

0, 75
A-1
АКАДЕМИЯ НАУК КИРГИЗСКОЙ ССР
Отделение естественных и технических наук
ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ

На правах рукописи

*В совете
21/11/65
И. Давид*
В. Г. ВОЛЫНКИН

**ВОПРОСЫ ИЗМЕРЕНИЯ
ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ГРУНТОВ
ГОРНЫХ РАЙОНОВ ПРИ
СОЗДАНИИ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Соответствие визирувавшему
Главного инженера по техническим вопросам:
Директор Института Автоматизации АН Киргизской ССР
Г. Шевцов 1965 г.

Волынкин
Фрунзе 1965

0, 75
А-1
АКАДЕМИЯ НАУК КИРГИЗСКОЙ ССР

Отделение естественных и технических наук

ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ

На правах рукописи

*В совете
21/11/65
И. Давыдов*
В. Г. ВОЛЫНКИН

**ВОПРОСЫ ИЗМЕРЕНИЯ
ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ГРУНТОВ
ГОРНЫХ РАЙОНОВ ПРИ
СОЗДАНИИ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Соответствие визированному
Главного эксперта по авторефератам:
Пректор Института АН Киргизской ССР
Г. Давыдов 1965

Волыкин

Фрунзе 1965

АКАДЕМИЯ НАУК КИРГИЗСКОЙ ССР

Отделение естественных и технических наук

ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ

В. Г. ВОЛЫНКИН

ВОПРОСЫ ИЗМЕРЕНИЯ
ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ГРУНТОВ
ГОРНЫХ РАЙОНОВ ПРИ СОЗДАНИИ
ЗАЕМЛИТЕЛЕЙ

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научные руководители: академик
АН Киргизской ССР, доктор техниче-
ских наук, профессор

Н. Н. Шумиловский.

Кандидат технических наук, доцент
В. С. Луговой

Фрунзе 1965

4	№
	РАЗРЕШАЕТСЯ в свет ИИ ФРУНЗЕ 20/11 1965 г.

В В Е Д Е Н И Е

Развернувшееся крупное гидроэнергетическое строительство в республиках Средней Азии связано с большим сетевым строительством, включающим создание ряда линий электропередач высокого и сверхвысокого напряжения. Это в свою очередь связано с введением в действие большого количества различных электроустановок для которых потребуются заземлители, предназначенные обеспечить нормальную работу электроустановок и безопасность обслуживающего их персонала. В то же время вопросы, связанные с созданием эффективных и экономичных заземлителей в горных грунтах, очень сложны и недостаточно еще изучены. Как показывает практика, стоимость и надежность работы заземлителя зависят от правильного выбора его типа и конструкции, а также от электрического сопротивления грунта. Наиболее же эффективными их видами будут такие, которые позволят максимально использовать слои грунта и различные геологические среды, имеющие высокую электропроводность. Поэтому для создания эффективных заземлителей необходимо знать как электрические, так и почвенно-геологические характеристики грунтов. Параметрами, определяющими электрическую характеристику грунта, является величина его удельного электрического сопротивления ρ и коэффициент сезонности φ , отражающий изменение ρ в течение года. В инженерной практике ρ определяется путем его непосредственного измерения на месте строительства заземлителя. Значение же φ находится путем многолетних наблюдений за сезонным изменением сопротивления стационарного заземлителя в том или другом грунте.

В связи с тем, что электрические характеристики грунтов горной части Средней Азии ранее не изучались, проектные организации вынуждены были принимать их по данным, полученным экспериментально в Европейской части СССР, что, естественно, приводило к значительным расхождениям фактических и проектных величин сопротивлений заземлителей.

Эти расхождения в известной мере связаны также с учетом в проектах особенностей работы заземлителей в слоистых грунтах горных районов, а также ошибками при интерпретации результатов измерений, проводимых по методике, общепринятой для оценки электропроводности однородных грунтов. Таким образом, создание эффективных заземлителей в специфических грунтах горных районов связано с вопросами измерения электропроводности этих грунтов и решением задач, заключающихся в исследовании электрических характеристик грунтов, работы заземлителей в слоистых грунтах, возможности использования методов электроразведки и, в частности, метода индуктивной электроразведки, основанной на использовании естественных электромагнитных полей звуковой частоты.

Попытка решения этих задач и составляет основное содержание настоящей работы, выполненной автором в период с 1954 по 1964 гг., по предложению республиканских организаций, проектирующих и сооружающих заземлители, а также Института краевой медицины АМН СССР, разрабатывающего вопросы электробезопасности.

Определение электрических характеристик грунтов Киргизии и изучение работы заземлителей в этих грунтах автор проводил в лаборатории электроэнергетики Киргизского научно-исследовательского отдела энергетики «Главтехстройпроект» ГПК по энергетике и электрификации СССР под руководством кандидата технических наук доцента В. С. Лугового.

Работы, связанные с исследованием возможности использования методов электроразведки при выборе эффективных заземлителей, а также создание опытных макетов измерительной аппаратуры для индуктивной электроразведки, автор выполнял в возглавляемой им лаборатории геофизической электротехники Института автоматики АН Киргизской ССР под руководством академика АН Киргизской ССР доктора технических наук, профессора Н. Н. Шумиловского.

Реферируемая работа состоит из трех глав и приложений.

В первой главе рассмотрена специфика грунтов горных районов и особенности измерения удельного электрического сопротивления этих грунтов, а также вопросы выбора и расчета в них заземлителей. Вторая глава посвящена экспериментальным исследованиям электрических характеристик грунтов и электропроводности геологических сред горных районов Киргизии. В ней же изложены перспективы применения методов электроразведки для оценки электропроводности геологических сред. Третья глава содержит результаты экспериментальных исследований естественных электромагнитных полей

линий электропередач на территории Киргизии, описание принципов построения аппаратуры для измерения этих полей, а также вопросы создания опытных макетов аппаратуры и экспериментальной проверки метода электроразведки для поиска высокопроводящих геологических сред в целях создания в них эффективных глубинных заземлителей.

ЗАЗЕМЛИТЕЛИ В СПЕЦИФИЧЕСКИХ ГРУНТАХ ГОРНЫХ РАЙОНОВ

Специфика грунтов горных районов заключается в том, что они, как правило, чрезвычайно неоднородны и зачастую имеют слоистое строение с резко различной электропроводностью слоев. Почвенный слой с высокой электропроводностью в горах обычно тонок или совсем отсутствует, а подстилающими средами являются или коренные горные породы, или продукты их разрушения с низкой электропроводностью. Иногда коренные горные породы могут представлять собой различные «закрытые» локальные рудные тела и минералы с очень высокой электропроводностью. Поэтому наиболее эффективными видами заземлителей в горных грунтах будут такие, которые позволят максимально использовать почвенные слои грунта и тела с высокой электропроводностью. Выявление таких тел предлагается производить с помощью методов электроразведки, причем геоэлектрические измерения рассматриваются как основа для проектирования заземлителей. Несмотря на широкие возможности использования геофизических методов, последние еще не получили пока широкого применения в практике создания заземлителей в горных районах. Определение удельных электрических сопротивлений грунтов горных районов производится обычно с помощью общепринятых методов «четырех электродов» и «контрольного электрода». Однако интерпретация результатов измерения этих, в отличие от однородных грунтов равнинных районов, должна производиться с помощью палеточных кривых, используемых при электроразведке, а также известных расчетных кривых В. В. Бургсдорфа.

В заключении главы приведены построенные по данным экспериментов расчетные кривые для выбора эффективных заземлителей в слоистых грунтах Киргизии и даны основные условия выбора и расчета заземлителей в горных районах, базирующиеся на разработках В. В. Бургсдорфа и О. В. Волковой, Л. Е. Эбина и А. И. Якобса, а также рекомендации Н. А. Мельникова, С. С. Рокотяна, А. Н. Шеренциса.

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ И ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД ГОРНЫХ РАЙОНОВ КИРГИЗИИ

Электрическая характеристика грунта (ρ и ϕ) зависит главным образом от состава и строения грунта, его влажности, температуры и количественного содержания растворимых в воде солей. В природных условиях все указанные факторы действуют одновременно, причем последние три изменяются в течение года, уменьшая ρ в период весеннего снеготаяния и дождей и увеличивая его в зимнее и засушливое время при промерзании или высыхании грунта.

Сложная орография Киргизии и множество ее геоморфологических и климатических характеристик обуславливают широкий диапазон и разнообразие электрических характеристик грунтов республики. Изучение последних велось путем систематических измерений сопротивлений опытных стационарных заземлителей, размещенных в типичных грунтах по всей территории Киргизии. Измерения производились прибором типа МС-07. При этом систематические ежемесячные измерения сопротивления указанных заземлителей велись в период с 1954 по 1960 гг. только в Чуйской долине и Иссык-Кульской котловине, а в остальных районах республики в связи с трудностями организации наблюдения эти измерения производились только по четыре раза в год в характерные сезоны года. Так как для получения достоверных данных об электрических характеристиках грунтов их изучение необходимо вести в течение 20—50 лет, то весьма желательно определять эти характеристики аналитически. Однако решение подобной задачи получено А. И. Якобсом лишь для однородного грунта. В связи с этим автором предложен приближенный графо-аналитический метод определения электрических характеристик грунтов горных районов, заключающийся в следующем. Для грунта, структура и электрическая характеристика которого известны, строятся экспериментальные кривые $\rho = f(q, T)$, где q и T — соответственно количество осадков и температура воздуха в районе исследования грунта за период, предшествующий измерению ρ . Общий вид таких кривых $\rho = f(q, T)$, полученных экспериментально для четырехслойного грунта в Чуйской долине Киргизии, показан на рис. 1. Значения ρ аналогичного по структуре и строения грунта в любом другом районе Киргизии определяются по известным в УГМС среднемесячным значениям q и T и кривым, рис. 1, а затем по полученным значениям ρ находятся коэффициенты ϕ . Как показа-

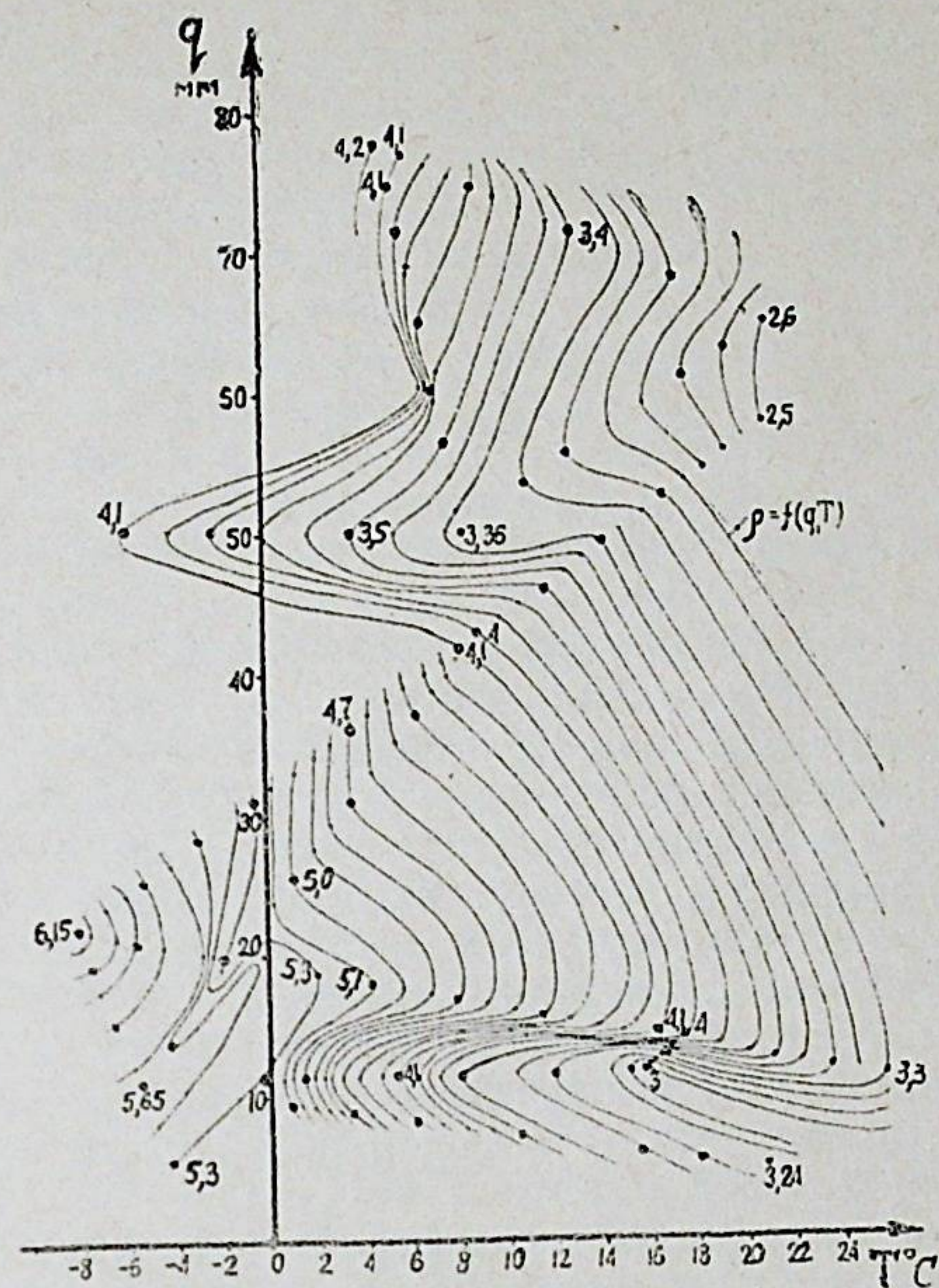


Рис. 1. Экспериментальные кривые $\rho = f(q, T)$ для сложного грунта Чуйской долины. ρ — удельное электрическое сопротивление грунта, ом.м. q — количество осадков, мм T — температура воздуха, °C.

ла проверка, осуществленная путем контрольных измерений сопротивления опытных заземлителей, установленных в грунтах других районов, расхождение между величинами ρ , определенными с помощью кривых $\rho = f(q, T)$, и контрольными измерениями разнятся не более чем на 28%.

Полученные экспериментально и дополненные с помощью указанных кривых электрические характеристики грунтов Киргизии были обработаны статистически, систематизированы и для удобства практического использования представлены в виде карты районирования грунтов Киргизии по электрическим и почвенно-геологическим характеристикам.

Данные этой карты характеризуют лишь верхние рыхлые слои грунта, лежащие над коренными породами пластом толщиной от нескольких десятков сантиметров до 10 м. В этом обычно хорошо проводящем слое и располагаются в большинстве случаев заземлители поверхностного (протяженного) или углубленного типа. Однако в горных районах верхний рыхлый слой может быть образован и плохо проводящими обмолочными породами, тогда как «закрытые» коренные породы могут представлять собой хорошо проводящие геологические среды. В этих условиях следует создавать глубинные заземлители, параметры которых будут определяться электрическими характеристиками коренных пород.

Исходя из этих соображений были также изучены, систематизированы и представлены в виде карты электропроводности геологических сред Киргизии материалы тридцатилетних геофизических исследований, выполненных, в разное время на территории республики различными геофизическими партиями с целью поиска и разведки полезных ископаемых. Эти исследования в основном были проведены методами электроразведки с помощью геофизических станций, размещающихся на автомашинах. Поэтому участки, охваченные таким изучением, расположены в тех горных районах, которые доступны для автотранспорта. Полученные результаты на каждом участке представляют собой оценку электропроводности геологических сред, залегающих от земной поверхности на глубине до 100 м и более.

В этой же главе рассмотрены перспективы применения некоторых методов электроразведки для оценки электропроводности геологических сред в тех высокогорных районах, которые малодоступны или совсем не доступны для автотранспорта. В этих условиях предпочтение должно быть отдано тем методам электроразведки, для которых аппаратура имеет малый вес и габариты. К ним относятся методы: 1) теллурических токов, 2) радиокип, 3) сопротивлений: электроразведка (ВЭЗ и ДЭЗ) и электропрофилирование (ЭП). Каждый из этих методов в свою очередь имеет ограниченную область применения, обусловленную присущими им следующими недостатками: первый не эффективен при исследованиях геологических сред с малой электронной проводимостью, второй обладает сравнительно малой глубиной и точностью исследования, а на результаты измерений при постоянном токе (третий метод) сказывается экранирующее действие верхних слоев грунта с низкой электропроводностью.

В значительной мере свободен от всех указанных недо-

статков новый метод индуктивной электроразведки, основанный на использовании естественных электромагнитных полей звуковой частоты. Главным его преимуществом по сравнению с индуктивными электроразведочными методами, основанными на использовании искусственных полей, является отсутствие громоздкой генераторной группы для создания первичного поля. В этом случае требуется лишь измерительная аппаратура, которая может быть создана весьма портативной, обеспечивающей возможность применения этого метода в недоступных для транспорта высокогорных районах.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ДЛЯ ПОИСКОВ ХОРОШО ПРОВОДЯЩИХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД

За рубежом уже несколько лет применяется метод индуктивной электроразведки, основанный на использовании естественных электромагнитных полей звуковых и инфразвуковых частот. Однако природа этих полей еще недостаточно изучена и, кроме того, зарубежными авторами не раскрываются принципы построения измерительной аппаратуры. Поэтому по предложению Института физики Земли АН СССР, Институтом автоматики и электрометрии СО АН СССР совместно с Институтом автоматики АН Киргизской ССР было начато создание аппаратуры, позволяющей реализовать указанный метод индуктивной электроразведки. В результате этих работ в ИАЭ СО АН СССР при участии Г. А. Штамбергера, Э. В. Пасько и В. Д. Гельфанда был создан опытный макет прибора НЧМ-1, а в ИА АН Киргизской ССР при участии автора создан опытный макет прибора НИМ-2. С помощью этой аппаратуры был проверен указанный метод электроразведки в горах Киргизии, что позволило обнаружить хорошо проводящие геологические среды, в которых могут быть созданы эффективные глубинные заземлители.

К основным источникам естественных электромагнитных полей относят: молниевые разряды, вариации атмосферного электричества, магнитный эффект метеоров, взаимодействие корпускулярного излучения Солнца с ионосферой в присутствии магнитного поля Земли, вариации магнитного поля Земли, промышленные помехи, микросейсмические помехи и т. п. Напряженность суммарного электромагнитного поля этих источников во времени носит случайный характер, а частотный спектр полей простирается от долей герца до радиочастот. К основным источникам поля в диапазоне от 20 до 1000 гц относят молниевые разряды и промышленные помехи. Энергия их электромагнитных волн распространяется в сфериче-

ском волноводе, ограниченном нижней поверхностью ионосферы и поверхностью Земли. Вблизи геологических неоднородностей первичное поле искажается вторичным, аномально суммарное поле в общем случае становится эллиптически поляризованным. Характер же изменения угла наклона плоскости поляризации к горизонту непосредственно связан с неоднородностью электропроводности геологических сред района исследования и почти не зависит от характера изменения напряженности естественного электромагнитного поля.

Малоизученным, но весьма перспективным, является вопрос об использовании в качестве естественных электромагнитных полей поля линий электропередач. Поэтому автором на территории Киргизии были экспериментально исследованы поля действующих ЛЭП с целью выявления возможности использования их для поисков хорошо проводящих геологических сред при создании эффективных заземлителей в горных районах.

Напряженность электромагнитного поля ЛЭП, как правило, обусловлена током нулевой последовательности I_0 . По результатам измерений тока I_0 в сети Фрунзенской энергосистемы были вычислены напряженности магнитного поля H частотой $f=50$ гц по формуле В. Р. Бурсиана.

$$|H| = 1,13 \frac{I_0}{x^2} \sqrt{\frac{\rho}{f}} 10^{-4} \left[\frac{a}{m} \right], \quad (1)$$

где ρ — удельное электрическое сопротивление грунта, Ом. м;
 x — расстояние от места измерения H до ЛЭП, км.

Границы зон действия электромагнитных полей ЛЭП Киргизии были определены на основании реальной чувствительности аппаратуры НИМ-2, предназначенной для измерения этих полей. При этом установлено, что около 70% всей территории Киргизии покрыто переменными магнитными полями с минимальной напряженностью $H=10^{-7} \frac{a}{m}$. Напряженность магнитных полей ЛЭП носит случайный характер изменения во времени. Измерение угла наклона плоскости поляризации эллиптически поляризованного магнитного поля может быть произведено с помощью портативной аппаратуры НИМ-2, блок-схема которой показана на рис. 2. Эта аппаратура состоит из высокочувствительных приемных элементов (блок А) и измерительного блока Б. Блок приемных элементов представляет собой два жестко связанных между собой взаимно перпендикулярных рамок (I — вертикальная и II — горизонтальная) с сердечниками из трансформаторной стали.

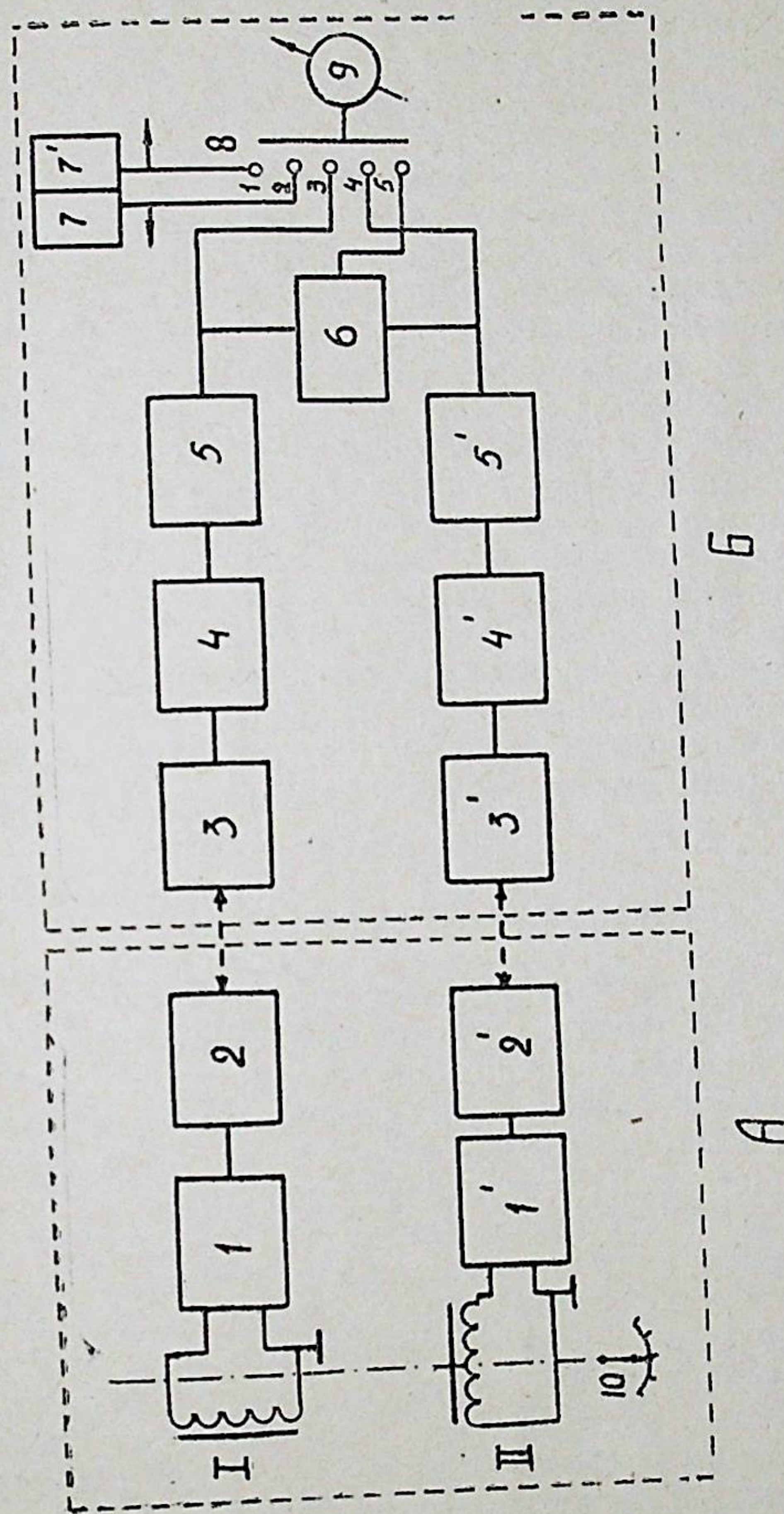


Рис. 2. Блок-схема аппаратуры НИМ-2:
 А — блок приемных рамок; Б — измерительный блок; 1, II — приемные рамки; 1, I — элементы для настройки; 2, 2' — усилители; 3, 3' — избирательные усилители; 4, 4' — делители напряжения; 5, 5' — широкополосные усилители; 6 — умножающая схема; 7, 7' — источники питания; 8 — переключатель; 9 — стрелочный прибор; 10 — измеритель угла наклона (инклинометр).

Каждая рамка настроена в резонанс на шесть фиксированных частот: 20, 50, 80, 150, 480 и 960 *гц*. Наведенные в рамке I сигнал U_1 , а в рамке II — U_2 после предварительного усиления через (2,2') передаются по кабелю длиной около 4 м в измерительный блок. Эти сигналы (U_1 и U_2), усиленные с помощью избирательных (3,3') и широкополосных (5,5') усилителей, подаются на умножающую схему (6), к выходу которой подключен стрелочный прибор. Избирательность усилителей (3,3') осуществляется с помощью двойных Т-образных RC фильтров в цепи отрицательной обратной связи. Действие умножающей схемы (6) основано на использовании квадратичной части вольт-амперных характеристик полупроводниковых диодов с последовательно включенными термозависимыми сопротивлениями типа ММТ. Если приемные рамки расположены так, что I рамка занимает вертикальное положение, а II — горизонтальное, то при наличии аномального переменного магнитного поля в них будут наведены соответственно сигналы

$$U_1 = U_c \cos\Theta \text{ и } U_2 = U_c \sin\Theta$$

где Θ — угол поворота оси II рамки относительно суммарного вектора U_c , соответствующего углу наклона плоскости поляризации α . При этом на выходе умножающей схемы получим среднее значение сигнала \bar{U} , т. е.

$$\bar{U} = 4kU_1U_2 = 4kU_c^2 \sin 2\Theta. \quad (2)$$

Из (2) следует, что показание индикатора аппаратуры НИМ-2 (9), включенного на выходе умножающей схемы (6), будет максимальным при расположении рамок под углом $\Theta = \pm 45^\circ$ относительно суммарного вектора U_c и равным нулю при совмещении продольной оси горизонтальной рамки с направлением вектора U_c ($\Theta = 0^\circ$). Отсчет угла наклона плоскости поляризации α производится по инклинометру (10), жестко связанному с подвижной частью приемных элементов.

В заключении третьей главы приведены результаты экспериментальной проверки метода индуктивной электроразведки для поиска высокопроводящих рудных тел в горах Киргизии в районе Таш-Короо, которые были предварительно исследованы геофизическим методом вызванной поляризации «ВП» и бурением. Интерпретация результатов измерений, произведенная по формулам А. И. Заборовского, А. Г. Тархова и Ю. Б. Шауба, позволила установить большую сходимость данных метода естественных электромагнитных полей с ре-

зультатами метода «ВП» и бурения. Таким образом, указанный метод является достаточно эффективным при поисках рудных тел, залегающих на глубинах до 100 м и обладающих контрастностью по удельным электрическим сопротивлениям относительно вмещающих пород в пределах 1:5, 1:10 и более.

Кроме того, этот метод является весьма производительным, так как его аппаратура позволяет осуществлять до 200 измерений за 8 часов работы в горной пересеченной местности при шаге наблюдения 20 м. Все это приводит к заключению, что метод индуктивной электроразведки, основанный на использовании естественных электромагнитных полей, может быть рекомендован производственным организациям для практического его использования при поисках в высокогорных районах «закрытых» локальных участков геологических сред с хорошей электропроводностью в целях создания в них глубинных заземлителей.

В приложении дается акт проверки указанного метода электроразведки и полевых испытаний предлагаемой аппаратуры, приводятся проектные и фактические данные о заземлителях на станциях и подстанциях Киргизии, а также пример использования карт электрических характеристик грунтов и геологических сред Киргизии при выборе мест расположения рабочих заземлителей землепроводных ЛЭП постоянного тока Токтогульской ГЭС.

ВЫВОДЫ

1. В отличие от грунтов равнин, грунты горных районов имеют свою специфику, которая состоит в том, что они, как правило, чрезвычайно неоднородны и зачастую имеют слоистое строение с резко различной электропроводностью слоев. Почвенный слой с высокой электропроводностью в горах обычно тонкий или совсем отсутствует, а подстилающими породами являются или коренные горные породы, или продукты их разрушения с низкой электропроводностью. В подстилающие породы иногда включены локальные рудные тела, минералы и другие среды с высокой электропроводностью. Выявление таких тел предлагается производить с помощью методов электроразведки, причем результаты геоэлектрических измерений должны лечь в основу проектирования заземлителей в грунтах горных районов.

2. Общепринятые методы определения удельных электрических сопротивлений грунтов ρ (метод четырех электродов и метод контрольного электрода) применимы и для грунтов горных районов. Однако интерпретация результатов измерений

этих грунтов имеет свою специфику. При использовании метода четырех электродов в горных районах интерпретация должна производиться с помощью двухслойных палеток (семейства теоретических кривых), используемых обычно при электроразведке. При применении метода контрольного электрода интерпретация должна производиться с помощью расчетных формул, учитывающих слоистое строение горных грунтов.

3. Эффективность заземлителей в грунтах горных районов может быть определена по минимальному значению действующего удельного сопротивления грунта ρ_0 , зависящего не только от электрических свойств грунта, но и от типа, конструкции, геометрических размеров и расположения заземлителя. В инженерной практике величина ρ_0 может быть определена на основании фактических измерений ρ и расчетных формул, учитывающих слоистое строение грунта, или соответствующих расчетных кривых В. В. Бургсдорфа. Кроме того, значения ρ_0 могут быть получены путем прямого измерения сопротивлений предварительно заложенного в грунт отдельных элементов предполагаемого типа заземлителя на месте его установки. Созданию заземлителей в грунтах горных районов должно предшествовать тщательное геофизическое исследование для выявления локальных высокопроводящих геологических сред (рудных тел, минералов и т. п.).

4. По условиям создания заземлителей грунты Киргизии могут быть разделены на следующие группы:

а) грунты с мощным (более 5 м) верхним глинистым слоем, обладающим хорошей электропроводностью;

б) грунты с маломощным (0,2 — 2,0 м) верхним глинистым слоем с хорошей электропроводностью, подстилаемым мощными толщами каменисто-галечниковых наносов или коренными породами с малой электропроводностью;

в) грунты, сложенные из каменисто-галечниковых наносов и обломочных пород без почвенного слоя. Эти грунты обладают малой электропроводностью.

Создание заземлителей в грунтах группы «а» не представляет трудностей, и расчеты их выполняются по общепринятой методике. В этих грунтах наиболее эффективными являются заземлители, состоящие из ряда вертикально забитых в грунт отрезков металлических стержней длиной от 2,5 до 3,0 м, объединенных между собой полосой.

Созданию заземлителей в грунтах группы «б» должны предшествовать более сложные изыскания и геофизические исследования с целью обоснования наиболее рационального

типа заземлителя, максимально использующего слой грунта или геологическую среду с хорошей электропроводностью. Как показывает практика, рациональными типами заземлителей в грунтах группы «б» с верхним глинистым слоем толщиной от 0,5 до 1,0 м являются полосовые заземлители длиной до 10 м с малой глубиной заложения. При толщине верхнего слоя в 1,0 м и более рационально использовать отрезки стержней, объединенных между собой полосой.

Создание эффективных заземлителей в грунтах группы «в» требует не только геофизических исследований, но в зависимости от местных условий создания искусственного хорошо проводящего слоя грунта вокруг заземлителя. В грунтах этой группы могут также оказаться эффективными различные выносные заземлители.

5. Как показали экспериментальные исследования, специфика грунтов и большое разнообразие климатических режимов горных районов Киргизии обуславливают широкий диапазон изменения электрических характеристик грунтов. В связи с этим каждый горный район Киргизии имеет специфические признаки климатических зон и электрических характеристик грунтов, существенно отличающиеся от рекомендованных ВЭИ для равнинной части СССР. В результате изучения опытных заземлителей, расположенных в типичных горных грунтах Чуйской долины и Иссык-Кульской котловины, и оценки электрических характеристик грунтов других районов Киргизии с помощью предложенного автором приближенного графо-аналитического метода были получены электрические характеристики грунтов для всей территории республики, что позволило построить удобную для практического использования карту районирования грунтов Киргизии по почвенно-геологическим и электрическим характеристикам. Для облегчения поисков локальных хорошо проводящих геологических сред, в которых могут быть созданы эффективные глубинные заземлители, составлена карта электропроводности геологических сред Киргизии, на которой обобщены данные обработки материалов многолетних геофизических исследований.

6. Для обнаружения «закрытых» локальных участков геологических сред с хорошей электропроводностью могут быть применены любые известные методы электроразведки. Однако аппаратура, реализующая такие методы, весьма громоздка и оснащенные ею передвижные электроразведочные станции могут быть использованы лишь в доступных для автотранспорта районах. В высокогорных районах, не доступных для указанных станций, могут быть использованы лишь те методы электроразведки, которые базируются на переносной порта-

тивной аппаратуре. К ним в первую очередь относятся методы: 1) теллурических токов, 2) радиокип и 3) сопротивлений — электрозондирование и электропрофиллирование. Наиболее приемлемым для решения задачи о создании глубинных заземлителей в горных районах Киргизии является метод сопротивлений. «Закрытые» локальные участки могут быть выявлены также методами индуктивной электроразведки, использующие искусственные электромагнитные поля. Так как источниками последних являются весьма громоздкие генераторные установки, эти методы мало пригодны в горных условиях.

7. Для геофизических исследований в горах может быть применен индуктивный метод электроразведки, основанный на использовании естественных электромагнитных полей звуковой частоты, в том числе и полей от линий электропередач. Зоны действия электромагнитных полей ЛЭП Киргизии с минимальной напряженностью магнитных полей $H=10^{-7} \frac{a}{m}$ покрывают около 70% всей площади республики и могут быть использованы для целей выявления локальных участков геологических сред с хорошей электропроводностью при создании глубинных заземлителей в грунтах высокогорья.

8. Аппаратура, реализующая указанный в п. 7 метод, может содержать избирательные приемники и базироваться на измерении угла наклона плоскости поляризации эллиптически поляризованного магнитного поля. Характер изменения угла наклона плоскости поляризации к горизонту непосредственно связан с неоднородностью электропроводности геологических сред района исследования и почти не зависит от характера изменения напряженности естественного электромагнитного поля, что и является основой для поисков хорошо проводящих геологических сред.

9. Метод индуктивной электроразведки, основанный на использовании естественных электромагнитных полей, был экспериментально проведен в горах Киргизии с помощью опытных макетов аппаратуры НЧМ-1, созданной в Институте автоматики и электрометрии СО АН СССР и НИМ-2, разработанной в Институте автоматики АН Киргизской ССР при участии автора. Сопоставление полученных результатов с данными других методов показало их большую сходимость, поэтому этот метод электроразведки и аппаратуры для поисков и разведки «закрытых» локальных участков хорошо проводящих геологических сред могут быть рекомендованы для практического использования при создании глубинных заземлителей в грунтах горных районов.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. *Волюнкин В. Г.* Сезонные изменения удельных сопротивлений грунтов Киргизии. Труды конференции по электротравме. Изд. АН Киргизской ССР, Фрунзе, 1957.

2. *Волюнкин В. Г.* Электрические характеристики грунтов Киргизии. В сб. «Проблемы высокогорной электротехники». Изд. АН Киргизской ССР, Фрунзе, 1961.

3. *Волюнкин В. Г.* О возможности применения метода естественных электромагнитных полей для выбора оптимальных типов заземлителей в горных грунтах. Изд. АН Киргизской ССР, V, вып. 5, Фрунзе, 1963.

4. *Волюнкин В. Г., Гельфанд В. Д., Ерхов В. А., Пасько Э. В., Частнов А. Ф., Штамбергер Г. А.* Некоторые результаты применения естественных электромагнитных полей для поиска высокопроводящих рудных тел. В сб. «Физические методы автоматического контроля». Изд-во «ИЛИМ», Фрунзе, 1964.

5. *Луговой В. С., Апостолов Г. А., Волюнкин В. Г., Жуков Н. Н.* Некоторые данные для проектирования воздушных линий электропередач Киргизии. Изд. ИНТИ ГНТК СМ Киргизской ССР, Фрунзе, 1960.

6. *Луговой В. С., Левитов В. И., Волюнкин В. Г., Гречко Г. В., Апостолов Г. А.* Экспериментальная база электротехнических исследований по проблеме «Большого Нарына». Изд. АН Киргизской ССР, вып. IV, Фрунзе, 1957.

7. *Луговой В. С., Апостолов Г. А., Волюнкин В. Г., Гречко Г. В., Жуков Н. Н.* К выбору расчетных условий при проектировании линий электропередач в Киргизии. Изд. АН Киргизской ССР, 1, вып. IV, Фрунзе, 1959.

8. *Волюнкин В. Г.* Вопросы создания эффективных заземлителей в высокогорных районах. III координационное и научно-техническое совещание по высокогорным электропередачам, тезисы, 1964, Фрунзе.

9. *Гладков А. М., Волюнкин В. Г.* О возможности использования электромагнитных полей линий электропередач для индуктивной электроразведки. I—научно-техническая конференция молодых ученых по теории и технике автоматического управления и автоматического контроля, тезисы, 1964, Фрунзе.

По отдельным вопросам диссертации автором были сделаны доклады на следующих конференциях и совещаниях:

1. Всесоюзная конференция по электротравме 19—20 декабря 1956 г. в г. Фрунзе.

2. Всесоюзное научно-техническое совещание по высокогорным электропередачам 23—25 мая 1960 г. в г. Фрунзе.

3. Научно-техническая конференция молодых ученых по теории и технике автоматического управления и автоматического контроля 20—21 апреля 1964 г. в г. Фрунзе.

4. Третье Всесоюзное координационное и научно-техническое совещание по высокогорным электропередачам 1—3 октября 1964 г. в г. Фрунзе.