

А51

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ОРДЕНА ЛЕНИНА ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ЗЕМЛИ имени О.Ю.ШМИДТА

На правах рукописи

Н.В.КАБЫЧЕНКО

РАЗРАБОТКА МНОГОКАНАЛЬНОЙ РАДИОСЕЙСМИЧЕСКОЙ
АППАРАТУРЫ ДЛЯ Г С З

(05.253 - приборы и устройства
автоматики и телемеханики)

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1971 г.

+

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ОРДЕНА ЛЕНИНА ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ЗЕМЛИ имени О.Ю.ШМИДТА

На правах рукописи

Н.В.КАБЫЧЕНКО

РАЗРАБОТКА МНОГОКАНАЛЬНОЙ РАДИОСЕЙСМИЧЕСКОЙ
АППАРАТУРЫ ДЛЯ Г С З

(05.253 - приборы и устройства
автоматики и телемеханики)

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1971 г.

51
Работа выполнена в Ордена Ленина Институте физики Земли имени О.Ю.Шмидта Академии наук СССР.

Научный руководитель - старший научный сотрудник, кандидат технических наук А.Г.Фомичев.

Официальные оппоненты:

1. Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, профессор, доктор технических наук Г.Л.Шнирман.

2. Старший научный сотрудник, кандидат физико-математических наук В.М.Фремд.

Ведущая организация - Институт автоматики и электрометрии СО АН СССР.

Автореферат разослан "1" апреля 1971г.

Защита состоится "4" мая 1971 г. на заседании Специализированного ученого совета по сейсмологии ордена Ленина Института физики Земли им.О.Ю.Шмидта АН СССР.

Адрес: г.Москва, Д-242, Б.Грузинская ул., 10.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института.

Ученый секретарь совета

И.М.Кузнецова



В В Е Д Е Н И Е

В ускорении научно-технического прогресса большую роль играют науки о Земле и, в частности, изучение земных недр сейсмическими методами. Последние дают наиболее полную информацию о реальных средах.

Для изучения строения земной коры и верхней мантии широко используется метод глубинного сейсмического зондирования /ГСЗ/, предложенный академиком Г.А.Гамбурцевым и развитый его последователями. За последние годы метод ГСЗ прочно вошел в комплекс геофизических исследований как наиболее детальный метод изучения земных недр примерно до глубины 50-100 км на континентах и до 15-25 км в океанах. При помощи этого метода изучено глубинное строение различных тектонических зон территории СССР и акваторий омывающих его морей.

Сочетание сейсморазведочных методов и ГСЗ дало возможность изучать верхнюю часть консолидированной коры, что имеет большое практическое значение для выяснения закономерностей в размещении зон развития полезных ископаемых, для прогноза землетрясений, вулканических извержений и т.д.

Однако проведение региональных исследований сопровождается рядом методических и технических трудностей. Основные технические трудности обусловлены несовершенством существующей аппаратуры и дороговизной метода.

При работах по ГСЗ используются многоканальные сейсмичес-

кие станции с осциллографической записью и станции с промежуточной магнитной записью /ПМЗ/. Передача колебаний от приемников к станциям осуществляется при помощи громоздких сейсмических кос. Указанные трудности в большой мере могут быть преодолены, если использовать новую, более современную технику.

Технический прогресс в области радиоэлектроники оказал существенное влияние и на регистрирующую сейсмическую аппаратуру. Наряду с такими традиционными устройствами как сейсмоприемники, усилители, шлейфовые осциллографы и перописцы используется ряд новых функциональных устройств: цифровые преобразователи /прямые и обратные/, магнитофоны, устройства уплотнения и коммутации каналов, приемно-передающие радиосредства и т.п. ГСЗ является одним из тех направлений сейсмических исследований, которые остро нуждаются в новой аппаратуре и, в частности, в применении радиолиний.

Необходимость использования радиолиний вместо проводов вызывается рядом задач и условий. Перечислим только некоторые из них:

1. Работа на море и на суше, в труднопроходимых районах.
2. Расширение масштабов площадных сейсмических съёмок.
3. Дистанционное управление пунктами регистрации.
4. Передача упреждающего сигнала при регистрации землетрясений.
5. Исследования в опасной зоне взрыва.
6. Синхронная регистрация на большой площади микросейсм.

Вопросам создания сейсмических станций с радиоканалом уделяется должное внимание как в СССР /Чичинин И.С., Его-

ров Г.В., Юргенсон Р.И., Довбета Л.И., Монастырев В.К., Белавин Ю.С., Преображенский В.Б. и другие/, так и за рубежом /O.C. Montgomery, G. Peterson, Р.Сэки и другие/.

В нашей стране впервые созданием радиосейсмической станции занимался С.И.Иванов, под руководством которого в конце 50-х - начале 60-х годов была разработана на радиолампах радиосейсмостанция РСС-60, на примере которой были доказаны ее экономическая эффективность и целесообразность создания подобных станций.

Полупроводниковый напольный пункт для этой станции в 1961-1963 г.г. разрабатывался в Институте физики Земли АН СССР под руководством Г.М.Борковского.

В период с 1963-г. по 1969 г. под руководством автора в ИФЗ АН СССР велись работы по созданию радиосейсмической аппаратуры для ГСЗ. Разработаны два типа станций: РСС-21 /многоканальная, с цифровой и аналоговой регистрацией/ и ПРТС-3 /трехкомпонентная, с аналоговой регистрацией/.

Глубинное сейсмическое зондирование сталкивается еще с одной технической задачей. К настоящему времени накоплен огромный объем магнитных аналоговых записей, полученных за большой период времени в разных районах СССР, причем приток этих записей не сокращается. Своевременная обработка этих материалов с привлечением ЭЦВМ затруднена, так как форма записи не соответствует требованиям ввода в машину. Поэтому решение последней проблемы является неотложным и актуальным делом, что и было учтено при создании радиосейсмической станции РСС-21.

Материалы исследования и разработки многоканальной сейсмической аппаратуры даны на приеме регистрации сигналов ГСЗ, однако основные положения, методы анализа, а также сами станции и их отдельные блоки могут быть применены и для других задач, связанных с регистрацией сейсмических сигналов.

Кроме введения диссертация содержит постановку задачи, обзор отечественных и зарубежных радиосейсмических устройств, пять глав с изложением материала исследований, основные выводы, список использованной литературы и приложение.

Первая глава посвящена методике ГСЗ и параметрам регистрирующей аппаратуры. Метод ГСЗ, предложенный академиком Г.А.Гамбурцевым, является естественным развитием сейморазведочного корреляционного метода преломленных волн /КМПВ/. Он основан на регистрации преломленных и отраженных волн, связанных с глубинными границами раздела. Волны возбуждаются взрывами небольших зарядов. Регистрация колебаний производится на расстояниях от нескольких десятков до нескольких сот километров от источника. Наиболее уверенно на сейсмограммах ГСЗ выделяются волны P^K и P^M , соответствующие поверхности консолидированной коры и поверхности Мохоровичича.

В настоящее время метод ГСЗ стал опорным методом изучения земной коры и верхней мантии при помощи взрывов /Косминская И.П., Вейцман Л.С., Зверев С.М., Годин Ю.А., Пузырев Н.И., Чичинин И.С., Литвиненко И.В., Сологуб В.Б. и другие/. Для оптимальной разработки регистрирующей аппаратуры важно иметь экспериментальные данные о частотном составе и абсолютных уровнях сигналов, регистрируемых при ГСЗ на разных удалениях от источника.

Согласно сведениям, приведенным в работах Косминской И.П., Михоты Г.Г., Зверева С.М., Галкина И.Н. и Рябого В.З. при разнообразных условиях взрыва, на разных удалениях и при разных сейсмологических условиях на записях наблюдаются регулярные колебания, спектры которых на расстояниях свыше 50 км достаточно узкие /относительная ширина - 30-40%/. Максимумы спектров приходятся на частоты 8 ± 15 гц на суше и на частоты 4 ± 6 гц на море.

На основании имеющихся литературных данных основные характеристики сигналов ГСЗ сведены автором в следующую таблицу:

Таблица I.

Сигнал	от источника км	Уровень сигнала $A = 10^{-8}$ см	Полоса частот гц	Крутизна убывания спектра дб/октаву
=====	=====	=====	=====	=====
Фон микро-сейсмический		$0,5 \pm 5$	1 ± 10	I_4
средний		5 ± 50		
высокий		50 ± 2500		
-----	-----	-----	-----	-----
Волны P^K_0	критические 30 ± 50	от I	1 ± 30 1 ± 5	6 ± 8 10 ± 30
-----	-----	-----	-----	-----
Волны $P^M_{отр}$	100 ± 250	до 100 на суше 50 на море	$1 \pm /6 \pm 15/$	$I_4 \pm I_6$
-----	-----	-----	-----	-----
Волны P^M_0	100 ± 250		$1 \pm /8 \pm 15/$	$I_4 \pm I_6$

Таким образом, аппаратура для ГСЗ должна иметь следующие основные параметры:

Мгновенный динамический диапазон - 40 дБ.

Минимальный сигнал - около 1А.

Полосу частот - 1 ± 30 гц.

Сопоставление характеристик существующей аппаратуры /ПСЛ-1-КМПВ, "Поиск", "Зонд" и другие/ с вышеприведенными параметрами свидетельствует о необходимости расширить со стороны низких частот рабочую полосу аппаратуры с 3 ± 6 гц до 1 гц; при этом проблема малогабаритных сейсмоприемников на эти частоты может быть решена на основе исследований, проведенных Дараган С.К. по методике синтеза и расчета сейсмического канала с активной обратной связью.

В главе второй обсуждаются методы построения радиосейсмической аппаратуры, приводятся характеристики разработанных отечественных и зарубежных устройств и дается их сравнительная оценка.

Показано, что большинство разработанной радиосейсмической аппаратуры имеет радиолинию, работающую в одном направлении - для телеуправления /"Тайга" и другие/ или телеизмерения /Т8100/. Для ГСЗ необходимы также станции с радиолинией, действующей в обоих направлениях. К такой аппаратуре относятся отечественные радиосейсмические станции РСС-60, РСС-21 и ПРТС-3.

Сопоставление параметров радиосейсмической аппаратуры показывает, что по динамическому диапазону, уровню шума и радиусу действия большинство радиосейсмической аппаратуры удов-

летворяет требованиям ГСЗ. Однако такие характеристики как цифровая магнитная запись на единый носитель информации, возможность перезаписи в цифровую форму аналоговых магнитных записей присущи только радиосейсмической станции РСС-21.

Обсуждается вопрос классификации радиосейсмических станций, предлагается ввести сравнительный информационно-энергетический показатель для канала телеизмерений, который учитывал бы объем переданной в одну секунду информации и мощность, потребляемую пунктом передачи информации.

Приводятся характеристики радиосейсмических станций РСС-21 и ПРТС-3.

Краткие характеристики РСС-21:

1. Количество каналов - 21.
2. Количество выносимых пунктов регистрации - 7.
3. Радиус действия - 0 ± 20 км.
4. Параметры канала: полоса пропускания частот $\Delta f = 0,3 \pm 30$ гц, мгновенный динамический диапазон - 40 дБ, шум, приведенный ко входу - $0,1 \pm 0,2$ мкВ /эфф/.
5. Основная регистрация - цифровая: скорость магнитофона - 1 м/сек, максимальная длительность регистрации - 8 мин., ширина пленки - 35 мм, количество разрядов - 10, код - двоичный, параллельный.
6. Антенна типа "волновой канал". Усиление - 5 дБ.
7. Диапазон частот радиоканала - УКВ.

Краткие характеристики ПРТС-3:

1. Количество каналов - 3.
2. Радиус действия - 10 км.
3. Параметры канала: $\Delta f = 0,3 \div 100$ гц, регулировка полосы - 10 гц, 20 гц, 45 гц, 100 гц, динамический диапазон - 46 дб, шум, приведенный ко входу - $0,1 \div 0,2$ мкв /эфф/.

4. Регистрация - осциллографическая.

Выходное сопротивление - 100 ом. Постоянная составляющая на выходе отсутствует. Предусмотрена регулировка нуля в пределах $\pm 0,5$ в.

5. Чувствительность приемников - 250 мкв.
6. Мощность передатчиков в импульсе - 100 вт.
7. Высота антенн - 5 м.
8. Питание - от аккумулятора 24 в.
9. Диапазон частот радиоканала - УКВ.

В третьей главе исследуется тракт прохождения сигнала радиосейсмической станции с временным разделением каналов от сейсмоприемника до регистратора, рассмотрены вопросы оптимального выбора характеристик звеньев и устройств канала.

Передача сигналов в многоканальных системах с временным разделением каналов принципиально связана с необходимостью квантования измеряемой величины во времени. По существу этот процесс эквивалентен модуляции. Поэтому частоту квантования f_k необходимо выбирать, исходя из заданной ошибки ϵ , вызываемой перекрытием спектров полезного сигнала и первой боковой полосы квантованного сигнала. Решение задачи в общем

виде весьма сложно. В работе дается приближенное решение, полученное путем аппроксимации реальных спектров ГСЗ функциями типа $F(f) = Af^{m/6}$, где m - крутизна правого склона спектра, выраженная в дб/октаву.

В таблице 2 приведены вычисленные значения относительной среднеквадратической ошибки ϵ % в зависимости от m и f_k/f_{max} , f_{max} - максимальная частота в спектре сигнала.

Таблица 2.

f_k/f_{max}	5	6	7	8	9	10
6	50	45	40	38	35	34
12	14	10	8	6,5	5,5	5
18	5	3	2	1,5	1,0	1,0
30	0,9	0,5	0,3	0,2	0,15	0,1

Целью данной главы является также исследование возможности получения низкого уровня шума канала, спектр которого был бы равномерен в области преобладающих частот сигналов ГСЗ. Этот вопрос приобретает особую важность при исследовании спектров микросейсм и слабых полезных сигналов. Необходимо отметить, что задача измерения спектров в диапазоне звуковых частот в основном решена и промышленностью выпускаются соответствующие анализаторы. Что касается инфранизкочастотной области, то здесь измерение спектральных плотностей представляет все еще серьезную проблему.

Одним из основных источников шума канала является шум транзисторного усилителя сейсмических сигналов. Поэтому были исследованы шумы некоторых транзисторов в области частот $0,3 \div 30$ гц /МП116, П28/. Среднее значение эффективного шума этих транзисторов в режиме $I_{\text{э}} = 80$ мка и $U_{\text{к}} = 0,5$ в в указанной полосе составляет $0,05$ мкв при $R_{\text{г}} < 1,5$ ком. Транзисторы П28 имеют в 3,5 раза меньшую дисперсию среднего значения шума, чем транзисторы типа МП116. Среднее значение шумового тока в режиме холостого хода по входу транзистора равно для транзисторов МП116 - 60 па, для транзисторов П28 - 28 па. Оптимальным сопротивлением источника $R_{\text{г}}$ с точки зрения минимума коэффициента шума $F_{\text{ш}}$ является $R_{\text{г}} = 1 \div 1,5$ ком. При изменении $R_{\text{г}}$ от 0 до $1,5$ ком напряжение шума, приведенное ко входу, существенно не изменяется. При больших значениях $R_{\text{г}}$ рост шума будет определяться шумовым током. Измерение спектральной плотности шума показало, что в пределах от 8 гц до 30 гц спектр шума равномерен /что необходимо принимать во внимание при изучении динамики сейсмических волн по записям станции РСС-21/ и начинает расти на частотах ниже 8 гц. Зависимость $F_{\text{ш}}$ от частоты в диапазоне $0,3 \div 8$ гц при оптимальном $R_{\text{г}}$ аппроксимируется выражением $F = \frac{A}{f^{2,3}}$, где F - коэффициент шума. Измерения проводились на 10-ти фиксированных частотах специально разработанным измерителем, построенным по принципу узкополосной фильтрации с последующим возведением в квадрат и осреднением. Эквивалентная полоса измерителя равна $0,09$ гц на частоте $0,56$ гц и $1,8$ гц на частоте 30 гц. Такие характеристики при малых габаритах измерите-

ля удалось получить путем построения RC-активных фильтров и квадратора с использованием унитронов, МОП-и-биполярных транзисторов. При этом величина емкостей RC-цепей не превышает 1 мкф. Измерения шумовых параметров транзисторов выполнены на 20-ти транзисторах МП116 /из 2-х партий/ и пяти транзисторах типа П28.

Показано, что в указанном режиме триоды П28 и МП116 эквиваленты по среднему значению шума, однако П28 имеет меньшую дисперсию среднего значения и меньший шумовой ток. Последнее имеет значение при $R_{\text{г}} > 1,5$ ком.

В этой же главе приведены осциллограммы узкополосного шума в зависимости $F = \varphi_1(R_{\text{г}})$ и $F = \varphi_2(f)$, параметры фильтров и квадратора, а также практическая схема малошумящего стабильного усилителя сейсмических сигналов, разработанного на базе выполненных исследований.

Важным вопросом является оценка погрешностей, возникающих в процессе восстановления /интерполяции/ квантованного по времени сигнала. Выведено простое соотношение для ступенчатой интерполяции, связывающее среднеквадратичную ошибку ε с соотношением $f_{\text{к}}/f_{\text{max}}$.

$$\varepsilon \approx 1,6 \frac{f_{\text{max}}}{f_{\text{к}}} \quad / \text{ для } \frac{f_{\text{к}}}{f_{\text{max}}} \geq 6 /$$

Расхождения с ε , вычисленными по более точным, но сложным формулам, не превышают 14% . Ступенчатую интерполяцию наиболее просто осуществить на практике. Однако реальная ступенчатая интерполяция будет отличаться от идеальной спадом сигнала на конденсаторе памяти за время T на величину γ .

В работе анализируется такой реальный интерполятор со следующей передаточной функцией:

$$F(p) = \frac{pT e^{-pT} (\gamma - 1) + pT + \gamma (e^{-pT} - 1)}{p^2 T}$$

где T — период квантования. Показано, что изменения величины задержки сигнала и модуля частотной характеристики в таком интерполяторе линейно зависят от γ .

$$\Delta \tau_{\text{заг.}} \% \approx 0,35 \Delta \gamma \%$$

$$\Delta |F(j\omega)| = 0,5 \Delta \gamma \%$$

Исследованы также эквивалентные шумовые полосы реального и идеального ступенчатого интерполятора. При $\gamma = 1$ шумовая полоса интерполятора равна $\Delta \omega_{p. \text{ экв.}} = \frac{4}{3} \frac{\pi}{T}$, что на 33% шире полосы идеального интерполятора / $\gamma = 0$ /. Различие будет несущественным, если на выходе канала предусмотреть фильтр нижних частот с частотой среза $\omega_{\text{ср.}} < \frac{\pi}{T}$.

Рассмотрены также вопросы калибровки и контроля канала с помощью ступенчатой функции и регистрации переходного процесса в цифровом виде на магнитную пленку. Проведен полный анализ динамических и статических погрешностей радиосейсмического канала.

Глава четвертая касается некоторых вопросов уплотнения радио- и проводных линий сейсмическими сигналами.

Благодаря уплотнению достигается известная эффективность использования радио- и проводных линий для передачи сейсмической информации от многих сейсмоприемников. В системах с временным уплотнением каналов в радиолинии приходится учитывать время распространения радиоволн. Получено соотношение между числом каналов уплотненной радиолинии, радиусом действия и верхней граничной частотой передаваемых сигналов. Для упрощения расчетов построена соответствующая номограмма.

Показано, что при $f_{\text{max.}} = 15 \div 18$ гц на дистанции 50 км можно разместить 48 сейсмоприемников. Это дает возможность вести работы по методу точечного зондирования. Для практики ГСЗ значительное упрощение проведения полевых работ с существующими станциями дала бы замена многопроводной косы двухпроводной линией, уплотненной сигналами от сейсмоприемников. С этой точки зрения рассмотрен вопрос уплотнения проводной линии в полосе телефонного канала. Показано, что проводную линию можно уплотнить 12 ÷ 24-мя сигналами ГСЗ, применяя частотное или временное разделение каналов и 15-ю сигналами с $f_{\text{max.}} = 5$ гц при использовании кодово-импульсной модуляции.

Глава пятая посвящена результатам испытания станции РСС-21 и вопросам машинной обработки результатов измерений. Дается характеристика района испытаний, приводятся записи микросейсм и взрывов с профиля, удаленного от пункта сбора данных на 10 км. Даны примеры ввода магнитной пленки станции в ЭЦВМ и приведены декодированные записи. дается пример

цифровой фильтрации записи взрыва, выполненной по алгоритму

$$\sum_{k=0}^{n-1} x_k y_{m-k}$$

$$m = 0, 1, 2, 3, \dots /n - 1/$$

x - фильтруемый процесс, y - весовая функция фильтра.

$$y(t) = e^{-\pi/9 \cdot \frac{t}{T}} \sin \frac{2\pi}{T} \cdot t$$

В главе также показано, что разработанные для измерения шума перестраиваемые активные RC - фильтры могут быть применены для частотно-временного анализа декодированных с цифровой пленки записей методом, предложенным Запольским К.К.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации изложены материалы исследования по разработке многоканальной радиосейсмической аппаратуры для ГСЗ.

Основные положения /методика анализа погрешностей и шумов сейсмического канала, вопросы машинной и аналоговой обработки результатов измерений и другие/, отдельные блоки разработанной аппаратуры могут быть использованы при создании многоканальных радиосейсмических станций для других направлений сейсмических исследований.

Основные результаты работы заключаются в следующем:

1. На основе анализа спектров сигналов ГСЗ, отечественной и зарубежной радиосейсмической аппаратуры и особенностей методики сейсмических наблюдений сформулированы требования и принципы построения многоканальных радиосейсмических станций с временным разделением каналов.

2. Дана методика оценки погрешностей и стабильности радиосейсмического канала в условиях многократного преобразования сигнала при его прохождении от датчика до регистров.

3. Исследован шум сейсмического канала в области инфранизких частот в диапазоне $0,3 \div 30$ гц. Показано, что применение обычных кремниевых транзисторов типа МП116, работающих в микрорежиме, позволяет строить сейсмические усилители, имеющие равномерную спектральную плотность в полосе $8 \div 30$ гц и работающие с сопротивлениями источника сигнала от нескольких ом до 1,5 ком без существенного изменения уровня шума.

4. Создан простой стабильный малозумящий усилитель с уровнем шума 0,05 мкВ /эфф./ в полосе частот 0,3 + 30 Гц и с максимальным коэффициентом усиления по напряжению 100 тыс.

5. Создан анализатор спектральной плотности шума в области инфранизких частот 0,3 + 30 Гц с применением активных перестраиваемых RC-фильтров и квадратора на основе МОП-транзистора.

6. Сопоставлены шумовые транзисторов типов МП116 и П28. Показано, что в микрорежиме в диапазоне частот 0,3 + 30 Гц средние значения шума транзисторов МП116 и П28 равны, однако транзисторы МП116 имеют большую дисперсию /в 3,5 раза/.

7. Рассмотрены некоторые вопросы уплотнения сейсмическими сигналами радио- и проводных линий с точки зрения уменьшения трудоемкости проведения полевых работ.

8. Созданы два типа радиосейсмических станций с цифровой и аналоговой формами регистрации /РСС-21, ПРТС-3/, удовлетворяющие требованиям ГСЗ.

9. Станция РСС-21 позволяет вводить в ЭЦВМ аналоговые магнитные записи, полученные на других станциях, путем их переписи в цифровой форме на пленку станции РСС-21, что решает вопрос обработки накопленных записей на ЭЦВМ и отработки на имеющемся материале методик машинного анализа волн.

Основные положения диссертации изложены в работах:

1. Кабыченко Н.В. Многоканальный аналого-цифровой преобразователь. ГОСИНТИ, сер. "Преобразователи для ЭВМ", 1964, № 5-64-677/20/ совместно с АН В.А., Бакиновским В.Л., Зеликман Э.И. и другими/.
2. Кабыченко Н.В. Цифровая регистрация и ПМЗ. ИФЗ АН СССР, сб. "Промежуточная магнитная запись /ПМЗ/ при глубинном сейсмическом зондировании", 1969, ВИНТИ.
3. Кабыченко Н.В. Некоторые вопросы уплотнения сейсмических сигналов. ИФЗ АН СССР, сб. "Сейсмические приборы", вып.6, 1971, "Наука".
4. Кабыченко Н.В. Схема согласования гальванометра с источником сигнала, содержащим постоянную составляющую. ИФЗ АН СССР, сб. "Сейсмические приборы", вып.6, 1971, "Наука".

Т 06115. 25/III-71.

Тир. 150. Зак. 120.

ОКМП Статуправления Московской области