\%$) замеров* (рис. 26).

Рассмотрим действие этих факторов при различных условиях измерения более подробно.

Э. д. с. поляризации приемных электродов. При заземлении металлические электроды поляризуются. Величина э. д. с. поляризации пары стальных электродов может достигать нескольких десятков — первых сотен милливольт, а латунных — десяти-двадцати милливольт. Величиина э. д. с. поляризации электродов в первые моменты времени после заземления существенно изменяется, особенно

* Следует отметить, что аналогичные явления могут наблюдаться при работе с аппаратурой ИКС при измерении малых величин напряжения искусственно создаваемых полей.

у железных электродов, а затем постепенно стабилизируется. При вибрации приемных электродов под действием ветра или вследствие других причин э. д. с. поляризации электродов скачкообразно изменяется, вызывая импульсы напряжения, воздействующие на прибор. Эти импульсы обусловливают завышение измеряемых величин напряженности поля, нарушают



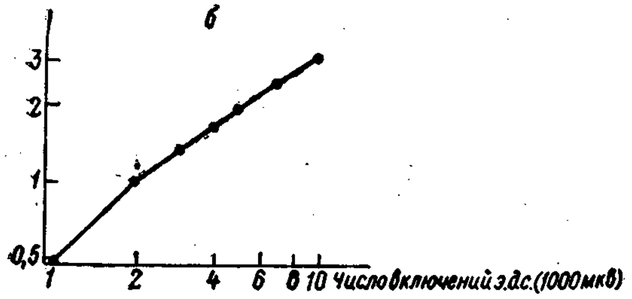


Рис. 27. Зависимость результатов измерения напряжения ΔU прибором типа МСЗ-1 от величины ΔV (*а*) и числа (*б*) импульсов постоянного тока, поступающих на его вход.

Отсчеты брали после прихода пяти импульсов на шкалах, мкв: *1* — 0 — 3; *2* — 0—10; *3* — 0—30; *4* — 0—100.

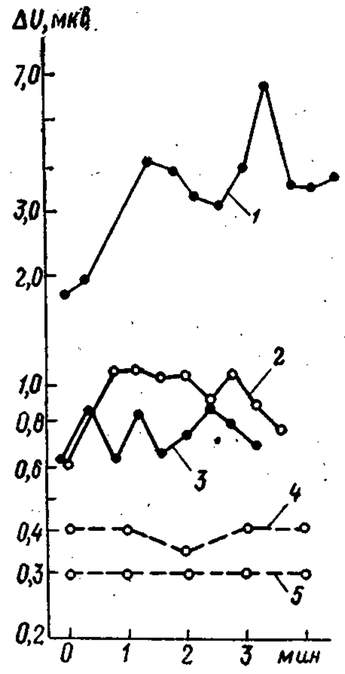


Рис. 28. Изменение величины напряжения, измеренной с короткой приемной линией (MN = 20 см), при использовании различных заземлителей:

1 — стальные шпильки; *2* — латунные шпильки; *3* — латунные штыри-электроды длинные; *4* — короткие; *5* — собственные шумы индикатора.

работу индикатора* вследствие изменения структуры сигнала на его входе (рис. 27) и увеличивают разброс замеров.

При измерениях в условиях сильных ветровых помех были зафиксированы напряжения от 2 до 5—7 мкв на стальных шпильках и 0,4—1 мкв на латунных шпильках и штырях-электродах при собственных шумах прибора 0,3 мкв (рис. 28). При этом разброс замеров на стальных шпильках был значительно больше, чем на латунных.

* Вызывают несбойку шкал индикатора.

Таким образом, при измерении малых величин напряжения переменного естественного электрического поля в условиях ветровых помех для уменьшения влияния э. д. с. поляризации приемных электродов целесообразно использовать латунные штыри-электроды и обеспечивать устойчивость их положения в грунте во время отсчета.

Движение приемной линии в магнитном поле Земли. Общеизвестно, что при колебаниях провода приемной линии в магнитном поле Земли в нем возникают переменные э. д. с. При неустойчивом ветре величина индуцированной э. д. с. скачкообразно изменяется, создавая импульсы, воздействующие на измерительный прибор. Как следует из экспериментов, величина $\Delta U_{ср}$, измеренная с помощью прибора МСЗ-1 при различном положении приемной линии длиной 20 м в условиях ветровых помех, достигает нескольких микровольт и изменяется при изменении подвижности провода приемной линии.

Следовательно, для уменьшения влияния постоянного поля Земли на результат измерений в методе ПЕЭП необходимо использовать для изготовления приемной линии эластичный тяжелый провод, который во время измерения должен свободно лежать на грунте.

Электростатическое поле. Известно, что в воздухе существуют электростатические поля, градиенты потенциалов которых составляют сотни вольт на метр [20]. Приемная линия (провод, электроды, индикатор) под воздействием этих полей принимает некоторый потенциал относительно Земли. Этот потенциал тем выше, чем больше переходные сопротивления заземления приемных электродов. Флюктуации атмосферно-электрического потенциала и движение объемных зарядов изменяют потенциал линии. Резкие скачки этого потенциала создают импульсы, воздействующие на вход прибора. Поэтому в ветреную погоду при высоких переходных сопротивлениях заземлений наблюдается завышение измеряемых величин и увеличение их разброса. Так, например, экспериментально установлено, что при изменении сопротивления заземления линии от 5 до 100 ком при постоянном воздействии импульсов электростатического поля, величина ΔU, измеренная прибором, изменяется в 2,1 раза (рис. 29, *а*). Аналогичные результаты получены при сопоставлении величин ΔU, измеренных с помощью двух одинаковых приемных линий* длиной 20 м, свободно подвешенных на высоте 0,5 м над поверхностью земли и колеблющихся под действием ветра. Сопротивление заземления приемных электродов одной из линий изменялось, а другой было постоянным и равным 500 ом (рис. 29, *б*). В этом случае при изменении сопротивления заземления приемных электродов от 10 до 100 ком величина замера вследствие влияния электростатических помех возросла в 2,2 раза. Кроме того, влияние этих помех обусловило нарушение сбойки шкал прибора. При низком уровне ветровых

* Приемные линии были изготовлены из провода ПВР-0,35 в хлорвиниловой изоляции.

помех повышение сопротивления заземления приводит к занижению изменяемого сигнала (рис. 29, *б*).

Таким образом, из экспериментов следует, что для уменьшения влияния электростатических помех на результаты измерений напряженности переменного естественного электрического поля необходимо обеспечить низкое сопротивление заземления приемных электродов и полную неподвижность приемной линии*.

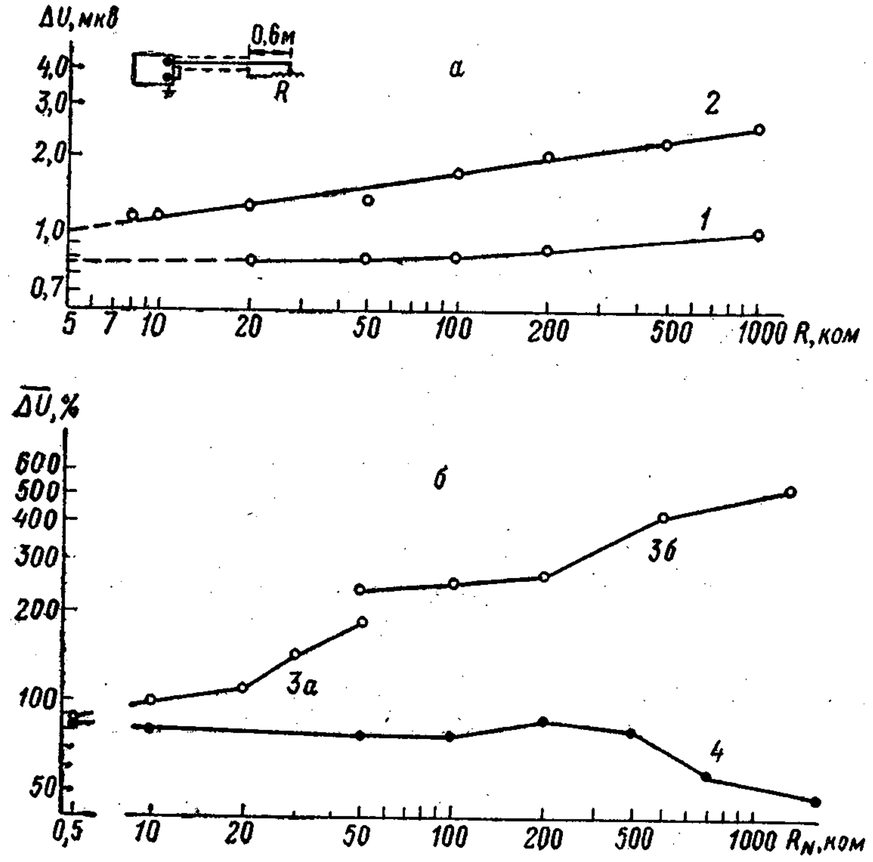


Рис. 29. Зависимость величины напряжении ΔU, измеренного прибором МСЗ-1, от величины сопротивления приемной линии при воздействии на нее меняющегося по величине электростатического поля.

а — графики ΔU при изменении величины сопротивления между частично неэкранированной центральной жилой и оплеткой коаксиального кабеля при отсутствии (*1*) и при трехкратном воздействии (*2*) электростатического поля; *б* — график отношения напряжений, измеренных с двумя идентичными приемными линиями длиной 20 м, подвешенными на высоте 0,5 м и колеблющимися под действием ветра, переходное сопротивление заземления одной из которых изменяется. Измерения на шкале 0—3 мкв (*3а*), на шкале 0—10 мкв (*3б*), при слабом ветре (*4*).

Влияние квазистационарных электротеллурических и блуждающих токов на измерения методом ПЕЭП тем больше, чем больше длина линии. Оно проявляется при резких изменениях переходных сопротивлений заземлений приемных электродов.

Таким образом, для уменьшения влияния на результаты полевых измерений в методе ПЕЭП помех, вызываемых поляризацией приемных электродов, магнитным полем Земли, электростатическими полями в воздухе и квазистационарными полями в земле необходимо при изготовлении приемной линии использовать укороченные латунные электроды, с малой «парусностью» и тяжелый эластичный провод; при измерениях тщательно выбирать место заземления электродов, добиваясь минимального переходного сопротивления и максимальной устойчивости электродов в период наблюдения, провод приемной линии во время измерения должен свободно лежать на грунте.

---

* Провод приемной линии должен лежать на грунте, а электроды-заземлители должны быть короткими.

Глава IV

ПЕРЕМЕННОЕ ЕСТЕСТВЕННОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ НАД ГОРИЗОНТАЛЬНО-НЕОДНОРОДНОЙ СРЕДОЙ

§ 15

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НАД ГЕОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

В связи с разработкой магнитотеллурических методов с различной степенью приближения к реальным условиям решен ряд задач, направленных на изучение особенностей естественного электромагнитного поля над различными геологическими объектами. Хотя при постановке задач и их решении допущены определенные упрощения и идеализация характера поля и геологических условий, имеющиеся решения позволяют понять основные особенности средней напряженности поля, наблюдаемого над различными геологическими объектами.

Контакт. Представление о характере переменного естественного электрического поля над бесконечно протяженным контактом двух сред, различающихся величиной удельного электрического сопротивления, дает анализ искажения на контакте поля плоской падающей сверху линейно-поляризованной моногармонической электромагнитной волны [14, 37, 38, 61, 75]. Фактически существующие в природе поля имеют сложную поляризацию. Однако при расчетах ограничиваются рассмотрением H- или E-поляризации. При H-поляризации первичного возбуждающего поля электрический вектор направлен вкрест простирания, а при E-поляризации — по простиранию геологического объекта.

Для случая H-поляризации на основе решения уравнений Максвелла с учетом граничных и предельных условий выполнен расчет электромагнитного поля над вертикальным выходящим на дневную поверхность контактом двух полупластов, лежащих на изолирующем ($\rho_{осн} = \infty$) или проводящем ($\rho_{осн} = 0$) основании. По полученным данным рассчитаны величины отношений напряженности электрического поля по направлению вкрест контакта E_x и напряженности возбуждающего магнитного поля H при разных удельных электрических сопротивлениях контактирующих полупластов (ρ_1 и ρ_2), при разной длине* волны возбуждающего поля и мощности полупластов.

* Длина волны в породе определяется по формуле $\lambda = \sqrt{\frac{10\rho}{f}}$, где ρ — удельное электрическое сопротивление породы, ом·м; f — частота вариаций возбуждающего поля, гц; λ_1 — длина волны поля в пласте с сопротивлением ρ_1, км.

Результаты расчетов в виде графиков $|E_x/H|$ представлены на рис. 30—34. Ввиду постоянства величины H эти графики подобны графикам E_x. Каждому из полупластов соответствует свой уровень напряженности поля, а непосредственно на контакте и вблизи него наблюдается приконтактовые искажения — экстремумы E_x.

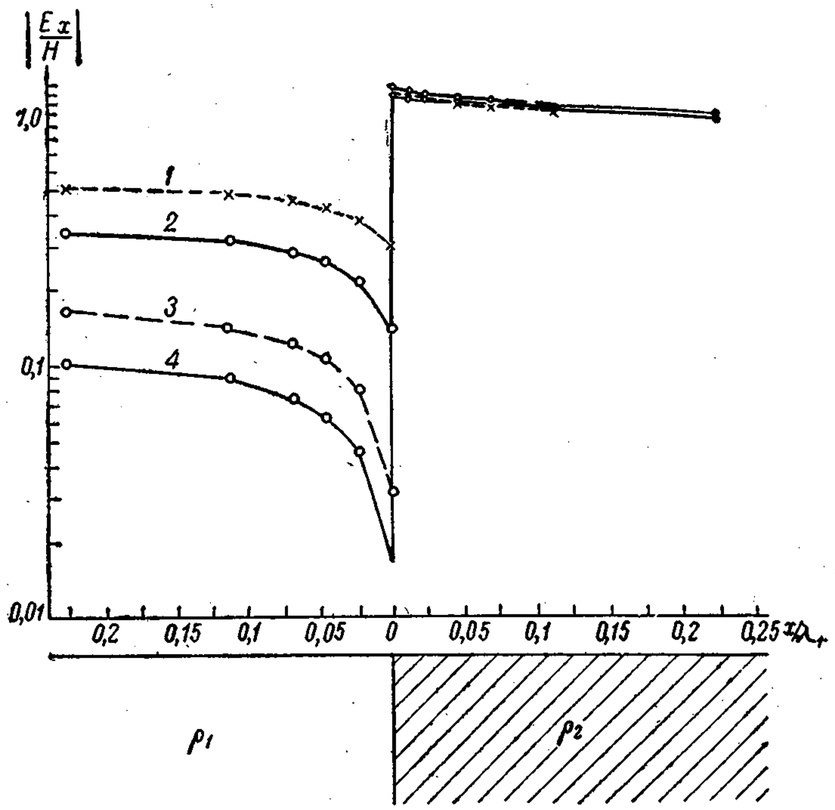


Рис. 30. Графики $|E_x/H|$ над контактом двух полупластов бесконечных по протяженности на глубину при разных отношениях их удельных электрических сопротивлений.

ρ_2/ρ_1: *1* — 4; *2* — 9; *3* — 39; *4* — 100.

При бесконечной протяженности контактирующих полупластов на глубину ($h \to \infty$) отношение напряженностей поля над ними вдали от контакта равно квадратному корню из отношения удельных электрических сопротивлений слагающих их пород. Если протяженность на глубину у полупластов ограниченна ($h \leqslant 0{,}125\ \lambda_1$, интервал S по М. Н. Бердичевскому), то при $\rho_{осн} = \infty$ отношение напряженностей поля над полупластами равно отношению сопротивлений слагающих их пород. При других величинах h/λ_1 и конечных $\rho_{осн}$, бо́льших ρ_1 и ρ_2, отношения уровней напряженности поля над полупластами изменяется в пределах от $\sqrt{\rho_2/\rho_1}$ до ρ_2/ρ_1*.

* Если контактирующие полупласты бесконечной мощности закрыты слоем низкоомных пород, то отношение уровней напряженности поля над ними меньше $\sqrt{\rho_2/\rho_1}$ (см. § 19).

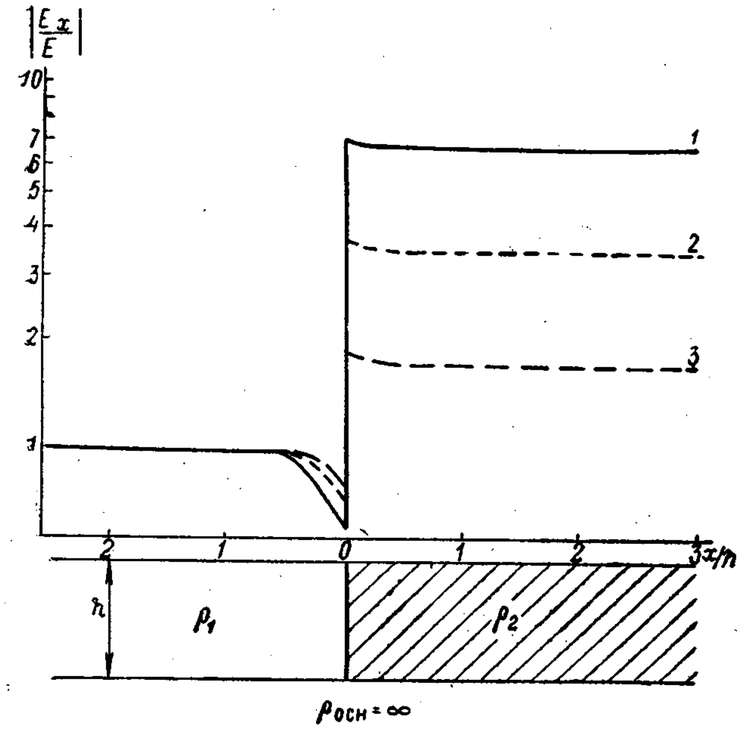


Рис. 31, Графики $|E_x/E|$ над контактом двух полупластов конечной мощности ($h = 0,2\lambda_1$), залегающих на изолирующем основании, при разных отношениях их удельных электрических сопротивлений.

ρ_2/ρ_1: *1* — 10; *2* — 5; *3* — 2.

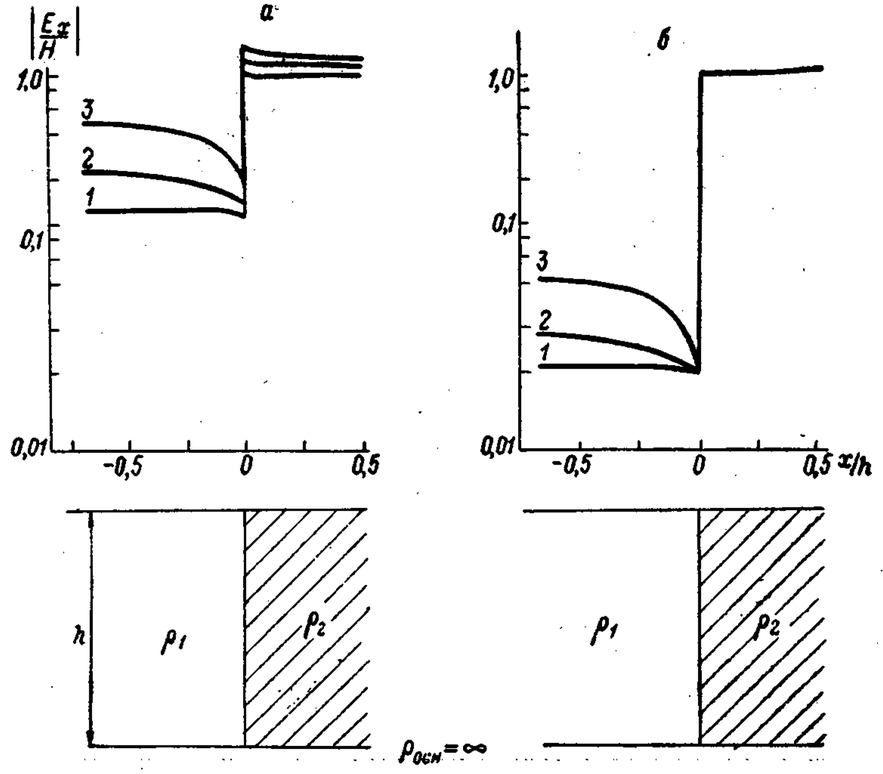


Рис. 32. Графики $|E_x/H|$ над контактом двух полупластов конечной мощности, залегающих на изолирующем основании, при разной длине волны возбуждающего поля.

Отношение удельных электрических сопротивлений полупластов ρ_2/ρ_1: *а* — 9; *б* — 100.

λ_1: *1* — 9,1*h*, *2* — 4,35*h*; *3* — 2,16*h*.

Приконтактовые искажения E_x заключаются в том, что при приближении к контакту со стороны низкоомной среды значения E_x уменьшаются, а со стороны высокоомной — увеличиваются. Это явление вызвано различием глубины скин-слоя в контактирующих толщах. В приконтактовой зоне со стороны низкоомной среды скин-эффект ослабляется и со стороны высокоомных пород увеличивается, что обеспечивает непрерывность горизонтальной составляющей плотности тока на контакте. Интенсивность приконтактных

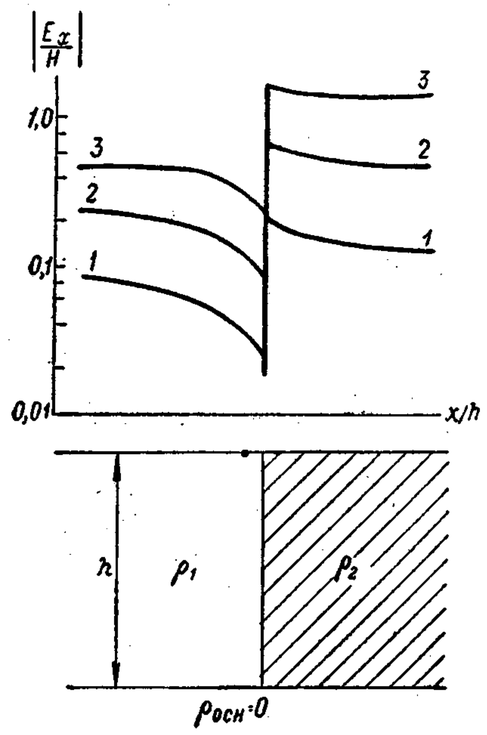


Рис. 33. Графики $|E_x/H|$ над контактом двух полупластов конечной мощности, залегающих на идеально проводящем основании, при разной длине волны возбуждающего поля.

λ_1: *1* — 9,1*h*; *2* — 4,35*h*; *3* — 2,16*h*. $\rho_2/\rho_1 = 9$.

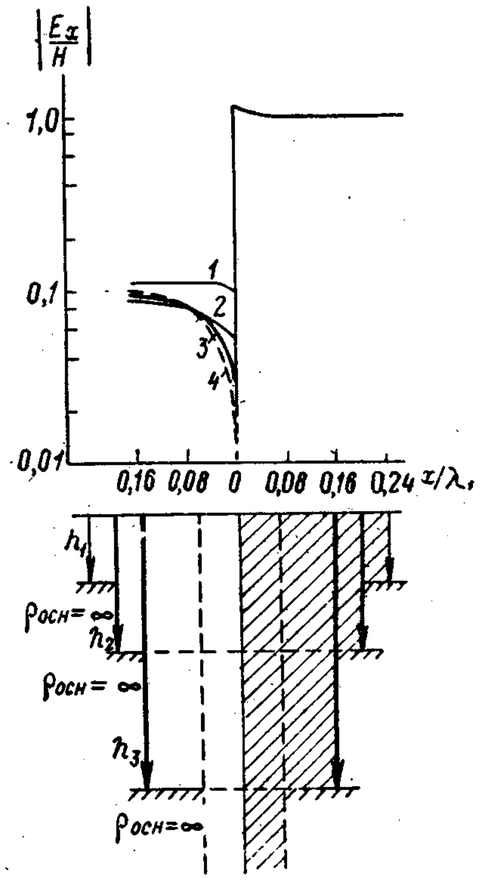


Рис. 34. Графики $|E_x/H|$ над контактом двух полупластов разной мощности, залегающих на изолирующем основании, при отношении их удельных электрических сопротивлений $\rho_2/\rho_1 = 100$.

1 — $h_1 = 0,11\lambda_1$; *2* — $h_2 = 0,23\lambda_1$; *3* — $h_3 = 0,46\lambda_1$; *4* — $h = \infty$.

экстремумов увеличивается по мере роста отношения сопротивлений контактирующих полупластов (см. рис. 32). Кроме того, величина приконтактных экстремумов $E_{ср}$ зависит от мощности контактирующих полупластов. Уменьшение мощности полупластов, подстилаемых изолирующим основанием, обусловливает уменьшение интенсивности приконтактных экстремумов (см. рис. 34). Если фундамент сложен проводящими породами, то при уменьшении мощности полупластов не наблюдается существенного уменьшения приконтактных экстремумов.

Расстояние от контакта, на котором проявляются приконтактовые искажения E_x, зависит как от отношения ρ_2/ρ_1, так и от абсолютных значений электрических сопротивлений пород, слагающих полупласты. Чем больше ρ_1 и ρ_2, тем на большем расстоянии от контакта проявляются приконтактовые искажения. Практически можно считать, что расстояние от контакта, в пределах которого наблюдаются приконтактовые искажения E_x, не превышает одной трети длины волны в полупласте меньшего сопротивления.

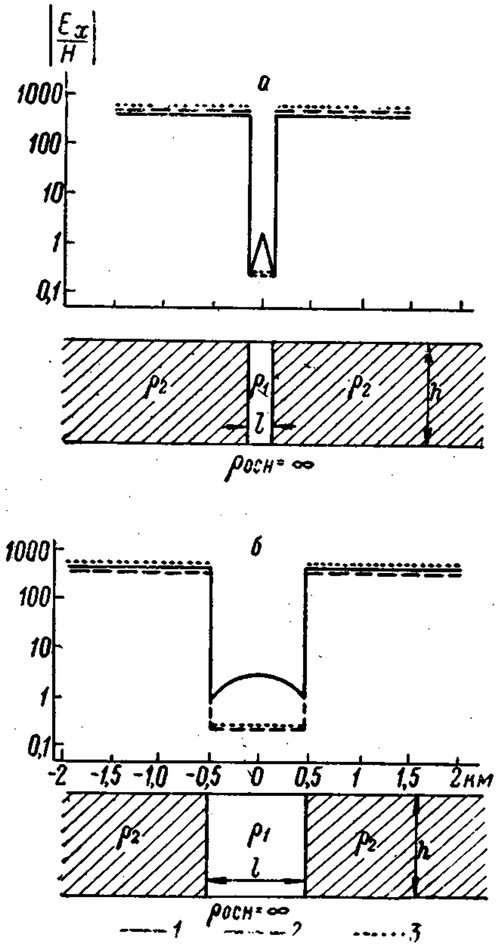


Рис. 35. Графики $|E_x/H|$ над проводящим вертикальным пластом при различных длинах волн возбуждающего поля.

λ_1: *1* — $0{,}88h$, *2* — $8{,}8h$; *3* — $88h$; l: *а* — 0,2 км, *б* — 1 км; $\rho_1 = 0{,}1$ ом · м; $\rho_2 = 160$ ом · м; $h = 1$ км.

В целом можно сделать вывод, что при увеличении мощности полупластов или при увеличении частоты вариаций возбуждающего поля дифференциация разреза ухудшается и графики E_x усложняются за счет приконтактовых экстремумов.

В том случае, когда контактирующие полупласты лежат на идеально проводящем основании, увеличение длины волны возбуждающего поля при постоянной мощности полупластов приводит к тому, что величины напряженности поля E_x над полупластами вдали от контакта становятся близкими друг к другу, а ширина приконтактового минимума увеличивается (см. рис. 33). Отсюда следует, что когда контактирующие породы лежат на низкоомном фундаменте, уменьшение частоты вариаций приводит к ухудшению дифференцированности наблюдаемого над ними поля.

Наклон плоскости контакта обусловливает изменение характера кривых E_x в приконтактовой части. Для случая, когда $h/\lambda_1 < 0{,}1$, при наклоне плоскости контакта в сторону высокоомной среды по мере приближения к контакту со стороны этой среды значения E_x постепенно уменьшаются, а при наклоне плоскости контакта в противоположную сторону и при приближении к контакту со стороны низкоомной среды значения E_x возрастают [64]. Особенности формы контакта двух сред тем более точно описываются графиками E_x, чем больше длина волны возбуждающего поля [65].

Пласт. Представление о характере естественного переменного электрического поля над вертикальным пластом конечного сопротивления можно получить, рассмотрев результаты решения, выполненного Д. Ранкиным [71]. Пользуясь приемами, разработанными Ж. Невсом и Г. Кунетцем, Д. Ранкин для случая *H*-поляризации рассчитал электромагнитное поле плоской вертикальной падающей волны в присутствии вертикального пласта бесконечного простирания, заключенного между двумя горизонтальными полупластами, подстилаемыми высокоомным или проводящим фундаментом. Результаты расчетов для нескольких частных случаев представлены в виде графиков $|E_x/H|$ на рис. 35 и 36.

Проводящий пласт во всех рассмотренных случаях отмечается минимумом значений E_x/H. Когда длина волны в пласте приближается к его протяженности на глубину или становится меньше ее ($\lambda_1 = 0{,}88\ h$), над центром проводящего пласта наблюдается максимум второго порядка. Величина этого максимума зависит от горизонтальной мощности пласта l. Пласт высокого сопротивления отмечается максимумом значений E_x/H. В пределах пласта значения E_x/H не изменяются. При длине волны во вмещающей среде, меньшей протяженности пласта на глубину ($\lambda_1 = 0{,}88h$), в приконтактовой области с обоих сторон пласта наблюдаются резкие минимумы. При большей длине волны ($\lambda_1 = 8{,}8h$ и $\lambda_2 = 88h$) таких минимумов нет.

В общем аналогичными особенностями E_x отмечаются вертикальные пласты высокого и низкого сопротивления в том случае, если фундамент имеет повышенную проводимость. Следует лишь отметить, что при большей длине волны ($\lambda_1 = 88h$) значение поля в центральной части пласта большой горизонтальной мощности приближается к значениям над вмещающей средой вдали от пласта. Четким перепадом значений напряженности фиксируется лишь контакт пласта с вмещающей средой.

Большой объем модельных работ по изучению особенностей электромагнитного поля над хорошопроводящим вертикальным пластом, помещенным в однородную среду ($\rho_{вм.\,п}/\rho_{пл} = 5{,}7 \cdot 10^3$), для случая *H*- и *E*-поляризации выполнен Г. Доссо [63]. Им показано, что при *H*-поляризации хорошопроводящий пласт отмечается резким локальным минимумом значений E_x. Вблизи бортов пласта имеют место незначительные максимумы напряженности поля, а над бортами пласта резкие градиенты E_x (рис. 37, *а*). Приконтактовый максимум напряженности поля E_x уменьшается при увеличении протяженности проводящего пласта на глубину и повышается при увеличении горизонтальной мощности этого пласта (рис. 37, *б*, *в*). При этом величина минимума над центром пласта почти не изменяется. При *E*-поляризации возбуждающего поля проводящий пласт отмечается широким минимумом напряженности поля. При увеличении протяженности пласта на глубину минимум напряженности поля становится шире.

При удалении верхней кромки пласта от плоскости наблюдения, как следует из модельных работ [69, 72], экстремум напряженности поля над пластом уменьшается и становится более широким, а приконтактовые экстремумы вообще исчезают.

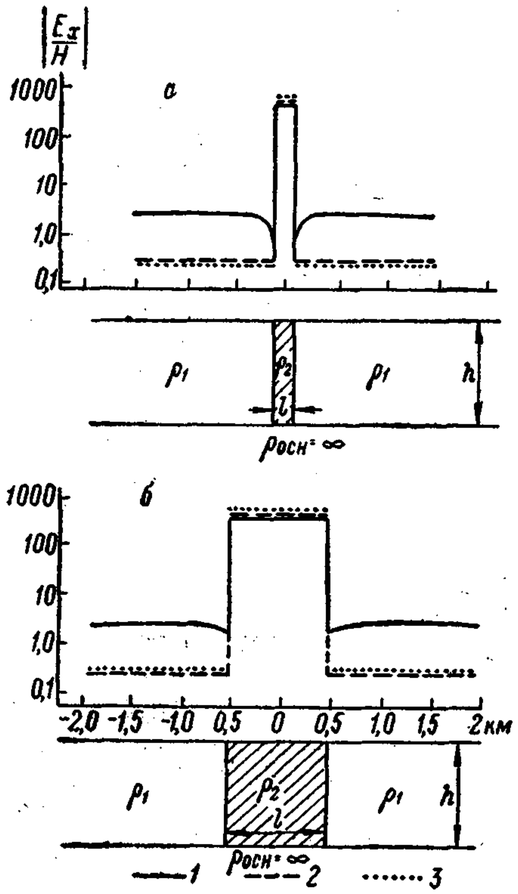


Рис. 36. Графики $|E_x/H|$ над вертикальным пластом высокого сопротивления при различных длинах волн возбуждающего поля.
λ_1: *1* — 0,88h, *2* — 8,8h, *3* — 88h; l: *а* — 0,2 км, *б* — 1 км; $\rho_1 = 0$, 1 ом · м, ρ_2 160 ом · м; h = 1 км.

Уступ в рельефе фундамента. Из анализа графиков E_x, построенных в результате расчетов [8], следует, что при перепаде мощности перекрывающего слоя на уступе в два раза уступ четко фиксируется изменением напряженности поля, если длина волны в слое над опущенной частью уступа более чем в 8 раз превосходит его мощность. При этом протяженность переходной зоны значений E_x равна глубине погружения опущенной части уступа h_0. При меньших длинах волн величина перепада E_x над уступом существенно меньше величины перепада мощностей перекрывающего слоя по обеим сторонам уступа. Если длина волны в слое над уступом меньше чем в 4 раза превосходит мощность этого слоя над опущенной частью уступа, то перепада напряженности поля вообще не наблюдается. При увеличении градиента уступа минимальная длина волны, при которой он еще фиксируется перепадом напряженности поля, уменьшается (рис. 38).

Аналогичные выводы о характере электрического поля над уступом следуют из расчетов, выполненных Г. Кунетцем и Ж. Жери [6], М. Н. Бердичевским [4] и М. Везелиником [74] в предположении стационарности поля, и из модельных работ [30].

Электромагнитное поле над наклонным уступом изолирующего основания рассчитано М. Н. Бердичевским и В. И. Дмитриевым [6, 7, 8, 14, 15]. Показано, что характер графика E_x над наклонным уступом существенно зависит от сопротивления и мощности перекрывающего слоя. Чем меньше мощность этого слоя по сравнению с длиной волны в нем, тем точнее график напряженности электрического поля E_x описывает уступ. Так, при перепаде мощности перекрывающего слоя на уступе в 1,5 раза изменение уровня напряженности поля E_x достигает 30% при длине волны, превышающей мощ-

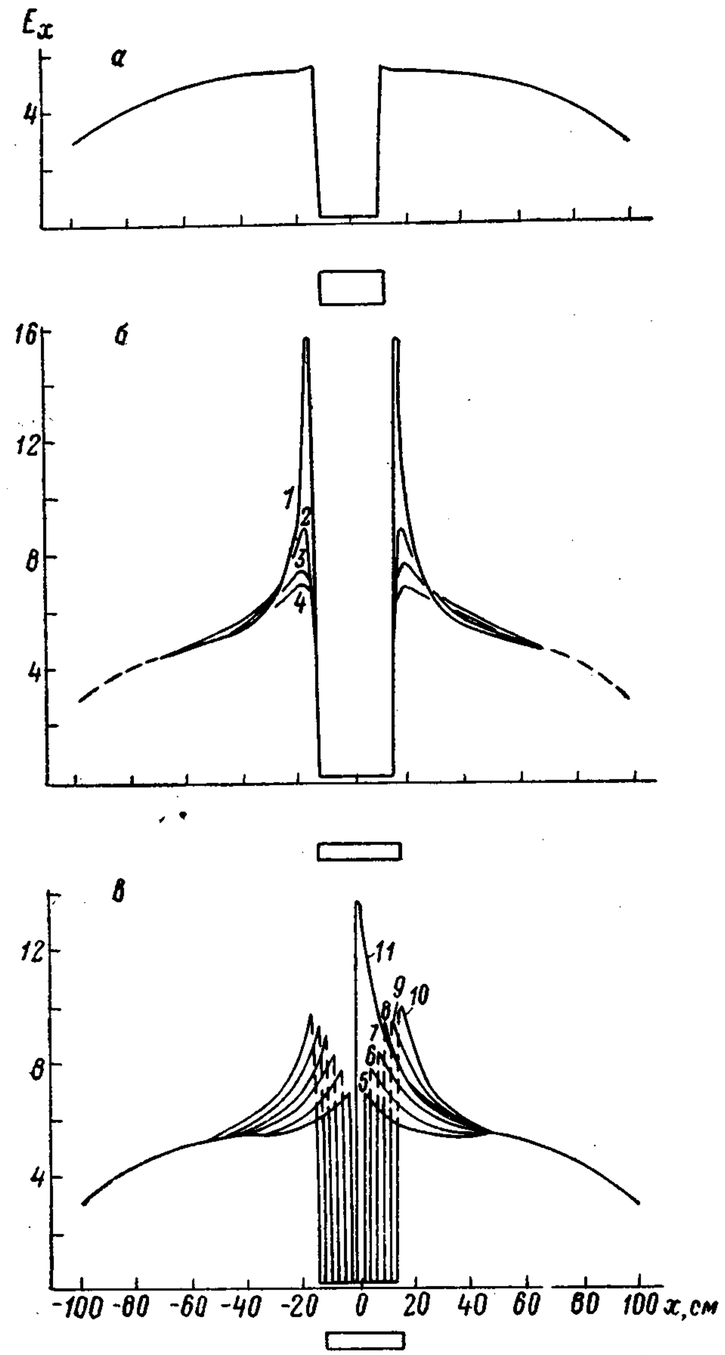


Рис. 37. Графики E_x над вертикальным низкоомным ρ_1 пластом, помещенным в однородную среду с сопротивлением ρ_2 (ρ_2/ρ_1 = = 5700), протяженность на глубину h (см) и мощность l (см) которого изменяются.
а — l = 23, h = 61; *б* — l = 29, h: *1* = 1; *2* — 6, *3* — 11, *4* — 16; *в* — h = 6, l: *5* — 5; *6* — 10; *7* — 15; *8* — 20; *9* — 25; *10* — 30; *11* — 100.

ность перекрывающего слоя над приподнятой частью уступа в 44 раза (рис. 39).

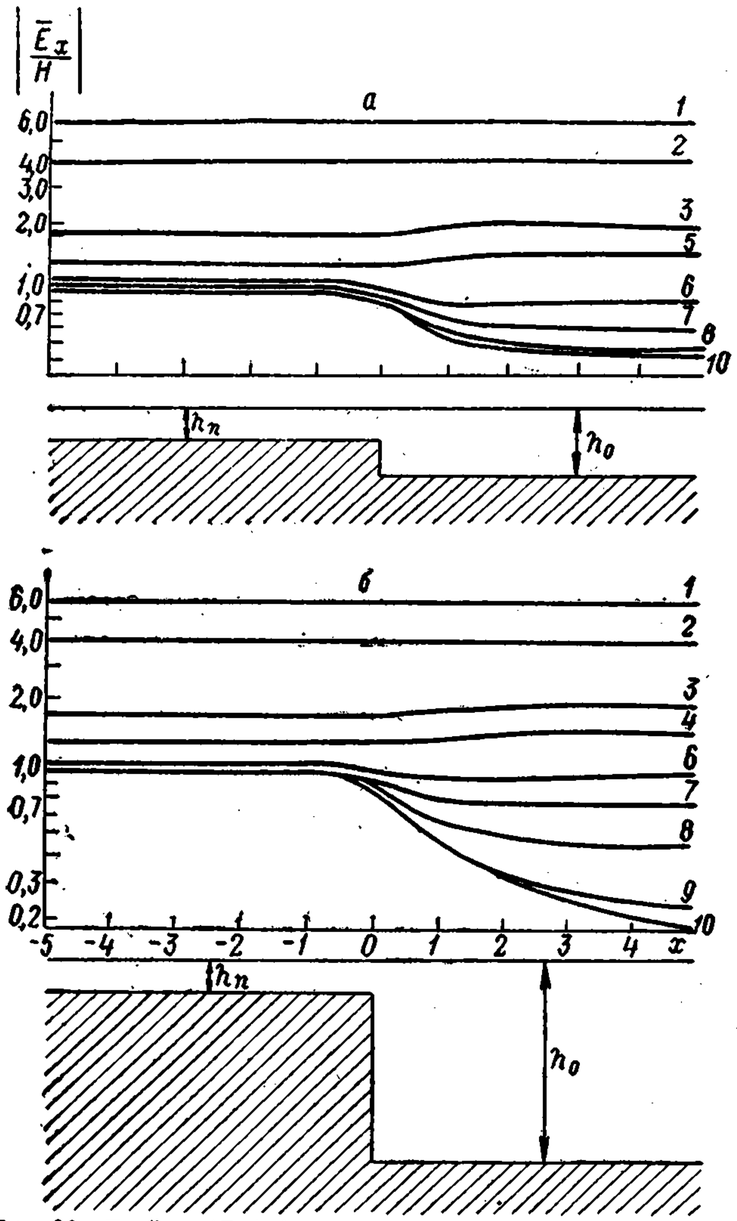


Рис. 38. Графики $|E_x/H|$ над вертикальным уступом высокоомного фундамента.

$h_п/\lambda$: *1* — 0,68; *2* — 0,45; *3* — 0,23; *4* — 0,17; *5* — 0,14; *6* — 0,11; *7* — 0,08; *8* — 0,06; *9* — 0,03; *10* — 0,01 и меньше. *а* — $h_п = 1$, $h_о = 2$; *б* — $h_п = 1$, $h_о = 6$.

При длине волны меньше 5,5 мощности перекрывающего слоя над приподнятой частью уступа изменения значений E_x над уступом вообще не наблюдается. Расчеты, выполненные Ю. Мишником [68] и М. Везелинком [74] для условий, когда можно пренебречь волновым характером поля ($\lambda \gg h_п$), при соотношении мощностей

на уступе 2,0; 2,5 и 3,0 показывают, что изменение угла наклона уступа мало сказывается на характере кривой

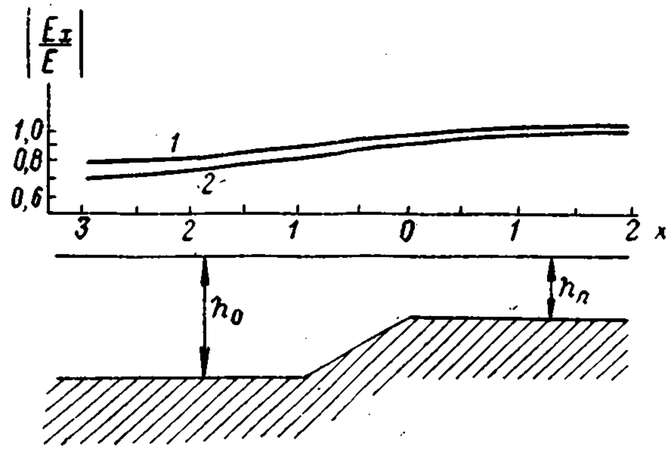


Рис. 39. Графики $|E_x/E|$ над наклонным уступом (45°) высокоомного фундамента при разной длине волны возбуждающего полл.

λ: *1* — $11h_п$; *2* — $44\ h_п$; $h_п = 1x$; $h_о = 2x$.

напряженности поля. Поэтому угол наклона по данным измерений E_x оценивать сложнее, чем величиину перепада мощностей [7].

Представление о характере изменения напряженности электрического поля E_x над вертикальным и наклонным уступом, сложенным хорошопроводящей средой и удаленным от плоскости наблюдения, можно получить на основании расчетов, выполненных А. А. Ковтун [25]. Уступ, сложенный проводящей средой, отмечается резким градиентом значений $|E_x/H_y|$ (H_y — горизонтальная магнитная компонента поля, направленная по простиранию уступа). Причем максимальный градиент изменения значений $|E_x/H_y|$ несколько смещен относительно уступа в сторону проводящей среды (рис. 40).

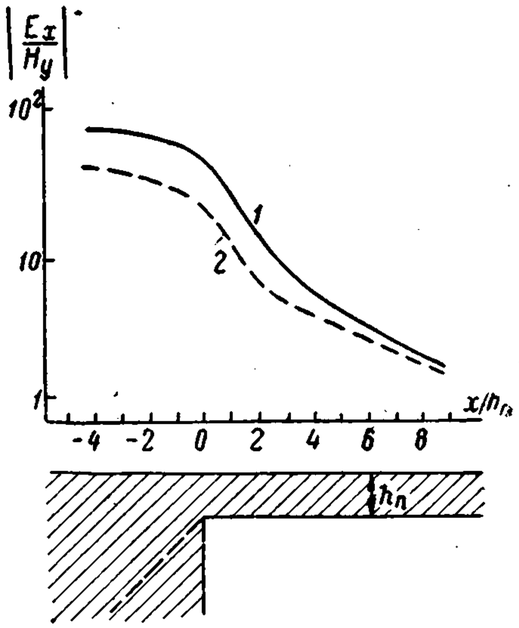


Рис. 40. Графики $|E_x/H_y|$ над вертикальным (*1*) и наклонным (*2*) уступами проводящего фундамента.

Выполаживание уступа приводит к уменьшению перепада значений E_x/H_y. При уменьшении угла раствора уступа и превращении его в клин, сложенный проводящей средой, как следует из модельных работ Г. Доссо [62], напряженность электрического поля при H-поляризации перед ребром клина возрастает, а само ребро отмечается резким градиентом. При уменьшении длины волны возбуждающего поля экстремум напряженности поля перед ребром клина уменьшается. При E-поляризации возбуждающего поля значения

напряженности при приближении к ребру клина плавно возрастают, а затем уменьшаются и над ребром клина принимают весьма низкие значения, которые продолжают уменьшаться над клином по мере удаления от его ребра.

Пологие формы рельефа фундамента. Изменение напряженности электрической составляющей электромагнитного поля вследствие пологого воздымания или погружения плоского изолирующего фундамента анализировали М. Н. Бердичевский, Б. Е. Брюнелли и другие исследователи [5, 33]. Когда длина волны электромагнитного поля в перекрывающем слое существенно больше его мощности, изменению глубины изолирующего основания соответствует изменение напряженности поля E_x и между ними существует связь, известная из теории метода теллурических токов:

$$h = \frac{\rho}{4\pi |E_x/H_y|}.$$

Так как H_y мало меняется при изменении параметров разреза, то можно считать, что E_x изменяется обратно пропорционально h. При уменьшении длины волны (или увеличении глубины залегания фундамента) линейная зависимость между h и E_x нарушается. При E-поляризации изменение глубины залегания фундамента вызывает менее резкое изменение напряженности поля, чем при H-поляризации, и связь между глубиной до фундамента и величиной напряженности поля более сложная.

При наличии в толще пород, перекрывающих фундамент, высокоомного горизонтального или слабо наклонного пропласта зависимость между глубиной залегания фундамента и величиной E_x даже в пределах S интервала нарушается. При малой электрической «прозрачности» этого пропластка графики E_x отражают особенности морфологии его поверхности. На графики E_y, полученные с приемной линией, направленной по простиранию структур фундамента, наличие этого пропластка не оказывает влияния [6, 22, 31, 57]. Это позволяет при измерениях E_x и E_y одновременно изучать особенности рельефа фундамента и поверхности высокоомного пропластка в толще осадочных образований.

Г. Г. Обуховым [39, 40] и другими [28] рассмотрено электромагнитное поле над пологими неровностями изолирующего основания при H- и E-поляризации. Показано, что над валообразным поднятием высокоомного фундамента, составляющим 20% от мощности перекрывающих пород, наблюдается повышение как E_x, так и E_y. Причем наибольшая амплитуда аномалий наблюдается на графиках E_x, и она увеличивается по мере уменьшения частоты. Так, например, при $h/\lambda \leqslant 0{,}0039$ величина аномалии приближается к относительной амплитуде вала. Величина аномалии по E_y сначала возрастает при уменьшении частоты (до $h/\lambda = 0{,}125 \div 0{,}10$), а затем уменьшается. Начиная с $h/\lambda \leqslant 0{,}0333$ на графиках E_y пологий валообразный подъем в фундаменте не фиксируется. Узкие ($d < 0{,}5\lambda$, где d — ширина

основания вала) валообразные поднятия с амплитудой 20% от мощности перекрывающего слоя аномалиями E_y также не фиксируются.

Аналогичные выводы о характере электромагнитного поля над пологими структурами получены при моделировании [25].

При наличии в перекрывающем слое высокоомного пропластка величина аномалии E_x над валообразным поднятием заметно уменьшается, а протяженность увеличивается. Причем степень экранирования структуры высокоомным пропластком уменьшается по мере ее выполаживания. При увеличении частоты вариаций поля экранирование растет [42].

Крупные неровности рельефа фундамента. Крупные неровности в рельефе изолирующего основания — одиночный или сдвоенный выступ — [8, 69] — фиксируются экстремумами напряженности поля E_x, интенсивность и знак которых зависит от соотношения сопротивлений пород фундамента и перекрывающей толщи, глубины залегания фундамента и частоты вариаций поля (рис. 41). При этом одиночный валообразный выступ в изолирующем фундаменте с шириной основания и высотой, равными полумощности перекрывающего слоя, отмечается максимумом E_x при условии, что длина волны в слое в 17 раз больше мощности этого слоя ($h/\lambda < 0{,}0564$). При меньших длинах волн такой выступ на графиках E_x не фиксируется.

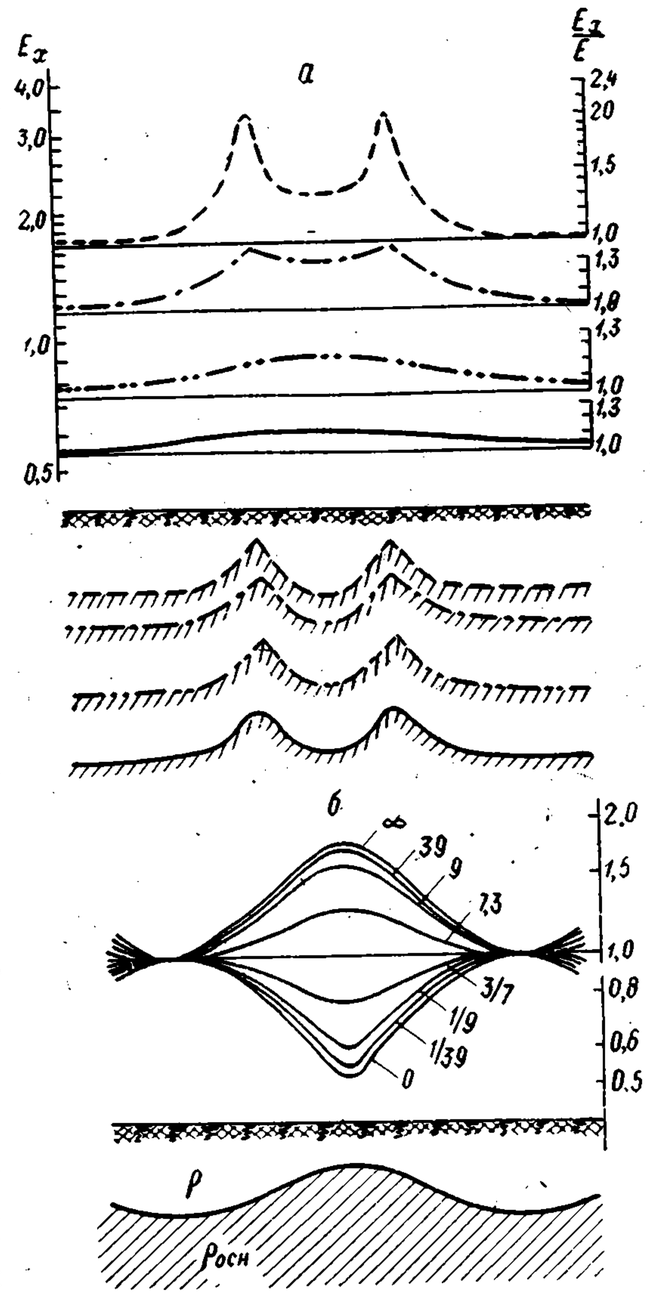


Рис. 41. Графики E_x и E_x/E над единичным (*б*) и сдвоенным (*а*) выступами в рельефе высокоомного фундамента при разных глубинах их залегания (*а*) и разных отношениях сопротивлений пород перекрывающей толщи ρ и фундамента $\rho_{осн}$ (*б*).

Аналогичным образом на графиках E_x отмечается сдвоенный выступ. Причем прогиб между вершинами выступа на графиках E_x не отражается даже при $h/\lambda = 0{,}0141$.

Антиклинальное поднятие изолирующего основания при $\lambda \gg h$ отмечается максимумом напряженности поля, причем график E_x в общих чертах повторяет форму поверхности основания [26]. Аналогично фиксируется выступ изолирующего основания в виде вала с крутыми крыльями [4, 69, 73]. Причем по асимметрии графиков E_x можно судить о направлении падения осевой плоскости вала. Крупный протяженный прямоугольный вертикальный выступ изолирующего основания отмечается наиболее интенсивной и локальной аномалией E_x при H-поляризации (случай $\lambda \gg h$) [36]. Как при H-, так и при E-поляризации максимум напряженности поля соответствует середине выступа.

Вертикальный цилиндрический (штокообразный) и квадратный (в виде усеченной пирамиды) выступы изолирующего основания [27, 69] отмечаются примерно равными максимумами напряженности электрического поля как при H-, так и при E-поляризации. Наибольшая аномалия наблюдается над центром выступа при $\lambda/h = 8 \div 12$. Аномальное повышение напряженности поля E сохраняется также за пределами выступа. При длинах волн, бо́льших $12h$, величина аномалии несколько уменьшаетя [69]. При небольших глубинах залегания выступа вблизи его краев наблюдается минимум напряженности поля. В том случае, когда в пласте, перекрывающем выступ, есть высокоомный пропласток (экран), ширина аномалии при E-поляризации примерно равна ширине выступа, а при H-поляризации — много больше ее. При обеих поляризациях возбуждающего поля высокоомный пропласток уменьшает интенсивность аномалии.

Другие геологические объекты. Результаты расчетов [19, 53] и экспериментов [66, 67] показывают, что плохопроводящая сфера и горизонтальный цилиндр отмечаются максимумом, а хорошопроводящий цилиндр — минимумом напряженности поля. При этом над краями проводящего цилиндра наблюдаются дополнительные максимумы, а плохопроводящего — минимумы напряженности поля.

Геологический объект в виде хорошопроводящего цилиндрического сегмента — узкая погребенная долина [62] — отмечается четким минимумом E_x и двумя сопровождающими его дополнительными максимумами, величина которых возрастает при увеличении длины волны возбуждающего поля (H-поляризация). Наибольший градиент напряженности электрического поля наблюдается над краем объекта.

Желобообразная выемка в рельефе высокоомного фундамента, перекрытого слоем проводящих пород, на графиках E_x не отмечается, если глубина залегания фундамента более чем в два раза превосходит ширину этой выемки, даже в том случае, если глубина выемки равна мощности перекрывающего пласта [8].

По данным модельных работ К. Рихтера [72] полусферическая выемка, заполненная образованиями, имеющими большее или меньшее сопротивление, чем сопротивление вмещающей среды, отмечается соответственно максимумом или минимумом напряженности электрического поля (рис. 42). На контакте выемки наблюдается резкий градиент напряженности поля, а в приконтактовой области наблюдаются экстремумы, знак которых противоположен знаку экстремума поля над выемкой. Аналогичные данные о характере изменения E_x над выемкой получены Ю. Н. Поповым [46] на основе

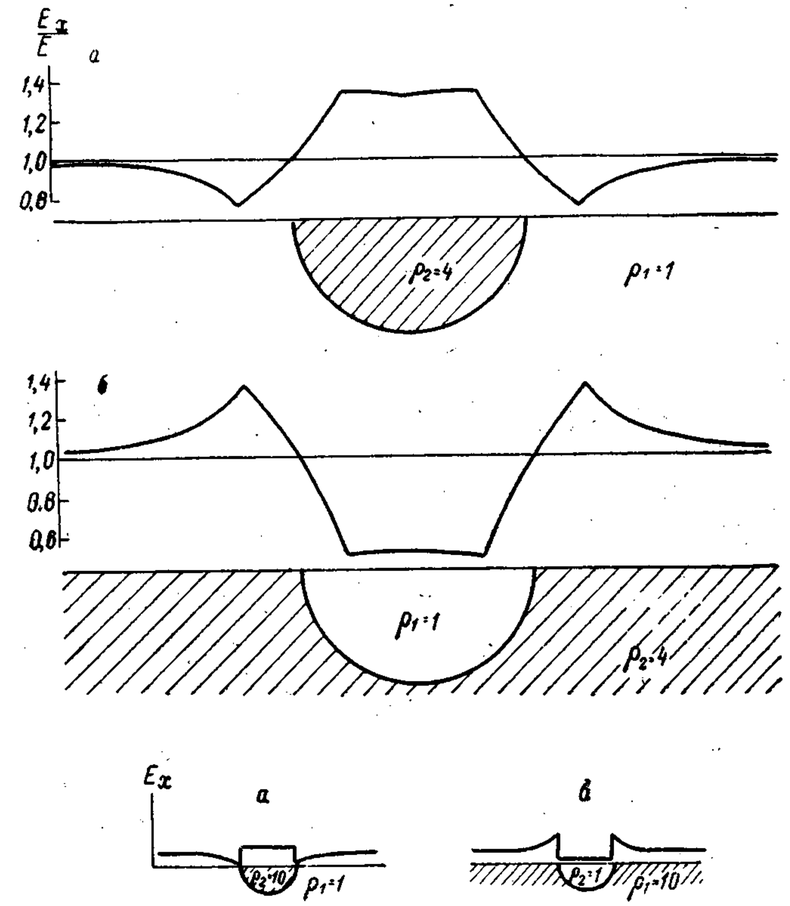


Рис. 42. Графики $|E_x/E|$ и E_x над полусферическими выемками, заполненными средой высокого ($а$) и низкого ($б$) сопротивления.

расчета искажений первично-однородного поля постоянного тока полусферической неоднородностью конечной проводимости (рис. 42) [1] и Т. Колбенхайером [66, 67] над полуэллиптической выемкой, заполненной проводящим материалом.

Таким образом, исходя из теоретических и экспериментальных работ, можно сделать вывод, что геологические объекты, имеющие повышенное сопротивлеиие, отмечаются максимумами, а пониженные — минимумами напряженности поля. Границы объектов приблизительно совпадают с максимумами градиентов напряженности поля. Перепад напряженности поля позволяет судить о соотношении сопротивлений контактирующих пород. Во всех случаях величина

перепада напряженности поля не больше отношения сопротивлений этих пород. При неглубоком залегании фундамента, особенности его рельефа вызывают изменение напряженности поля. При небольших углах наклона (первые градусы) поверхности высокоомного фундамента изменение глубины его залегания обусловливает пропорциональное изменение напряженности поля. При больших углах наклона поверхности рельефа фундамента, а также над крупными деталями рельефа нет полной идентичности между особенностями рельефа фундамента и графиками E_x.

В целом графики напряженности поля, измеренной вкрест простирания геологических объектов и форм подземного рельефа $E_\perp$, лучше отражают особенности геологического строения, чем по простиранию этих объектов E_y. Исключение составляет случай картирования линейно вытянутых особенностей рельефа фундамента, скрытых под субгоризонтальным высокоомным пропластком.

Следовательно, результаты теоретических и экспериментальных исследований показывают, что по особенностям графиков напряженности электрической составляющей переменного естественного электрического поля можно судить о положении и направлении простирания контактов пород, отличающихся по электрическим параметрам, об отношении сопротивлений этих пород и об особенностях рельефа коренных пород.

§ 16

ПОЛЯРИЗАЦИЯ ПЕРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВЕННОГО ПОЛЯ В НЕОДНОРОДНОЙ СРЕДЕ

Характер круговых диаграмм средней напряженности и абсолютных осредненных эллипсов поляризации поля над различными геологическими объектами изучали многие авторы [6, 55, 69, 72].

Площадь круговых диаграмм, направление их больших осей и отношения большой оси к малой изменяются по мере приближения к геологическому объекту.

Так, при приближении точек наблюдения к выходящему на дневную поверхность вертикальному пласту высокого сопротивления круговая диаграмма, имеющая вдали от пласта вид круга, приобретает все более четко выраженный вид цифры восемь в арабском написании. Причем ее большая ось направлена вдоль простирания пласта и отношение главных осей тем больше, чем ближе точка наблюдения к контакту пласта с вмещающей средой. Над высокоомным пластом вблизи его контакта диаграмма также имеет вид восьмерки, но ее главная ось направлена вкрест простирания пласта, а площадь диаграммы существенно больше, чем над вмещающей средой. Вдали от контакта над высокоомным пластом диаграмма вновь приобретает вид круга, площадь которого соответствует сопротивлению пласта.

В том случае, когда вертикальный высокоомный пласт погружен (находится ниже плоскости наблюдения), круговая диаграмма из круга вдали от пласта по мере приближения к пласту постепенно

превращается в восьмерку, большая ось которой во всех точках наблюдения направлена вкрест простирания пласта. При этом величина отношения осей круговой диаграммы и ее площадь постепенно возрастает, достигая максимума над пластом вблизи его края. Над центром пласта, мощность которого соизмерима с глубиной погружения верхней кромки, круговая диаграмма также имеет вид восьмерки. Если мощность пласта велика, то над его центральной частью круговые диаграммы имеют вид круга, а отношение осей диаграммы близко к единице.

По мере приближения к хорошопроводящему вертикальному пласту, выходящему на дневную поверхность, диаграмма из круга вдали от пласта превращается в восьмерку, направленную вкрест простирания пласта, отношение осей которой наибольшее вблизи контакта пласта с вмещающей средой. Площадь диаграммы при этом постепенно уменьшается. Над маломощным пластом круговая диаграмма также имеет вид восьмерки, но ее большая ось вытянута вдоль пласта и площадь ее меньше площади диаграмм вне пласта. Если мощность пласта велика, то над его центральной частью диаграмма имеет вид круга.

Если хорошопроводящий пласт погружен, то характер поведения круговых диаграмм в общем такой же и отличие заключается только в том, что и над пластом большая ось круговой диаграммы направлена вкрест его простирания.

На рис. 43 приведены примеры круговых диаграмм средней напряженности и соответствующих им эллипсов поляризации поля над вертикальным пластом ограниченной мощности (рис. 43, *б*), а также круговые диаграммы, полученные при измерениях с приемной линией, вращаемой вокруг конца, заземленного в центре наклоннозалегающего пласта (рис. 43, *в*, *г*). Круговая диаграмма над плохопроводящим наклонным пластом асимметрична относительно ее малой оси. Причем бóльшая по площади часть диаграммы, полученной над выходом пласта на дневную поверхность или под рыхлые образования, направлена в сторону падения пласта.

Круговая диаграмма над хорошопроводящим наклонным пластом асимметрична относительно ее большей оси, и в сторону падения пласта обращена ее меньшая по площади часть. Над анизотропной средой направление большой оси круговой диаграммы напряженности поля совпадает с направлением большой оси эллипса анизотропии удельного электрического сопротивления этой среды (рис. 43, *а*). При этом отношение осей круговых диаграмм при вертикальном падении плоскости электрической анизотропии среды приближенно равно коэффициенту анизотропии [55].

Параметрами круговых диаграмм, полученных над наклонными пластообразными геологическими телами, можно воспользоваться для определения элементов залегания этих тел.

На рис. 44 приведены круговые диаграммы, полученные в результате многоазимутных измерений, которые проводились над висячим боком зоны окварцевания на некотором удалении от места

выхода этой зоны на поверхность. При интерпретации за азимуты простирания зон были приняты направления малых осей этих диаграмм. Направления падения определены по соотношению площадей

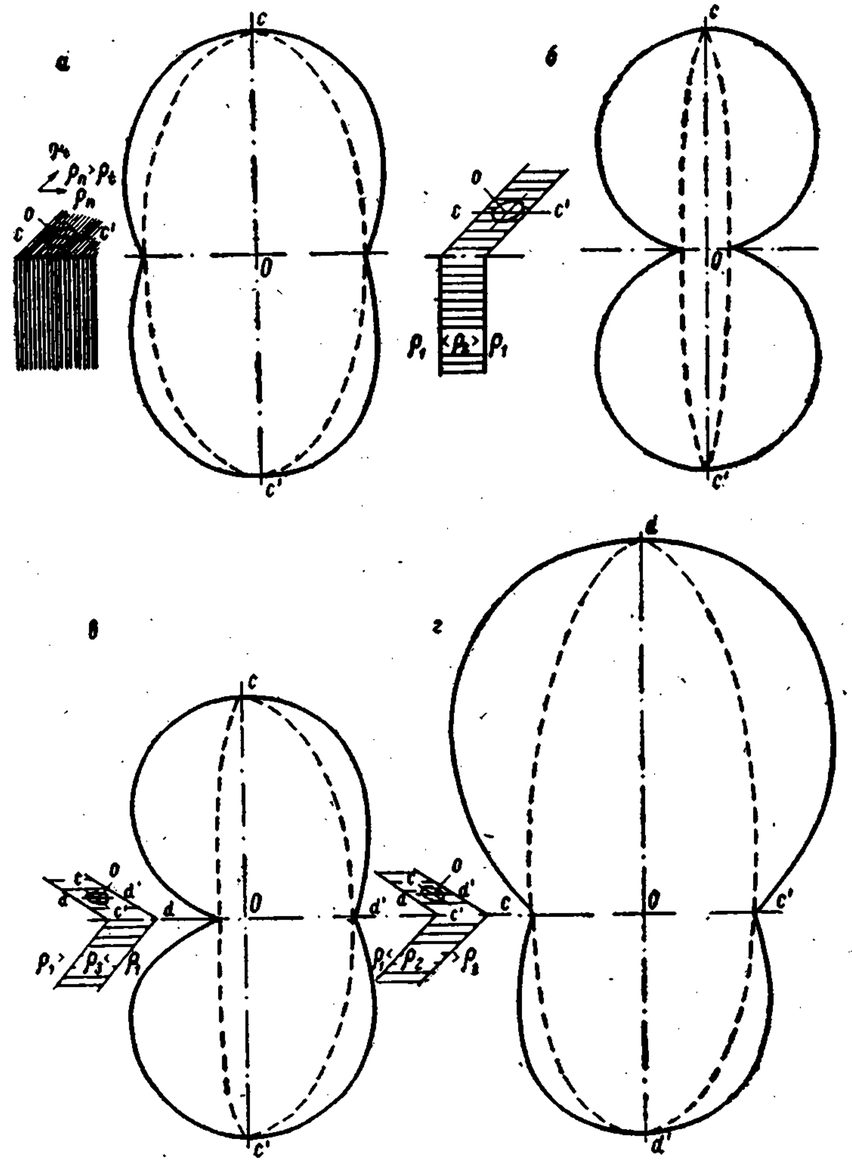


Рис. 43. Круговые диаграммы (сплошные линии) и соответствующие им абсолютные эллипсы (штриховые линии) над анизотропной средой (*а*), вертикальным пластом высокого сопротивления (*б*), наклонными пластами низкого (*в*) и высокого (*г*) сопротивлений.

диаграмм по обе стороны от малой оси. Результаты определения элементов залегания для зоны *Л*: азимут простирания 135°, азимут падения 225°, для *М* соответственно 139° и 49°. Эти результаты хорошо согласуются с данными бурения, по которым азимуты простирания зон соответственно равны 133 и 135°. Для сопоставления с круговыми диаграммами $E_{ср}$ приведены полярные диаграммы $\rho_к$,

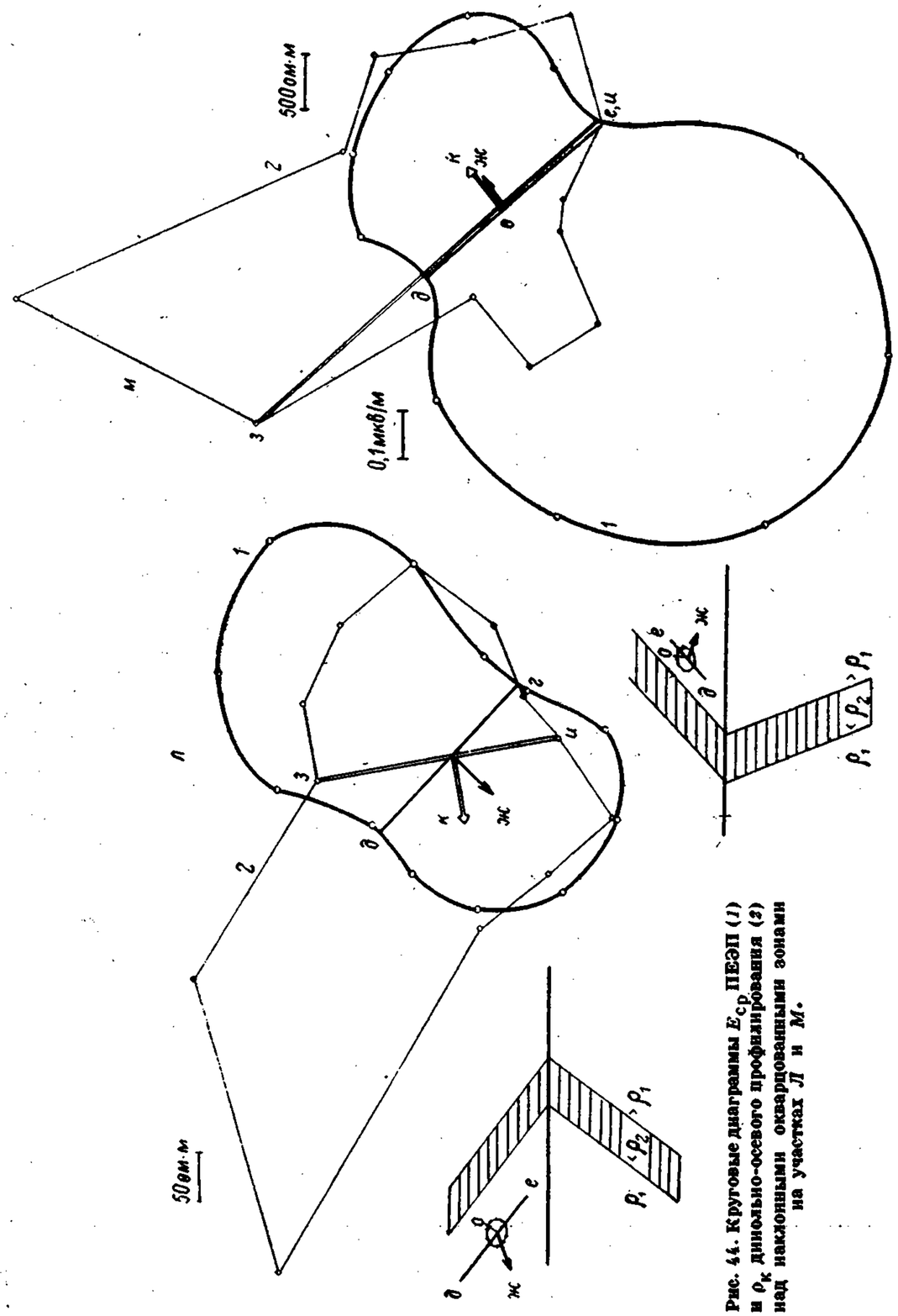


Рис. 44. Круговые диаграммы $E_{ср}$ ПЕЭП (*1*) и $\rho_к$ дипольно-осевого профилирования (*2*) над наклонными оквардированными зонами на участках *Л* и *М*.

полученные при круговых измерениях с дипольно-осевой установкой ($OO' = 200$ м). Из рис. 44 видно, что круговая диаграмма $E_{ср}$ в большей степени, чем диаграмма $\rho_к$, свободна от влияния приповерхностных неоднородностей.

На характере круговых диаграмм сказываются также особенности рельефа изолирующего основания. При пологом залегании изолирующего фундамента, перекрытого слоем однородных и изотропных пород, вид круговых диаграмм и степень их вытянутости зависит от глубины до фундамента h и угла его наклона. Показано [31], что направление больших осей круговых диаграмм при малых h/λ совпадает с падением, а при больших h/λ — с простиранием поверхности фундамента. Например, при угле падения изолирующего основания, равном 1°, смена направлений больших осей круговых диаграмм происходит при $h/\lambda = 0{,}022$, а при угле наклона 3° — при $h/\lambda = 0{,}034$, т. е. при увеличении угла наклона смена направлений больших осей круговых диаграмм происходит при бо́льших глубинах.

При наличии в перекрывающей толще высокоомного субгоризонтального пропластка характер зависимости параметров круговых диаграмм от угла наклона и глубины залегания изолирующего основания усложняется. Если сопротивление этого пропластка невелико (прозрачный экран), то характер поведения круговых диаграмм над разрезом тот же, что и при отсутствии экрана. При большом сопротивлении пропластка (непрозрачный или слабопрозрачный экран) большие оси круговых диаграмм ориентируются по направлению простирания поверхности изолирующего основания. При увеличении угла наклона фундамента направление больших осей диаграмм совпадает с простиранием поверхности фундамента только при большей прозрачности пропластка.

Полевые многоазимутные измерения над известными геологическими разрезами [17] подтверждают результаты теоретических и модельных исследований. Над высокоомными зонами окварцевания (рис. 45) круговые диаграммы имеют вид восьмерок и резко отличаются по размерам и виду от диаграмм над вмещающими породами. Изменение вида и размеров круговых диаграмм, а также направления их главных осей над различными породами хорошо видно из рис. 46. Изометричные диаграммы наблюдаются над изотропными осадочными породами. Над эффузивами диаграммы вытянуты, их большие оси направлены вкрест профиля. По мере приближения к контакту с гранитами размеры осей диаграмм и их отношения возрастают. Круговые диаграммы над гранитами имеют наибольшие размеры осей. Большие оси этих диаграмм направлены под острым углом к профилю.

Таким образом, вид круговых диаграмм средней напряженности переменного естественного электрического поля, их площадь, направление и величина главных осей и другие параметры связаны с особенностями геологического разреза [16]. Используя круговые диаграммы, можно картировать породы, трассировать контакты этих

пород, зоны, дайки и т. п., определять направление их простирания и падения, судить о степени анизотропности пород, об изменении мощности и сопротивления перекрывающих их рыхлых образований и угла наклона поверхности фундамента.

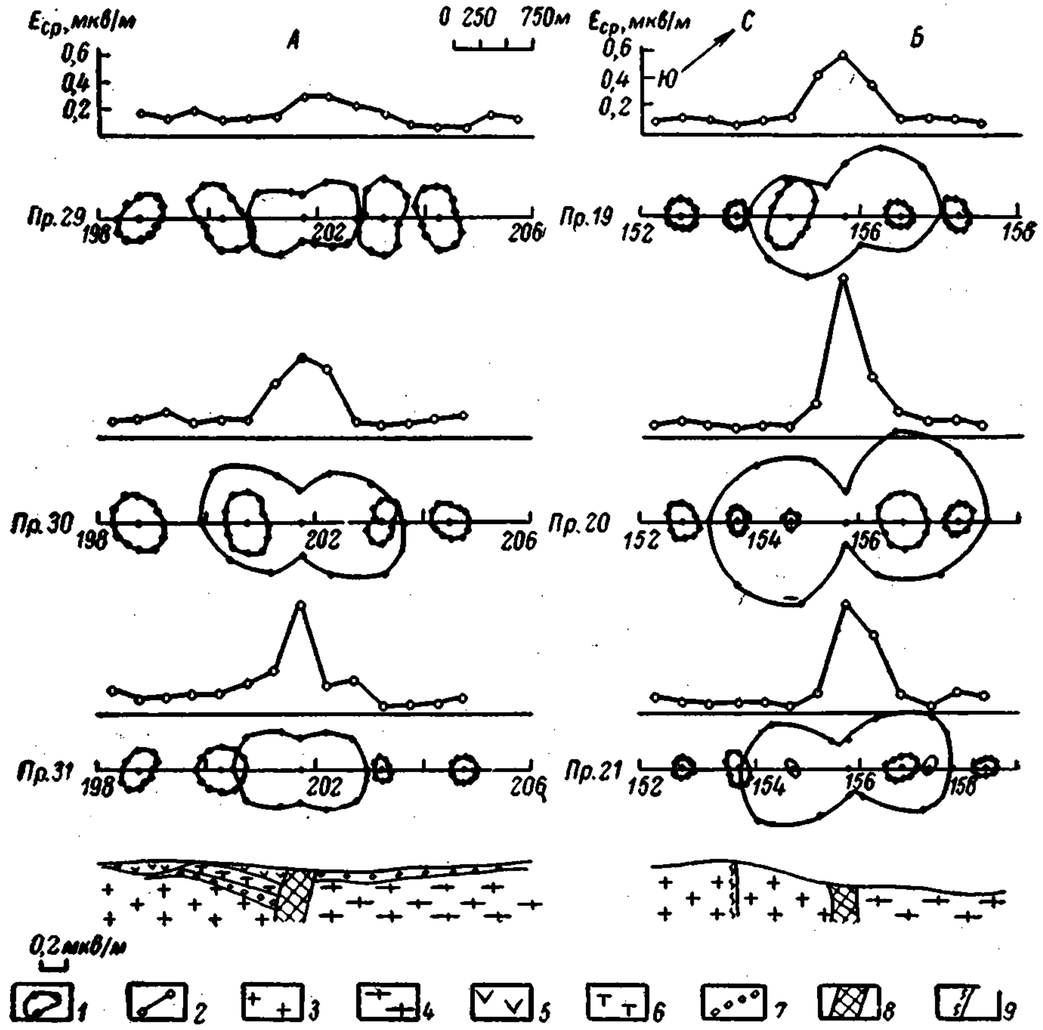


Рис. 45. План круговых диаграмм и графики $E_{ср}$ метода ПЕЭП на участках *А* и *Б* (Забайкалье).
1 — круговые диаграммы; *2* — графики $E_{ср}$; *3* — лейкократовые мелко- и среднезернистые граниты; *4* — крупно-зернистые порфировидные граниты; *5* — трахилипариты и их лавы; *6* — андезитовые порфириты и их лавы; *7* — базальные конгломераты; *8* — окварцованные зоны тектонических нарушений; *9* — зоны каолинизации и лимонитизации.

Использование для интерпретации тех или других параметров круговых диаграмм зависит от решаемой геологической задачи. На опорных профилях, вдоль которых известен геологический разрез, отстраивают все параметры круговых диаграмм и выбирают те из них, которые наиболее четко выделяют объекты поисков или картирования. Например, на рис. 47 зоны тектонических нарушений четко выделяются максимумами отношений осей диаграмм, в то время как

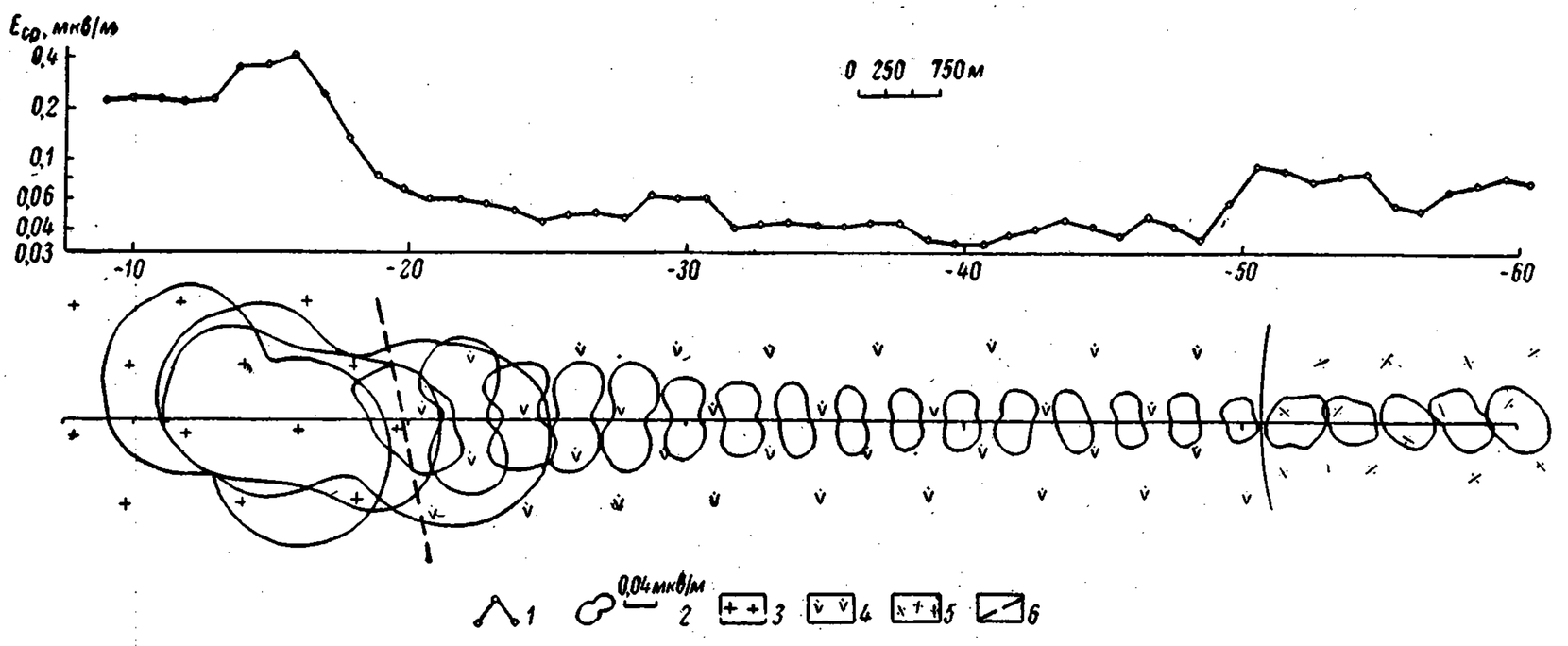


Рис. 46. Графики и круговые диаграммы $E_{ср}$.

1 — графики $E_{ср}$; *2* — круговые диаграммы; *3* — граниты; *4* — андезито-базальты; *5* — осадочные породы; *6* — тектоническое нарушение.

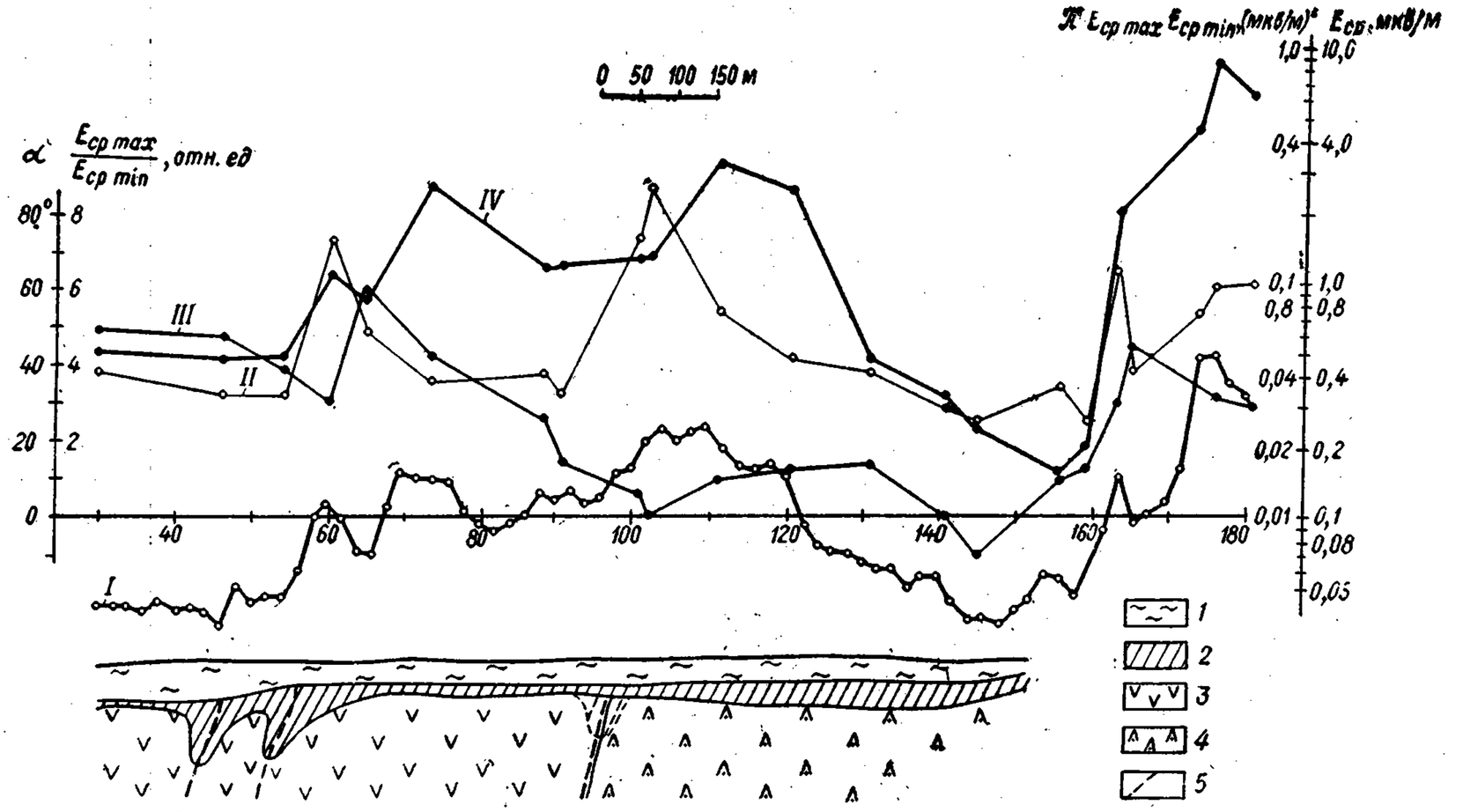


Рис. 47. Графики $E_{ср}$ (*I*), отношение главных осей круговых диаграмм (*II*), углов между главной осью круговых диаграмм и направлением профиля наблюдения (*III*) и площадей абсолютных эллипсов (*IV*).

1 — рыхлые образования; *2* — кора выветривания; *3* — диориты; *4* — кварциты; *5* — тектонические нарушения.

смена пород разреза хорошо фиксируется по изменению угла между большой осью диаграммы и линией наблюдения. Выбранный параметр представляют в виде плана графиков или изолиний. В тех случаях, когда предпочтительные параметры выбрать не удается, на планы профилей выносят круговые диаграммы или их оси. Геологическая характеристика областей со сходными параметрами круговых диаграмм дается с привлечением имеющихся материалов (геологических карт, разрезов и т. д.) или на основе специальных полевых наблюдений.

§ 17
СРАВНЕНИЕ ГРАФИКОВ $E_{ср}$ МЕТОДА ПЕЭП С ГРАФИКАМИ $\rho_к$ МЕТОДОВ ЭЛЕКТРОПРОФИЛИРОВАНИЯ

С целью оценки применимости данных теоретических и экспериментальных исследований по изучению особенностей переменного естественного электрического поля над различными объектами для интер-

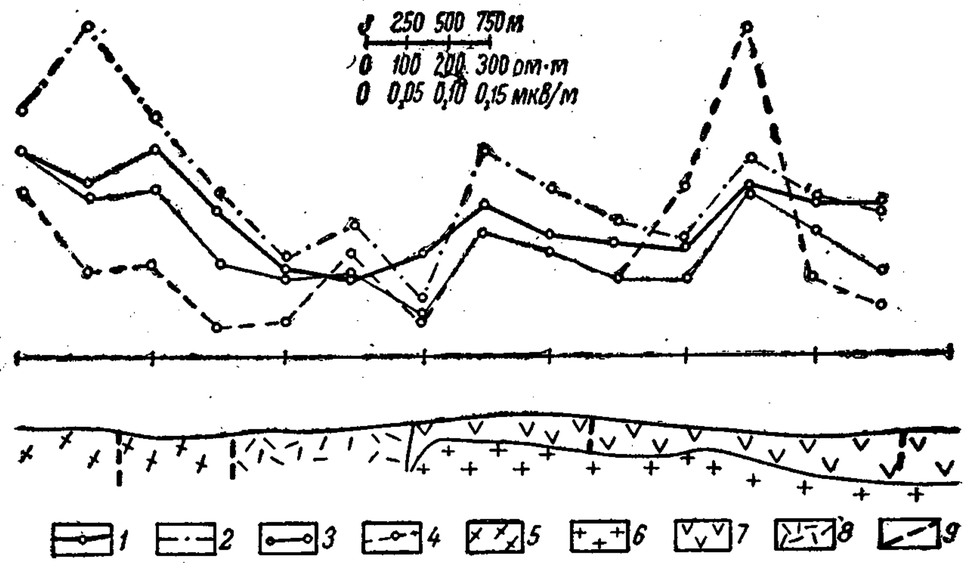


Рис. 48. Графики $\rho_{ср}$ метода ПЕЭП и $\rho_к$ метода симметричного профилирования.
1 — графики $E_{ср}$; графики $\rho_к$ при AB, м: *2* — 4000, *3* — 2000, *4* — 100; *5* — крупнозернистые граниты; *6* — среднезернистые биотитовые граниты; *7* — покровные эффузивы; *8* — жерловые фации эффузивов; *9* — тектонические нарушения.

претации полевых графиков $E_{ср}$ метода ПЕЭП, а также для сравнения возможностей этого метода и известных методов электропрофилирования при расчленении различных геологических разрезов были проведены многочисленные сопоставления.

На рис. 48 приведены графики $\rho_к$ многоразносного симметричного профилирования и $E_{ср}$ метода ПЕЭП. Наиболее хорошее совпадение графиков $E_{ср}$ и $\rho_к$ наблюдается при $AB = 4000$ и 2000 м. Расчет показывает, что при таких разносах коэффициент корреляции между $\rho_к$ и $E_{ср}$ приближается к единице. Пониженными значе-

ниями $E_{ср}$ отмечаются жерловые фации интрузивов и участки увеличения мощности покровных эффузивов. Максимумом $E_{ср}$ фиксируются крупнозернистые граниты.

На рис. 49 сопоставляются графики $\rho_к$ симметричного профилирования ($AB = 800$ м, MN и шаг 50 м) и $E_{ср}$ метода ПЕЭП (MN и шаг 50 м). Графики в общем сходны между собой. Хотя детальное

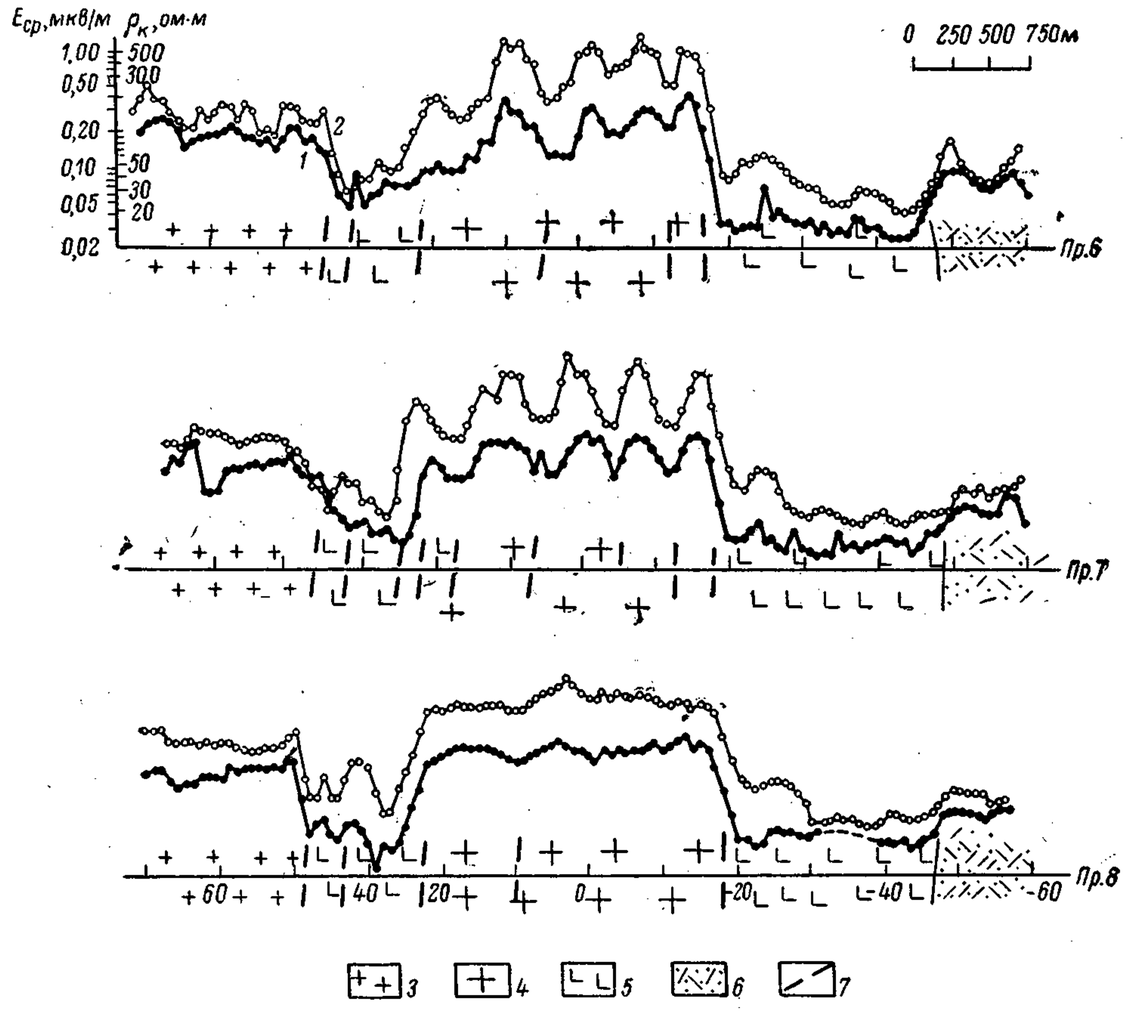


Рис. 49. Графики $E_{ср}$ метода ПЕЭП и $\rho_к$ симметричиого профилирования.
1 — графики $E_{ср}$; *2* — графики $\rho_к$; *3* — мелкозернистые граниты; *4* — крупнозернистые граниты; *5* — андезито-базальты и андезитовые порфириты; *6* — эффузивно-осадочная толща; *7* — тектонические нарушения.

сопоставление графиков $E_{ср}$ и $\rho_к$ показывает, что относительные изменения средней напряженности переменного естественного электрического поля и кажущегося сопротивления симметричного профилирования при переходе с одной породы на другую различны, тем не менее графики $E_{ср}$ так же хорошо, как и графики $\rho_к$, фиксируют особенности геологического разреза. Широким сложным максимумом

$E_{ср}$ и $\rho_к$ в центре профилей фиксируется блок крупнозернистых гранитов. Резкими градиентами $E_{ср}$ и $\rho_к$, особенно в районе ПК—20, отмечается тектонический контакт этих гранитов с андезито-базальтами и андезитовыми порфиритами. Максимум $E_{ср}$ и $\rho_к$ в районе ПК40—ПК60 соответствует участку развития мелкозернистых гранитов. Максимумом $E_{ср}$ и $\rho_к$ меньшей величины в районе ПК—54—ПК—60 отмечается эффузивно-осадочная толща пород.

Еще один пример сопоставления графиков $E_{ср}$ с графиками симметричного профилирования приведен на рис. 50. Наблюдения методом симметричного профилирования выполнены с $AB = 2000$ м. Графики $E_{ср}$ и $\rho_к$ аналогичны друг другу и отражают особенности геологического разреза. Повышенными значениями $E_{ср}$ и $\rho_к$ отмечаются существенно конгломератовая толща и толща переслаивающихся песчаников и алевролитов. Пониженные значения $E_{ср}$ и $\rho_к$ приурочены к полосе контакта этих пород, где развиты преимущественно песчаники. Локальными минимумами фиксируются зоны дробления, имеющие поисковое значение. Следует отметить, что, как и в предыдущем случае, при переходе от одной породы к другой перепады $E_{ср}$ и $\rho_к$ различны.

Таким образом, сравнение показывает, что графики $E_{ср}$ метода ПЕЭП аналогичны графикам $\rho_к$ симметричного профилирования с большими разносами и хорошо расчленяют геологический разрез.

Графики $E_{ср}$ так же хорошо совпадают с графиками $\rho_к$ метода срединного градиента с большими разносами. Представленные на рис. 51 графики $\rho_к$ срединного градиента получены при длине питающей линии 2000 м. Максимумами $E_{ср}$ и $\rho_к$ отмечается тело мелкозернистых гранитов, к которому приурочены зоны окварцевания и тектонические нарушения. Самые низкие значения $E_{ср}$ и $\rho_к$ наблюдаются над андезито-базальтовыми порфиритами. Более высокими значениями $E_{ср}$ и $\rho_к$ отмечаются скрытые под рыхлыми образованиями крупнозернистые граниты. Сравнение перепадов $E_{ср}$ и $\rho_к$ на контакте мелкозернистых гранитов с андезито-базальтовыми порфиритами, показывает, что в данном случае, перепад по $\rho_к$ несколько больше, чем по $E_{ср}$. Это свидетельствует об ограниченной протяженности порфиритов на глубину.

На другом участке сходными особенностями графиков $E_{ср}$ и $\rho_к$ фиксируются толщи кристаллических сланцев и рассланцованных диабазов (максимумом), андезитовых порфиритов и их эксплозивных брекчий (максимумом), песчаников (минимумом) и других пород. Резким градиентом величин $E_{ср}$ и $\rho_к$ отмечается зона тектонических нарушений, приуроченная к контакту кристаллических сланцев и диабазов с эффузивно-осадочной толщей. На этом участке наблюдается разница в перепаде $\rho_к$ срединного градиента и $E_{ср}$ метода ПЕЭП на контакте кристаллических сланцев и андезитовых порфиритов и их эксплозивных брекчий. Отношение значений $E_{ср}$ над этими породами всего в 1,5 раза больше отношения корией квадратных из

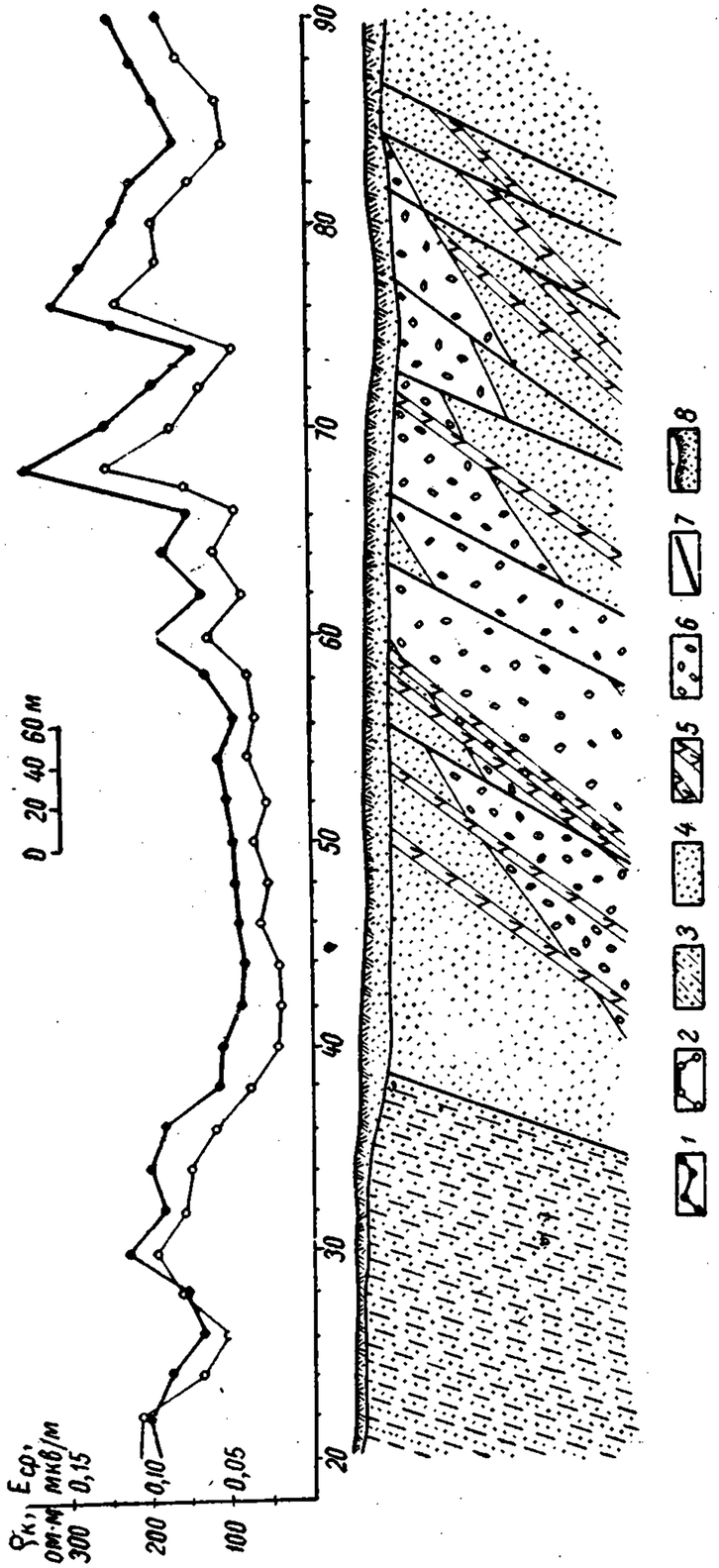


Рис. 50. Графики $E_{ср}$ метода ПЕЭП и $\rho_к$ метода симметричного профилирования.
1 — графики $E_{ср}$; *2* — графики $\rho_к$; *3* — толща переслаивающихся песчаников и алевролитов; *4* — преимущественно песчаная толща; *5* — дайки порфиритов; *6* — конгломератовая толща; *7* — тектонические нарушения; *8* — рыхлые образования.

значений $\rho_к$. Это позволяет предположить, что контактирующие породы имеют большую протяженность на глубину.

Сопоставление показывает, что графики $E_{ср}$ метода ПЕЭП так же хорошо, как и в только что рассмотренных случаях, совпадают с гра-

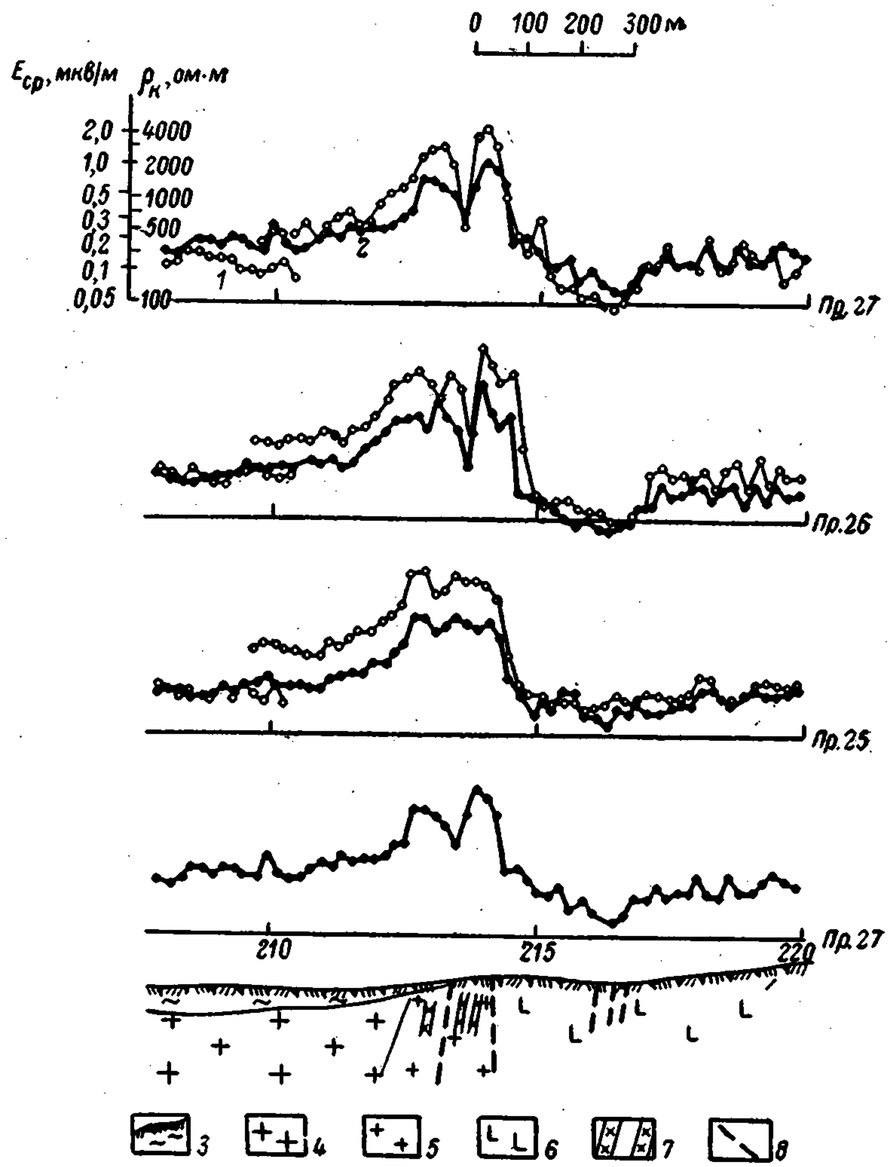


Рис. 51. Графики $\rho_к$ метода срединного градиента и $E_{ср}$ метода ПЕЭП.

1 — графики $\rho_к$ (AB = 2000 м, MN = 20 м, шаг 20 м); *2* — графики $E_{ср}$ (шаг и MN = 20 м); *3* — четвертичные отложения; *4* — крупнозернистые граниты; *5* — мелкозернистые граниты; *6* — андезито-базальтовые порфириты; *7* — зоны окварцевания; *8* — тектонические нарушения.

фиками $\rho_к$ или градиента потенциала метода внешнего градиента — $\Delta U_{вг}$ [52]. Графики $\rho_к$ и $\Delta U_{вг}$ построены по среднеарифметическим значениям этих величин, полученным при размещении питающей линии сначала на продолжении одного, а затем другого

конца профилей съемки. Резким понижением значений $E_{ср}$ и $\rho_к$ отмечается область погружения кристаллического фундамента, перекрытого толщей осадочных и вулканогенных пород. Весьма дифференцированные графики $E_{ср}$ и $\Delta U_{вг}$ получены на участке развития интрузивных образований (рис. 52). Интересной особенностью этих графиков является глубокий локальный минимум, которым с примерно одинаковой четкостью обеими методами фиксируется зона дробленых и гидротермально измененных пород (ПК56—ПК57). Участкам выходов окварцованных и грейзенизированных

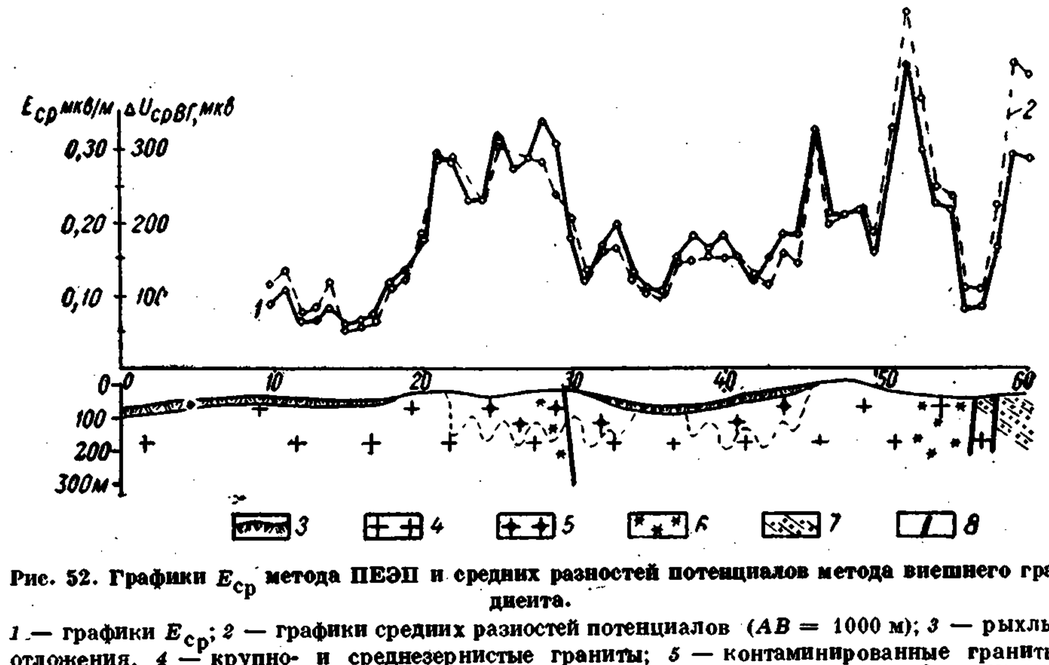


Рис. 52. Графики $E_{ср}$ метода ПЕЭП и средних разностей потенциалов метода внешнего градиента.

1 — графики $E_{ср}$; *2* — графики средних разностей потенциалов (AB = 1000 м); *3* — рыхлые отложения, *4* — крупно- и среднезернистые граниты; *5* — контаминированные граниты, *6* — зоны окварцевания и грейзенизации, *7* — ороговикованные аргиллиты; *8* — тектонические нарушения.

гранитов соответствуют повышенные значения $E_{ср}$ и $\rho_к$. Сходными особенностями графиков фиксируются остальные элементы геологического разреза.

Таким образом, выполненные нами сопоставления свидетельствуют о сходстве графиков $E_{ср}$ метода ПЕЭП и $\rho_к$ или $\Delta U_{вг}$ методов электропрофилирования с большими разносами. Это обстоятельство, а также приведенные выше (§ 15) теоретические и экспериментальные данные о характере графиков $E_{ср}$ над различными геологическими объектами позволяют подходить к интерпретации графиков $E_{ср}$ метода ПЕЭП так же, как и к интерпретации графиков $\rho_к$ симметричного профилирования, срединного и внешнего градиентов. Разработанные для этих методов способы качественной [11] интерпретации применимы к данным метода ПЕЭП. Кроме того, на основе сопоставления данных метода ПЕЭП и электропрофилирования с большими разносами имеется возможность оценивать протяженность геологических объектов на глубину.

§ 18

ВЛИЯНИЕ РЕЛЬЕФА НА РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ МЕТОДОМ ПЕЭП

Вытекающее из теоретических данных и подтвержденное многократными полевыми наблюдениями сходство проявления различных геологических объектов, аппроксимируемых двухмерными моделями,

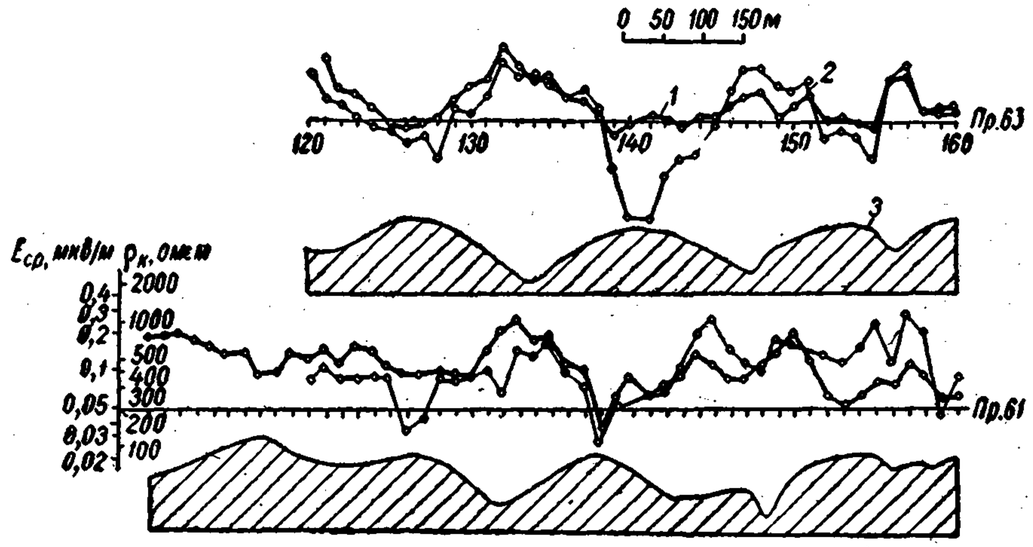


Рис. 53. Графики $E_{ср}$ метода ПЕЭП (*1*) и $\rho_к$ срединного градиента (*2*) на профилях со сложным рельефом дневной поверхности (*3*).

в однородном поле постоянного тока и в электромагнитном поле в пределах интервала S позволяет предположить, что линейно вытянутые формы рельефа поверхности наблюдения будут влиять на данные одноазимутных измерений методом ПЕЭП примерно так же, как на данные методов срединного градиента и симметричного профилирования с большими разносами.

Полевые наблюдения в районах со сложным рельефом местности подтверждают это предположение. На приведенных на рис. 53 графиках $\rho_к$ срединного градиента ($AB = 2000$ м, $MN = 10$ м, шаг 20 м) и метода ПЕЭП ($MN = 20$ м, шаг 20 м), влияние рельефа дневной поверхности проявляются сходным образом. Понижениям рельефа соответствуют максимумы средней напряженности, а повышениям —

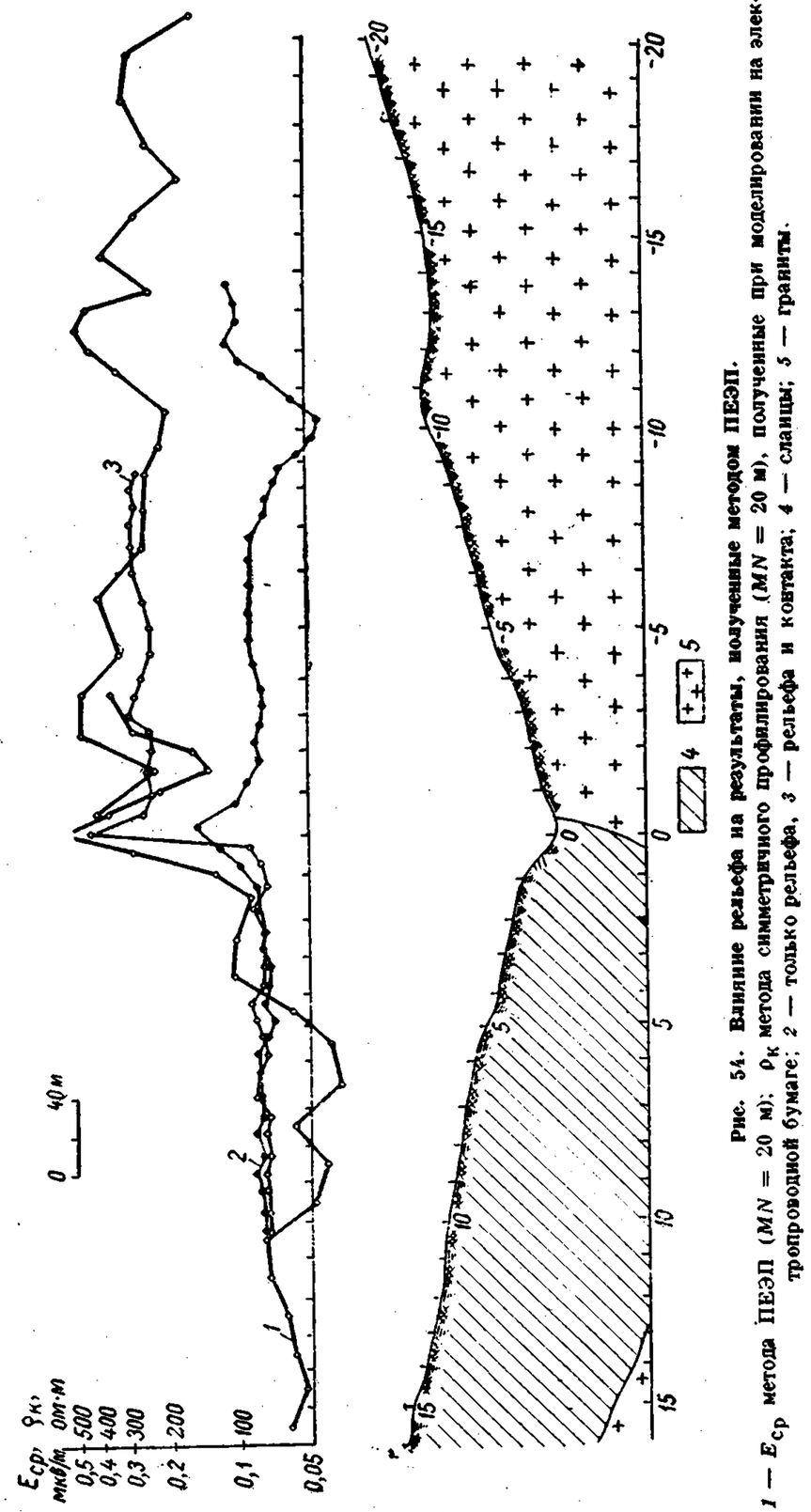


Рис. 54. Влияние рельефа на результаты, полученные методом ПЕЭП.
1 — $E_{ср}$ метода ПЕЭП ($MN = 20$ м); $\rho_к$ метода симметричного профилирования ($MN = 20$ м), полученные при моделировании на электропроводной бумаге; *2* — только рельефа, *3* — рельефа и контакта; *4* — слаицы; *5* — граниты.

минимумы. Некоторые несоответствия графиков между собой и смещение их особенностей относительно экстремальных точек рельефа местности обусловлено неточностями привязки наблюдений и способа составления рельефа профилей (глазомерная съемка). Следует отметить, что съемки методом ПЕЭП и методом срединного градиента выполнялись различными организациями в разные полевые сезоны.

Сходство влияния рельефа местности на данные методов ПЕЭП и срединного градиента подтверждается модельными исследованиями. На одном из участков на профиле со сложным рельефом получен график $E_{ср}$ метода ПЕЭП, главной особенностью которого является максимум, приуроченный к тальвегу долины, где по геологическим данным предполагалась зона тектонических нарушений и гидротермального изменения, представляющая практический интерес (рис. 54). Моделирование выполнялось на электропроводной бумаге с использованием однородного электрического поля. Особенности рельефа местности и геологического строения участка позволяют аппроксимировать их двухмерной моделью.

В результате моделирования показано, что главные особенности графика $E_{ср}$ метода ПЕЭП обусловлены рельефом местности и приуроченным к тальвегу долины контактом пород, различающихся по электрическим свойствам. Некоторое различие в величине максимумов практической и экспериментальной кривых позволяет сделать предположение о сложном характере контакта сланцев и гранитов. Из данных моделирования следует также, что широкий минимум в районе ПК10—ПК5 обусловлен особенностями геологического строения сланцев, а минимум в районе ПК-10 — рельефом местности.

Сходство проявления влияния рельефа дневной поверхности на графиках $E_{ср}$ метода ПЕЭП и графиках $\rho_к$ методов, использующих однородное поле, позволяет применить результаты исследований искажающего влияния рельефа на это поле при анализе данных метода ПЕЭП. Из анализа расчетов однородного поля над различными формами рельефа следует, что плавные повышения или понижения рельефа местности вызывает соответственно уменьшение или увеличение величины напряженности поля. Локальными экстремумами напряженности фиксируются резкие перегибы в рельефе — гребни, тальвеги, ступени и т. д. [54].

§ 19
ОЦЕНКА ГЛУБИННОСТИ МЕТОДА

Приближенно оценить глубинность метода ПЕЭП при решении задач картирования пород, перекрытых слоем рыхлых однородных и изотропных образований, и изучении особенностей рельефа высокоомного фундамента можно, используя двухслойные кривые кажущегося сопротивления ρ_T магнитотеллурического зондирования [6]. При этом следует иметь ввиду, что при H-поляризации напряженность переменного естественного магнитного поля не изменяется или мало изменяется при изменении геоэлектрических параметров разреза.

На рис. 55 приведена номограмма, позволяющая определить, при каких параметрах слоя перекрывающих пород (ρ_1 и h_1) перепадом напряженности поля E_x $|E_x^{(3)}/E_x^{(2)}|$ не менее чем на 30% * может быть зафиксирован контакт в коренных породах при различных отношениях сопротивлений ρ_3/ρ_2 контактирующих пород. Использование номограммы поясним на примере.

Пусть сопротивление ρ_1 и мощность h_1 слоя перекрывающих рыхлых образований равны: $\rho_1 = 100$ ом·м, $h_1 = 90$ м. Тогда длина электромагнитной волны в этом слое λ_1, определенная по формуле λ[м] $= 707\sqrt{\rho\ [ом \cdot м]}$ для частоты вариаций поля 20 гц, равна 7070 м.

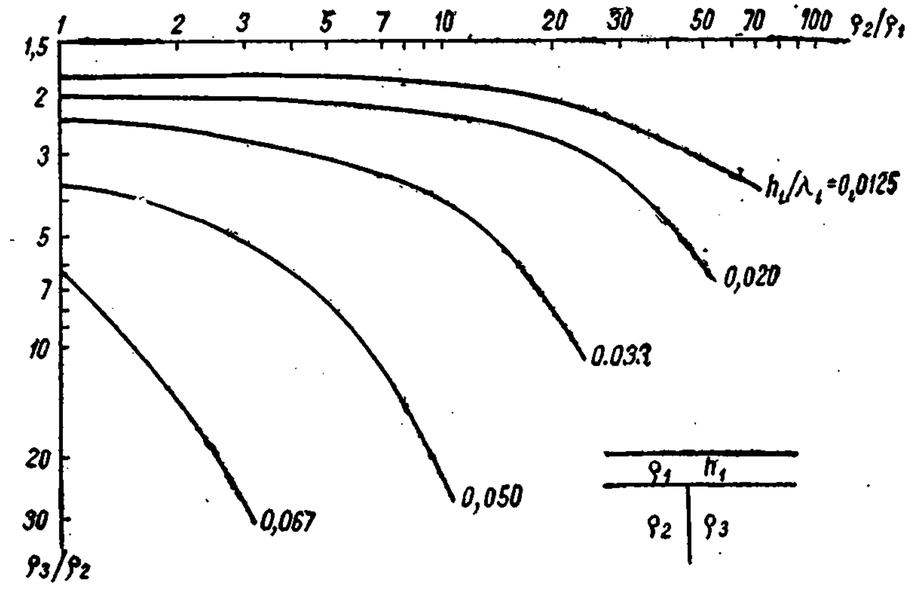


Рис. 55. Номограмма для оценки параметров разреза, при которых над контактом двух сред наблюдается перепад E_x на 30%.

Отсюда $h_1/\lambda_1 = 0{,}0125$. Находим на номограмме кривую с индексом 0,0125 и видим, что при отношениях сопротивлений коренных пород ρ_2 и рыхлых образований ρ_1 от 1 до 15 достаточно перепада на контакте в коренных породах $\rho_3/\rho_2 = 1{,}8 \div 2$, чтобы получить изменение E_x на 30%. При $\rho_2/\rho_1 > 15$ для получения такого же изменения E_x нужен больший перепад ρ_3/ρ_2 (от 2 до 3—3,5). При меньших сопротивлениях перекрывающего слоя для получения того же изменения E_x необходимо, чтобы перепад ρ_3/ρ_2 был больше и существенно возрастал при увеличении ρ_2/ρ_1. Например, при $\rho_1 = 6$ ом·м и $h_1 = 90$ м ($h_1/\lambda_1 = 0{,}050$) для получения $E_x^{(3)}/E_x^{(2)} = 30\%$ необходимо, чтобы при $\rho_2/\rho_1 = 3$ было $\rho_3/\rho_2 = 5$, а при $\rho_2/\rho_1 = 10$ $\rho_3/\rho_2 > 20$.

Таким образом, из номограммы следует, что при уменьшении удельного электрического сопротивления рыхлых образований, а также при увеличении сопротивления коренных пород, скрытых

* 30% — утроенная полевая точность одноазимутных измерений методом ПЕЭП.

под этими образованиями, разрешающая способность метода ПЕЭП ухудшается.

По этой же номограмме, а также по номограммам, приведенным на рис. 56, можно оценить зависимость изменения E_x над контактом

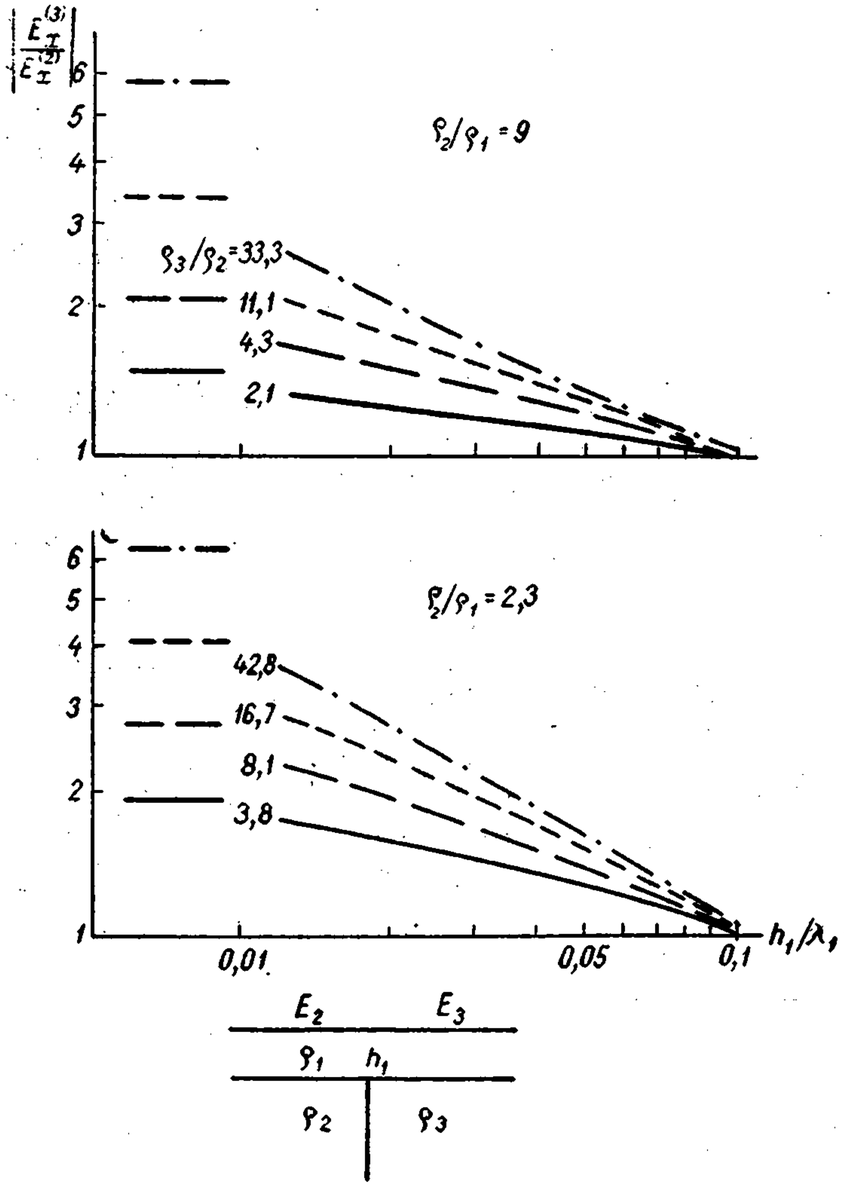


Рис. 56. Номограмма для оценки возможного перепада E_x над контактом двух сред при различных мощностях перекрывающего слоя h_1.

в коренных породах от изменения мощности слоя перекрывающих рыхлых образований. Из номограммы следует, что величина перепада $E_x^{(3)}/E_x^{(2)}$ над контактом в коренных породах резко убывает при возрастании h_1. При увеличении сопротивления коренных пород ρ_2/ρ_1 величина спада $E_x^{(3)}/E_x^{(2)}$ при увеличении h_1 несколько снижается,

но, как уже отмечалось, в этом случае для получения той же самой величины $E_x^{(3)}/E_x^{(2)}$ нужно существенно большее отношение ρ_3/ρ_2.

Например, для случая, когда $h_1 = 90$ м $\rho_1 = 100$ ом·м ($h_1/\lambda_1 = 0{,}0125$), при $\rho_2/\rho_3 = 2{,}3$ и $\rho_3/\rho_2 = 8{,}1$ перепад E_x будет 2,2. При увеличении мощности слоя h_1 до 420 м перепад E_x уменьшается ($E_x^{(3)}/E_x^{(2)} = 1{,}3$), т. е. можно рассчитывать лишь на минимальное изменение E_x, которое может быть надежно зафиксировано. В том случае, когда $\rho_2/\rho_1 = 9$, при прочих одинаковых условиях перепад E_x при $h_1 = 90$ м будет 1,8, а при $h_1 = 420$ м $E_x^{(3)}/E_x^{(2)} = 1{,}2$.

При уменьшении мощности перекрывающего слоя перепад $E_x^{(3)}/E_x^{(2)}$ увеличивается, однако максимальное отношение $E_x^{(3)}/E_x^{(2)}$, как уже указывалось, не будет превышать $\sqrt{\rho_3/\rho_2}$, если вертикальная мощность контактирующих пород бесконечно велика.

Интересно оценить возможное изменение E_x в зависимости от глубины залегания h однородного высокоомного $\rho_{осн}$ фундамента, перекрытого слоем однородных и изотропных рыхлых образований $\rho_н$. Как следует из анализа двухслойных кривых электромагнитного зондирования, перепад напряженности поля ($E_x^{(3)}/E_x^{(1)}$) при изменении глубины залегания фундамента зависит от отношения сопротивления пород фундамента и перекрывающей толщи и глубины залегания фундамента h. Как уже отмечалось, можно выделить область значений h/λ и $\rho_{осн}/\rho_н$, в пределах которой при малых углах наклона фундамента можно считать, что между величинами E_x и h существует линейная зависимость.

Пределы изменения h в этой области, при $\rho_{осн}/\rho_н > 1$ могут быть определены исходя из следующего неравенства [6]:

$$0{,}157\lambda > h > 0{,}112\lambda\sqrt{\frac{\rho_н}{\rho_{осн}}},$$

а соответствующие им значения $E_x^{(II)}/E_x^{(I)}$ показаны на рис. 57. По этому рисунку можно оценить максимально возможное изменение E_x при изменении глубины фундамента в данном интервале. Следует отметить, что если верхняя граница глубин не зависит от $\rho_{осн}$, то нижняя тем меньше, чем больше $\rho_{осн}$.

В других интервалах h отношение $E_x^{(II)}/E_x^{(I)}$ меньше по величине при том же перепаде $h^{(II)}/h^{(I)}$ и меняется в зависимости от h. Так при $0 < h < 0{,}112\lambda\sqrt{\rho_н/\rho_{осн}}$ отношения $E_x^{(II)}/E_x^{(I)}$ при всех конечных $\rho_{осн}/\rho_н$, больших единицы, уменьшаются по мере уменьшения h и при малых h становятся равными единице. Отсюда следует, что при малых h нет пропорциональности между h и E_x и значение E_x мало меняется при изменении h. Исключение представляет зависимость между E_x и h при $\rho_{осн}/\rho_н = \infty$, которая во всем указанном интервале глубин обратно пропорциональна. При $\lambda > h > 0{,}157\lambda$ изменения глубины фундамента вызывают лишь незначительные (не более 16%) изменения E_x. Кроме того, при этих глубинах с увеличением h при любых $\rho_{осн}/\rho_н$ может наблюдаться как увеличение, так и уменьшение значений E_x. Отсюда следует, что в этой области

невозможно по величине E_x^{II}/E^I оценить изменение h. При $h \geqslant \lambda$ отношение $E_x^{(II)}/E_x^{(I)}$ при всех $\rho_{осн}/\rho_н$ и любом перепаде глубин равно единице.

Для приведенного выше примера $\rho_1 = 100$ ом·м, $\rho_{осн} = 900$ ом·м при частоте вариаций поля 20 гц интервал глубин, в пределах которых зависимость между E_x и h обратно пропорциональна, будет

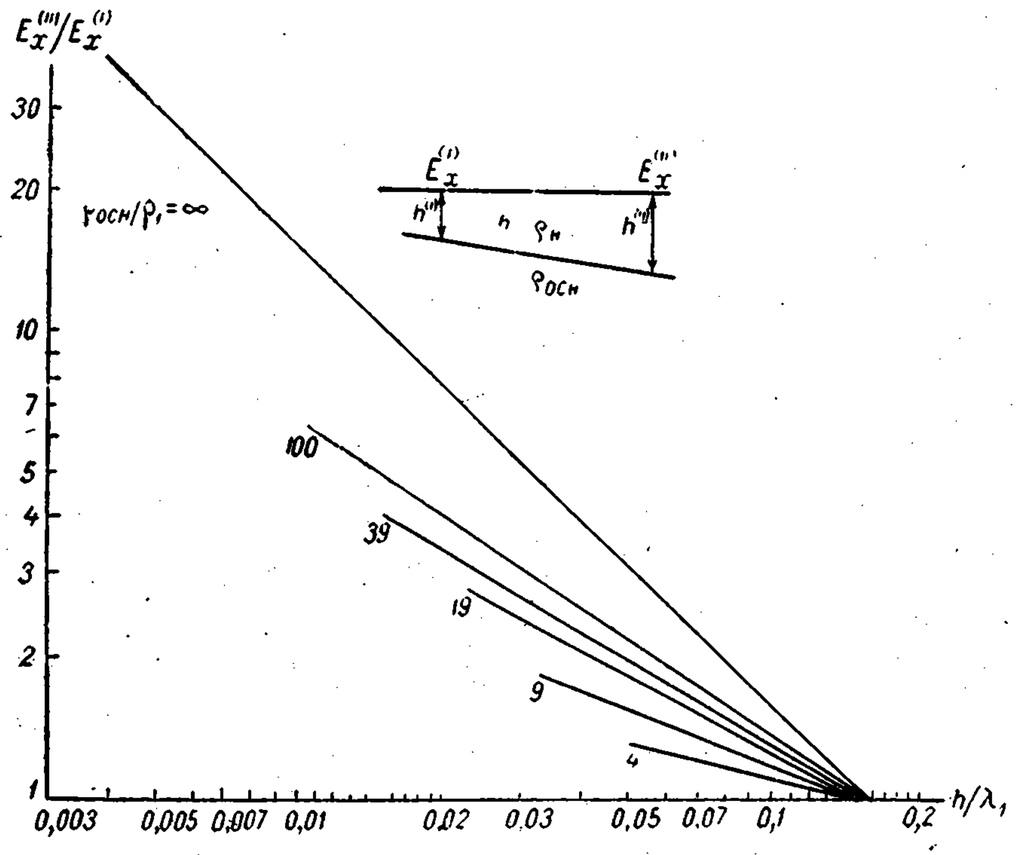


Рис. 57. Номограмма для оценки возможного перепада E_x при изменении глубины залегания высокоомного фундамента в пределах линейной зависимости между h и E_x (интервал S).

от 1170 до 265 м; при сопротивлении пород фундамента 3900 ом·м минимальная глубина, начиная с которой наблюдается пропорциональность E_x и h, будет 130 м. Из номограммы следует (см. рис. 57), что при изменении h от 130 до 1170 м величина E_x меняется в 3,6 раза. При этом E_x будет меняться на 30% при перепаде глубины, например от 130 до 200 м и от 200 до 310 м и т. д. Детальность фиксации изменения глубины фундамента может быть повышена за счет увеличения числа измерений напряженности поля.

Все приведенные выше оценки глубинности метода ПЕЭП приближенны. Кроме того, при оценках не учитывались возможные электромагнитные помехи как искусственного, так и естественного происхождения, а также геологические помехи — неоднородность рыхлых образований и пород фундамента. При наличии помех величина минимальных, надежно фиксируемых изменений $E_{ср}$, связанных с объектами в коренных породах или с особенностями рельефа фундамента, должна быть увеличена. Кроме того, для исключения аномалий $E_{ср}$, обусловленных близповерхностными локальными объектами, можно воспользоваться данными других электроразведочных методов, а также осреднением кривых $E_{ср}$, аналогично тому как это делается при интерпретации грави- и магниторазведочных данных. Осреднение особенно эффективно при изучении плавных форм рельефа фундамента коренных пород.

Глава V

МЕТОД ПЕЭП ПРИ РЕШЕНИИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Приведенные в предыдущих главах данные теоретических и модельных исследований, а также результаты сравнения графиков $E_{ср}$ метода ПЕЭП и $\rho_к$ методов симметричного профилирования и срединного градиента над известными геологическими разрезами показывают, что метод ПЕЭП с успехом может быть применен для решения задач геологического картирования и выделения и прослеживания геологических объектов, представляющих поисковый интерес.

Геологические возможности метода ПЕЭП подтверждают результаты его применения в разных регионах.

§ 20
МЕЛКОМАСШТАБНОЕ КАРТИРОВАНИЕ

При этих работах метод ПЕЭП применялся для выявления и прослеживания крупных рудоконтролирующих структур, картирования бортов депрессий и изучения форм рельефа их фундамента, а также при геокартировочных работах на поисковых участках.

На одном из участков Забайкалья площадью около 250 км^2 перед методом ПЕЭП была поставлена задача прослеживания валообразного поднятия фундамента в поле эффузивов. К этому поднятию приурочена зона развития околожерловых и субинтрузивных фаций вулканических аппаратов центрального типа. Эта зона представляет поисковый интерес. Метод ПЕЭП был поставлен по сети 1000 × × 1000 м с $MN = 250$ м. Результаты наблюдений увязаны и представлены в виде плана графиков $E_{ср}$ (рис. 58). Валообразное поднятие отмечается широким максимумом $E_{ср}$ и прослеживается в северо-восточном направлении. Данные метода ПЕЭП были подтверждены вертикальными электрическими зондированиями и согласуются с материалами мелкомасштабной гравиметровой съемки. Полоса максимумов $E_{ср}$ северо-западного простирания соответствует зоне разломов, проявленной в верхнем структурном ярусе гидротермальной переработкой пород. Повышение значений $E_{ср}$ в юго-восточных частях профилей, по-видимому, связано с развитием высокоомных разностей эффузивов. Сгущение шага наблюдений на этом участке позволило более детально расчленить геологический разрез. При шаге съемки 100 м четкими минимумами средней напряженности

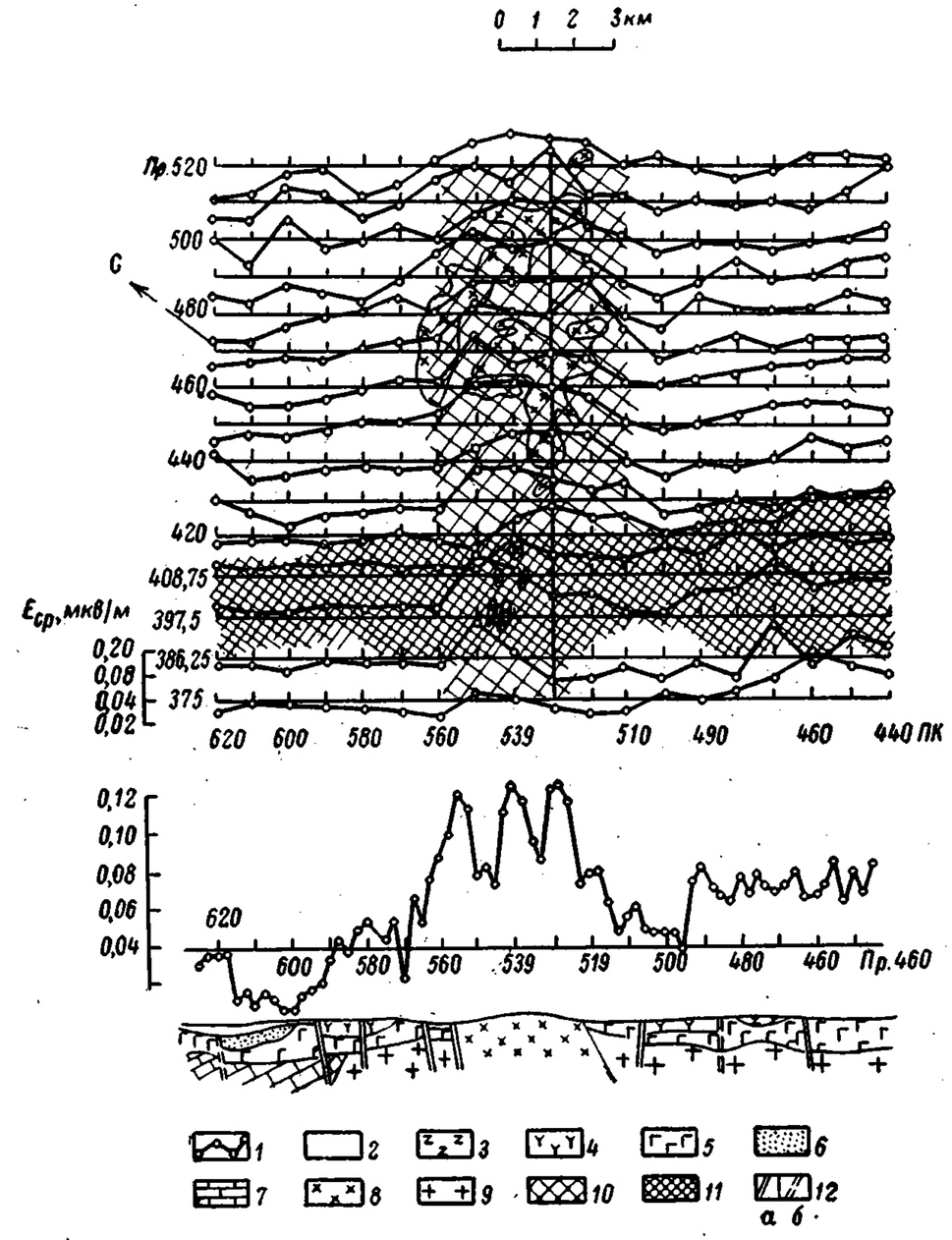


Рис. 58. План графиков средней напряженности метода ПЕЭП и геологический разрез.

1 — E_x; *2* — суглинки; *3* — дациты, липарито-дациты и их туфы; *4* — андезито-дациты, андезиты и их туфы; *5* — андезито-базальты, базальты; *6* — туфопесчаники, туфы, алевролиты, туфоконгломераты; *7* — метаморфизованные доломиты фундамента; *8* — субинтрузии сиенито-диоритов; *9* — гранитоиды фундамента; *10* — поднятие фундамента; *11* — зона гидротермальной переработки; *12* — тектонические нарушения: *а* — достоверные, *б* — предполагаемые.

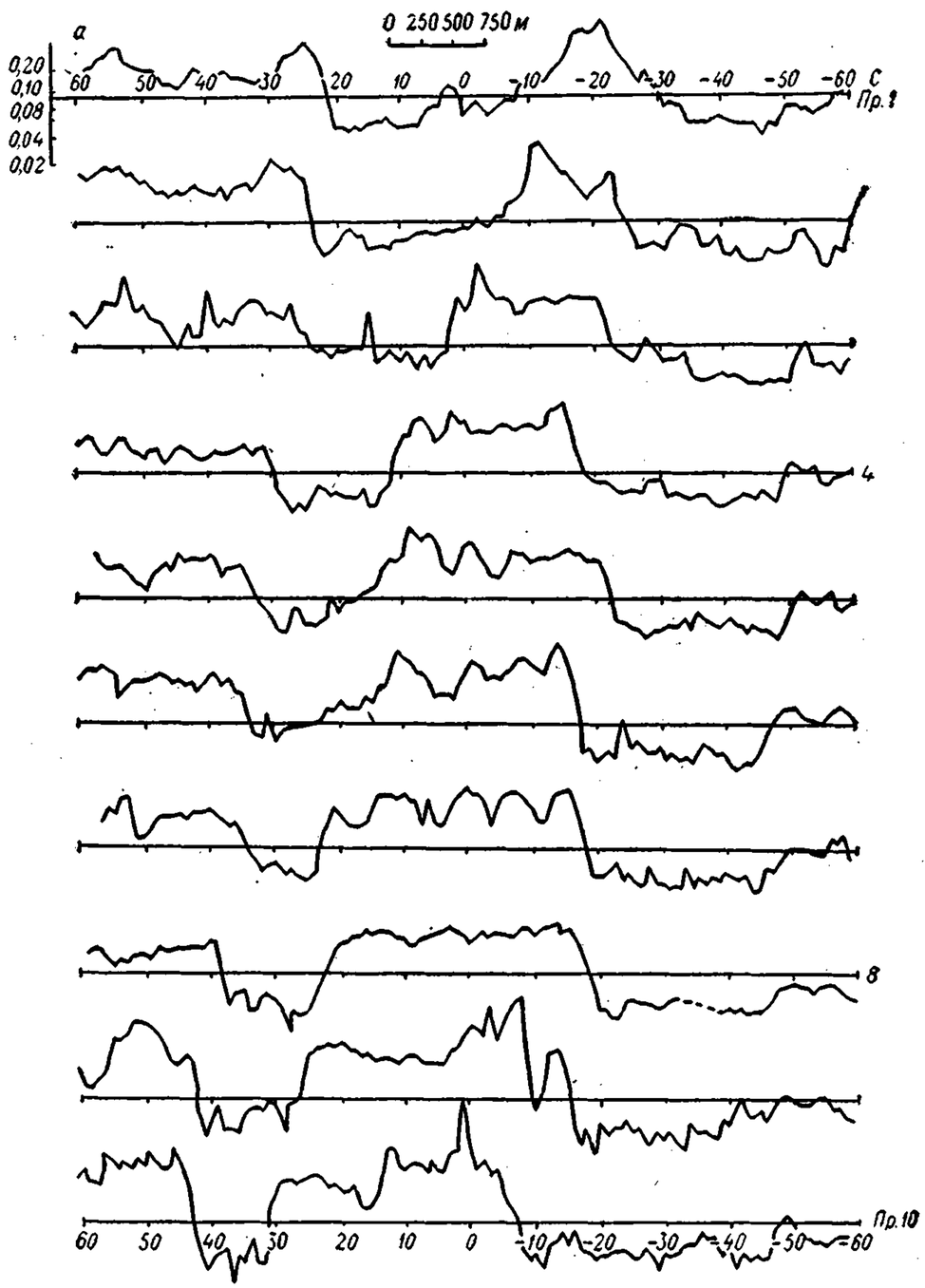


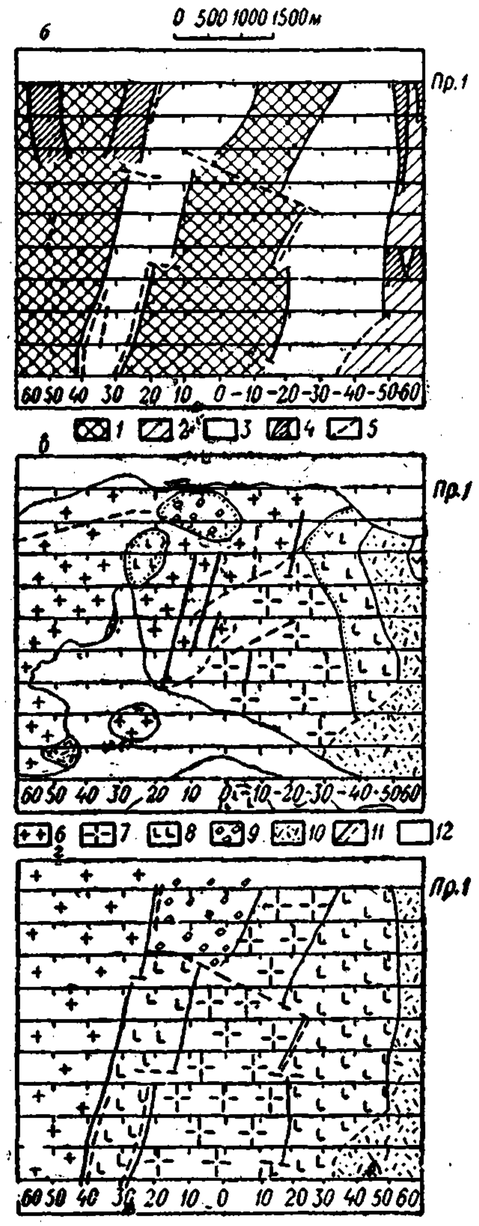
Рис. 59. Результаты работ методом ПЕЭП.

а — план графиков $E_{ср}$; *б* — план зон корреляции; *в* — геологическая карта, составленная по данным ПЕЭП; *г* — геологическая карта, составленная по данным метода ПЕЭП.

Области значений $E_{ср}$: *1* — высоких; *2* — повышенных; *3* — низких; *4* — зоны максимумов $E_{ср}$; *5* — линии нарушения корреляции графиков $E_{ср}$ и оси минимумов $E_{ср}$, предположительно соответствующие зонам тектонических нарушений; *6* — мелкозернистые граниты; *7* — крупнозернистые граниты; *8* — андезито-базальты; *9* — гравелиты; песчаники, аргиллиты; *10* — туфоалевролиты, *11* — тектонические нарушения; *12* — четвертичные отложения.

поля были отмечены участки развития и увеличения мощности туфогенных образований.

Таким образом, данные метода ПЕЭП позволили решить поставленную задачу, а также уточнить геологическое строение участка съемки.



На другом участке приблизительно такой же площади метод ПЕЭП был поставлен для оконтуривания бортов депрессии, выполненной эффузивно-осадочными образованиями. Работы проведены без предварительной разбивки сети по отдельным маршрутам. Шаг наблюдения и величина приемной линии были равны 250 м. По данным метода ПЕЭП выделены борта депрессии и области гранитного фундамента с различной глубиной залегания. Установлено поднятие фундамента, пересекающее депрессию. Результаты работ согласуются с данными гравиразведки, ВЭЗ и картировочного бурения.

Интересен опыт использования метода ПЕЭП при геологическом картировании масштаба 1 : 50000. Метод ПЕЭП ставился вместо используемого ранее для этих целей симметричного профилирования с разносами $AB = 800$ см. Один из участков, где проводились работы методом ПЕЭП, приурочен к контакту интрузивных пород с вулканогенно-осадочной толщей. На участке широко развиты рыхлые делювиальные и аллювиально-делювиальные образования, мощностью до 50 м. Съемка методом ПЕЭП выполнялась по предварительно разбитой сети профилей, проходящих через 500 м. Величина приемной линии и шаг съемки 50 м. Построенный в результате обработки полевых наблюдений план графиков $E_{ср}$ использован для составления схемы зон корреляции (рис. 59).

На этой схеме выделены области развития пород, над которыми наблюдались различные величины $E_{ср}$, узкие полосы минимумов или максимумов $E_{ср}$ и линии нарушения

корреляции особенностей графиков $E_{ср}$. Сопоставление схемы зон корреляции с исходной геологической картой участка показывает, что повышенными и высокими значениями $E_{ср}$ отмечаются участки развития мелко- и крупнозернистых гранитов, низкими — участки развития гравелитов и андезито-базальтов. Над вулканогенно-осадочной толщей незначительно повышается средняя напряженность поля. Резким градиентом $E_{ср}$ фиксируется контакт гранитов с гравелитами и андезито-базальтами. Данные метода ПЕЭП позволяют существенно уточнить положение контактов этих пород, проследить их над толщей рыхлых образований и выделить новые элементы геологического строения.

На других участках метод ПЕЭП с успехом применен для картирования зон дробления и гидротермального изменения, представляющих поисковый интерес.

Опыт работ показывает, что метод ПЕЭП может успешно решать задачи геологического картирования, а также выявления и прослеживания структур, интересных в поисковом отношении, при съемках масштаба 1 : 100 000—1 : 50 000. Таким образом, этот метод открывает возможности широкого применения электропрофилирования при мелкомасштабных съемках в рудных районах. В настоящее время применение наземной электроразведки при съемках этих масштабов крайне ограниченно ввиду высокой стоимости работ. Большой интерес представляет использование метода ПЕЭП при выполнении рекогносцировочных геологических маршрутов, особенно в труднодоступной местности.

§ 21
КРУПНОМАСШТАБНОЕ КАРТИРОВАНИЕ

Работы методом ПЕЭП в крупных масштабах выполнены на многих участках в различных регионах. Они проведены на поисковых площадях и на участках аномалий для уточнения их геологического строения.

Один из участков в Казахстане, где ставились работы методом ПЕЭП, закрыт рыхлыми образованиями большой мощности. Геологическое картирование и поиски на нем производились с помощью бурения в комплексе с электроразведкой методом симметричного электропрофилирования ($AB = 2000$ м). Наблюдения методом ПЕЭП были выполнены по сети 100 × 20 м с MN и шагом, равными 20 м. Результаты съемки представлены в виде плана графиков $E_{ср}$ (рис. 60). На этом плане выделено четыре крупные области и большое количество узких зон максимумов и минимумов, а также отмечены нарушения корреляции и резкий градиент напряженности поля в районе ПК30—ПК35, интерпретируемые как предполагаемые зоны тектонических нарушений.

Область повышенных значений $E_{ср}$ в районе ПК0—ПК27 соответствует площади развития песчаников и алевролитов. Вторая более обширная область таких же значений $E_{ср}$ обусловлена участком преимущественного распространения конгломератов.

В области пониженных значений $E_{ср}$ развиты главным образом песчаные породы. Полоса этих пород в районе ПК35—ПК55 примыкает к осадочной толще пород, по контакту с которыми проходит крупное тектоническое нарушение, сопровождаемое гидротермальным изменением пород и являющееся рудоконтролирующей структурой в районе работ. Узкие зоны максимумов и минимумов попадают

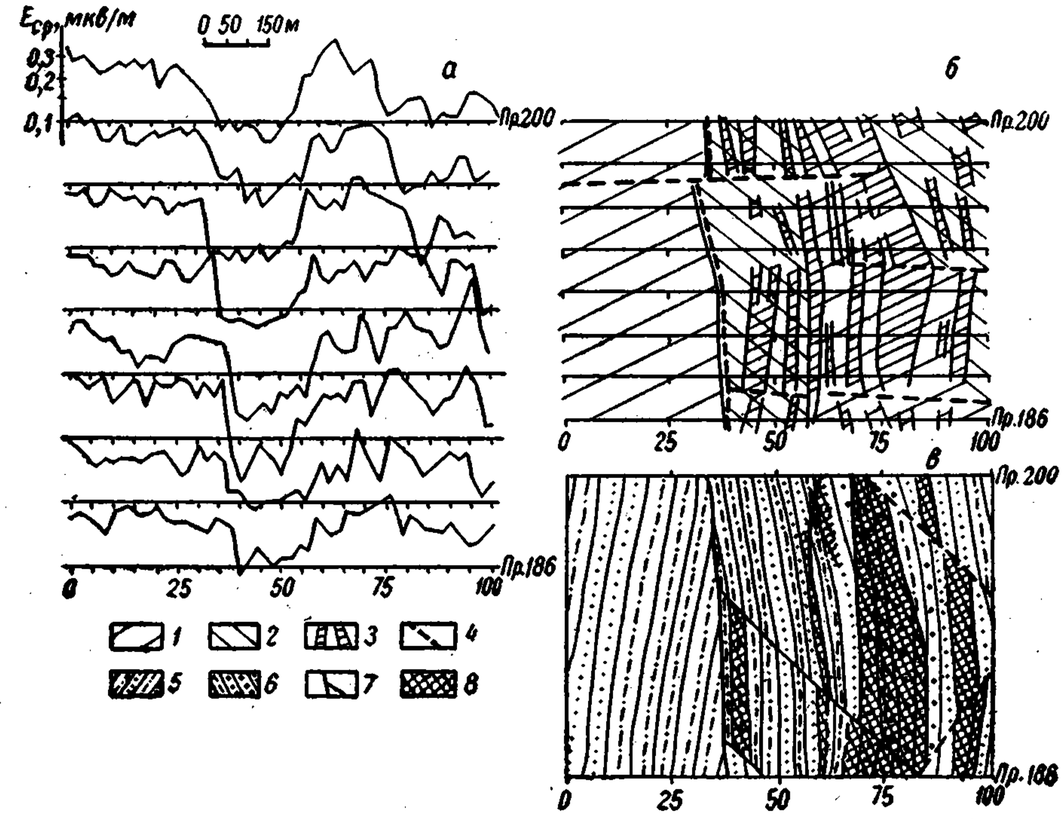


Рис. 60. Результаты работ методом ПЕЭП.
а — графики $E_{ср}$ метода ПЕЭП; *б* — плани зон корреляции; *в* — схема геологического строения участка.
1 — области повышенных значений $E_{ср}$; *2* — области пониженных значений $E_{ср}$; *3* — зоны максимумов $E_{ср}$; *4* — предполагаемые тектонические нарушения; *5* — толща переслаивающихся песчаников и алевролитов; *6* — толща переслаивающихся песчаников, алевролитов, конгломератов; *7* — тектонические нарушения по геологическим данным; *8* — зоны гидротермального изменения.

на площадь развития более молодых осадочных пород и соответствуют, вероятно, отдельным пропласткам этих пород.

Таким образом, данные метода ПЕЭП позволили выделить и проследить рудоконтролирующую структуру и уточнить геологическое строение участка.

На одном из участков Забайкалья, почти полностью закрытом рыхлыми образованиями, метод ПЕЭП ставился в помощь крупномасштабному геологическому картированию, выполнение которого было сопряжено с проходкой большого количества шурфов. Участок сложен интрузивными и эффузивно-осадочными породами. Съемка

проведена по сети 100 × 20 м с MN = 20 м. Результаты съемки представлены в виде плана профилей, совмещенного со схемой геологического строения. Повышенными значениями $E_{ср}$ в средней части участка съемки отмечается область развития гранит-порфиров, обрамленная эффузивами. Резким градиентом средней напряженности фиксируется тектоническое нарушение в гранит-порфирах. Полосе максимумов $E_{ср}$ соответствует зона окварцевания с баритфлюоритовыми жилами. Над окружающими гранит-порфиры эффузивными породами получены коррелирующиеся особенности графиков $E_{ср}$, которые свидетельствуют о сложности геологического строения этих пород. Данные метода ПЕЭП были использованы при завершении геологокартировочных работ.

Пример применения метода ПЕЭП в комплексе с геологическими наблюдениями для уточнения строения небольшого участка в Забайкалье, аномального по геохимическим данным, представлен на рис. 61. На этом участке наблюдения методом ПЕЭП выполнены по сети 100 × 50 м. Величина MN и шаг наблюдений были равными 50 м.

Результаты съемки представлены в виде плана графиков $E_{ср}$, на котором проведены зоны корреляции, соответствующие участкам с различными величинами средней напряженности поля, а также выделены оси минимумов $E_{ср}$. Полосы минимумов обусловлены зонами дробления, аргиллитизации и гематитизации. Полоса максимумов в районе ПК72—ПК73 соответствует делювиально-элювиальным крупногалечным отложениям, которые приурочены к центральной части долины. Данные метода ПЕЭП совместно с геологическими наблюдениями и результатами картировочного бурения использованы при составлении схемы геологического строения участка.

При выполнении геокартировочных работ на участке развития вулканогенных пород методом ПЕЭП по высоким значениям $E_{ср}$ оказалось возможным выделить тонко-флюидальные фельзиты и андезитовые порфириты, а по низким значениям $E_{ср}$ — флюидальные трахнфельзит-порфиры, фельзито-дацитовые порфиры и литокластические туфы фельзитов.

Работы на профилях, пересекающих известные медноколчеданные рудные тела высокой проводимости, показали, что эти тела на графиках метода ПЕЭП фиксируются минимумами $E_{ср}$. При выделении таких тел метод ПЕЭП выступает как обычный геокартировочный метод (рис. 62) и не имеет преимуществ перед методами вызваниой поляризации, переходных процессов, заряда и другими, специально предназначенными для выявления рудных объектов.

Большой интерес представляет совместное использование данных метода ПЕЭП и малоразносного электропрофилирования с симметричной установкой. Комплексирование этих методов позволяет, иапример, судить о протяженности на глубину субгоризонтальных геологических объектов повышенного сопротивления. Над мало протяженными на глубину геологическими телами аномалии $E_{ср}$ меньше аномалий $\rho_к$ малоразносной установки симметричного профилирования (например, над телом трахидацитов, рис. 63), а протяженные иа

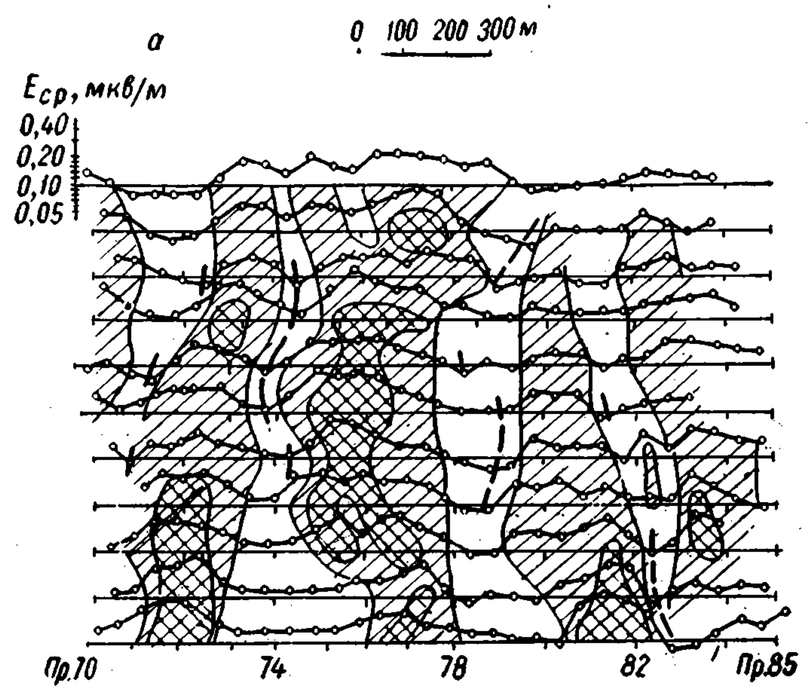


Рис. 61. Результаты работ методом ПЕЭП.
а — план графиков $E_{ср}$, *б* — схема геологического строения, построенная с учетом данных метода ПЕЭП.
Зоны величин $E_{ср}$: *1* — низких, *2* — повышенных, *3* — высоких; *4* — оси минимумов $E_{ср}$; *5* — рыхлые отложения; *6* — туфобрекчии фельзитов; *7* — фельзиты; *8* — зоны дробления, аргиллитизации и гематитизации.

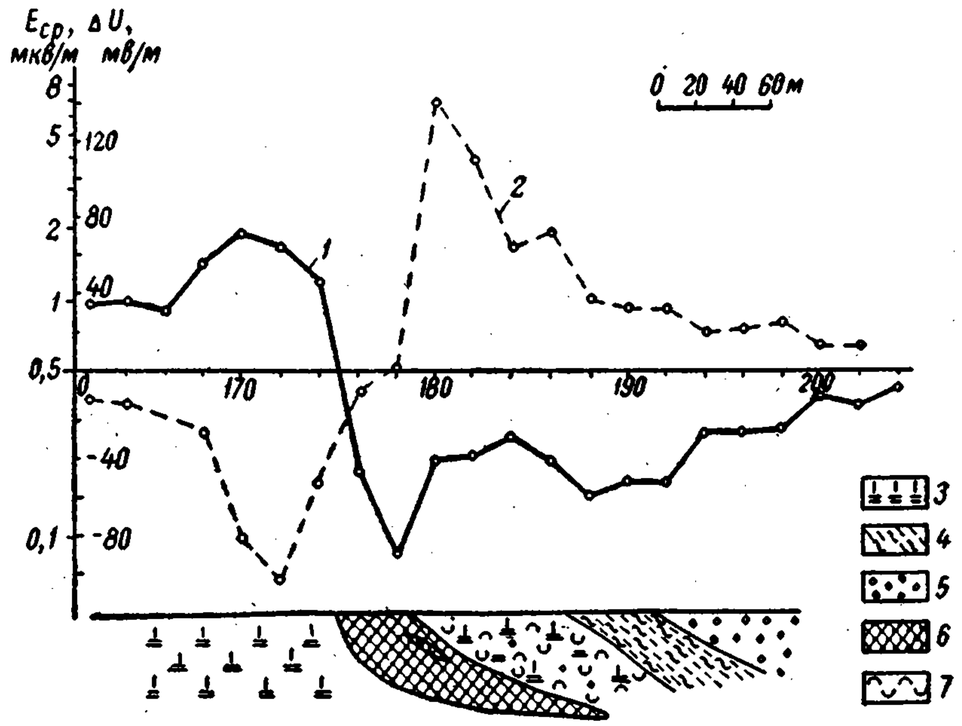


Рис. 62. Графики $E_{ср}$ метода ПЕЭП (*1*) и ΔU метода заряда (*2*) над телом сплошных медноколчеданных руд.

3 — туфы кварцевых порфиров; *4* — филлиты; *5* — конгломераты; *6* — массивная медноколчеданная руда; *7* — серицитизация.

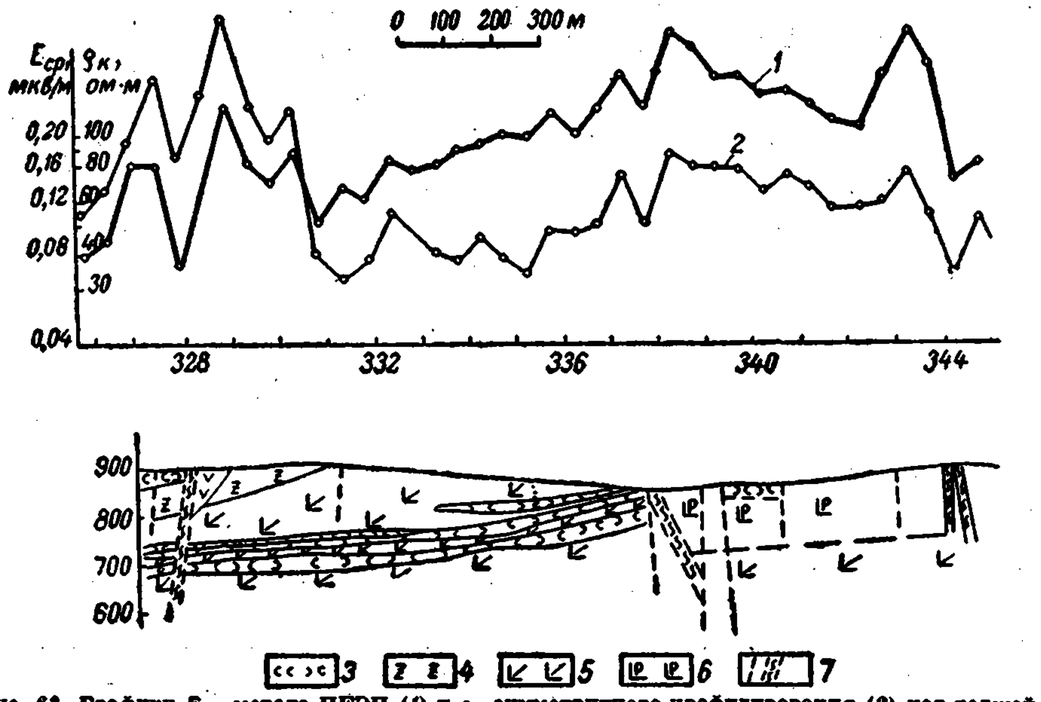


Рис. 63. Графики $E_{ср}$ метода ПЕЭП (*1*) и $\rho_к$ симметричного профилирования (*2*) над толщей эффузивных пород (AB = 200 м).

3 — туфы андезитов, *4* — трахидациты; *5* — андезиты миндалекаменные; *6* — андезиты порфировидные; *7* — зоны дробления и милонитизации.

глубину объекты отмечаются примерно одинаково (например, зоны дробления и милонитизации). В то же время хорошая корреляция $E_{ср}$ метода ПЕЭП и $\rho_к$ симметричного профилирования с большеразносной установкой позволяет использовать данные метода ПЕЭП для внесения поправок в кривые вертикальных электрических зондирований, поставленных в условиях сред, неоднородных по электрическому сопротивлению в горизонтальном направлении.

Таким образом, приведенные примеры свидетельствуют о возможности использования метода ПЕЭП при решении геокартировочных задач в крупных масштабах. Наибольшие объемы работ при решении таких задач выполняются методами срединного градиента на переменном токе и симметричного профилирования. Для проведения работ этими методами требуется полевая бригада, состоящая из трех-шести человек, большое количество проводов, шпилек, генераторы, источники электрического тока (батареи, аккумуляторы или малогабаритные электростанции) и т. д. Выполнение таких работ под силу только крупным геофизическим или геологическим партиям. В то же время метод ПЕЭП, обеспечивая большую глубинность исследования, вследствие своей простоты и легкости установки, доступен для постановки силами небольшого геологического отряда. Кроме того, крупномасштабные работы методом ПЕЭП выгодно ставить на небольших разрозненных поисковых участках, особенно в труднодоступных горно-таежных районах.

§ 22

МНОГОАЗИМУТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Многоазимутные измерения методом ПЕЭП использовались при решении геокартировочных задач на ряде участков в Забайкалье, в Казахстане и на Кавказе.

На Кавказе в условиях труднопроходимой местности многоазимутные измерения методом ПЕЭП ставились для трассирования проводящей зоны тектонических нарушений в эффузивах, приуроченной к контакту хлорит-серицитовых сланцев и осадочной толщи, представленной песчаниками, аргиллитами и конгломератами (рис. 64). Многоазимутные измерения показали, что эта зона фиксируется круговой диаграммой в виде восьмерки, вытянутой вдоль зоны, и позволили проследить зону под толщей аллювиально-делювиальных образований. Данные многоазимутных измерений были использованы при корреляции графиков $E_{ср}$ метода ПЕЭП.

Многоазимутные измерения для картирования и выявления зон дробления и гидротермального изменения выполнены на одном из поисковых участков в Казахстане. Участок работ почти полностью закрыт рыхлыми образованиями большой мощности. Разрез (см. рис. 47) по Пр. 2 составлен по редкой сети скважин и не отражает всей сложности геологического строения участка. Многоазимутные и одноазимутные измерения методом ПЕЭП проведены на четырех профилях, находящихся на расстоянии 100 м друг от друга.

Результаты измерений представлены в виде графиков $E_{ср}^{\wedge}$ и отношения главных осей круговых диаграмм, а также плаиового изображения главных осей этих диаграмм.

Экстремальными значениями отношений главных осей диаграмм фиксируются зоны тектонических нарушений и гидротермального изменения. По резким изменениям азимута большой оси диаграммы картируется контакт кварцитов с диабазовыми порфиритами и пор-

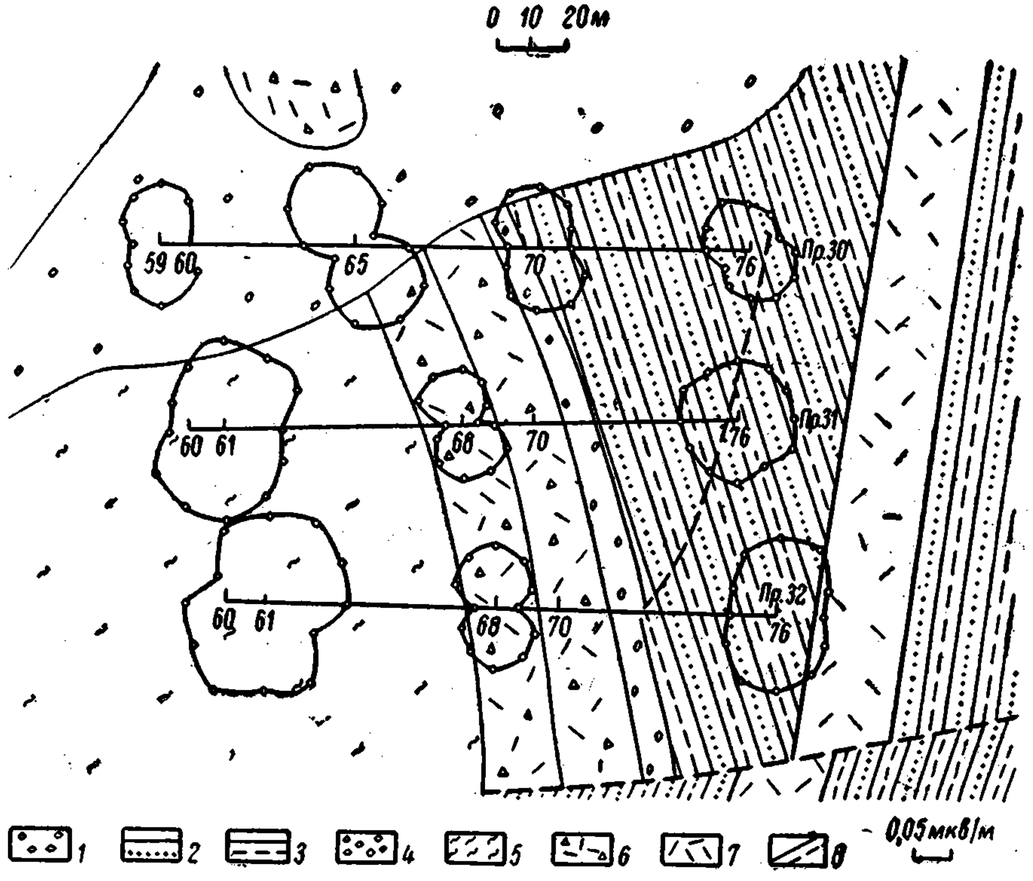


Рис. 64. Круговые диаграммы $E_{ср}$.

1 — аллювиально-делювиальные отложения; *2* — песчаники; *3* — аргиллиты; *4* — алевролиты; *5* — хлорит-серицитовые слаицы; *6* — лавобрекчии и туфобрекчии кислого состава; *7* — дайки фельзитов; *8* — тектонические нарушения.

фиритов с яшмокварцитами. В тоже время зоны тектонических нарушений, и особенно контакт кварцитов с диабазовыми порфиритами, на графиках $E_{ср}$ одноазимутных измерений отмечаются нечетко. На этих графиках вся область контакта фиксируется широкой полосой повышенных значений. Таким образом, результаты работ на этом участке показывают, что многоазимутные измерения позволяют с большей однозначностью и детальностью, чем одноазимутные, расчленять геологический разрез.

О преимуществах многоазимутных измерений перед одноазимутными методом ПЕЭП свидетельствуют также результаты работ на

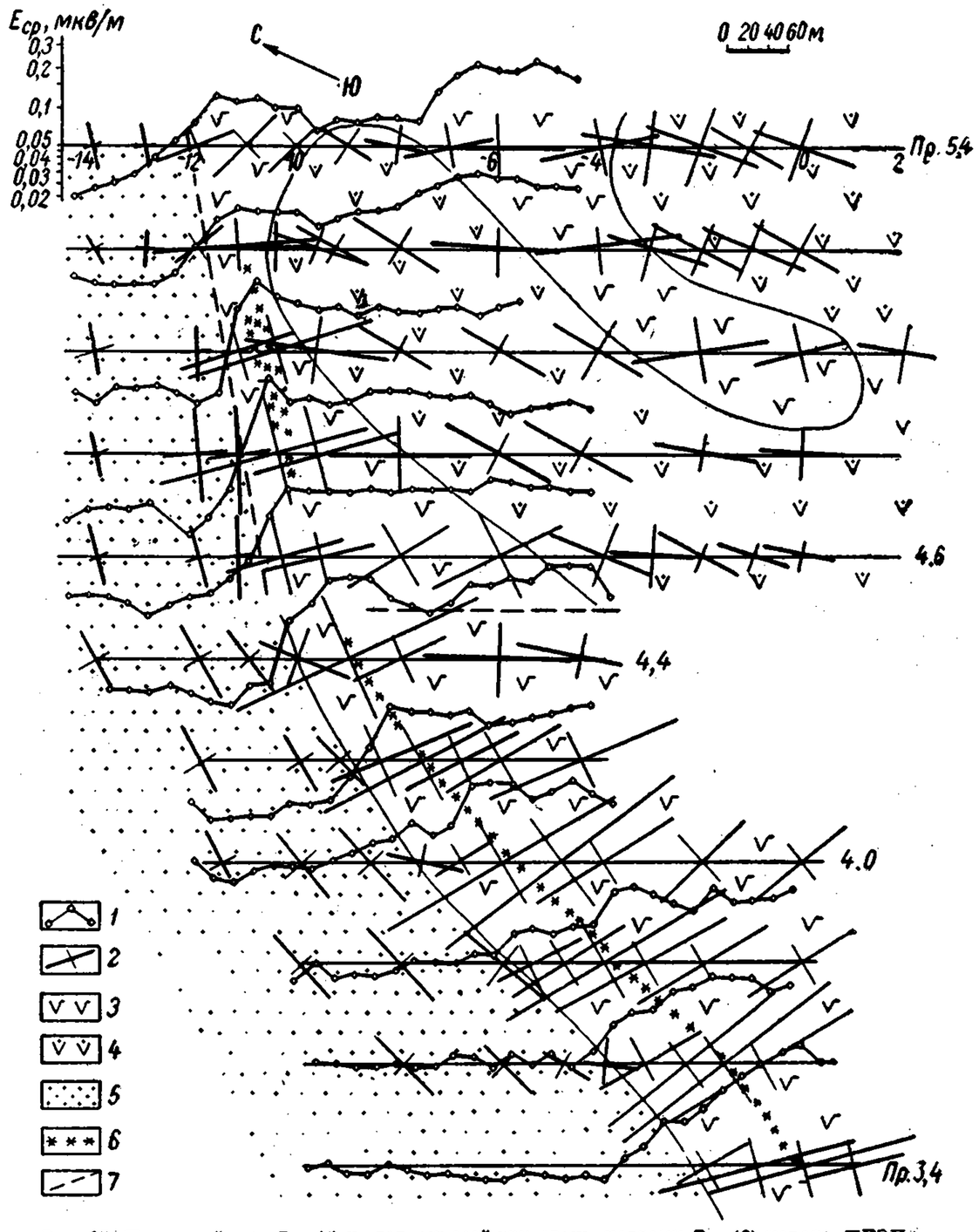


Рис. 65. План графиков $E_{ср}$ (*1*) и главных осей круговых диаграмм $E_{ср}$ (*2*) метода ПЕЭП.

3 — микролитовые андезитовые порфириты; *4* — андезито-базальты; *5* — песчаники и гравелиты; *6* — зоны окварцевания; *7* — тектонические нарушения.

участке развития эффузивных и осадочных пород в Забайкалье (рис. 65). По данным одноазимутных измерений на этом участке контакт осадочных пород с эффузивными фиксируется нечетко. В то же время многоазимутные измерения позволяют определить точное положение этого контакта на всем его протяжении, расчленить эффузивы на две толщи (микролитовые андезитовые порфириты и андезито-базальтовые порфириты), определить их стратиграфическое взаимоотношение и направление флюидальности, выделить зону окварцевания, приуроченную к контакту эффузивов с осадочными породами, и определить характер этого контакта и анизотропию осадочных пород.

Таким образом, многоазимутные измерения методом ПЕЭП могут быть использованы при решении разнообразных геологических задач с большей эффективностью, чем обычные одноазимутные измерения. Использование многоазимутных измерений в помощь методам электропрофилирования в сложной геологической ситуации может облегчить корреляцию графиков при большом расстоянии между профилями, тем самым способствовать разрежению сети профильных наблюдений, обеспечить более однозначную геологическую интерпретацию данных электропрофилирования и при площадных работах существенно увеличить их информативность [45].

Перечисленные задачи в той или иной мере могут быть решены круговыми измерениями кажущегося сопротивления с симметричной установкой. Однако отсутствие питающих линий и однородность первичного поля обеспечивают бесспорное преимущество многоазимутных измерений средней напряженности переменного естественного электрического поля перед круговыми измерениями кажущегося сопротивления. Эти преимущества стаиовятся особенно заметными при работе в труднопроходимой сильно пересеченной местности, а также при большой мощности рыхлых образований, когда перемещение больших питающих линий сопряжено с крупными материальными затратами.

§ 23

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ, СТОИМОСТЬ И МЕСТО МЕТОДА ПЕЭП В КОМПЛЕКСЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ

Производительность полевых наблюдений методом ПЕЭП * рассчитана на основе статистического анализа материалов опытно-методических и опытно-производственных работ. Результаты анализа для местности второй категории сведены в диаграмму (рис. 66). Производительность полевых наблюдений методом ПЕЭП значительна, хотя она и меньше производительности, достигаемой при полевых измерениях методами срединного градиента или дипольного профилирования на переменном токе. Но благодаря сокращению численности обслуживающего персонала, а также расходов на материалы и оборудование стоимость работ методом ПЕЭП меньше.

* Здесь и далее речь идет о производительности одноазимутных измерений. Время наблюдения на одной точке при многоазимутных измерениях можно приближенно считать равным времени наблюдения на одной точке при одноазимутных измерениях, умноженном на число азимутов измерения.

При расчете стоимости работ методом ПЕЭП производительность наблюдений по сети 500 × 50 м с одновременной разбивкой профиля принималась равной 100 ф. т., а по сети 100 × 20 по подготовленному профилю 181 ф. т. «Услуги» и «Износ» считались такими же, как в методе электропрофилирования с прибором АНЧ-1, затраты по «материалам» и по камеральной обработке приравнивались к затратам в методе естественного электрического поля. Затраты на амортизацию определялись, исходя из стоимости прибора МСЗ-1 (1500 руб.).

Расчеты * показали, что для условий степного Забайкалья стоимость полевых и камеральных работ методом ПЕЭП в масштабе 1 : 50 000 на площади 100 км² составляет 2660 руб., а методом симметричного профилирования — 5720 руб. Стоимость работ методом ПЕЭП в масштабе 1 : 10 000 на площади 10 км² равна 1520 руб., а методом срединого градиента — 2375 руб.

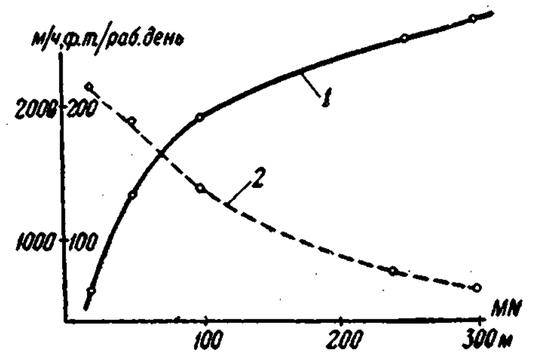


Рис. 66. Графики зависимости скорости съемки (*1*) и производительности наблюдений (*2*) от разносов *MN* при работе методом ПЕЭП с одноазимутной установкой на местности II категории.

Таким образом, использование метода ПЕЭП дает снижение стоимости работ, не менее чем в 2,1 раза при мелкомасштабных съемках. В настоящее время именно при этих съемках использование методов электропрофилирования весьма ограниченно вследствие высокой стоимости работ. При крупномасштабных съемках метод ПЕЭП также обеспечивает снижение стоимости работ в 1,5 раза. Особенно важным преимуществом метода ПЕЭП перед методами симметричного профилирования и срединного градиента является простота их организации, делающая его метод таким же легким, как наземная магнитная съемка.

Существенное повышение производительности полевых наблюдений в методе ПЕЭП в тех случаях, когда точность полевых измерений 15—20% достаточна для решения геологических задач, может быть достигнуто за счет сокращения количества измерений ΔU_i на точке. Опыт работ показывает, что при нормальных условиях полученные в результате однократных измерений графики $E_{ед}$ вполне удовлетворительно совпадают с графиками $E_{ср}$, построенными по данным трехкратных наблюдений (рис. 67, кривые *1* и *2*) и

* Расчеты сделаны в 1969 г. инженером-геофизиком Читинского геологического управления В. И. Рыжиковым и учтены в 1971 г. инженерами А. И. Скибой и И. Е. Конокотиным.

обеспечивают надежную дифференциацию геологического разреза. Производительность работ при таком способе измерений по сравнению с обычной методикой увеличивается в 1,5—2 раза.

Если одновременно с увеличением производительности полевых измерений необходимо сохранить точность наблюдений, можно выполнять измерения синхронно на полевой и базисной точках. Однако при этом необходимо использовать два идентично работающих прибора МСЗ-1.

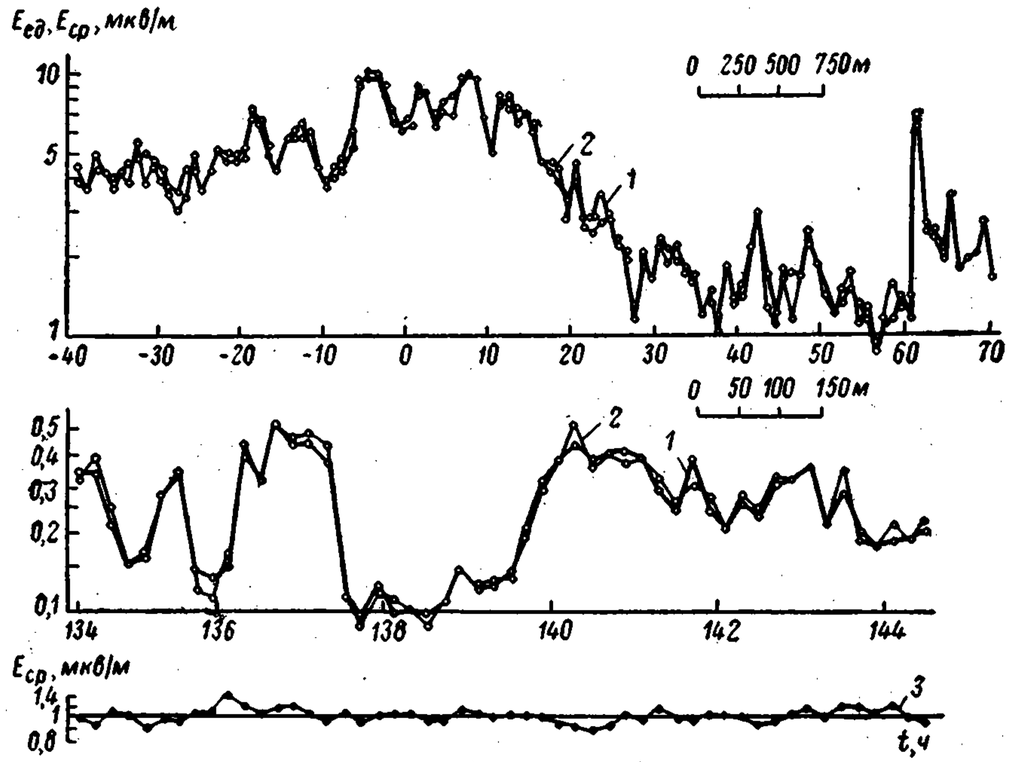


Рис. 67. Графики, построенные по единичным (2) и средним (1, 3) из трех замеров напряженности переменного естественного электрического поля, полученные при измерениях на профилях (1 и 2) и базисной точке (3) (Забайкалье).

ВЫВОДЫ

Метод ПЕЭП в комплексе геофизических работ при прогнозировании и поисках рудных месторождений предназначен для решения задач как общего, так и специализированного картирования. Снижение стоимости электроразведки при использовании этого метода в масштабах 1 : 50 000 и мельче, а также большая глубинность метода ПЕЭП дают возможность повысить эффективность геофизических работ при мелкомасштабном картировании и поисках. При крупномасштабных работах использование метода ПЕЭП особенно эффективно в труднодоступных горно-таежных районах, а также на небольших поисковых участках, где организация работ методом срединного градиента или дипольного электропрофилирования экономически нецелесообразна.

Метод ПЕЭП может быть применен при рекогносцировочных маршрутных наблюдениях, при трассировании отдельных элементов геологического строения (контактов, зон дробления и гидротермального изменения, даек и т. д.). При решении этих задач эффективно сочетание одно- и многоазимутных измерений методом ПЕЭП и комплексирование его с другими электроразведочными методами. Использование многоазимутных измерений методом ПЕЭП особенно целесообразно на участках развития вулканогенно-осадочных пород, слабо дифференцированных по электрическим свойствам, а также на участках развития древних метаморфических пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев А. М., Бердичевский М. Н. Электроразведка методом земных токов.— «Прикл. геофизика», 1952, вып. 8, с. 139—149.

2. Альперт Я. Л. О распространении электромагнитных волн низкой частоты над земной поверхностью. М., Изд-во АН СССР, 1955. 111 с.

3. Артамонов Л. В. Об использовании электромагнитного поля гроз для получения информации о рудных объектах. — Изв. АН СССР, Физика Земли, 1971, № 11, с. 104—107.

4. Бердичевский М. Н. Электрическая разведка методом теллурических токов. М., Гостоптехиздат, 1960. 132 с.

5. Бердичевский М. Н. Магнитотеллурическое поле в горизонтально-неоднородной среде. — «Прикл. геофизика», 1961, вып. 31, с. 136—164.

6. Бердичевский М. Н. Электрическая разведка методом магнитотеллурического профилирования. М., «Недра», 1968. 255 с.

7. Бердичевский М. Н., Дмитриев В. И. Магнитотеллурическое поле над наклонным уступом изолирующего основания. — В кн.: Магнитотеллурич. методы изучения строения земной коры и верхней мантии. М., 1969, с. 71—78.

8. Бердичевский М. Н., Дмитриев В. И. Расчет магнитотеллурического поля над вертикальным уступом, прогибом и валом. — «Прикл. геофизика», 1970, вып. 59, с. 86—91.

9. Векслер В. И. Требования к приемно-усилительному тракту аппаратуры для измерения естественного электромагнитного поля. — Труды ЦНИГРИ, 1969, вып. 86, ч. 2, с. 147—152.

10. Векслер В. И., Спасенных Ю. С., Поддергин Ю. Б. О характере естественного переменного электромагнитного поля. — «Развед. геофизика», 1971, вып. 47, с. 59—61.

11. Вешев А. В., Фокин А. Ф., Очкур М. А. Использование комбинированного электропрофилирования для геологического картирования в крупных масштабах. — «Вопр. руд. геофизики», 1957, вып. 1, с. 38—47.

12. Владимиров Н. П., Клейменова Н. Г. О структуре естественного электромагнитного поля Земли в диапазоне 0,5—100 гц. — Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1962, № 10, с. 1368—1374.

13. Гриневич Ф. Б., Карандеев К. В., Штамбергер Г. А. О принципах построения измерительной аппаратуры для электроразведки методом естественных электромагнитных полей. — «Автометрия», 1965, № 4, с. 8—16.

14. Дмитриев В. И. Метод расчета магнитотеллурического поля в неоднородном слое с произвольным изгибом нижней поверхности. — «Прикл. геофизика», 1965, вып. 41, с. 73—85.

15. Дмитриев В. М., Захаров Е. В. Метод расчета магнитотеллурического поля над наклонным контактом. — Изв. АН СССР, Физика Земли, 1970, № 11, с. 57—67.

16. Дубровский В. Г., Николаева Л. С., Солохов В. В. Применение метода теллурических токов при региональных исследованиях в условиях глубокого залегания опорного горизонта. — В кн.: Электромагнитные методы изучения строения земной коры и верхней мантии. М., 1969, с. 170—181.

17. Елисеев А. А., Сомов Г. М., Тарасов Г. А. Использование круговых измерений средней напряженности переменного естественного электрического поля при решении геологических задач в Восточном Забайкалье. — Зап. Забайкальского филиала географ. общества СССР. Чита, 1970, вып. 50, с. 108—112.

18. Елисеев А. А., Сомов Г. М., Тарасов Г. А. Метод переменного естественного электрического поля и его использование при решении геологических задач. — «Методы развед. геофизики», 1971, вып. 13, с. 3—23.

19. Заборовский А. И. Электроразведка. М.—Л., Гостоптехиздат, 1943. 444 с.

20. Имянитов И. М. Приборы и методы для изучения электричества атмосферы. М., Гостеортехиздат, 1957. 483 с.

21. Кашпровский В. Е. Грозы как источник волн сверхнизких частот в геоэлектроразведке. — В кн.: Теория и элементы систем отбора геофиз. информации, Киев, 1965, с. 138—164.

22. Кауфман А. А., Табаровский Л. А. Электромагнитное поле над пологими структурами. — Труды института геологии и геофизики СО АН СССР, 1970, вып. 54, с. 5—31.

23. Клейменова Н. Г. Современные представления о природе высокочастотных вариаций электромагнитного поля Земли. — Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1963, № 12, с. 1798—1813.

24. Клейменова Н. Г. Некоторые результаты наблюдений естественного электромагнитного поля в полосе частот 1—20 гц на полярных станциях Тикси и Ловозеро. — Изв. АН СССР, Физика Земли, 1965 № 3, с. 97—102.

25. Ковтун А. А. Поведение электромагнитного поля над идеально-проводящим клином в области низких частот. — Учен. зап. ЛГУ, 1964, № 324, Сер. физ. и геол. наук, вып. 15, с. 17—26.

26. Козин К. П., Шейнманн С. М., Озерская М. Л. Новый метод полевой электроразведки. — «Бюл. нефт. геофиз.», 1937, вып. 4, с. 3—31.

27. Магнитотеллурическое зондирование и профилирование на модели трехмерной структуры. — Изв. АН СССР, Физика Земли, 1970, № 9, с. 94—97. Авт.: М. А. Добровольская, Т. Д. Гладкий, А. А. Ковтун и др.

28. Магнитотеллурическое поле над валом. — «Прикл. геофизика», 1970, вып. 60, с. 105—109. Авт.: М. Н. Бердичевский, Т. Т. Левкина Г. Г. Обухов, Б. И. Рабинович.

29. Магнитотеллурическое профилирование и зондирование над двухмерными структурами типа вала и прогиба. — «Развед. геофизика»,

1970, вып. 42, с. 64—69. Авт.: А. А. Ковтун, М. А. Добровольская, Т. Д. Гладкий и др.

30. Магнитотеллурическое профилирование на моделях горизонтально неоднородных структур. — В кн.: Нов. методы электрич. разведки на нефть и газ. М., 1963, с. 114—119. Авт.: Б. Е. Брюнелли, М. А. Добровольская, А. А. Ковтун и др.

31. Михайлевский В. И. О возможности определения характера геоэлектрического разреза по данным метода ТТ. — «Развед. геофизика», 1971, вып. 44, с. 44—46.

32. Михайлова Т. А. О спектре атмосфериков и фазовой скорости электромагнитных волн на сверхнизких частотах. — «Геомагнетизм и аэрономия», 1962, т. 2, № 2, с. 257—266.

33. Моделирование неоднородных сред в поле плоской электромагнитной волны. — В кн.: Электромагнитное зондирование и магнитотеллурич. методы разведки. Л., 1963, с. 111—117. Авт.: Б. Е. Брюнелли, М. А. Добровольская, А. А. Ковтун и др.

34. Набоко Ю. С., Орлов Г. В. Опыт измерения вертикальной магнитной составляющей естественного электромагнитного поля Земли на сульфидном месторождении. — В кн.: Вопр. рудн. геофизики в Казахстане. Алма-Ата, 1968, с. 158—163.

35. Неболюбов Ю. Е., Волынкин В. Г. Проблемы научных исследований по созданию современной аппаратуры для электроразведки методом естественных электромагнитных полей. — В кн.: Измерение магнитных полей. Фрунзе, 1968, с. 3—11.

36. Некоторые результаты МТП и МТЗ на моделях неоднородных структур. — В кн.: Магнитотеллурич. методы изучения строения земной коры и верхней мантии. М., 1969, с. 125—129. Авт.: Б. Е. Брюнелли, М. А. Добровольская, А. А. Ковтун и др.

37. Обухов Г. Г. Магнитотеллурическое поле в неоднородном слое. — «Геология и геофизика», 1961, № 12, с. 116—124.

38. Обухов Г. Г. Задача о магнитотеллурическом поле в неоднородном слое. — «Прикл. геофизика», 1962, вып. 35, с. 70—79.

39. Обухов Г. Г. Магнитотеллурическое поле над пологими структурами (поляризация *H*). — «Прикл. геофизика», 1965, вып. 44, с. 112—126.

40. Обухов Г. Г. Магнитотеллурическое поле над пологими вытянутыми структурами (поляризация *E*). — «Прикл. геофизика», 1965, вып. 46, с. 101—110.

41. Обухов Г. Г. Магнитотеллурическое поле над произвольно малыми неровностями изолирующего основания. — «Прикл. геофизика», 1967, вып. 49, с. 66—76.

42. Обухов Г. Г. Экранирование магнитотеллурических аномалий пластами высокого удельного сопротивления. — В кн.: Магнитотеллурич. методы изучения строения земной коры и верхней мантии. М., 1969, с. 95—100.

43. Один из способов практической реализации обобщенного гармонического анализа высокочастотных естественных электромагнитных полей. — «Прикл. геофизика», 1967, вып. 49, с. 77—84. Авт.: М. Н. Бердичевский, И. А. Безрук, В. Н. Ключкин и др.

44. Пасько Э. В. Измерительная аппаратура для наземной электроразведки методами естественных электромагнитных полей. — В кн.: Геофиз. измерения (Методы. Технические средства). Новосибирск, 1969, вып. I, с. 40—46.

45. Петров П. А. Определение видимого простирания пород круговыми измерениями напряженности поля теллурических токов. — Труды СНИИГГИМС, 1968, вып. 1, с. 319—321.

46. Попов Ю. Н. Влияние электрической неоднородности поверхностных отложений на результаты работ методом теллурических токов. — «Развед. и промысл. геофизика», 1959, вып. 31, с. 30—38.

47. Применение метода теллурических токов при геологическом картировании в закрытых районах. — Изв. вузов, Геология и разведка, 1971, № 5, с. 92—97. Авт.: А. К. Гордун, И. Н. Кадыров, Л. Л. Ляхов и др.

48. Применение теории случайных функций к анализу магнитотеллурического поля. — «Прикл. геофизика», 1964, вып. 39, с. 75—90. Авт.: И. А. Безрук, М. Н. Бердичевский, В. Н. Ключкин и др.

49. Сапожников Б. Г. Применение равноточного масштаба изображения результатов геофизических наблюдений и оценка их разрешающей способности. — «Методы развед. геофизики», 1971, вып. 13, с. 149—155.

50. Сомов Г. М. Прибор для измерения средней напряженности электрической составляющей естественного электромагнитного поля. — «Геофиз. аппаратура», 1966, вып. 28, с. 61—66.

51. Сомов Г. М., Тарасов Г. А., Елисеев А. А. Способ геоэлектроразведки. Авторское свидетельство № 221842, 1966.

52. Тарасов Г. А., Сапожников Б. Г. Метод внешнего градиента. — «Вопр. развед. геофизики», 1964, вып. 4, с. 9—22.

53. Тихонов А. Н. К вопросу о влиянии неоднородности земной коры на поле теллурических токов. — Изв. АН СССР. Сер. геогр. и геофиз., 1942, № 5, с. 205—218.

54. Чантуришвилли Л. С. Электроразведка при проектировании дорог на пересеченной местности. М., «Автотраисиздат», 1959. 98 с.

55. Четаев Д. Н. Определение коэффициента анизотропии и угла падения одиородной анизотропной среды по измерению импеданса естественного электромагнитного поля.— Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1960, № 4, с. 617—619.

56. Шайдуров Г. Я. О возможности использования естественных электромагнитных полей для регистрации вызванной поляризации. — В кн.: Новая аппаратура и методика ее применения в народном хоз-ве. Красноярск, 1967, вып. 2, с. 3—7.

57. Яковлев И. А., Уваров Н. Н. Интерпретация данных метода ТТ с разделением эффектов, вызванных рельефом высокоомного экрана и фундамента. — «Развед. геофизика», 1971, вып. 44, с. 47—50.

58. Afmag — applications and limitations. — «Geophys.», 1966, v. 31, № 3, p. 576—605. Aut.: S. H. Ward, I. O'Donnell, R. Rivera e. a.

59. Chapman R. W., Matthews W. D. Audio-frequency spectrum of atmospherics. — «Natura», 1953, v. 172, № 4376, p. 495—496.

60. Clerc G. Prospection magneto-tellurique superficielle à partir des variations électromagnétiques de fréquences comprises entre 8 Hz et 16 kHz. — Comptes rendas des séances de l'académie des sciences, 1970, t. 270, sér. B, № 9. p. 645—648.

61. Erceville I., Kunetz G. The effect of a fault on the earths natural electromagnetic field. — «Geophys», 1962, v. 27, № 5, p. 651—665.

62. Dosso H. W. Analogue model measurements for electromagnetic variations near a coastline. — «Ganadian j. of earth sci.», 1966, v. 3, № 7, p. 917—936.

63. Dosso H. W. Analogue model measurements for electromagnetic variations near vertical faultes and dykes. — «Canadian j., of earth sci.», 1966, v. 5, № 5, p. 287—303.

64. Hvozdara M, Electromagnetic inductionin a halfspace with an obligue interface. — «Studia geophysica et geodaetica», 1968, v. 12, № 3, p. 304—320.

65. Iones F. W., Price A. T. Geomagnetic effects of sloping and shelving discontinuities of earth conductivity. — «Geophys.», 1971, v. 36, № 1, p. 58—66.

66. Kolbenheyer T. On the boundary problem of geoelectricity for a homogeneously laminated prolate spheroid.—In: Geofys. sbornik prace geofys. ust, ceskol. akad. Praha, 1956, № 56, p. 653—687.

67. Kolbenheyer T. O priamej úlohe teórie telurickèho pol'a pre kruhový valec. — «Matematicko-fyzikálny câsopis SAV, 1957, v. 7, № 2, s. 54—62.

68. Miecznik J. Rozklad pola telluryezrego nad uskokiem. — «Acta geophysica Polonica», 1965, v. 13, № 4, l. 257—265.

69. Porstendorfer G. Tellurik, Grundlagen, Meβtechnik and neue Einsatzmöglichkeiten. — «Freiberger Forschungshefte», 1961, C-107, S. 1—186.

70. Prospecting by use of natural alternating magnetic fields of audio and sub-audio frequencies. — «Canadian mining and metall. bul.», 1958, v. 51, № 556, p. 487—494. Aut.: S. H. Ward, H. A. Harvey, W. O. Cartier e. a.

71. Rankin D. The magnetotelluric effect on a dike. — «Geophys.», 1962, v. 27, № 5, p. 666—676.

72. Richter K. Interpretation tellurischer Messungen durch Modellversache. — «Freiberger Forschungshefte», 1961, C-112, S. 1—32.

73. Roy K. K., Naidu P. S. Computation of telluric field and apparend resistivity over an anticline. — «Pure and applied geophys., 1970, v. 80, p. 205—217.

74. Waeselynck M. Etude de structures anticlinales on synklinales par la methode magneto-tellurque. — Bul. du centre de recherches de pau — SNPA, 1967, v. 1, № 2, p. 426—431.

75. Weaver J. T. The electromagnetic field within a discontinuous conductor with reference to geomagnetic micropulsations near a coastline. — «Canadian j. of phys.», 1963, v. 41, № 3, p. 484—495.

Перечень элементов принципиальных схем индикатора

Обозначение	ГОСТ, ТУ иормаль, чертеж	Наименование и тип	Основные данные, номинал	Количество	Примечание
		Индикатор те 2.746.003 Сп** (рис. 5)			
R1	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-150 ом ± 5%	150 ом	1	
R2	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-10 ком ± 10%	10 ком	1	
*R3**	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-100 ком ± 5%	100 ком	1	81—110 ком
R4	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-100 ом ± 10%	100 ом	1	
*R5**	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-160 ком ± 5%	160 ком	1	130—180 ком
*R6**	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-330 ком ± 5%	330 ком	1	300, 360 ком
*R7**	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-200 ком ± 5%	200 ком	1	180, 220 ком
R8	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-10 ком ± 10%	10 ком	1	
R9—R11	ОЖО.468.512 ТУ	Резистор ППБ-3А-22 ком ± 10%	22 ком	3	
C1	ОЖО.464.031 ТУ	Конденсатор К50-6-15-500 мкф	500 мкф	1	
C2	ОЖО.462.104 ТУ	Кондеисатор МБМ-160-0,1 мкф ± ± 20%	0,1 мкф	1	
C3	ОЖО.462.104.ТУ	Конденсатор МБМ-160-0,5 мкф ± ± 20%	0,5 мкф	1	
B1, B2	УСО.360.049 ТУ	Тумблер ТП1-2		2	
B3	НО.360.006	Переключатель 5ПБН-К8		1	
B4	НО.360.006	Переключатель 11П1Н-К		1	
B5	УСО.360.049 ТУ	Тумблер ТП1-2		1	
ИП1	те 5.171.030	Прибор измерительный	100 мка	1	
Д1	ГОСТ 14343—69	Диод полупроводниковый Д223А		1	
Р1—Р3	РС4.521.751 Сп	Реле РПС-20 РСО.452.055ТУ		3	
Б1—Б3	СТУ-11-160-63	Батарея 11,5ПМЦГ-У-1,3	11,5 в	3	
Ш1	Гео.360.126 ТУ	Вилка 2РМ14БЧШ/В1		1	

* Звездочками помечены детали, параметры которых подбираются при настройке.

** Указан децимальный номер конструкторских блоков прибора.

Обозначение	ГОСТ, ТУ нормаль, чертеж	Наименование и тип	Основные данные, номинал	Количество	Примечание
К1 — К3	Нте 4.835.001 2 Сп	Клемма Нте 0.483.001		3	
У1	те 3.211.006 Сп	Преобразователь		1	
У2	те 2.032.039 Сп	Усилитель		1	
У3	те 2.067.010 Сп	Фильтр		1	
У4	те 3.233.017 Сп	Стабилизатор		1	
У5	те 2.032.011 Сп	Усилитель УБУ-6		1	
У6	те 2.727.000 Сп	Аттенюатор УБА-1		1	
У7	те 2.032.009 2 Сп	Усилитель УБУ-2		1	
У8	те 3.072.000 Сп	Интегратор		1	
У9	те 2.067.009 Сп	Фильтр		1	
У10	те 3.233.017 Сп	Стабилизатор		1	
У11	те 2.067.009 Сп	Фильтр		1	
У12	те 2.067.013 Сп	Фильтр		1	
У13	те 2.211.008 Сп	Генератор УБГ-2		1	
У14	те 3.233.016 Сп	Стабилизатор		1	
У15	те 3.233.017 Сп	Стабилизатор		1	
У16	те 4.561.002 Сп	Реле времени		1	
У17	те 2.032.011 Сп	Усилитель УБУ-6		1	
У18	те 2.204.028 Сп	Детектор		1	
		Входной усилитель те 2.032.039 Сп (рис. 7)			
R1	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-2 Мом±10%	2 Мом	1	
R2, R3	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-330 ком±±10%	330 ком	2	
R4	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-10 ком±10%	10 ком	1	
*R5**	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-33 ком±5%	33 ком	1	27—39 ком
*R6**	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-75 ком±5%	75 ком	1	62—91 ком
R7	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-120 ком±±10%	120 ком	1	
R8, R9	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-68 ком±10%	68 ком	2	
R10	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-68 ком±10%	68 ком	1	
R11, R12	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-33 ком±10%	33 ком	2	
R13	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-3,3 ком±±10%	3,3 ком	1	

* Звездочками помечены детали, параметры которых подбираются при настройке.

Обозначение	ГОСТ, ТУ нормаль, чертеж	Наименование и тип	Основные данные, номинал	Количество	Примечание
С1	ОЖО.462.104 ТУ	Конденсатор МБМ-160-0,1 мкф±±10%	0,1 мкф	1	
С2, С3	ГОСТ 9687--61	Конденсатор БМ-2-300-2200 пф±±20%	2200 пф	2	
С4	ОЖО.464.031 ТУ	Конденсатор К50-6-15-200 мкф	200 мкф	1	
С5	ОЖО.462.104 ТУ	Конденсатор МБМ-160-0,1 мкф±±10%	0,1 мкф	1	
С6	ОЖО.462.104 ТУ	Конденсатор МБМ-160-0,1 мкф±±10%	0,1 мкф	1	
С7	ОЖО.464.031 ТУ	Конденсатор К50-6-15-30 мкф	30 мкф	1	
С8, С9	ОДО.464.031 ТУ	Конденсатор К50-6-15-30 мкф	30 мкф	2	
Л1	ТФЗ.308.003 ТУ	Лампа 1Ж42А		1	
Т1	ГОСТ 14876—69	Транзистор П416А		1	
Т2	ГОСТ 14949—69	Транзистор МП113А		1	
Т3	ГОСТ 14874—69	Транзистор МП116		1	
		Режекторный фильтр те. 2.067.010 Сп (рис. 8)			
R1	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-2,7 ком±5%	2,7 ком	1	
*R2**	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-1,3 ком±5%	1,3 ком	1	1,0—1,6 ком
*R3**	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-30 ком±5%	30 ком	1	20—62 ком
R4	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-3,3 ком±5%	3,3 ком	1	
*R5**	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-30 ком±5%	30 ком	1	20—62 ком
R6	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-3,3 ком±5%	3,3 ком	1	
*R7**	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-91 ком±5%	9,1 ком	1	5,1—15 ком
R8	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-1,8 ком±5%	1,8 ком	1	
С1	ОЖО.462.104 ТУ	Конденсатор МБМ-160-1,0 мкф±±10%	1,0 мкф	1	
С2	ОЖО.462.104 ТУ	Конденсатор МБМ-160-1,0 мкф±±10%	2,0 мкф	2	Параллельно

* Звездочками помечены детали, параметры которых подбираются при настройке.

Обозначение	ГОСТ, ТУ нормаль, чертеж	Наименование и тип	Основные данные, номинал	Количество	Примечание
C3	ОЖО.462.104 ТУ	Конденсатор МБМ-160-1,0 мкф± ±10%	1,0 мкф	1	
P1	РС4-521.751 Сп	Реле РПС-20 РСО-452.055 ТУ		1	
		Усилитель те 2.032.011 Сп (рис. 9)			
R1, R2	ГОСТ 7113—63	Резистор МЛТ-0,25-24 ком± ±10%	24 ком	2	
*R3**	ГОСТ 7113—63	Резистор МЛТ-0,25-1,5 ком± ±10%	1,5 ком	1	820 ом; 910 ом 1,0 ком; 2,0 ком
R4	УБО.467.007 ТУ	Сопротивление БЛП-0,1-30 ом±1%-Б	30 ом	1	
R5	УБО.467.007 ТУ	Сопротивление БЛП-0,1-4,7 ком± ±1%-Б	4,7 ком	1	
R6	ГОСТ 7113—63	Резистор МЛТ-0,25-4,3 ком± ±10%	4,3 ком	1	
*R7** *R8**	ГОСТ 7113—63	Резистор МЛТ-0,25-100 ком± ±5%	100 ком	2	82, 91, 110, 120, 130, 150, 160, 180, 200 ком
C1	УБО.462.014 ТУ	Кондеисатор МБМ-160-1,0 мкф± ±20%	1,0 мкф	1	
C2	УБО.464.052 ТУ	Кондеисатор КОПП-6-33 мкф	33 мкф	1	Заменена ЭМ 40×6 в ОЖО.464.015 ТУ
T1—T3	СБО.005.026 ТУ	Транзистор МП103		3	МП102
T4	СБО.005.055 ТУ1	Транзистор МП105		1	МП104
Д1	СМЗ.362.012ТУ	Стабилитрон кремниевый Д814А		1	
		Аттенюатор те 2.727.000 Сп (рис. 10)			
R1—R7	ГОСТ 7113—63	Резистор МЛТ-0,25-1,5 Мом± ±5%	1,5 Мом	7	
R8	ГОСТ 7113—63	Резистор МЛТ-025-620 ком± ±5%	620 ком	1	
R9	УБО.467.007 ТУ	Резистор БЛП-0,1-4,7 ком± ±0,5% А	4,7 ком	1	

* Звездочками помечены детали, параметры которых подбираются при настройке.

Обозначение	ГОСТ, ТУ нормаль, чертеж	Наименование и тип	Основные данные, номинал	Количество	Примечание
R10—R16	УБО.467.007 ТУ	Резистор БЛП-0,1-6,8 ком± ±0,5% А	6,8 ком	7	
R17—R24	УБО.467.007 ТУ	Резистор БЛП-0,1-10 ком± ±0,5% А	10 ком	8	
		Преобразователь иапряженнн те 3.211.006 Сп (рис. 11)			
*R1** *R2**	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-22 ком±10%	22 ком	2	15—39 ком
R3	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-4,7 ком± ±10%	4,7 ком	1	
R4	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-8,2 ком± ±10%	8,2 ком	1	
*R5**	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-200 ом±10%	200 ом	1	100—300 ом
C1, C2	ГОСТ 9687—61	Конденсатор БМ-2-300-1000 пф± ±10%	1000 пф	2	
C3	ОЖО.454.031 ТУ	Конденсатор К50-6-15-300 мкф	200 мкф	1	
C4—C6	ОЖО.454.031 ТУ	Конденсатор К50-6-6-500 мкф	500 мкф	3	
Тр1	те 4.770.000 Сп	Трансформатор		1	
Др1	те. 4.777.005 Сп	Дроссель		1	
Д1	СМЗ.362.040 ТУ	Диод полупроводниковый Д105		1	
T1—T4	ГОСТ 14949—69	Транзистор МП112		4	
		Стабилизатор напряжения те 3.233.017 Сп (рис. 12)			
R1	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-5,6 ком± ±10%	5,6 ком	1	
C1, C2	ОЖО.464.031 ТУ	Конденсатор К50-6-15-200 мкф	200 мкф	2	
Д1, Д2	ГОСТ 14913—69	Диод полупроводниковый Д814Д		2	Замена на Д813
T1	ГОСТ 14949—69	Транзистор МП12		1	
T2	ГОСТ 14874—69	Транзистор МП116		1	

* Звездочками помечены детали, параметры которых подбираются при настройке.

Обозначение	ГОСТ, ТУ нормаль, чертеж	Наименование и тип	Основные данные и номинал	Количество	Примечание
		Усилитель те 2.032.009 Сп (рис. 13)			
R1, R2 R3	ГОСТ 7113—63	Резистор МЛТ-0,25-68 ком ± ±10%	68 ком	3	
R4, R5	ГОСТ 7113—63	Резистор МЛТ-0,25-30 ком ± ±10%	30 ком	2	
R6	ГОСТ 7113—63	Резистор МЛТ-025-5,1 ком ± ±5%	5,1 ком	1	
R7	ГОСТ 7113—63	Резистор МЛТ-0,25-24 ком ± ±5%	24 ком	1	
R8 R9**	ГОСТ 7113—63	Резистор МЛТ-0,25-75 ком ± ±5%	75 ком	2	51 ком, 68 ком, 82 ком, 100 ком, 130 ком, 160 ком
R10	ГОСТ 7113—63	Резистор МЛТ-0,25-24 ком ± ±5%	24 ком	1	
R11	ГОСТ 7113—63	Резистор МЛТ-0,25-2,7 ком ± ±10%	2,7 ком	1	
R12	УБО.4.67.007. ТУ	Резистор БЛП-0,1-3 ом ± 1% Б	3 ом	1	
R13	ГОСТ 7113—63	Резистор МЛТ-0,25-4,7 ком ± ±5%	4,7 ком	1	
R14	ГОСТ 7113—63	Резистор МЛТ-0,25-2,4 ком ± ±10%	2,4 ком	1	
C1	УБО.462.032 ТУ	Конденсатор КМБП-0,1 мкф ± 20%	0,1 мкф	1	
C2, C3	ОЖО.464.052 ТУ	Конденсатор КОПП-6-47 мкф	47 мкф	2	
C4	УБО.462.032 ТУ	Конденсатор КМБП-1,0 мкф ± 20%	1,0 мкф	1	
C5	ГОСТ 9687—61	Конденсатор БМ-2.200-3300 пф ± ±10%	3300 пф	1	
C6	ОЖО.464.052 ТУ	Конденсатор КОПП-6-100 мкф	100 мкф	1	
C7	ОЖО.464.031 ТУ	Конденсатор К50-6-15-500 мкф	500 мкф	1	
T1	СБО.005.056 ТУ	Транзистор МП42Б		1	
T2	СБО.005.026 ТУ	Транзистор МП103А		1	
T3, T6	СБО.005.026 ТУ	Транзистор МП102		4	

* Звездочками помечены детали, параметры которых подбираются при настройке.

Обозначение	ГОСТ, ТУ нормаль, чертеж	Наименование и тип	Основные данные, номинал	Количество	Примечание
		Фильтр полосовой те 2.067.009 Сп (рис. 14)			
R1	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-16 ком ± 5%	16 ком	1	
*R2**	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-3 ком ± 5%	3 ком	1	1,0—6,2 ком
*R3**	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-180 ком ± ±5%	180 ком	1	160 ком, 200 ком
*R4**	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-30 ком ± 5%	30 ком	1	20—47 ком
R5	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-150 ком ± ±5%	150 ком	1	
R6	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-5,1 ком ± 5%	5,1 ком	1	
R7	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-4,7 ком ± 5%	47 ком	1	
*R8**	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-11ком ± 5%	11 ком	1	5,6—20 ком
*R9**	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-2,7 ком ± 5%	2,7 ком	1	1,3—5,6 ком
R10	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-9,1 ком ± 5%	9,1 ком	1	
R11	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-5,1 ком ± 5%	5,1 ком	1	
C1	ОЖО.462.104 ТУ	Конденсатор МБМ-160-0,5 мкф ± ±10%	0,5 мкф	1	
C2	ОЖО.462.104 ТУ	Конденсатор МБМ-160-0,1 мкф ± ±10%	0,1 мкф	1	
C3	ОЖО.462.104 ТУ	Конденсатор МБМ-160-0,1 мкф ± ±10%	0,1 мкф	1	
C4	ОЖО.462.104 ТУ	Конденсатор МБМ-160-0,5 мкф ± ±10%	0,5 мкф	1	
T1, T4	ГОСТ 14949—69	Транзистор МП-112		4	
		Детектор те 2.204.028 Сп (рис. 16)			
*R1**	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-130 ком ± 5%	130 ком	1	100—240 ком
R2	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-10 ком ± 10%	10 ком	1	

* Звездочками помечены детали, параметры которых подбираются при настройке.

Обозначение	ГОСТ, ТУ нормаль, чертеж	Наименование и тип	Основные данные, номинал	Количество	Примечание
R3	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-560 ом ± ± 10%	560 ом	1	
R4	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-3,6 ком ± 5%	3,6 ком	1	
R5 *	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-1,6 ком ± 5%	1,6 ком	1	1,3—2,1 ком
R6	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-5,1 ком ± 5%	5,1 ком	1	
R7 *	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-5,1 ком ± 5%	5,1 ком	1	4,3—7,5 ком
R8 *	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-4,7 ком ± 5%	4,7 ком	1	3,9—5,1 ком
C1	ОЖО.462.104 ТУ	Конденсатор МБМ-160-1,0 мкф ± ± 10%	1,0 мкф	1	
C2	ОЖО.464.031 ТУ	Конденсатор К50-6-15-20 мкф	20 мкф	1	
C3	ОЖО.464.031 ТУ	Конденсатор К50-6-6-100 мкф	100 мкф	1	
Д1, Д2	САЗ.362.001 ТУ1	Диод полупроводниковый Д206		2	
T1, T2	ГОСТ 14949—69	Транзистор МП112		2	
T3	ГОСТ 14947—69	Транзистор МП42А		1	

Интегратор те 3.072.000 Сп (рис. 17)

R1, R2	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-5,6 ком ± ± 10%	5,6 ком	2	
R3 *	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-560 ком ± ± 10%	560 ком	1	470 ком—1 Мом
R4 *	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-560 ком ± ± 10%	560 ком	1	470 ком—1 Мом
R5	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-220 ком ± ± 10%	220 ком	1	
C1	ОЖО.462.104 ТУ	Конденсатор МБМ-160-0,1 мкф ± ± 20%	0,1 мкф	1	
C2	ОЖО.464.031 ТУ	Конденсатор К50-6-15-500 мкф	500 мкф	1	
C3	ОЖО.462.104 ТУ	Конденсатор МБМ-160-0,1 мкф ± ± 20%	0,1 мкф	1	

* Звездочками помечены детали, параметры которых подбираются при настройке.

Обозначение	ГОСТ, ТУ нормаль, чертеж	Наименование и тип	Основные данные, номинал	Количество	Примечание
Д1, Д2	ГОСТ 14343—69	Диод полупроводниковый Д223А		2	
T1, T2	ГОСТ 14949—69	Транзистор МП-112		2	

Реле времени те 4.561.002 Сп (рис. 18)

R1 *	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-2,7 ком ± 5%	2,7 ком	1	2,4—8,2 ком
R2	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-120 ком ± ± 10%	120 ком	1	
R3	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-220 ом ± 5%	220 ом	1	
R4	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-5,1 ком ± 5%	5,1 ком	1	
R5	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-27 ком ± 5%	27 ком	1	
R6	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-2,4 ком ± 5%	2,4 ком	1	
R7	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-4,7 ком ± 5%	4,7 ком	1	
C1—C4	ОЖО.464.031 ТУ	Конденсатор К50-6-15-500 мкф	500 мкф	4	
C5	ОЖО.464.031 ТУ	Конденсатор К50-6-15-5 мкф	5 мкф	1	
Д1—Д3	ГОСТ 14343—69	Диод полупроводниковый Д223Б		3	
P1	РС4.521.853 Сп	Реле РПС-18/4 РС4.521.870 ТУ		1	
T1, T3	СБО.005.057 ТУ	Транзистор МП-112		3	

Задающий генератор те 2.211.008 Сп (рис. 19)

R1, R2	ГОСТ 7113—63	Резистор МЛТ-0,25-30 ком ± ± 5%	30 ком	2	
R3, R6	ГОСТ 7113—63	Резистор МЛТ-0,25-10 ком ± ± 5%	10 ком	2	
R4, R5	ГОСТ 7113—63	Резистор МЛТ-0,25-1,3 ком ± ± 5%	1,3 ком	2	
R7, R10	ГОСТ 7113—63	Резистор МЛТ-0,25-7,5 ком ± ± 10%	7,5 ком	2	
R9, R10	ГОСТ 7113—63	Резистор МЛТ-0,25-3,0 ком ± ± 10%	3,0 ком	2	

* Звездочками помечены детали, параметры которых подбираются при настройке.

Обозначение	ГОСТ, ТУ нормаль, чертеж	Наименование и тип	Основные данные, номинал	Количество	Примечание
T1—T4	СБО.005.057 ТУ	Транзистор МП112		4	
T5, T6	ПЖО.336.004 ТУ1	Транзистор МП25А		2	
		Фильтр генератора те 2.067.013 Сп (рис. 20)			
R1, R2**	ГОСТ 7113—66	Резистор МЛТ-0,5-18 ком ± 5%	18 ком	1	15—27 ком
C1—C4	ОЖО.462.104 ТУ	Кондеисатор МБМ-160-1,0 мкф ± ± 10%	1,0 мкф	4	

* Звездочками помечены детали, параметры которых подбираются при настройке.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Характерные неисправности индикатора МСЗ-1 и методы их устранения

Неисправность	Вероятная причииа	Методы устранения
Стрелка измерительного прибора при положении U_1 переключателя «Род работы» не отклоняется	Нарушен контакт батарей в отсеке питания (две правые батареи)	Зачнстить пружинные контакты отсека питания и выводы батарей
При подаче сигнала на входные клеммы, измерительный прибор показывает отсчет. В положеиии U_2 переключателя «Род работы» стрелка нзмерительного прибора не отклоияется	Нарушеи контакт батареи геиератора (левая батарея)	Зачистить пружинные контакты отсека питания и выводы батареи
При закороченном входе прибора п положении переключателя «Род работы» на *MN* после запуска и срабатывания реле времени стрелка измерительного прибора зашкаливает	Нарушена изоляцня батареи генератора от шасси вследствие вытекания электролита из батарей или вследствие попадаиия влаги внутрь прибора или отсека питания	Проверить батареи (мокрые заменить), контакты батареи и отсека питания протереть спиртом. Просушить прибор
То же	Тумблер «Реле времеии» ие закорачивает конденсатор *C2* интегратора	Отвинтить четыре винта платы тумблера «Реле времени» на лицевой панели и замеинть тумблер

Неисправность	Вероятная причина	Методы устраиения
При переключеиин тумблера «Реле времени» в положение «Сброс» отсчет среднего значения не сбрасывается	Тумблер «Реле времени» не закорачивает конденсатор *C1* реле времени	Отвинтить четыре винта платы тумблера «Реле времени» на лицевой панели и заменить тумблер
Тумблер «Вход» — закрыт. При установке переключателя «Множитель» на 0,1 для шкалы 30 прибор возбуждается	а) не работают стабилизаторы напряжения, вследствие сильного разряда батарей	Заменить батареи питания
	б) тумблер «Вход» не закорачивает входные клеммы	Закоротить входные клеммы перемычкой или короткозамкнутой вилкой

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Форма полевого журнала для записи наблюдений методом ПЕЭП

Участок _____ Азимут _____

Дата _____ Шаг _____

Профиль _____

MN _____ Погода _____

Оператор _____

№№ п/п	ПК (A_3)	t	Отсчет	Миожитель	ΔU_i, мкв	$\Delta U_{ср}$, мкв	$E_{ср}$, мкв/м	Примечание

Оператор

Вычислнтель

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 3

Глава I. Особенности низкочастотного переменного естественного электрического поля Земли 5
§ 1. Происхождение и амплитудно-частотный спектр поля —
§ 2. Структура поля и вариации его средней напряженности 6
§ 3. Взаимодействие с геологической средой и особенности поляризации поля 10

Глава II. Аппаратура и оборудование для измерения средней напряженности переменного естественного электрического поля 13
§ 4. Принцип измерений . . . . . —
§ 5. Прибор МСЗ-1 14
§ 6. Схема индикатора и его основных конструктивных узлов 17
§ 7. Работа узлов индикатора при измерениях 34
§ 8. Подготовка индикатора к работе 36
§ 9. Полевые измерения с индикатором 38

Глава III. Методика полевых работ и обработка наблюдений 42
§ 10. Изучение особенностей поля в районе работ . . . —
§ 11. Наблюдения на профилях 44
§ 12. Увязка наблюдений 48
§ 13. Оценка точности полевых наблюдений 50
§ 14. Влияние условий наблюдения на результаты измерения средней напряженности поля 52

Глава IV. Переменное естественное электрическое поле над горизонтально-неоднородной средой 58
§ 15. Особенности переменного естественного электрического поля над геологическими объектами . . . . —
§ 16. Поляризация переменного естественного поля в неоднородной среде 72
§ 17. Сравнение графиков $E_{ср}$ метода ПЕЭП с графиками $\rho_к$ методов электропрофилирования 80
§ 18. Влияние рельефа на результаты наблюдений методом ПЕЭП 86
§ 19. Оценка глубинности метода 88

Глава V. Метод ПЕЭП при решении геологических задач 94
§ 20. Мелкомасштабное картирование . . . . . —
§ 21. Крупномасштабное картирование 98
§ 22. Многоазимутные измерения 103
§ 23. Производительность, стоимость и место метода ПЕЭП в комплексе геофизических работ 106

Список литературы 110

Приложение 1 115
Приложение 2 124
Приложение 3 125

Министерство геологии СССР

ГЕНИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ ТАРАСОВ
ГЛЕБ МИХАЙЛОВИЧ СОМОВ
АЛЕКСАНДР АЛЕКСЕЕВИЧ ЕЛИСЕЕВ
ГЕРМАН КОНСТАНТИНОВИЧ АНТОНОВ

МЕТОД ПЕРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

(Методическое руководство)

Редактор издательства З. К. Андрюнина
Обложка художника И. Г. Школьникова
Техн. редактор Н. П. Старостина
Корректор В. Н. Михалевич

Сдано в набор 22/XI 1972 г. Подписано к печати 26/III 1973 г. М-07191.
Формат бумаги 60 × 90¹/₁₆. Бумага № 2. Печ. л. 8+1 вкл. Уч.-изд. л. 8,87. Тираж 2000 экз.
Заказ № 2161/830. Цена 45 коп.

Издательство «Недра». Ленинградское отделение.
193171, Ленинград, С-171, ул. Фарфоровская, 12

Ленинградская типография № 6 «Союзполиграфпрома» при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
196006, г. Ленинград, Московский пр., 91.