

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ

**НОВЫЕ МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ
ЯДЕРНОЙ ГЕОФИЗИКИ**

НОВОСИБИРСК-1971

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ

**НОВЫЕ МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ
ЯДЕРНОЙ ГЕОФИЗИКИ**

НОВОСИБИРСК·1971

Новые методы и приборы ядерной геофизики (сб)
г. Новосибирск, Институт геологии и геофизики СО АН СССР.
233 стр.

В сборнике излагаются результаты исследования лаборатории ядерной геофизики по разработке новых приборов и методик. Рассматриваются возможности применения комплекса ядерных методов для определения плотности и пористости пластов. Значительное место уделяется вопросам разработки новых двухлучевых плотномеров и методики исследования скважин на различные полезные ископаемые. Приводятся результаты исследования пространственно-углового распределения рассеянного гамма-излучения на плоской поверхности горной породы. Дано описание универсального плотмера и рассмотрены возможности его применения в геологических исследованиях. Показаны возможности применения нейтронно-резонансного метода при определении бора по разрезам скважин и для анализа некоторых элементов в пробах пород и руд. Рассматриваются вопросы ядерного анализа проб нефтей на основные элементы. Ряд статей посвящен использованию активационного анализа с полупроводниковой спектрометрией при определении микроэлементов в нефти и других геологических объектах. Помимо этого в сборнике рассматриваются приспособления, используемые для извлечения приборов из скважин при ликвидации аварии, а также вопросы техники радиационной безопасности, связанной с эксплуатацией малогабаритного микротрона. Описаны характеристики сцинтилляционных датчиков с импульсным управлением, а также трехсантиметровый микротрон, созданный в Институте, и схема вычитания для скважинного прибора.

Ответственный редактор профессор
доктор геолого-минералогических наук

Е.М.ФИЛИПОВ

О ВОЗМОЖНОСТЯХ КОМПЛЕКСА ПЛОТНОСТНОГО И ИМПУЛЬСНЫХ
НЕЙТРОННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ, ПОРИС-
ТОСТИ И НАСЫЩЕННОСТИ КОЛЛЕКТОРОВ

При изучении коллекторских свойств горных пород важно оценивать их пористость K_p , нефтенасыщенность K_H и газонасыщенность K_G . Для определения этих параметров применяются нейтронные (в последнее время главным образом импульсные нейтронные методы ИННЦ и ИНГК) и плотностные методы (ГК-п и его варианты) [5, 6].

Показания нейтронных методов зависят от изменения водородсодержания горных пород. Наличие кристаллизационной воды при этом мешает определению истинной пористости пород. Поэтому породы с точки зрения водородсодержания делят на две группы: не содержащие связанной кристаллизационной воды (песчаники, известняки) и содержащие связанную воду (песчано-глинистые отложения, глины и гипсы, загипсованные известняки и т.п.). Наиболее просто определять параметры K_p , K_H и K_G в породах первой группы.

В случае, если поры полностью заполнены жидкостью (водой или нефтью), то их пористость может быть определена по изменению коэффициента диффузии, определяемого с помощью импульсных нейтронных методов при замерах на двух зондах [6]. Коэффициент пористости при этом определяется из соотношения:

$$K_{ПН} = (\mathcal{D}_{пл}^{-1} - \mathcal{D}_{ск}^{-1}) / (\mathcal{D}_{жк}^{-1} - \mathcal{D}_{ск}^{-1}), \quad (1)$$

где $\mathcal{D}_{пл}$, $\mathcal{D}_{ск}$ и $\mathcal{D}_{жк}$ соответственно коэффициенты диффузии тепловых нейтронов в пласте, скелете и жидкости, заполняющей пласт. Первый из этих коэффициентов определяется по данным ИННЦ или ИНГК, а второй и третий рассчитываются с учетом геологических данных.

До сих пор практически не решен вопрос выделения газонасыщенных и нефтеносных пластов в условиях слабо минерализованных пластовых вод. По результатам нейтронных методов эти пласты интерпретируются как плотные породы с нулевой или близкой к нулю пористостью.

О пористости горных пород можно также судить по дан-

ным плотностного гамма-гамма-каротажа (ГГК-п). Связь между объемной плотностью ρ , определяемой по данным ГГК-п, и пористостью пласта дается соотношением

$$K_{\text{п}} = (\rho_{\text{м}} - \rho) / (\rho_{\text{м}} - K_{\text{п}} \rho_{\text{с}}), \quad (2)$$

где $\rho_{\text{м}}$ и $\rho_{\text{с}}$ — соответственно минералогическая плотность и плотность среды, заполняющей поры. Обе эти величины определяются по геологическим данным.

Для определения плотности пород в скважинах в настоящее время применяются двухзондовые [4, 5] и двухлучевые [1, 2] плотномеры. Первые из них, как известно, позволяют исключать влияние глинистой корки толщиной менее 19 мм, а вторые — более мощную ближнюю зону толщиной 30–70 мм.

Насыщенность пласта нефтью $K_{\text{Н}}$ определяется лишь в случае пор, заполненных минерализованной водой с концентрацией хлористого натрия свыше 15–50 г/л (в зависимости от пористости пластов и применяемых методов: ИННК или ИНТК). О нефтенасыщенности пластов при этом судят по данным среднего времени жизни тепловых нейтронов в пласте $\tau_{\text{пл}}$, определяемого с помощью рассматриваемых методов по замерам на нескольких задержках. Связь нефтенасыщенности со средним временем жизни тепловых нейтронов дается соотношением [6]:

$$K'_{\text{Н}} = [(\tau_{\text{с}}^{-1} - \tau_{\text{ск}}^{-1}) - K_{\text{Н}}^{-1}(\tau_{\text{пл}}^{-1} - \tau_{\text{ск}}^{-1})] / (\tau_{\text{с}}^{-1} - \tau_{\text{Н}}^{-1}), \quad (3)$$

где $\tau_{\text{ск}}$, $\tau_{\text{Н}}$ и $\tau_{\text{в}}$ — соответственно средние времена жизни тепловых нейтронов в скелете, нефти и минерализованной воде, определяемые по геологическим данным. Формула (3) справедлива при $\tau_{\text{в}} < \tau_{\text{Н}}$.

Для терригенных и карбонатных пород, насыщенных минерализованными водами, нефтенасыщенность пластов в настоящее время по ядерным методам не определяется. При насыщении поры заполнены нефтью и водой с плотностями соответственно $\rho_{\text{г}}$ и $\rho_{\text{Н}}$.

Плотность среды, заполняющей поры, при $K_{\text{Н}}=1$ будет определяться из соотношения [3]:

$$\rho_{\text{с}} = (1 - K'_{\text{Н}}) \rho_{\text{г}} + K'_{\text{Н}} \rho_{\text{Н}}. \quad (4)$$

Учитывая связь соотношений (2 и 4) и то, что коэффициент пористости нам известен из данных импульсных нейтронных методов, можно составить соотношение для определения нефтенасыщенности неминерализованных коллекторов по данным плотностных и импульсных нейтронных методов.

$$K_H^I = [\rho_m(1-K_H) + \rho_g K_H - \rho] / K_H(\rho_g - \rho_m). \quad (5)$$

Казалось бы, что в соответствии с этой формулой нефтенасыщенность пласта можно было бы определять по рассмотренной методике. Однако в связи с тем, что плотность воды и нефти отличается незначительно и испытывает вариации, то определить коэффициент K_H по комбинации плотностных и импульсных нейтронных методов не представляется возможным. При этом следует также иметь в виду, что коэффициент пористости по данным импульсных нейтронных методов также определяется с некоторой погрешностью.

Более обнадеживающей является задача определения газонасыщенности коллекторов, не содержащих связанной воды. В этом случае с помощью импульсных нейтронных методов будем определять некий эффективный коэффициент пористости $K_{ПН}$

$$K_{ПН} = K_{П}(1 - K_{Г}) = K_{П} \cdot K_{H}. \quad (6)$$

В соотношении (4) при этом вместо K_H следует подставить величину $K_{Г}$. Тогда в соответствии с комбинацией выражений (2, 4 и 6) можно записать

$$K_{Г} = \frac{(\rho_m - \rho) - K_{ПН}(\rho_m - \rho_g)}{(\rho_m - \rho) + K_{ПН}(\rho_g - \rho)}. \quad (7)$$

После того, как определен этот коэффициент, не составляет труда из соотношения (6) определить и коэффициент пористости

$$K_{П} = K_{ПН} / (1 - K_{Г}). \quad (8)$$

Таким образом, видим, что с помощью комбинации замеров импульсных и плотностных методов можно отдельно определять пористость пластов и содержание в них газа. Так, в таблице 1 приведены результаты определения пористости пласта по нейтронным параметрам $K_{ПН}$ в соответствии с формулой (1), пористости $K_{П}$ и коэффициента нефтеводонасыщенности K_H по комплексу ИНК и ГГК-п. Расчет коэффициентов $K_{П}$ велся по формуле (2), а коэффициентов K_H по формуле

$$K_H = K_{ПН} \rho_m / (\rho_m + \rho_g K_H - \rho), \quad (9)$$

полученной из выражений (2 и 6) путем несложных преобразований.

Как видно из табл. 1, эффективный коэффициент пористости $K_{ПН}$, полученный по нейтронным параметрам для газонаполнен-

Таблица 1

Состав пласта	Заполне- ния	Порис- тость исти- ная, $K_{п}$ %	Исти- ный коэф- фици- ент насы- щения $K_{н}$, %	Плот- ность поро- ды, $\rho/\text{см}^3$	Эффек- тивный коэф- фицие- нт по- рис- тости, $K_{пн}$, %	Расчет- ный ко- эффици- ент на- сыщения формула (9) $K_{н}$, %	Коэффициент пористости, расчитанный по формуле (2) при $\rho_c=1$, $K_{п}$, %
1. Известняк плотный	-	0	0	2,71	0	0	0
2. Пористый известняк газоносный пласт	газ	33	100	1,81	0	0	33
3. "-		33	18	1,86	6	18	33
4. "-	вода	"-	45	1,95	16	45	33
5. "-		"-	76	2,04	26	76	33
6. Пористый известняк	вода	33	100	2,13	33	100	33
7. Загипсованный известняк	гипс	0	33	2,59	16	157	-10
8. Заглинизированный известняк	глина	0	33	2,56	13	120	-10

ного пласта равен нулю, т.е. этот пласт при интерпретации может быть приравнен к плотным известнякам ($K_{пн} = 0$). В то же время комплекс нейтронных методов и ГГК-п дает значение пористости $K_{п} = 33\%$ и $K_{н} = 0$, т.е. соответствует истине.

В этой же таблице рассмотрены пласты, заполненные газом и водой в разном соотношении $K_{н} = 0,18; 0,45; 0,76; 1,0$. Сравнение коэффициента пористости, полученного по ИННК ($K_{пн}$) и с помощью комплекса ИННК-ГГК-п ($K_{п}$), показывает опять-таки, что комплекс двух методов позволяет определять истинное значение $K_{п}$ при любом значении $K_{н}$, в то время как по одному методу ИННК или ИНГК правильное значение коэффициента $K_{п}$ может быть получено лишь при помощи заполнения пор водой. При наличии в порах газа пористость пород будет занижаться.

Перейдем к вопросу влияния связанной воды на результаты определения пористости и газонасыщенности коллекторов. Увеличение водорода в таких коллекторах за счет связанной воды ведет к завышению результатов по определению их пористости импульсными нейтронными методами (см. табл. 1).

Так, в гипсе на химически связанную воду приходится около 50% всего объема, а в глинистых пластах на молекулярную воду приходится от 10 до 70%. В этом случае комплексное применение импульсных нейтронных и плотностных методов может однозначно решить задачу по выявлению гипсов и пористых известняков, каменной соли и ангидрита, плотного известняка и доломита. Так, например, при одинаковых пористостях карбонатных пород, определяемых по методам ИННК или ИНГК, доломитам будут соответствовать увеличенные значения плотности, определяемой по плотностному методу.

Кажающаяся пористость при наличии гипса или глинистых пластов в коллекторе может быть выражена уравнением

$$K_{пн} = K_{п} + (1 - K_{п})MG, \quad (10)$$

где M - относительное содержание воды в глине (гипсе); $K_{пн}$ кажущаяся пористость, полученная методом ИННК или ИНГК; $K_{п}$ - истинная пористость, $G = \frac{\rho_m - \rho}{\rho_m - \rho_g}$ - относительное содержание гипса или глины в горной породе, ρ_g - объемный вес глины (гипса).

На практике можно сталкиваться со случаем полного заполнения пор гипсом или глиной. Естественно, такие породы не будут являться коллекторами. Однако по замерам импульс-

ными нейтронными методами они могут быть отнесены к коллекторам. Глинистый коллектор при этом может быть распознан по методу ГК, а загипсованную породу в этом случае можно выявить лишь по данным плотностного метода. Этот метод может оказать помощь и при выявлении глинистых пластов.

В случае полного заполнения порового пространства гипсом или глиной соотношение (10) приобретает вид:

$$K_{\text{ПН}} = M G = (0,1 + 0,7) G. \quad (11)$$

С учетом этой формулы проведены расчеты для загипсованного и заглинизированного известняка (см. табл. 1). При расчетах было принято $\rho_m = 2,71 \text{ г/см}^3$, $\rho_{\text{глины}} = 2,2 \text{ г/см}^3$, $\rho_{\text{гипса}} = 2,35 \text{ г/см}^3$ и, что гипс содержит 50% связанной воды, а глина - 40%.

Расчет коэффициентов K_N и K_P при этом велся по формулам (2 и 9). При этом величина ρ_i бралась равной $1,0 \text{ г/см}^3$, т.е. предполагалось, что интерпретатор не подозревает о загипсованности пласта и считает его попрежнему заполненным водой.

Результаты расчетов привели к неожиданному эффекту: K_N , рассчитанный по формуле (9) для $\rho_i = 1,0 \text{ г/см}^3$, оказался большим единицы. Этот факт может быть использован в качестве дополнительного критерия для определения загипсованности и заглинизированности пород.

Из выражений (9) и (10) следует, что $K_N \geq 100\%$ при условии

$$M \geq (\rho_m - \rho_i) / (\rho_m - 1). \quad (12)$$

Подставляя в выражение (12) значения ρ_m для известняка и ρ_i для гипса получаем $M \geq 0,21$. Поскольку для гипса $M = 0,5$, то в случае загипсованных пластов всегда $K_N > 1$. В случае заглинизированных пластов предельное значение M зависит от ρ_i . Так, например, при $\rho_i = 2,2 \text{ г/см}^3$ $M \geq 0,29$.

Таким образом, комплексировав два метода ИННГ или ИНГК и ГГК-п или его различные варианты и изучая кривые K_P, K_N , записываемые с помощью этих методов с применением специальных счетно-решающих устройств, можно получить наиболее полные данные о свойствах коллекторов.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Варварин Г. Б., Кузнецов Г. А., Филиппов Е. М. Исследования по исключению влияния ближней зоны на результаты гамма-гамма-метода. Геология и геофизика, 1966, № 6.

2. Варварин Г.Б., Кузнецов Г.А., Филиппов Е.М. Двухлучевой скважинный гамма-гамма-плотномер. Геология и геофизика, 1967, № 6.
3. Дахнов В.Н. Номограмма для определения пористости по объемной и минералогической плотности породы, а также по плотности среды, насыщающей ее поры. Разведочная и промысловая геофизика. М., Гостоптехиздат, 1962.
4. Прибор для плотностного гамма-гамма-каротажа (РГП-1). Каталог геофизической аппаратуры. Недра, 1968.
5. Промысловая геофизика (сб. переводов) М. Недра, 1970.
6. Состояние и перспективы ядерно-геофизических методов поисков и разведки полезных ископаемых (труды ВНИИЯГ вып. 5), М., Недра, 1969.

Г. Б. ВАРВАРИН, Ю. П. КУЛМОГОРОВ, Г. А. КУЗНЕЦОВ,
В. А. СИНКЕВИЧ, Е. М. ФИЛИППОВ

АППАРАТУРА ДЛЯ ДВУХЛУЧЕВОГО ГАММА-ГАММА-КАРОТАЖА ПЛОТНОСТИ

Двухлучевой гамма-гамма-метод определения плотностей горных пород ДРГМ-п начал разрабатываться в лаборатории ядерной геофизики Института геологии и геофизики СС АН СССР с 1965 г. Первые исследования в этом направлении по физическим основам метода и по аппаратурным вопросам опубликованы в работах [1÷3]. В 1967 г. к этой проблеме подключился отдел ядерно-геофизической аппаратуры Сиб. ОКБ МГ СССР. В настоящей статье рассматриваются результаты совместных разработок по двухлучевым гамма-гамма-плотномерам (ДРГП) обоих коллективов.

Ниже вначале рассмотрим общую блок-схему приборов, а затем более подробно рассмотрим устройство зондовой части глубинного прибора, его электронную схему и схему пульта прибора, а в заключение - вопросы эталонировки приборов ДРГП и основы техники радиационной безопасности работы с ними.

1. ОПИСАНИЕ БЛОК-СХЕМЫ ПРИБОРОВ

К настоящему времени указанными выше коллективами

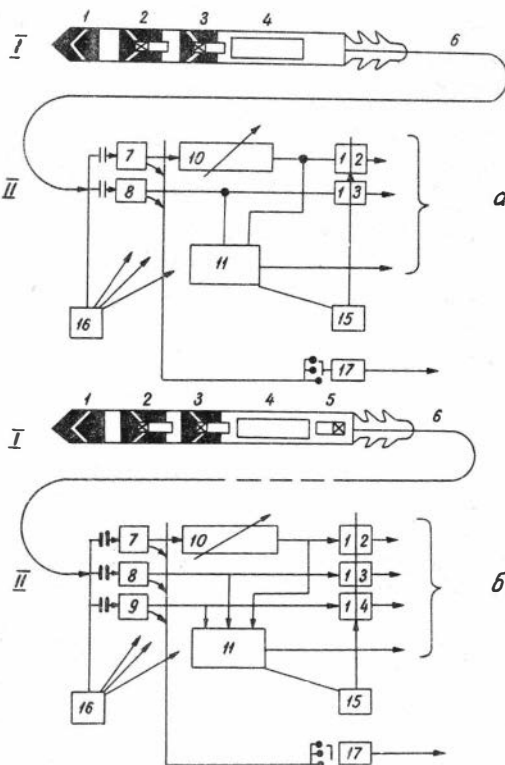


Рис.1 Блок-схемы приборов: а) ДГГП-40, ДГГП-48, ДГГП-60, ДГГП-90, ДГГП-120 и б) ДГГП-95.

1-глубинный прибор; 2-блок первого детектора (канал N_1); 3-блок второго детектора (канал N_2); 4-электронная схема; 5-детектор канала Гк; 6-кабель; II-наземный пульт: 7-селектор N_1 ; 8-селектор N_2 ; 9-селектор Гк; 10-пересчетная схема; 11-счетно-решающее устройство; 12, 13, 14-интенсиметры; 15-система контроля и калибровки; 16-система электропитания; 17-система подсвета осциллографа.

разработано несколько методических образцов глубинных приборов ДГГП (табл.1). В процессе работы над приборами велось совершенствование его электронных схем, как глубинных приборов, так и наземного пульта.

Блок-схема разработанных приборов показана на рис.1. Из рисунка видно, что в одном типе прибора имеется канал Гк (для измерения естественной радиоактивности), а в других приборах он отсутствует. Соответственно и схемы приборов с каналом Гк отличаются от приборов без этих каналов. В остальном устройство приборов идентично. Канал Гк, для исключения влияния на него источника, располагается на расстоянии 2 м от источника.

Таблица 1

Типы двухлучевых гамма-гамма-плотномеров (ДГГП)

Диаметр, мм Тип прибора	Длина глубинного прибора, м	Вес глубинного прибора, кг	Индекс ФЭУ	Диаметр и высота кри- сталла, мм	Тип кол- лиматоров у детекторов	Актив- ность источ- ника, мг. экв. радия	Коэффици- енты кол- лимации К		Толщи- на иск- лючае- мой ближ- ней зоны, мм	Максимальный диаметр ис- следуемой ск- важины (мм) для приборов		Рабо- чая темпе- ратура °С
							ис- точ- ника	де- тек- торов		без цен- траторов	с цент- рато- рами	
ДГГП-40	2,00	12	60	10x40	жалюзный	20-30	2,3	2,2	20	60	80	+60
ДГГП-48 (ДГГК-п-3)	2,10	18	60	10x40	" "	" "	2,3					+60
ДГГП-60	2,35	45	31	20x30	обычный	" "	2,3	0,7	30	90	110	+60
" "			60	10x40	жалюзный	" "	2,3	1,5	40	100	120	+60
ДГГП-90	2,60	85	31	20x30	обычный	40-50	2,8	2,2	40	130	170	+60
" "			31	20x30	жалюзный	" "	2,8	6,5	50	140	190	
ДГГП-95 (ДГГК-п-2)	2,60	95	74	20x30	обычный	" "	3,0	3,5				+(110± 120)
ДГГП-120	2,50	105	74	30x40	обычный	50	4,5	2,4	70	190	240	+80
" "			74	30x40	жалюзный	" "	4,5	6,0				

Расположенные в глубинном приборе детекторы (2,3) преобразуют гамма-кванты в электрические импульсы, которые с помощью электронной схемы (4) усиливаются и преобразуются в прямоугольные импульсы тока стандартной амплитуды и длительности. Эти импульсы по каротажному кабелю (6) посылаются на наземный пульт II. Для разделения по каналам импульсы кодируются следующим образом: импульсы канала N_1 - положительные, канала N_2 - отрицательные, канала ГК - положительные с амплитудой вдвое меньшей амплитуды N_1 .

Для снижения вероятности наложения импульсов канала N_1 на импульсы N_2 и ГК, частота следования импульсов N_1 по кабелю снижены в четыре раза с помощью пересчетной схемы, смонтированной в электронном блоке (4). В приборе ДГП-95 пересчетная схема отсутствует.

Наземный пульт (II) содержит в себе систему селекторов (7,8,9), которые разделяют импульсы по каналам и вырабатывают стандартные положительные импульсы, поступающие каждый по своей цепи на интенсиметры (12,13,14) и на счетно-решающее устройство (11). Выходные напряжения с последних поступают на вход регистратора каротажной станции.

В цепь M_1 смонтирована собранная на триггерах пересчетная схема с коэффициентом пересчета 1,2,4,8 и 16. Это облегчает процесс подбора масштабов записи канала M_1 и облегчает режим работы решающего устройства (11).

интенсиметры имеют следующие диапазоны:

- 1) Канал M_1 (12) - 450; 300; 150 тыс. имп./мин.
- 2) Канал N_2 (13) - 15; 10; 5 тыс. имп./мин.
- 3) Канал ГК (14) - 15; 10; 5 тыс. имп./мин.

Для облегчения настройки селекторов в приборе предусмотрена визуальная индикация уровня настройки того или иного селектора на экране осциллографа. Для этой цели применяется система подсвета луча осциллографа выходными импульсами того или иного селектора (17). Таким образом, подав на вход "х" осциллографа сигнал с кабеля, а на вход "z" - импульсы с системы подсвета (17) и включив последнюю в положение, например, N_1 , увидим на экране осциллографа светящуюся точку на импульсе M_1 . Причем положение этой точки будет определяться уровнем срабатывания

селектора M_1 . Регулируя уровень срабатывания селектора M_2 с помощью соответствующего регулировочного сопротивления, можно таким образом наблюдать изменение положения этого уровня на экране осциллографа.

Калибровка системы самописцев и проверка работоспособности всех блоков наземного пульта, исключая селекторы, производится с помощью системы контроля и калибровки (15). Кроме того в пульте содержится система стабилизированного питания глубинного прибора и собственно пульта. Эта система обеспечивает нормальную работу прибора при питании от сети переменного тока 50±2гц, 220, 127, 110в ±10%. Она содержит в себе три стабилизатора с нерегулируемыми выходными напряжениями +15, -15, -80в для питания собственно наземного пульта и один стабилизатор питания глубинного прибора с регулируемым напряжением от +160 до +240в, у прибора ДГГП-95 и от -10 до 50 в у всех остальных.

Как видно из табл.1, глубинный прибор ДГГП-95 рассчитан на высокую внутрискважинную температуру +120°С. Поэтому его схема собрана на лампах. Электронные схемы остальных приборов собраны на полупроводниковых приборах.

Далее, прежде чем переходить к более детальному описанию электронных схем глубинных приборов и пульта, рассмотрим устройство блоков детекторов и источников разрабатываемых приборов.

2. УСТРОЙСТВО ГЛУБИНЫХ ПРИБОРОВ

Из табл.1 видно, что к настоящему времени разработаны малогабаритные (по диаметру) приборы для исследования рудных и углеразведочных скважин диаметром 40 мм (ДГГП-40), 48 мм (ДГГП-48) и 60 мм (ДГГП-60), а также приборы большого диаметра: 90 мм (ДГГП-90), 95 мм (ДГГП-95) и 120 мм (ДГГП-120), которые могут быть использованы для изучения нефтепромысловых и отчасти углеразведочных скважин. С помощью рассмотренных приборов можно исключать ближнюю зону толщиной от 20 до 70 мм и исследовать скважины диаметром от 60 до 190 мм. С помощью приборов, оборудованных центраторами (поясами), можно исследовать скважины диаметром от 80 до 240 мм.

Регистрирующая часть глубинных приборов ДГГП состоит

из двух соосно расположенных детекторов. Расстояние между детекторами может меняться от 20 до 30 см, а в приборе ДГП-95 минимум до 10 см. Детектор представляет систему, в которую входит (см. рис. 2) сцинтиллятор (3) и фотоумножитель (5). Размеры используемых фотоумножителей и кристаллов зависят от диаметра глубинного прибора (см. табл. 1).

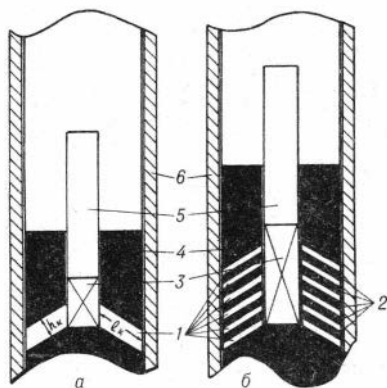


Рис. 2 Схематическое устройство блока детекторов с однощелевыми (а) и многощелевыми (б) коллиматорами. 1-коллиматоры; 2-тяжелый поглотитель (жалюзи); 3-сцинтилляторы; 4-сплошная защита; 5-фотоумножители; 6-корпус глубинного прибора.

Для осуществления направленного приема рассеянного гамма-излучения и защиты от прямого излучения детектор окружен экраном (4) с коническими коллиматорами (1), расположенными под углом равным 60° к оси глубинного прибора. Ширину коллимационной щели можно менять и тем самым устанавливать тот или иной коэффициент коллимации. Этот коэффициент определяется

отношением длины коллимационной щели l_k к ее ширине h_k (рис. 2 "а"). От него зависит толщина исключаемой ближней зоны при определении плотности горных пород [1, 3].

Известно, что при использовании одного и того же источника гамма-излучения скорость счета рассеянного излучения, а следовательно, и статистическая точность измерения, зависит от величины освещаемой гамма-лучами поверхности кристалла, т.е. от диаметра и длины сцинтиллятора. В ДГП для селекции излучения разработано два типа коллиматоров для детекторов: коллиматоры с одной конусообразной коллимационной щелью (рис. 2 "а") и коллиматоры с несколькими такими щелями (жалюзи), см. рис. 2 б. Такие многощелевые коллиматоры изготавливаются из слоев слабого (плексиглас) и сильного (свинец, вольфрам) поглотителей.

Поэтому их можно также именовать слоеными.

В приборах большого диаметра (свыше 80 мм) можно обходиться однощелевыми коллиматорами, поскольку в этом случае хорошей освещенности кристалла можно добиться за счет сравнительно широкой щели кристалла и сравнительно большого его диаметра. В приборах малого диаметра, наоборот, хорошей коллимации излучения можно добиться лишь при малой ширине щели. При этом будет резко падать интенсивность регистрируемого излучения. Её увеличения можно достигнуть за счет повышения активности применяемого источника (кобальта-60), но это вызывает трудности, связанные с соблюдением техники радиационной безопасности работ. Поэтому авторы пошли по пути увеличения длины кристалла и соответственно по пути увеличения количества коллимационных щелей. Естественно, с увеличением числа коллимационных щелей возрастает и освещенность кристалла потоком регистрируемого излучения. Кроме того, при этом увеличивается и область породы, из которой поступает излучение к детектору.

Об областях приема рассеянного излучения с энергией 300 Кэв (преимущественно однократно рассеянное излучение кобальтового источника) и 200 Кэв (многократно рассеянное излучение) можно судить по данным рис. 3. Расчеты проводились с учетом экспоненциального поглощения регистрируемого излучения в корпусе глубинного прибора, экране коллиматоров и в оловянной фольге (толщиной 2 мм), окружающей сцинтиллятор. Эта фольга необходима для подавления мягкого излучения, искажающего результаты определения плотностей пород по ГГМ-п. Из диаграмм рис. 3 а и б видно, что уменьшение коэффициента коллимации ведет к ухудшению направленности приема регистрируемого излучения.

Для коллиматоров обычного и жалюзного типа с примерно одинаковыми коэффициентами коллимации (а и в) углы приема излучения являются примерно одинаковыми. Заметим, что при расчете ослабления излучения в жалюзных коллиматорах авторы оценили лишь общую область приема излучения без ее детализации.

При исследовании скважин большого диаметра (190 мм и более) исключается возможность использования приборов с конусообразными коллиматорами ("рабочая зона" почти не выходит за пределы скважины). В этом случае для опре-

деления плотностей горных пород с исключением влияния бурового раствора, диаметра скважины и т.п. следует использовать приборы ДГП с секторными коллиматорами; излучение в которые попадает только из породы. Удерживание приборов у стенки скважины рабочей стороной может осуществляться либо с помощью пружин, либо вращающихся экранов с коллиматорами. Все скважины обычно имеют некоторый угол наклона от вертикали. Поэтому можно разработать эксцентричные экраны, вращающиеся под действием силы тяжести вокруг оси прибора и удерживающие коллиматоры у той стороны корпуса прибора, которая скользит по стенке скважины.

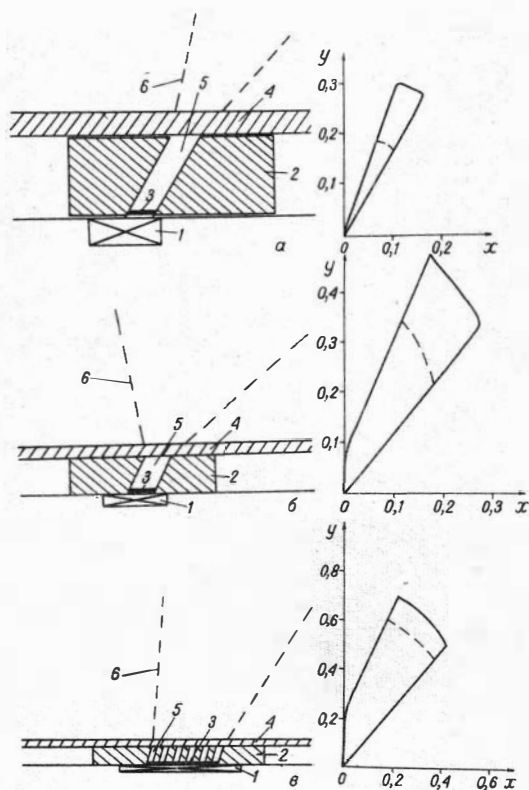


Рис.3 Схематическое устройство однощелевых (а и б) и многощелевых (в) коллиматоров детекторов для приборов диаметром 120 (а), 60 (б) и 40 мм (в) и соответствующие им полярограммы, характеризующие приемные коллиматоры излучения (сплошная кривая соответствует регистрации излучения с энергией 300 кэв, а пунктирная — 200 кэв). 1—кристалл иодистого натрия, активированного таллием; 2—материал экрана; 3—фильтр из олова; 4—корпус прибора; 5—коллимационные отверстия; 6—линии, показывающие направление приема излучения.

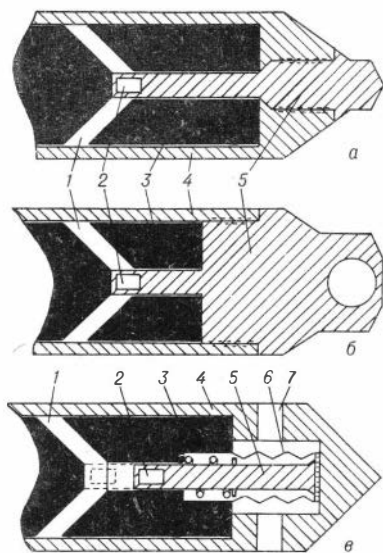


Рис. 4 Схематическое устройство источниковых блоков приборов ДГП с вывинчивающимся держателем (а), неподвижным (б) и подвижным (в) держателями. 1—коллиматор; 2—источник; 3—экран; 4—корпус глубинного прибора; 5—держатель источника; 6—сильфон; 7—канал для входа буровой жидкости, воздействующей на сильфон.

В блоке источника глубинного прибора ДГП расположена одна ампула с радиоактивным изотопом. Она установлена в стальной цилиндрический стакан с герметической упаковкой. Размер ампулы равен 6х12 мм. Ампула помещается в хвостовик глубинного прибора. Для размещения источника разработано несколько вариантов хвостовых блоков (рис. 4). В хвостовике с вывинчивающимся держателем источника установка источника в прибор производится перед началом исследования скважин. В нерабочем состоянии держатель с источником извлекается из прибора и устанавливается в транспортировочный контейнер, описываемый в конце этой статьи.

Во втором типе хвостовика источник не извлекается, а в нерабочем состоянии совместно с хвостовиком помещается в переносной транспортировочный защитный контейнер. Перед началом каротажа контейнер устанавливается над устьем скважины и глубинный прибор сочленяется с хвостовиком.

В третьем типе хвостовика источник также не вывинчивается из хвостовика, а вместе с ним в нерабочем состоянии помещается в транспортировочный контейнер. Для улучшения радиационной безопасности работ источник в этом типе хвостовика в нерабочем состоянии все время находится в экране в соответствии с рис. 4в. Источник в этом типе хвостовика размещен в подвижном держателе, сочлененным с силь-

фоном. В рабочее положение источник подается лишь при наружном давлении жидкости (буровой раствор), равным 10 атм. Из этого видно, что прибор с этим блоком может эксплуатироваться только при исследовании скважин, заполненных буровым раствором. Высота столба жидкости в скважине над прибором должна быть не менее 75 м. При достижении такого давления сильфон сжимается и перемещает источник в рабочее положение коллиматора.

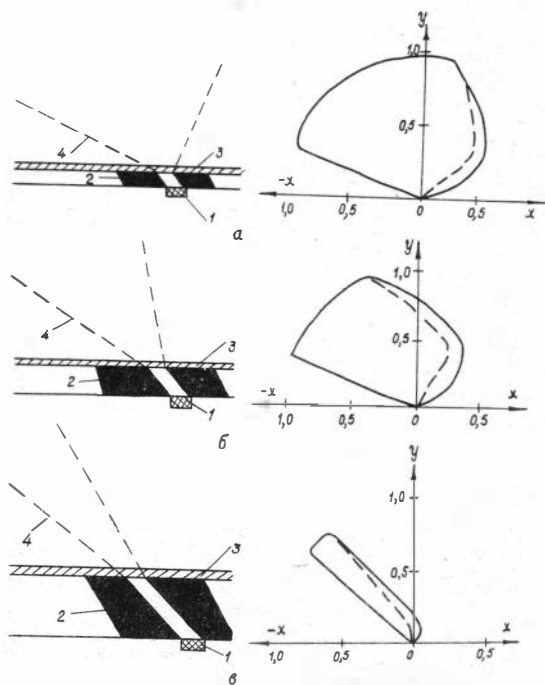


Рис. 5 Полярограммы направленности выхода излучения из свинцового (сплошные кривые) и вольфрамового (пунктирные кривые) коллиматоров с величиной коэффициента коллимации 2,3 для приборов ДГГП-40 (а) и ДГГП-60 (б) и 4,5 для прибора ДГГП-120 (в). 1-источник излучения; 2-материал экрана; 3-корпус прибора; 4-линии, показывающие направление выхода излучения из коллиматора.

Коллиматор представляет собой коническую щель, расположенную в экране под углом 45° к оси глубинного прибора. Излучение из источника, размещенного в коллиматоре хвостовика, распространяется преимущественно в направлении коллимационной щели. Об этом можно судить по данным полярограмм направленности выходящего излучения (рис. 5)

Ослабление излучения кобальтового источника в экране учитывалось по экспоненциальному закону. Из рисунка видно, что увеличение коэффициента коллимации источника ведет к резкому возрастанию направленности излучения. Применение вольфрамовых коллиматоров позволяет повысить коллимационные свойства прибора.

В связи с тем, что радиоактивное вещество кобальта-60 располагалось в ампуле значительных размеров, коллимационную щель меньше длины ампулы делать было нецелесообразным. Если же повысить удельную активность источника на единицу его длины, то можно создать препарат, размещаемый в ампуле меньшей длины. Это позволит создать прибор с более узкой коллимационной щелью. Это, в свою очередь, позволит повысить направленность излучения источника и соответственно увеличить толщину исключаемой ближней зоны.

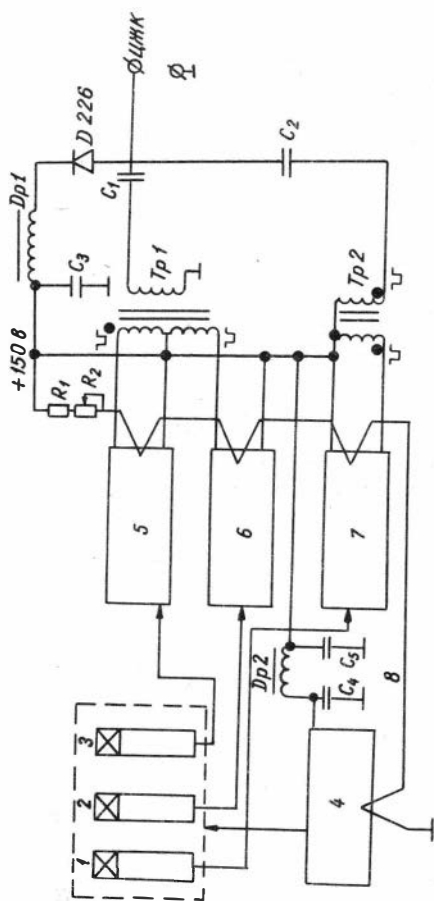
Для повышения коллимационных свойств приборов и защиты детекторов от прямого излучения источника в качестве экранов выгоднее всего использовать псевдосплав вольфрама, имеющего плотность в 1,5 раза выше чем у свинца.

Для изменения размеров зондов в комплект приборов ДГПП входит набор вкладышей. С помощью этих вкладышей можно менять расстояние между источником и нижним детектором. Расстояние между детекторами при этом не меняется.

3. УСТРОЙСТВО РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УЗЛОВ ГЛУБИНЫХ ПРИБОРОВ

Вначале рассмотрим схему глубинного прибора ДГПП-95 (рис. 6). В основу его электронной схемы была положена схема глубинного прибора РГП-1 разработки ВУФ ВНИИ Геофизики и Киевского ОКБ. ГП МГ УССР. В отличие от прибора РГП-1, схема прибора ДГПП-95 рассчитана на работу на одножильном кабеле, кроме того в этом приборе унифицированы полностью схемы всех каналов N_1 , N_2 и ГК в то время как в РГП-1 схемы каналов N_1 и N_2 имеют некоторые различия.

Как видно из рис. 6 электронная схема состоит из блоков ФЭУ, трех блоков "усилителей", в которых усиливаются, дискриминируются и формируются выходные импульсы соответствующих каналов, и блока высоковольтного преобразователя напряжения, в котором напряжение питания глубинного



C_2 поступают на центральную жилу кабеля - ЦК. По этой жиле с наземного пульта на глубинный прибор подается напряжение +150 в. Через защитный диод Д226 это напряжение подается на Г-образный LC фильтр Др1 и C_3 , защищающий выходные цепи усилителей от импульсной перегрузки и замыкания выходных импульсов на схему анодного питания глубинного прибора. П-образный фильтр Др2- C_4 - C_5 - защищает схему от высокочастотных наводок блока преобразователя по цепи анодного питания.

Рис.6 Блок схемы глубинного прибора ДГП-95. 1, 2 и 3 - блоки детекторов; 4 - блок высоковольтного преобразователя (ВВ); 5, 6 и 7 - соответственно каналы ГГК-1 (N_1) ГГК-2 (N_2) и ГГК; 8 - питание накала.

прибора +150в преобразуется в напряжение питания блоков ФЭУ (-3кв). Накал радиоламп питается через гасящее сопротивление $R_1 - R_2$ от +150в. Цепи накала всех блоков соединены последовательно и после блока ВВ - преобразователя замыкаются на землю. Как видно, выходные цепи канала N_1 и N_2 работают на один выходной трансформатор со средней точкой Tr_1 , а канала ГГК - на самостоятельный трансформатор Tr_2 . Импульсы с выходных обмоток Tr_1 и Tr_2 через раздельные емкости C_1 и

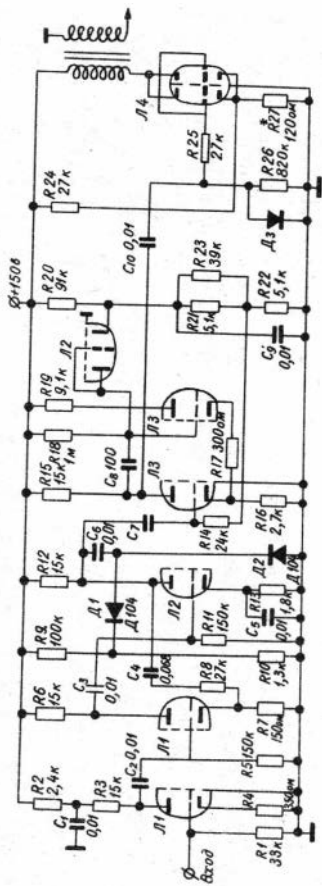


Рис.7 Принципиальная схема блока усилителя

трансформатор, нагружающий анодные цепи усилителя Л₆-Л₇. Схема собрана на лампах типа 6Н28ЕВ, сопротивлениях МТ и конденсаторах типа КСО и К40-У9. Накали всех ламп соединены последовательно.

На рис.8 приведена схема высоковольтного преобразователя напряжения питания ФЭУ. Как уже говорилось выше, эта схема была разработана для РГП-1 и в этом приборе используется без каких либо изменений. Она представляет из

На рис.7 приведена принципиальная схема блока усилителя. Вход схемы присоединяется непосредственно к аноду соответствующего ФЭУ. Отрицательные импульсы ФЭУ усиливаются на первом каскаде Л₁ с отрицательной обратной связью по току и поступают на классическую "двойку" Л₂, Л₃. На входе "двойки" во избежание перегрузки последующих цепей стоит ограничитель параллельного типа на диоде Д₁ (диод Д₂ - цепь восстановления постоянной составляющей). В качестве дискриминатора в этой схеме используется одновибратор с катодной связью. Порог его чувствительности регулируется делителем R₂-R₂₃ и лежит в пределах 1,5 вольт. Стандартный положительный импульс длиной 20 мксек с анода нормально открытой лампы дискриминатора поступает на выходной усилитель Л₆-Л₇, работающий в режиме нормально закрытого ключа. Уровень запирающего импульса определяется делителем R₂₇-R₂₆. На этой схеме условно показан выходной трансформатор, нагружающий анодные цепи усилителя Л₆-Л₇. Схема собрана на лампах типа 6Н28ЕВ, сопротивлениях МТ и конденсаторах типа КСО и К40-У9. Накали всех ламп соединены последовательно.

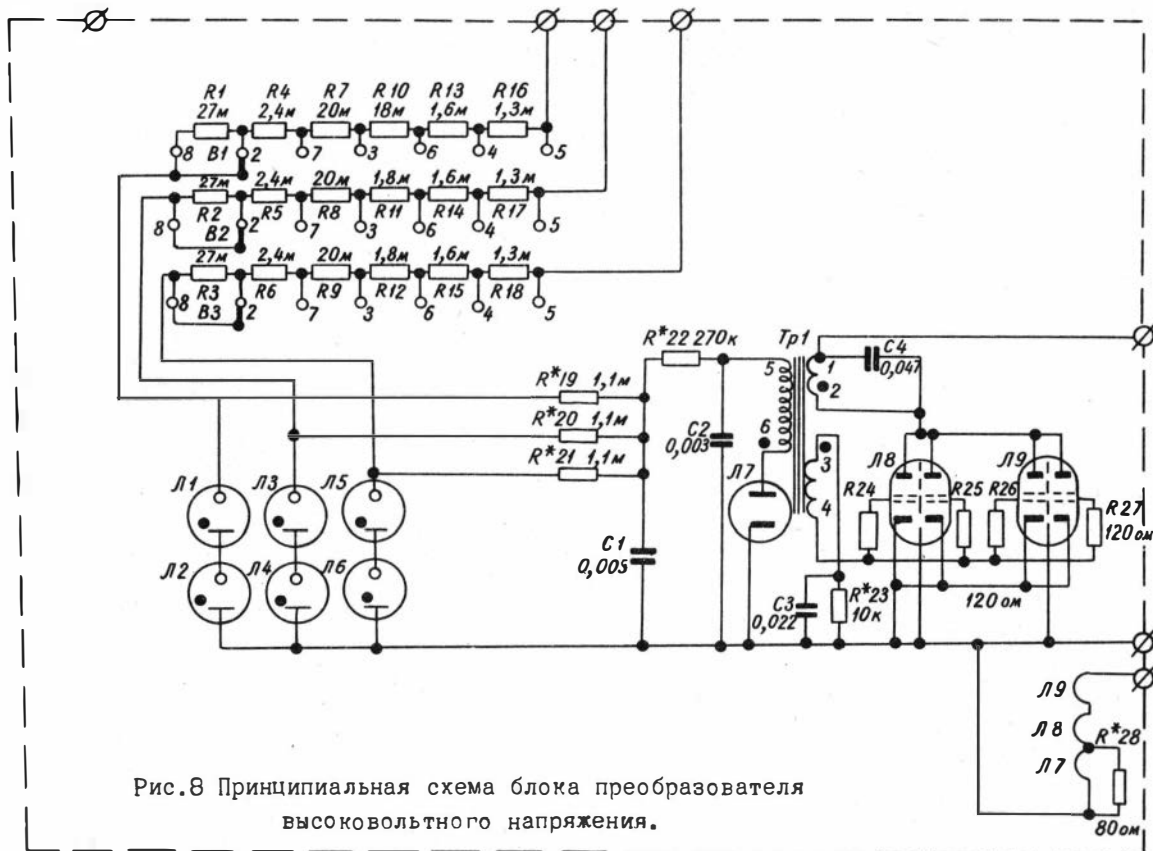


Рис.8 Принципиальная схема блока преобразователя высоковольтного напряжения.

себя преобразователь напряжения на классическом бло - кинг-генераторе с сеточной обратной связью, собранном на счетверенной лампе 6Н28Е_а выпрямитель-на кенотроне 3Ц18П. После RC - фильтра выпрямителя напряжение стабилизируются стабилитронами короткого разряда типа СГ302С. Напряжение на ФЭУ подается через цепь балластных сопротивлений $R_1 - R_{13}$, с помощью которых можно, регулируя напряжение питания ФЭУ, подобрать оптимальную рабочую точку.

Сцинтилляционные детекторы собраны на термостойких кристаллах и термостойких ФЭУ-74. Вышеописанная схема глубинного прибора обеспечивает его нормальную работу в диапазоне температур от -10 до $+120^{\circ}\text{C}$.

Далее перейдем к описанию схемы глубинного прибора ДГП-48. Его схема показана на рис.9. Она содержит два канала регистрации рассеянного излучения N_1 и N_2 , представляющие собой интегральные дискриминаторы, стабилизатор низковольтного напряжения и высоковольтный преобразователь напряжения для питания ФЭУ-60. Рассмотрим канал регистрации гамма-квантов N_1 . Импульсы тока ФЭУ-60 (I_3) поступают на выходной усилитель тока ППЗ-ПП5. Этот усилитель собран по схеме с непосредственными связями, что обеспечивает отсутствие в нем эффектов накопления и высокое быстродействие [3]. Глубокая отрицательная обратная связь по постоянному и переменному току обеспечивает высокую термостабильность характеристик этого усилителя. Практически коэффициент усиления по току этого усилителя определяется отношением сопротивлений $K_i = R_{37}/R_{38}$ и не зависит от параметров триодов. Поскольку этот усилитель имеет токовый вход и высокоомный выход, то более удобно пользоваться размерным коэффициентом усиления $K = dI_{\text{вых}}/dI_{\text{вх}} = K_i R_{36}$ (входным сопротивлением эмиттерного повторителя ПП5 можно пренебречь).

для данного усилителя коэффициент усиления $K = R_{36}R_{37}/R_{38} = 85\text{ком} = 85\text{мв/мкА}$, что является относительно высокой величиной. Линейность усилителя при $I_{\text{вх}}$ от 1 мкА до 10 мкА лучше 1%, а температурный коэффициент усиления $0,07\%/1^{\circ}\text{C}$ в диапазоне от $+19^{\circ}\text{C}$ до $+105^{\circ}\text{C}$. Положительный импульс напряжения с выхода усилителя через эмиттерный повторитель ПП5, гальванически связанный с усилителем, поступает

на дискриминатор импульсов \mathcal{D}_4 -ПП6. Эмиттерный повторитель ПП6 необходим для согласования выходного сопротивления усилителя с входным сопротивлением дискриминатора, величина которого лежит в диапазоне 1,5-0,5 ком. Дискриминатор представляет собой одновибратор на туннельном диоде со встроенным ключом ПП6, который играет роль усилителя напряжения и элемента-перехватчика туннельного диода. В исходном состоянии туннельный диод смещен в прямом направлении током меньше пикового \mathcal{I}_n . При этом на диоде удерживается напряжение меньше 100 мв, поэтому транзистор ПП6 закрыт. Дифференциальное входное сопротивление схемы в этом состоянии равно примерно 50 см.

Для того, чтобы не перегружать усилитель и эмиттерный повторитель, и для получения токового режима управления дискриминатором входной сигнал подается на него через сопротивление $R_{ч1} \gg 50$ ом. Таким образом, величина тока импульса, поступающего на дискриминатор, равна амплитуде напряжения импульса усилителя, деленной на величину $R_{ч1}$.

Все импульсы тока, не превышающие $\Delta \mathcal{I} = \mathcal{I}_n - \mathcal{I}_1$, не изменяют состояния дискриминатора. В случае импульса, превышающего $\Delta \mathcal{I}$, \mathcal{D}_4 перебрасывается в слаботоковое состояние, напряжение на нем поднимается до 0,6в, транзистор ПП6 насыщается и удерживается в этом состоянии "разрядом" индуктивности $\mathcal{D}r_1$. Когда ток самоиндукции $\mathcal{D}r_1$ доходит до такой величины, при которой ток, протекающий через диод \mathcal{D}_4 , достигает тока впадины \mathcal{I}_1 , туннельный диод переходит в сильноточный режим. Напряжение на нем падает до величины, близкой к нулю, и транзистор ПП6 запирается. В результате этого процесса в коллекторе ПП6 вырабатывается прямоугольный импульс напряжения.

Как видно из вышеизложенного, уровень дискриминации определяется разностью токов смещения и пикового, т.е. $\Delta \mathcal{I}_n = \mathcal{I}_n - \mathcal{I}$. Стабильность этой величины определяется стабильностью тока смещения и пикового тока туннельного диода. Если пренебречь изменениями тока смещения, то температурную нестабильность уровня дискриминации можно оценить как отношение $\Delta \mathcal{I}_n / \Delta \mathcal{I}$, где $\Delta \mathcal{I}_n$ - температурный разброс пикового тока \mathcal{I}_n . Совершенно очевидно, что с увеличением разности $\Delta \mathcal{I}$, и, соответственно, порога дискриминатора, его

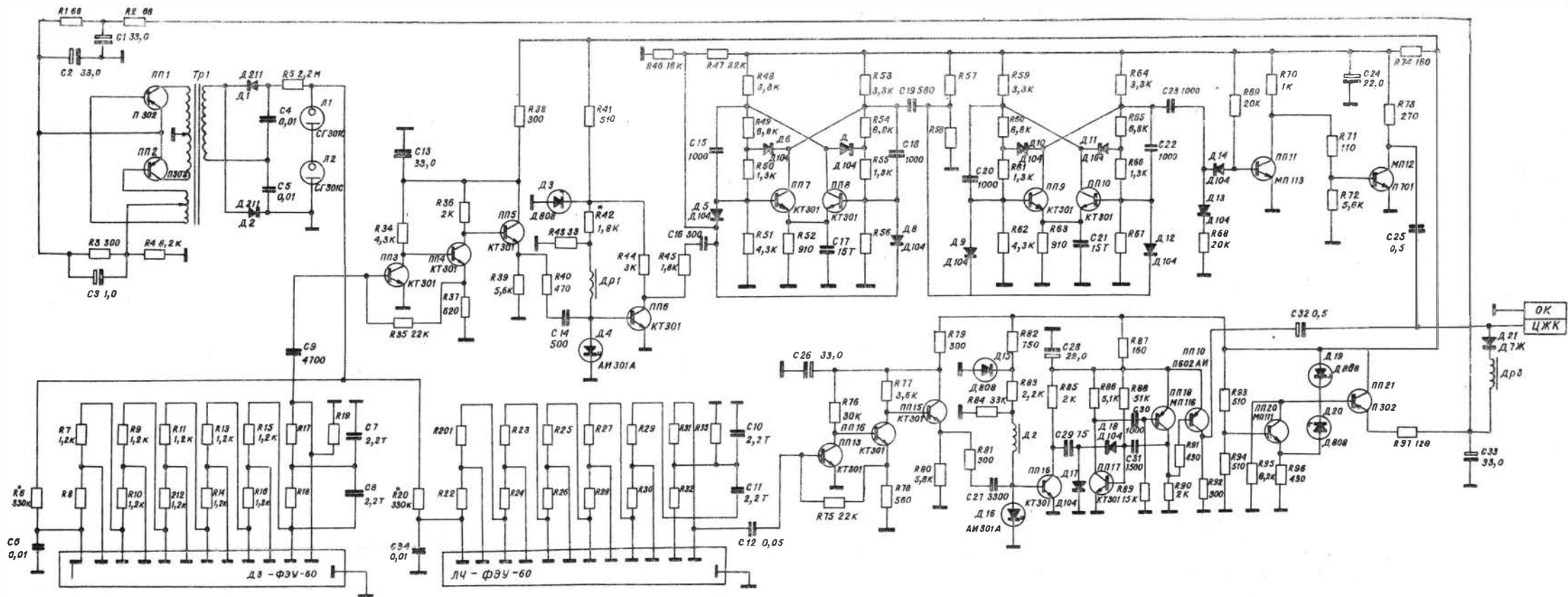


РИС. 9 СХЕМА ГЛУБИНОГО ПРИБОРА ДГП-48

температурная стабильность растет. Выбранный уровень дискриминации сохраняет стабильность в заданном диапазоне температур не хуже $0,27\%/1^\circ\text{C}$.

Выход, позволивший получить требуемую стабильность работы детекторов при низкой температурной стабильности дискриминатора (27% на 100°C), был найден в работе всего узла детектор-усилитель-дискриминатор в режиме плато счетной характеристики ФЭУ. В этом режиме уровень дискриминации выбирается практически посередине между максимальными амплитудами импульсов тепловых шумов ФЭУ (2-4 кэВ) и минимальными амплитудами импульсов от фотовспышек сцинтиллятора (20-40 кэВ). В результате этого даже большое изменение в пороге дискриминации, а также коэффициентах усиления ФЭУ и усилителя (на $\pm 50\%$) практически не может изменить интегральное количество импульсов пропущенных дискриминатором на последующую часть схемы.

Характеристика стабильности такого режима определяется по плато счетной характеристики всего узла. При этом в качестве функции служит скорость счета импульсов дискриминатора (N_1), а аргументом либо порог дискриминации, либо напряжение питания ФЭУ (E_a).

На рис. 10 "а" приведены зависимости $N = f(E_a)$, снятые при разных температурах. Как видно из этих характеристик, по мере роста напряжения величина N растет, так как растет коэффициент усиления ФЭУ, до тех пор, пока все фотоимпульсы не окажутся выше порога дискриминации. Затем по мере дальнейшего роста E_a величина N не изменяется, хотя амплитуда и почтовых, и шумовых импульсов продолжает нарастать. Этот участок функции $N = f(E_a)$ характеризуется весьма малым наклоном и называется "плато счетной характеристики".

По мере дальнейшего увеличения E_a , а следовательно, и коэффициента усиления ФЭУ, импульсы шума достигают порога дискриминации, и функция $N = f(E_a)$ снова начинает расти. Поскольку при повышении температур уровень шумов растет, то с ростом температуры ширина плато уменьшается, а наклон плато увеличивается за счет увеличения вклада тепловых шумов высоких энергий.

Как видно из рис. 10 "а" в диапазоне температур от -10°C

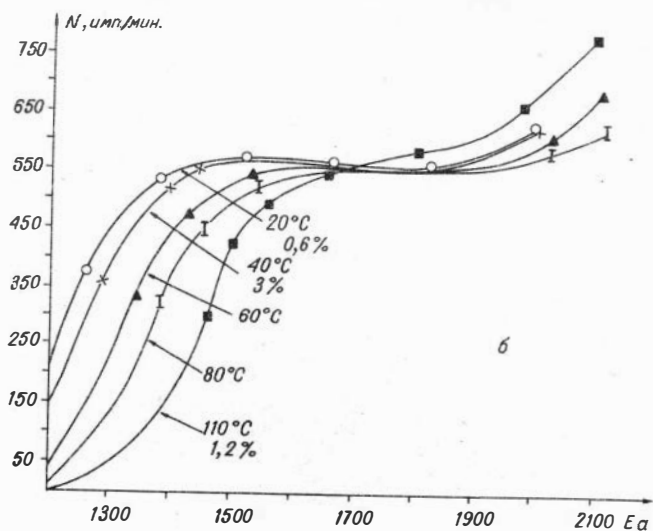
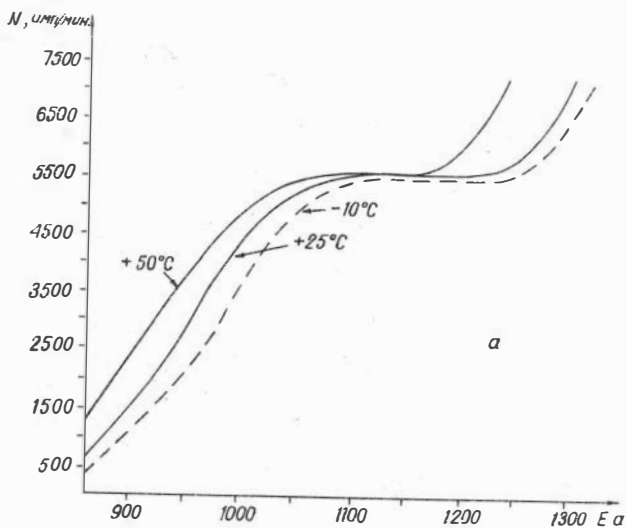


Рис. 10 Плато счетной характеристики системы ФЭУ-усилитель-дискриминатор а) для ДГГП-48 (ФЭУ-60) б) для ДГГП-90 (120) с ФЭУ-74.

до $+50^{\circ}\text{C}$ плато счетной характеристик для выбранной схемы имеет место и обеспечивает стабильность работы схемы при $E_a = -1150\text{В}$ не больше $\pm 1,6\%$, что вполне допустимо.

Как уже указывалось выше, каналы N_1 и N_2 должны содержать пересчетные схемы с целью выравнивания временных интервалов между импульсами и снижения вероятности наложения друг на друга импульсов различных каналов. Для этих целей пересчетные схемы были собраны на статических ненасыщенных триггерах с автоматическим смещением. Такие схемы обладают повышенной надежностью [6], что было подтверждено последующими экспериментальными исследованиями. Как показал анализ экспериментальных исследований, на моделях скважин и результаты расчета, приведенные ниже, коэффициент пересчета канала N_1 должен лежать в диапазоне 4–10, а $N_2 \approx 1$. Поэтому в схеме глубинного прибора, канал N_2 не имеет пересчетной схемы вообще.

Формирователем импульсов этого канала является дискриминатор, работающий через одновибратор ПП17–18 и ключ (ПП19) непосредственно на кабель. В канале N_2 стоит пересчетная схема на двух триггерах. Пересчетная схема канала N_2 запускается импульсами дискриминатора. Импульсы с выхода пересчетной схемы запускают схему пассивного формирования импульса ПП11, ПП12 и он формирует отрицательный выходной импульс (импульс канала N_2 – положительный).

Как уже говорилось выше, в состав глубинного прибора также входит источник высоковольтного питания ФЭУ – высоковольтный преобразователь напряжения. Он представляет собой двухтактный генератор с трансформаторной нагрузкой. Выпрямитель на выходе вторичной обмотки собран по двухтактной схеме удвоения напряжения, которое стабилизируется с помощью L_1 и L_2 .

Для повышения устойчивости и надежности работы схема глубинного прибора питается от низковольтного стабилизатора напряжения ПП18, ПП19. Для того, чтобы выходные импульсы глубинного прибора не замыкались через входное сопротивление стабилизатора последний присоединяется к центральной жиле кабеля через дроссель Др.

Принципиальные схемы остальных глубинных приборов также собраны на полупроводниках и отличаются от схемы

ДГП-4Б незначительными деталями. Следует только подчеркнуть, что в высокотемпературных приборах ДГП-90^И ДГП-120 высокочастотные узлы такие, как усилители, дискриминаторы, пересчетная схема, собраны на кремниевых транзисторах КТЭ01. (типа *прп*). При этом в качестве детекторов используются 1ЭУ-74, а сигнал снимается не с анода 1ЭУ, а с последнего диода, так как для усилителя, собранного на транзисторе типа *прп* требуется положительный входной импульс.

На рис. 10 "б" приведена счетная характеристика для детектора ДГП-120, полученная при измерениях с термостойким кристаллом и 1ЭУ-74. Как видно из этого рисунка, в диапазоне температур от +20°C до +110°C плато имеет место и обеспечивает стабильность работы схемы при $E_a = -1650$ В не хуже $\pm 3\%$.

4. УСТРОЙСТВО РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УЗЛОВ НАЗЕМНОГО ПУЛЬТА

Пульт прибора ДГП, как уже говорилось выше, выполняет следующие функции: обеспечивает электропитание глубинных приборов, разделяет импульсы различных каналов, пришедшие по каротажному кабелю с глубинного прибора, вырабатывает напряжения, пропорциональные интенсивностям N_1 , N_2 , M (Гс) и $M = K\rho$), обеспечивает калибровку самописцев и контроль работы прибора в целом. В соответствии с этим функциональная схема прибора, как это было показано на рис. 1, включает в себя селекторы, интенсиметры, счетно-решающее устройство, калибровочный генератор, а также систему питания и пересчетную схему. В основном все схемы пульта собирались на транзисторах. Рассмотрим эти узлы.

Селекторы. В процессе проектирования описываемых приборов был разработан ряд схем селекторов, которые мы рассмотрим ниже, а именно: 1. активные селекторы на дискриминаторах с тунельными диодами (рис. 11); 2. пассивные селекторы на мостовых дискриминаторах Парка (рис. 12); 3. активные селекторы на триггерах Шмитта (рис. 13).

В основу первых селекторов (рис. 11) заложен одновибратор на тунельном диоде со встроенным ключом. Селектор N_1 настраивается на отрицательные импульсы, селектор N_2 - на положительные. Селекторы собраны по схеме дискриминатора

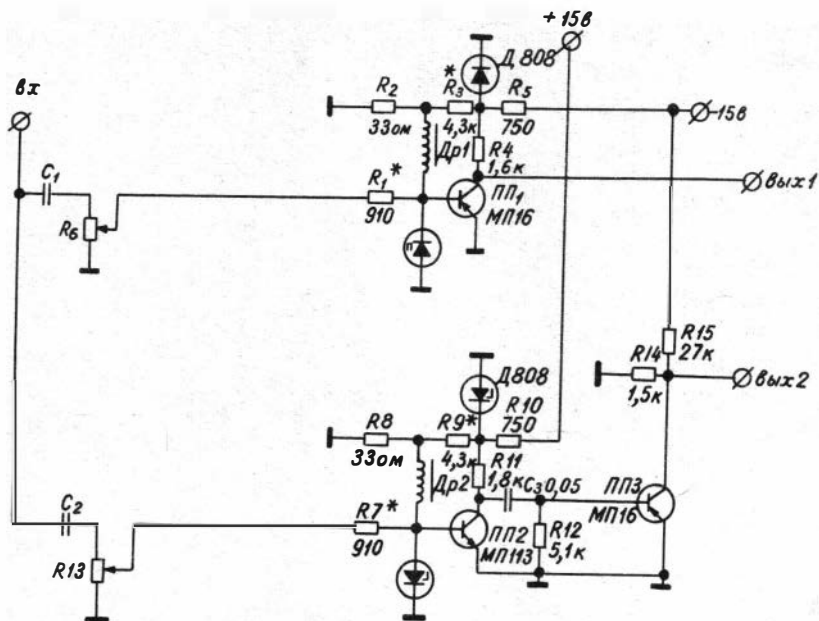


Рис. 11 Принципиальная схема блока селекторов на туннельных диодах.

импульсов на туннельном диоде, описанной выше.

Изменение уровня дискриминации осуществляется с помощью изменения амплитуды входного сигнала, снимаемого с регулирующего потенциометра R_4 и R_6 (рис. 11). Для ограничения входного тока селектора используются сопротивления R_1 и R_8 . Как видно из рис. 11, верхний селектор срабатывает от отрицательных импульсов, а нижний — от положительных. При срабатывании верхнего селектора туннельный диод переходит на диффузионную ветвь вольт-амперной характеристики. При этом запертый ранее транзистор ПП1 открывается и переходит в режим насыщения. В результате на его коллекторе вырабатывается положительный импульс. Длительность импульса определяется индуктивностью дросселя Др1 и сопротивлением R_2 . Во втором селекторе при его срабатывании в коллекторе ПП2 вырабатывается отрицательный импульс. Поскольку стандартный им-

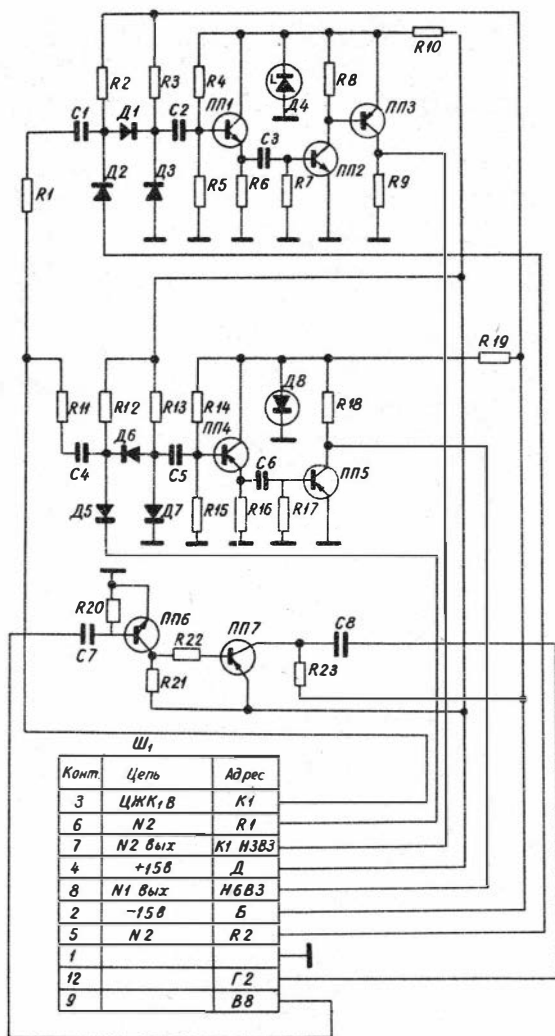


Рис. 12 Принципиальная схема блока селекторов на дискриминаторах Парка.

тульс с селектора должен быть положительным, то для пово - рота его фазы используется нормально закрытый ключ ПП3. Недостатками, осложняющими применение этих селекторов, является их относительно большое мертвое время (до 100мксек) ,

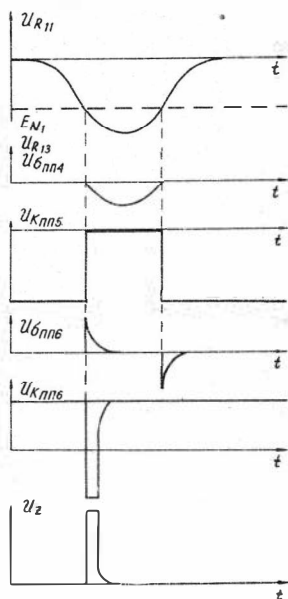


Рис. 13 Временная диаграмма работы селектора на дискриминаторе Парка и работа схемы подсвета луча осциллографа (индикация уровня селекции на примере канала N_1).

низкая температурная стабильность (0,26 % на 1°C) и наличие в схеме дефицитного элемента (туннельного диода) [4]. Достоинством схемы является ее простота, четкое формирование выходного импульса с практически идеальными фронтами и высокая нагрузочная способность.

Селекторы на туннельных диодах использовались в приборах ДГП-60, ДГП-90 и ДГП-120. Селекторы на дискриминаторах Парка использовались в приборах ДГП-95 и ДГП-40. На рис. 12 приведена принципиальная схема блока селекторов с усилителем подсвета из пульта

ДГП-95. Разберем работу селектора канала N_1 . Этот селектор собран на дискриминаторе по мостовой диодной схеме (схема Парка) на диодах D_5, D_6, D_7 . Схема питается напряжением +15 в. Катод диода D_5 опирается на положительный потенциал $+E = 0 + 15$ в регулируемого сопротивления R , вынесенного за пределы блока. Поэтому потенциал на катоде D_6 примерно равен потенциалу катода D_5 . Так как D_7 опирается на землю и потенциал его анода практически закрыт на E_{N_1} , то все отрицательные импульсы с амплитудой меньше $|E_{N_1}|$ не пройдут на усилитель ПП4-ПП5. Импульсы, амплитуда которых больше по модулю опорного напряжения, проходят через D_6 и поступают через согласующий эмиттерный повторитель на нормально закрытый ключ ПП5 и отпирают его. На коллекторе ПП5, при этом, появляются положитель-

ные импульсы. Таким образом, селектор отбирает положительные импульсы, а порог селекции определяется потенциалом на катоде D_6 , который регулируется потенциометром R_1 . Динамический диапазон ключа равен 0,1–0,15 в. и поэтому селектор имеет практически идеальную передаточную характеристику. Селектор N_2 (D_1, D_2, D_3 – ПП1–ПП3) собран по схеме селектора N_1 , но поскольку полярность импульсов N_2 положительная, то, естественно, полярность диодов и проводимость транзисторов в этой схеме обратны схеме селектора канала N_1 . Кроме того, в этой схеме стоит дополнительный инвертирующий транзистор ПП3, поскольку с выхода селектора требуется положительный импульс.

Усилитель подсвета ПП6–ПП7 собран по простой схеме двухкаскадного ключевого усилителя с непосредственными связями на КТ 301 Ж (ПП6) и 4П25 (ПП7). Импульсы с выхода того или иного селектора дифференцируются цепью C_7-R_{20} и положительный пик (начало импульса) усиливается схемой до амплитуды 30 в. Выходной положительный короткий импульс синфазен началу выходного импульса селектора и будучи подан на клемму "Z" осциллографа практически засвечивает на импульсе уровень срабатывания селектора (рис. 13).

Недостатком этой схемы является относительно невысокая крутизна передаточной характеристики, а отсюда нечетное срабатывание при малых амплитудах входных сигналов. Температурные испытания показали, что при $E_{N_1} = +3$ в амплитуда срабатывания канала N_1 изменялась от -4,8 до -5,4 в при изменении температуры от $+60^\circ$ до -10° C, что составляет 0,085% на 1° C. Это примерно в 3 раза лучше, чем у схемы на туннельных диодах, но все же недостаточно.

Последний рассматриваемый здесь вариант – это схема на модификации триггера Шмитта (рис. 14) [4].

По сравнению с вышерассмотренными эта схема более сложна, так как содержит, как минимум, 4 транзистора на собственно селектор (на один канал), но она выгодно отличается от схемы на туннельных диодах высокой термостабильностью (0,05% на 1° C), а от схемы на диодах – высокой крутизной передаточной характеристики и четким срабатыванием при любых уровнях дискриминации.

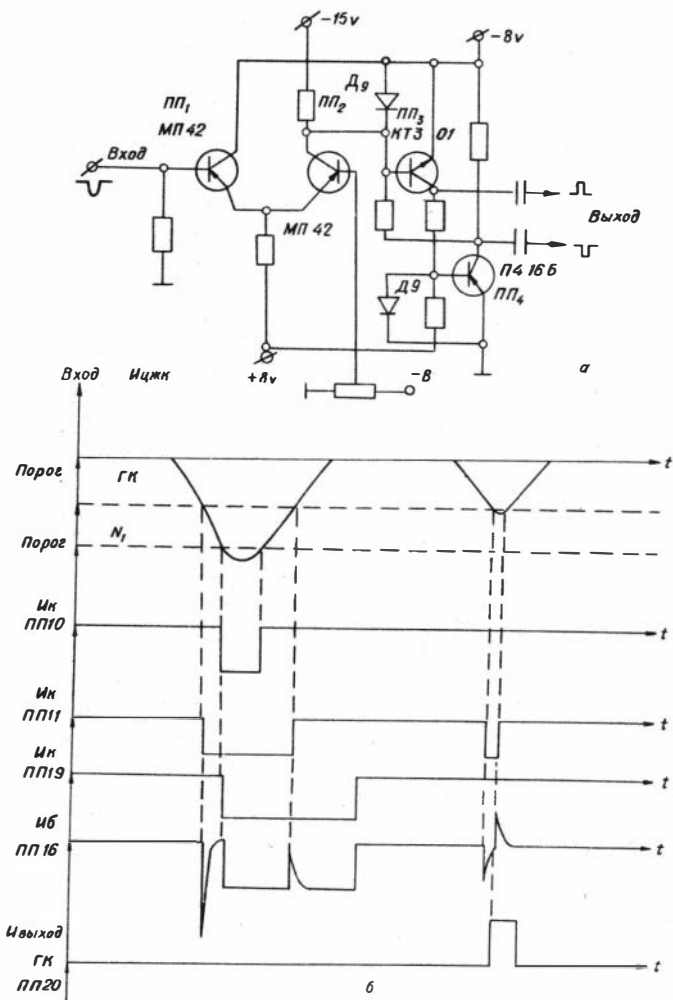


Рис.14 Селектор на триггерах Шмидта а) принципиальная схема собственно селектора отрицательных импульсов, б) временная диаграмма работы канала ГК.

Работа этой схемы заключается в том, что в исходном состоянии на базе ПП1 поддерживается напряжение 0 в, а

на базе ПП2 - $E_{см}$, заданное внешним потенциометром. В силу этого триод ПП-1 закрыт по переходу эмиттер-база напряжением, равным - $E_{б2}$. Это напряжение определяет порог срабатывания схемы в целом. Коллектор ПП2 потенциально связан со входом дуально-симметричного триггера ПП3-ПП4, который находится в открытом состоянии. При поступлении на вход схемы отрицательного импульса с амплитудой больше - $E_{б2}$ транзистор ПП1 отпирается, ПП2 - запирается и триггер ПП3-ПП4 скачком переходит в закрытое состояние, которое длится до тех пор, пока не кончится входной импульс. Таким образом, вся эта система работает в режиме триггера Шмитта. Но в отличие от классического триггера Шмитта на полупроводниковых приборах она имеет очень маленький гистерезис и высокую термостабильность порога срабатывания [4].

Меняя уровень $E_{б2}$, можно менять порог срабатывания селектора в очень широких пределах (от 0,1 до 10 вольт). К дополнительным достоинствам этой схемы следует отнести очень малое время восстановления. Оно практически отсутствует, так как в этой схеме отсутствуют реактивные элементы.

Система селекторов прибора ДГГК-95-построена на этих схемах. Полная схема блоков селекторов прибора ДГГК-95 приведена на рис. 15. На этой схеме триоды ПП1, ПП4, ПП8, ПП10 образуют селектор канала N_1 , триоды ПП2, ПП5, ПП9, ПП11 - селектор канала ГК и триоды ПП6, ПП12, ПП14, ПП17 - селектор канала N_2 . Селектор канала N_2 отличается от N_1 лишь номерностью рабочего импульса (+), а поэтому вся схема собрана на обратных транзисторах.

Поскольку амплитуда ГК имеет ту же полярность, что и канал ГГК-1 (N_1), то канал ГК работает в режиме дифференциального анализатора. Для этого после схемы Шмитта селектора ГК стоит схема запрета на сопротивлениях R_{28}, R_{29} и транзисторе ПП16. Сигнал запрета приходит от "безинерционного" одновибратора ПП15-ПП19 канала N_1 . Принцип работы системы запрета легко понять из временной диаграммы рис. 14 "б". Если импульс кабеля превысил порог N_1 , то срабатывают оба селектора N_1 и ГК, но при этом на базу ПП16 подается длинный гасящий (отрицательный импульс) одновибратора ПП15, ПП19. В результате продифференцированный емкостью C_8 импульс селектора ГК садится на отрицательный импульс од-

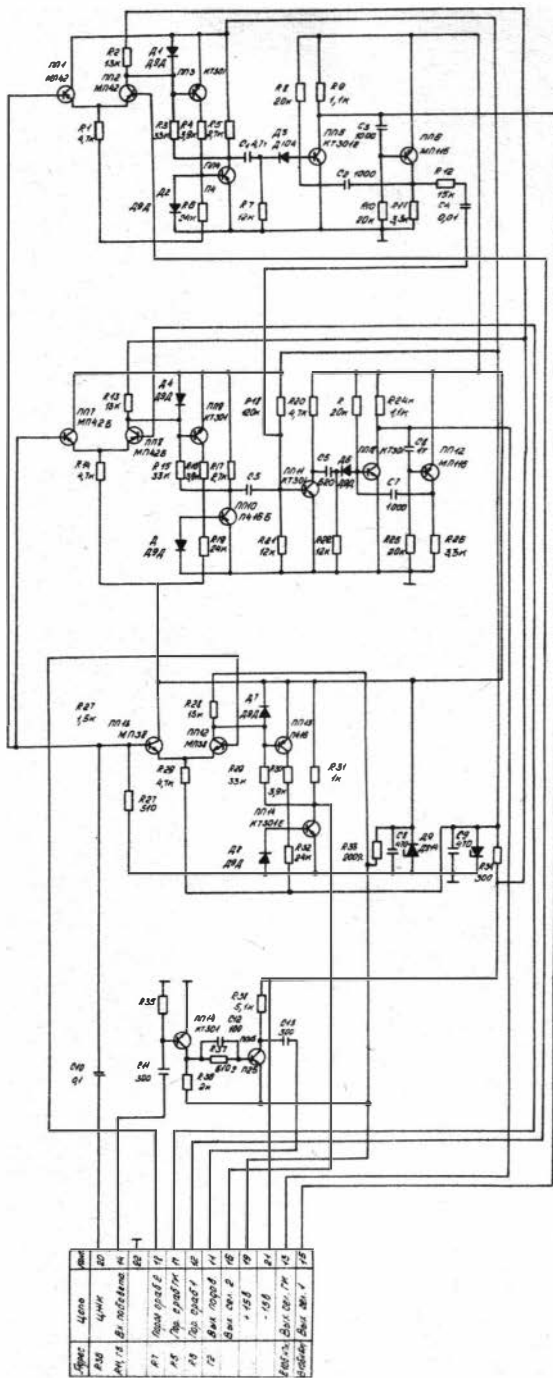


Рис. 15 Принципиальная схема блока селекторов Ш111-95.

Сигнал	Цепь	Элемент	Номер
А1	Цепь А1	Ваку. труба	6X4
А2	Цепь А2	Ваку. труба	6X4
А3	Цепь А3	Ваку. труба	6X4
А4	Цепь А4	Ваку. труба	6X4
К1	Цепь К1	Реле	К1
С1	Цепь С1	Конденсатор	1000
С2	Цепь С2	Конденсатор	1000
С3	Цепь С3	Конденсатор	1000
С4	Цепь С4	Конденсатор	1000
С5	Цепь С5	Конденсатор	1000
С6	Цепь С6	Конденсатор	1000
С7	Цепь С7	Конденсатор	1000
С8	Цепь С8	Конденсатор	1000
С9	Цепь С9	Конденсатор	1000
С10	Цепь С10	Конденсатор	1000
С11	Цепь С11	Конденсатор	1000
С12	Цепь С12	Конденсатор	1000
С13	Цепь С13	Конденсатор	1000
С14	Цепь С14	Конденсатор	1000
С15	Цепь С15	Конденсатор	1000
С16	Цепь С16	Конденсатор	1000
С17	Цепь С17	Конденсатор	1000
С18	Цепь С18	Конденсатор	1000
С19	Цепь С19	Конденсатор	1000
С20	Цепь С20	Конденсатор	1000
С21	Цепь С21	Конденсатор	1000
С22	Цепь С22	Конденсатор	1000
С23	Цепь С23	Конденсатор	1000
С24	Цепь С24	Конденсатор	1000
С25	Цепь С25	Конденсатор	1000
С26	Цепь С26	Конденсатор	1000
С27	Цепь С27	Конденсатор	1000
С28	Цепь С28	Конденсатор	1000
С29	Цепь С29	Конденсатор	1000
С30	Цепь С30	Конденсатор	1000
С31	Цепь С31	Конденсатор	1000
С32	Цепь С32	Конденсатор	1000
С33	Цепь С33	Конденсатор	1000
С34	Цепь С34	Конденсатор	1000
С35	Цепь С35	Конденсатор	1000
С36	Цепь С36	Конденсатор	1000
С37	Цепь С37	Конденсатор	1000
С38	Цепь С38	Конденсатор	1000
С39	Цепь С39	Конденсатор	1000
С40	Цепь С40	Конденсатор	1000
С41	Цепь С41	Конденсатор	1000
С42	Цепь С42	Конденсатор	1000
С43	Цепь С43	Конденсатор	1000
С44	Цепь С44	Конденсатор	1000
С45	Цепь С45	Конденсатор	1000
С46	Цепь С46	Конденсатор	1000
С47	Цепь С47	Конденсатор	1000
С48	Цепь С48	Конденсатор	1000
С49	Цепь С49	Конденсатор	1000
С50	Цепь С50	Конденсатор	1000
С51	Цепь С51	Конденсатор	1000
С52	Цепь С52	Конденсатор	1000
С53	Цепь С53	Конденсатор	1000
С54	Цепь С54	Конденсатор	1000
С55	Цепь С55	Конденсатор	1000
С56	Цепь С56	Конденсатор	1000
С57	Цепь С57	Конденсатор	1000
С58	Цепь С58	Конденсатор	1000
С59	Цепь С59	Конденсатор	1000
С60	Цепь С60	Конденсатор	1000
С61	Цепь С61	Конденсатор	1000
С62	Цепь С62	Конденсатор	1000
С63	Цепь С63	Конденсатор	1000
С64	Цепь С64	Конденсатор	1000
С65	Цепь С65	Конденсатор	1000
С66	Цепь С66	Конденсатор	1000
С67	Цепь С67	Конденсатор	1000
С68	Цепь С68	Конденсатор	1000
С69	Цепь С69	Конденсатор	1000
С70	Цепь С70	Конденсатор	1000
С71	Цепь С71	Конденсатор	1000
С72	Цепь С72	Конденсатор	1000
С73	Цепь С73	Конденсатор	1000
С74	Цепь С74	Конденсатор	1000
С75	Цепь С75	Конденсатор	1000
С76	Цепь С76	Конденсатор	1000
С77	Цепь С77	Конденсатор	1000
С78	Цепь С78	Конденсатор	1000
С79	Цепь С79	Конденсатор	1000
С80	Цепь С80	Конденсатор	1000
С81	Цепь С81	Конденсатор	1000
С82	Цепь С82	Конденсатор	1000
С83	Цепь С83	Конденсатор	1000
С84	Цепь С84	Конденсатор	1000
С85	Цепь С85	Конденсатор	1000
С86	Цепь С86	Конденсатор	1000
С87	Цепь С87	Конденсатор	1000
С88	Цепь С88	Конденсатор	1000
С89	Цепь С89	Конденсатор	1000
С90	Цепь С90	Конденсатор	1000
С91	Цепь С91	Конденсатор	1000
С92	Цепь С92	Конденсатор	1000
С93	Цепь С93	Конденсатор	1000
С94	Цепь С94	Конденсатор	1000
С95	Цепь С95	Конденсатор	1000
С96	Цепь С96	Конденсатор	1000
С97	Цепь С97	Конденсатор	1000
С98	Цепь С98	Конденсатор	1000
С99	Цепь С99	Конденсатор	1000
С100	Цепь С100	Конденсатор	1000

новибратора канала N_1 (см. диаграмму ИбПП16) и не запускает выходной одновибратор канала ГК.

В случае же, когда входной импульс превышает порог ГК, но не достигает порога N_1 , со схемы N_1 импульс запрета не приходит. Одновибратор ПП18, ПП20 срабатывает и на выходе канала ГК появляется четкий положительный импульс.

В этом же блоке есть ранее описанный усилитель подсвета ПП7, ПП13. Наземный пульт имеет два режима - "работы" и "калибровки". Режимы переключаются с помощью переключателя "В". В рабочем режиме импульсы селекторов подаются на блок интенсиметров (У-2) и на счетно-решающее устройство (У-3) При этом импульсы селектора канала N_1 предварительно засылаются на пересчетную схему, коэффициент пересчета которой меняется от 1 до 16 с помощью переключателя.

Интенсиметры каналов N_1 , N_2 и ГК построены по единой принципиальной схеме рис.16. Разберем принцип их работы на примере интенсиметра канала N_1 рис.14. Входной положительный импульс канала N_1 с селектора N_1 или из системы калибровки поступает через эмиттерный повторитель ПП1 на запуск одновибратора ПП2-ПП3. В исходном состоянии одновибратор ПП2 открыт и насыщен. В момент прихода импульса одновибратор опрокидывается и на коллекторе ПП2 появляется отрицательный импульс. Этот импульс подается на эмиттер ПП4. В исходном состоянии ПП4 закрыт потенциалом базы - 5,6в. При поступлении на базу ПП4 импульса он открывается и в его эмиттер подается импульс тока с амплитудой:

$$I_{Э4} = \frac{E(R_7) - E_8(\text{пп4})}{R_7 + z_{вх}(\text{пп4})} = \frac{80 - 8}{R_7 + z_{вх}(\text{пп4})} \quad (1)$$

Длительность импульса t определяется хронизирующей емкостью C_3 , а $z_{вх}(\text{пп4})$ - входное сопротивление транзистора ПП4 в режиме с общей базой $z_{вх}(\text{ПП4}) = z_{э} \sqrt{z_{с}(1-\alpha)}$. Поскольку $z_{вх}(\text{пп4}) \ll R_7$, то практически $I_{Э4}$ определяется R_7 и равно 2 ма. Ток коллектора ПП4 равен:

$$\alpha I_{Э4} \approx I_{К4} \quad (2)$$

При средней частоте следования входных импульсов N_1 среднее значение тока коллектора ПП4 $i_{ср} = I_{Э4} t_1 N_1$. Этот ток создает на цепочке С6-С8, $R_{12}-R_{15}$ напряжение коллектора ПП4

$$U_{К4} = I_{Э4} t_1 N_1 (R_{12} + R_{13} + R_{14} + R_{15}) = I_{Э4} t_1 N_1 R_{\Sigma} \quad (3)$$

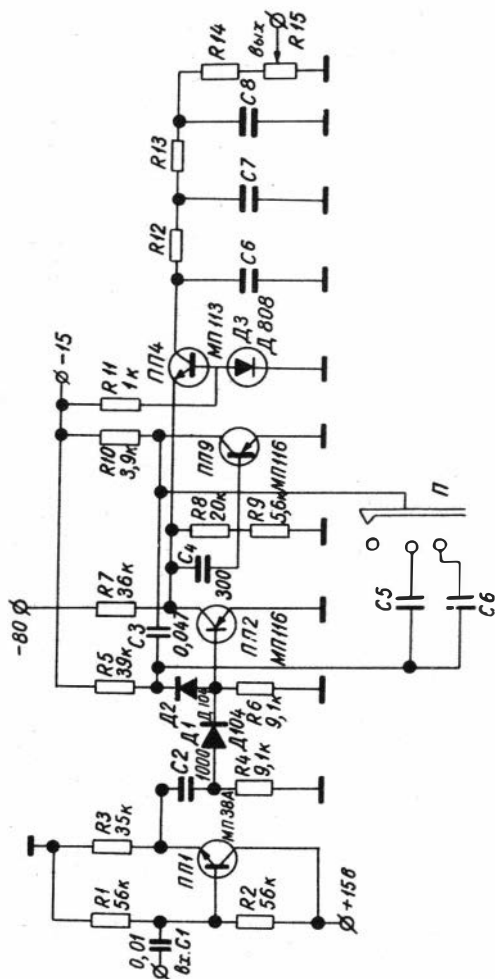


Рис. 16 Принципиальная схема интенсиметра

Поскольку все величины в этом выражении кроме N_1 постоянны, то и $U_{к4}$ пропорционально средней скорости следования входных импульсов N_1

$$U_{к5} = e_{жк} N_1 \quad (4)$$

коэффициент $e_{жк} = I_{к4} t_1 R_z$. Следует подчеркнуть, что напряжение коллектора может меняться в пределах от 0 до E_0 (в

данной схеме до $-8,0$ в. При дальнейшем росте N_1 транзистор ПП4 переходит в режим насыщения и "стягивается" в точку. При этом диод ДЗ "не пускает" потенциал коллектора ниже $-8,0$ в. Выходное напряжение в данной схеме снимается с движка потенциометра R_{15} . Интенсиметры N_2 и ГК отличаются от рассмотренного только другими значениями хронизирующей емкости C_3 соответствующими интенсивности этих каналов.

Счетно-решающее устройство предназначено для полуавтоматической интерпретации результатов каротажа и вырабатывает на основании интенсивностей N_1 и N_2 функцию, пропорциональную плотности измеряемых горных пород. В основу автоматической интерпретации была положена формула приведенная в работах [1, 3]:

$$\rho \sim \ln[(N_1 - c)/N_2] \quad (5)$$

или

$$\rho = a \ln[(N_1 - c)/N_2] + b, \quad (6)$$

где "а" "в" "с" - постоянные, определяемые конструкцией прибора и эффективностью применяемых детекторов. В реальном случае эти коэффициенты в некоторой степени зависят и от ближней зоны. Поэтому при переходе от необсаженной скважины к обсаженной, а также при смене диаметра скважины необходимо вручную переключать коэффициенты "а" "б" и "с".

Принципиальная схема счетно-решающего устройства приведена на рис. 17. Она включает в себя схему деления, логарифматор и компенсаторы. Схема деления собрана на транзисторах ПП1-ПП7 и состоит из типового интенсиметра, описанного выше, и ключевой схемы на ПП5, включенной в качестве нагрузки этого интенсиметра. Импульсы N_1 поступают на вход интенсиметра (на ПП1), а импульсы N_2 через нормализующий одновибратор на базу ключа ПП5. В исходном состоянии ключ ПП5 закрыт. При поступлении входного импульса он отпирается и выводится в режим насыщения. При этом амплитуда импульса тока его коллектора определяется, как это видно из схемы, величиной

$$I_{K5} = U_{K4} / R_{14}. \quad (7)$$

Средний ток коллектора ПП5

$$i_{cp.K5} = I_{K5} t_2 N_2 = U_{K4} t_2 N_2 / R_{14}. \quad (8)$$

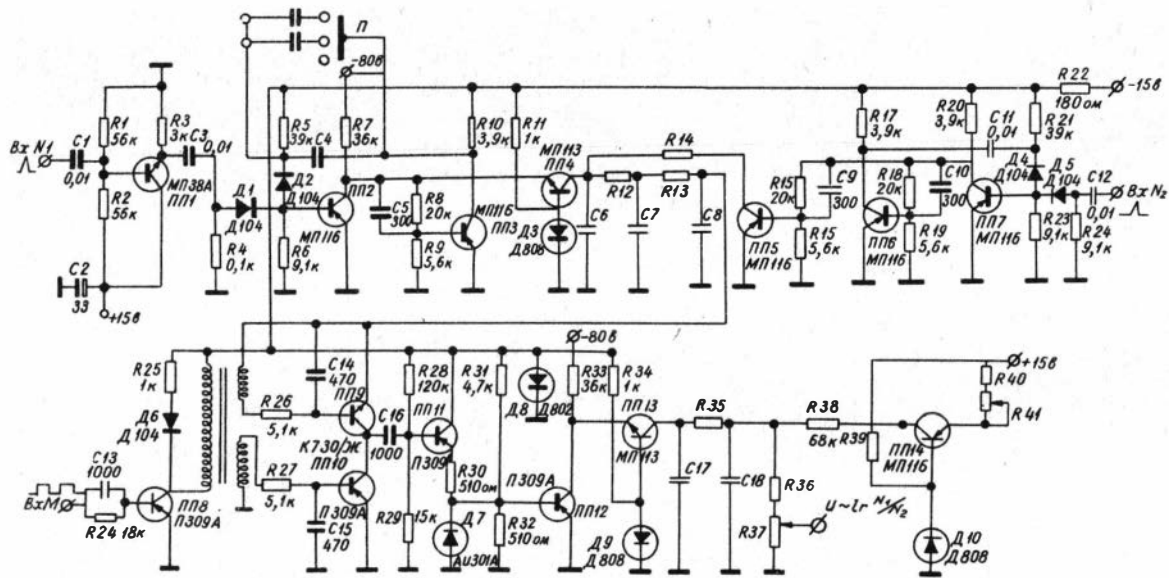


Рис.17 Принципиальная схема счетно-решающего устройства

По закону Кирхгофа:

$$i_{cp4} = I_K + i_{cpK5} + I_Y, \quad (9)$$

где I_K - ток схемы компенсации, в данном случае ток I_{K15} ; I_Y - ток утечки нагрузки схемы деления на схему логарифматора.

Предположим, что $I_Y \ll i_{K5}$ и I_K тогда, подставляя в формулу (9) значения i_{cp4} и i_{cpK5} , получим

$$I_{Э4} t_1 N_2 - I_K = U_{K4} t_2 N_2 / R_{14}. \quad (10)$$

$$\text{Отсюда } U_{K4} = R_{14} (I_{Э4} t_1 N_2 - I_K) / t_2 N_2 \quad (11)$$

$$\text{или } U_{K4} = \alpha (N_2 - C) / N_2, \quad (12)$$

где $\alpha = R_{14} I_{Э4} t_1 / t_2$; $C = N_0 = I_K / I_{Э4} t_1$.

При зафиксированных значениях $t_1, t_2, I_{Э4}, I_K, \alpha$ и C - константы. Напряжение U_{K4} подается на схему логарифматора (ПП8-ПП14). В этой схеме напряжение с выхода схемы деления модулируется прямоугольным переменным напряжением на схеме ПП3-ПП10 и подается в виде прямоугольного напряжения с амплитудой, равной U_{K4} на дифференцирующий конденсатор C_{16} . Соответственно напряжение на базе ПП11 будет меняться по закону (см. рис. 18):

$$U_{B11} = U_{K4} e^{-t/\epsilon}, \quad (13)$$

где ϵ постоянная времени разряда конденсатора C_{16} . В эмиттер ПП11 через сопротивление R_{30} включен туннельный диод D_7 . В исходном состоянии этот диод суммой токов через R_{30} и R_{31} смещен на диффузионный участок вольтамперной характеристики, поэтому транзистор ПП12 открыт и насыщен. При поступлении на базу ПП11 положительного импульса, полученного от положительного фронта промодулированного импульса туннельный диод запирается и переходит на туннельный участок характеристики и транзистор ПП12 запирается. При этом через сопротивление R_{33} в эмиттер ПП13 подается импульс тока с амплитудой в 2 ма.

Частота следования этих импульсов постоянна и задается внешним генератором. Длительность импульсов тока эмиттера ПП13 определяется длительностью спада напряжения на базе ПП13 до порогового значения, при котором срабатывает туннельный диод и ключ ПП12. Из (13) следует, что время импульса

$$t_{и} = \tau (\ln U_{K4} - \ln U_{пор}) = \tau \ln (U_{K4} / U_{пор}). \quad (14)$$

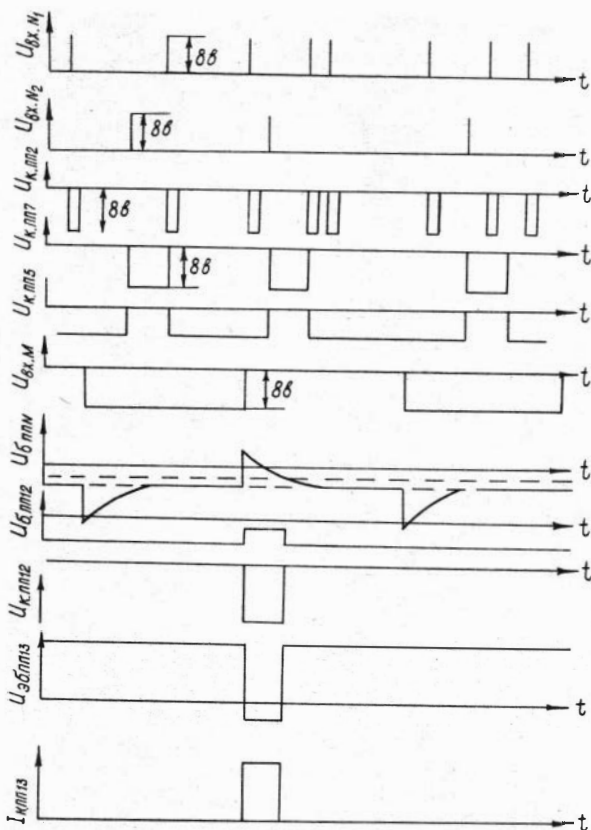


Рис. 18 Временная диаграмма работы счетно-решающего устройства

Таким образом средний ток коллектора ПП13 будет

$$i_{ср.к13} = f_M I_{K13} \tau \ln(U_{K4}/U_{пор}), \quad (15)$$

где f_M - частота внешнего генератора, частота модуляции напряжения схемы деления. Подставляя значения U_{K4} получим:

$$i_{ср.к13} = I_{K13} f_M \tau \ln[a(N_1 - N_0)/N_2 U_{пор}] = b \ln[(N_1 - N_0)/N_2] + d, \quad (16)$$

где $b = I_{K13} f_M \tau = const$, $d = b \ln(a/U_{пор}) = const$.

Для функции постоянной составляющей "d" используется регулируемый генератор тока на ПП14. Напряжение на сопро -

тивлении нагрузки схемы $R_{36} + R_{37}$

$$U_R = -(R_{36} + R_{37}) \ln \left[\frac{I_1 - I_2}{I_2} \right]. \quad (17)$$

Таким образом, с помощью вышеописанной схемы мы реализуем формулу (6), т.е. делаем выходное напряжение схемы пропорциональным ρ

$$U_{\text{вых}} = K \rho, \quad (18)$$

где K — масштабный коэффициент. Изменяя ток компенсации I_{14} , можно выбрать участок плотностей в том или ином диапазоне. Масштаб записи плотности можно регулировать с помощью выходного сопротивления R_{37} .

Система калибровки состоит из генератора калибровки и генератора модуляции счетно-решающего устройства. Оба генератора собраны по схеме термостабилизированного симметричного мультивибратора (рис. 19) и расположены в блоке калибровки. Термостабилизация частоты генератора обеспечивается применением кремниевых транзисторов типа МП116

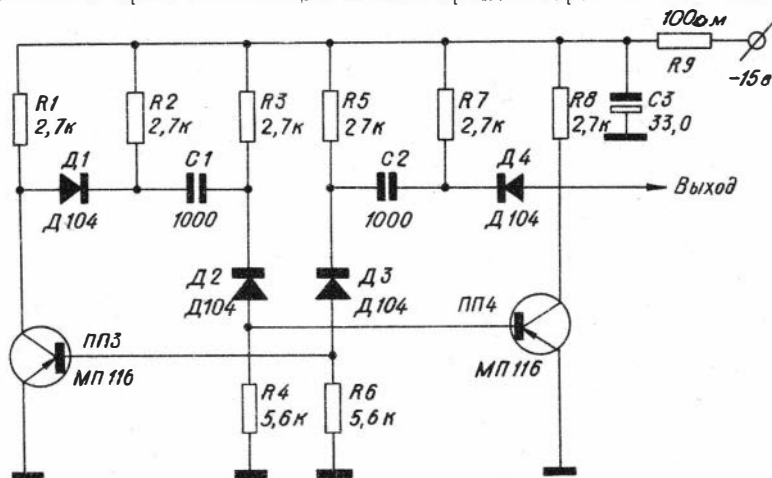


Рис. 19 Калибровочный мультивибратор

и отключением цепей перезарядки хранирующих конденсаторов C_{15} и C_{16} от базы и коллекторов транзисторов с помощью диодов Д104. Частота модулирующего генератора ~ 1 кГц. Частота калибровочного генератора изменяется переключением хранирующих емкостей с помощью переключателя, вынесенного на переднюю панель наземного пульта.

Калибровочный генератор имеет следующие частоты: 300; 150; 50; 15; 5 тыс. имп. в минуту. Зависимость частоты калибровочного генератора от температуры приведена в табл. 2

Таблица № 2

Зависимость частоты калибровочного генератора от температуры

№№ пп	Начальная частота	-17°С	-10°С	0°С	+20°С	+40°С	+50°С
1.	5000	5055	5035	5022	5015	4997	4990
2.	15000	15202	15160	15071	15010	15010	15010
3.	50000	49240	49507	49900	50000	50000	50000
4.	150000	152020	149859	150080	150100	150100	150100
5.	300000	296628	297250	297750	300127	300127	300100

Пересчетная схема. Для снижения частоты импульсов канала M_1 , подаваемых на интенсиметры и схему деления, в пульт включена пересчетная схема (рис. 20). Эта схема собрана на четырех триггерах ненасыщенного типа с автоматическим смещением. Коэффициент пересчета импульсов может изменяться с помощью специального переключателя по диапазону 1, 2, 4, 8, 16.

Система электропитания обеспечивает стабилизированное питание всех схем наземного пульта, а также стабилизированное питание глубинного прибора. Для обеспечения работы наземного пульта требуются следующие напряжения питания: +15, -15, -80 в.

Величина напряжения питания глубинного прибора зависит от длины и типа каротажного кабеля, а также от типа глубинного прибора. Поэтому этот стабилизатор регулируется в пределах от +160 до +240 в в приборе ДГГК-95 и от -10 до -50 в во всех остальных и устанавливается по номинальному току глубинного прибора 350 ма (для ДГГК-95) и 80-90 ма для всех остальных. Величина этого тока контролируется миллиамперметром, вынесенным на лицевую панель пульта. На рис. 21 приведены принципиальные схемы стабилизаторов питания пульта на +15, -15, -80 в.

На рис. 22 приведены схемы стабилизаторов питания глубинных приборов. Характеристики этих стабилизаторов приведены в таблице 3.

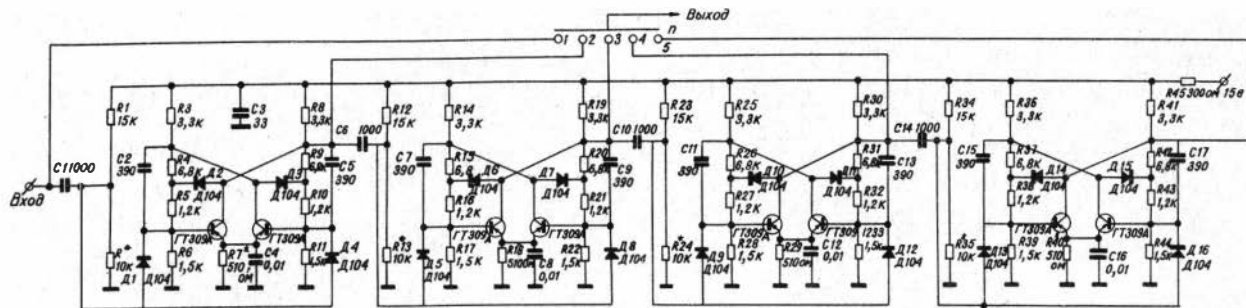


Рис. 20 Пересчетная схема

Таблица 3

Устойчивость системы питания к изменению напряжения сети

№ пп	Номинальное напряжение	Пределы регулировки, в	Ток нагрузки, ки (ма)	напряжение сети, в				
				200	220	240	200-240	210-240
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	-(12±50)	-(10±50)	80					
2.	-80	-(40-90)	20	82,7	79,87	79,64		
3.	-15	-15	125	14,84	14,87	14,94	27	-
4.	+15	+15	50	15,10	15,11	15,14	68	-

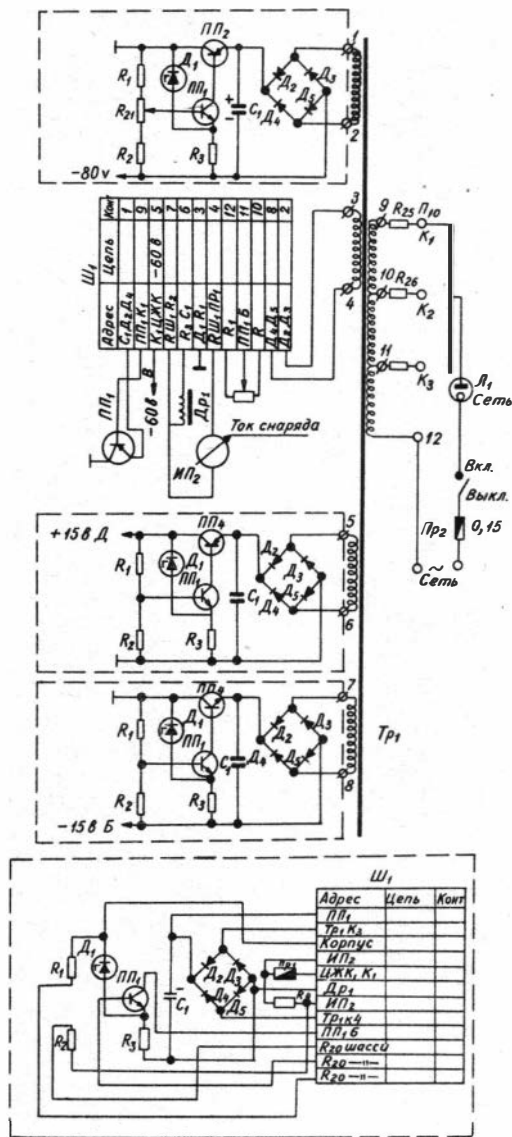


Рис. 1 Стабилизатор питания пульты +15; -15; а - 80 в и
глушитель прибора от -10 до +1+80 вольт

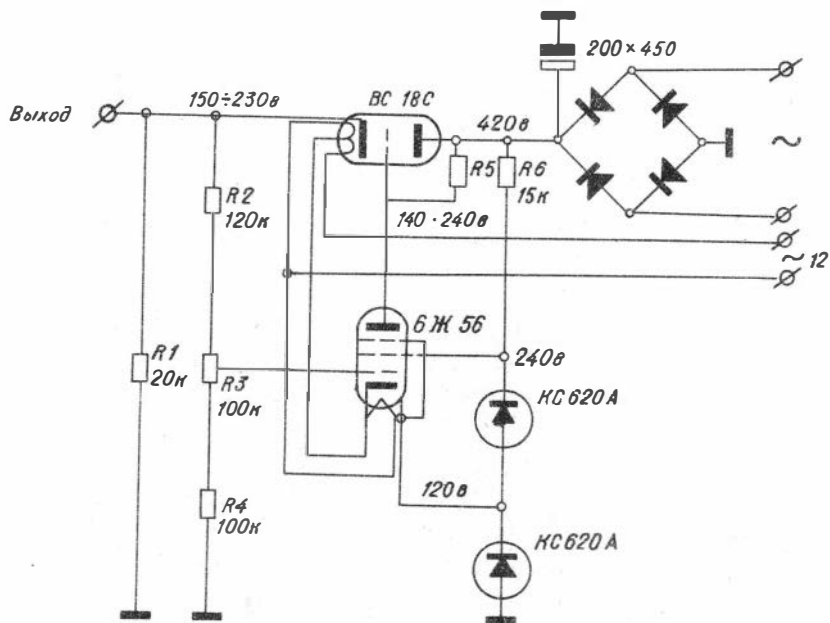


Рис.22 Стабилизатор питания глубинного прибора ДГП-95 от +160 до 240 вольт

Стабилизаторы питаются от силового трансформатора на ленточном железе ТС-180.

5. КОНТРОЛЬНО-ЭТАЛОНИРОВОЧНОЕ УСТРОЙСТВО

Аппаратура ДГП перед проведением исследований скважин эталонируется на реальных средах: моделях или скважинах. Регистрируемое отношение в полулогарифмических координатах при этом линейно связано с плотностью горной породы. Наличие в приборе счетно-решающего устройства позволяет вести запись на диаграммную ленту плотностей исследуемых сред. Однако в процессе работ может происходить изменение режима работы плотномеров (при смене каких-либо радиодеталей, детекторов и т.п.). Поэтому после эталонировки прибора на реальных средах градуировочную кривую необходимо привязать хотя бы одной точкой к показаниям в какой-либо искусственной среде. Для этих целей к комплекту прибора ДГП разрабо-

тано специальное контрольно-эталонировочное устройство (КЭУ). Работа с таким устройством не требует повторения всей процедуры эталонировки прибора при замене какой-либо детали в схеме прибора.

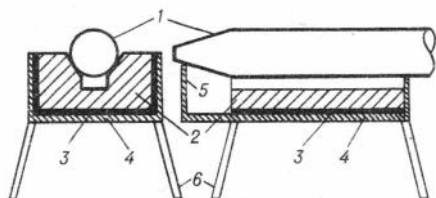


Рис. 23. Контрольно-калибровочное устройство 1 - -глубинный прибор; 2 - -алюминий; 3 - свинец; 4 - -корпус; 5 - ограничитель, фиксирующий положение глубинного прибора; 6 - -ноги.

Схематически такое устройство с прибором ДГП в двух проекциях показано на рис. 23. Оно состоит из алюминиевого блока с желобом, в который устанавливается глубинный прибор зондовой частью. Для того, чтобы излучение не выходило за пределы КЭУ под блоком алюминия расположен свинцовый отражатель. Для фиксации положения прибора в КЭУ, последнее снабжено специальным ограничителем, точно фиксирующем положение прибора при измерениях. Для изменения показаний прибора между ним и алюминиевым блоком могут вдвигаться металлические пластины различной плотности. В результате показания прибора при строго фиксированных положениях могут быть привязаны к нескольким точкам градуировочной кривой.

Для исключения влияния окружающих предметов все устройство устанавливается на ногах на расстоянии 80 см от поверхности земли (или пола).

6. ЗАЩИТНО-ТРАНСПОРТИРОВОЧНОЕ УСТРОЙСТВО

Выше было показано (см. табл. 1), что в глубинных приборах ДГП используются кобальтовые источники активностью от 20 до 50 мг. экв. радия. В связи с этим при работе с приборами очень тщательно нужно соблюдать правила по технике радиационной безопасности в соответствии с имеющейся инструкцией ? .

В разделе, посвященном описанию глубинных приборов ДГП, было указано (см. рис. 24), что к настоящему времени разрабо-

тано три типа хвостовиков. В соответствии с этим для хранения и транспортировки источников разработано три вида защитно-транспортировочных устройств (ЗТУ). Схематически устройство контейнера для размещения держателя с источником показано на рис. 24 "а". Защитная часть этого контейнера выполнена в виде сферы, изготовленной из свинца. Общий вес контейнера 100 кг. Для удобства эксплуатации защитное устройство размещено в стальном цилиндре. Установка держателя с источником в контейнер и извлечение его из контейнера осуществляется с помощью дистанционного захвата длиной 1 м. С помощью этого же захвата осуществляется ввинчивание держателя с источником в хвостовик глубинного прибора и извлечение из прибора. Контейнер имеет толщину стенок по радиусу величиной, в среднем, равной 12 см. Это позволяет использовать его для хранения и перевозки источника активностью до 50 мг. экв. радия. При этом контейнер удовлетворяет требованиям первой транспортной категории. В самом деле, на поверхности контейнера при этом создается мощность дозы величиной 0,1 мр/час, что указывает на возможность его транспортировки любым видом транспорта [7].

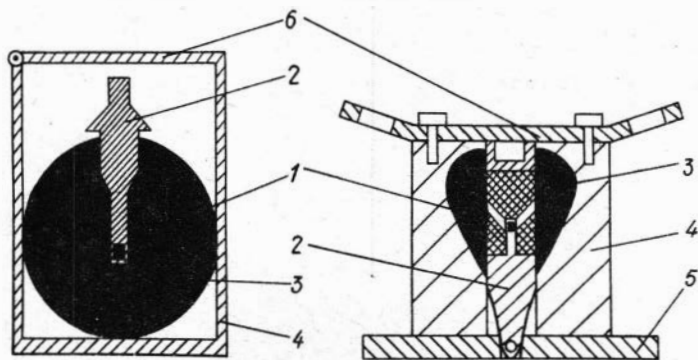


Рис. 24 Транспортировочные защитные контейнеры для хранения держателя с источником (а) и хвостовика глубинного прибора с источником (б). 1-источник излучения; 2-держатель источника; 3-свинец; 4-корпус контейнера; 5-дно; 6-рукоятка для переноса контейнера.

При проведении работ на скважине контейнер с источником устанавливается около ее устья. После чего произ-

водятся вышеуказанные манипуляции по извлечению источника и установке его в глубинный прибор и спуск в скважину.

При тщательной отработке всех манипуляций с источником за одну спуско-подъемную операцию обслуживающий персонал получит не более 14 мр. Напомним что предельно- допустимой дневной дозой для работающих является величина равная 17 мр. Таким образом при работе с прибором ДГГП полностью соблюдаются правила по технике радиационной безопасности.

Для второго типа хвостовика разработано ЗТУ, показанное на рис. 24 б. Как видно, это ЗТУ предназначено для размещения и перевозки в нем хвостовика с источником. Контейнер показанный на рис. 24 б, весит 40 кг и предназначен для хранения источника активностью 30 мг. экв. радия. Толщина слоя свинца в направлении коллиматора равна 7 см. Этот контейнер удовлетворяет требованиям второй транспортной категории. На его поверхности мощность дозы не выходит за пределы 10 мр/час, а на расстоянии 1 м - 0,3 мр/час. Ввиду этого при каротажных работах это ЗТУ может перевозиться только в подъемнике каротажной станции, где расстояние до шофера значительно больше 1 м.

Контейнер с источником, как уже отмечалось выше, устанавливается над устьем скважины. Затем производится сочленение хвостовика с глубинным прибором. После этого глубинный прибор освобождается от контейнера и опускается в скважину. При тщательной отработке всех операций по сочленению хвостовика с глубинным прибором за одну спуско-подъемную операцию обслуживающий персонал получит также не более 14 мр. Заметим, что этот контейнер является более надежным в работе. Непредвиденные случайности при работе с ним практически отсутствуют.

Третий вид контейнера принципиально не отличается от показанного на рис. 24 б, поэтому мы его не рассматриваем.

Первый тип контейнера и держателя источника выгодно использовать при экспериментальных исследованиях с глубинными приборами разного диаметра, а второй тип контейнеров и хвостовиков - при производственных исследованиях на скважинах, когда исследования ведутся с одним и тем же прибором.

Для соблюдения правил хранения радиоактивных изотопов в контейнерах последние снабжены запорами, установленными на крышках.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Барварин Г.Б., Кузнецов Г.А., Филиппов Е.М. Исследования по исключению влияния ближней зоны на результаты гамма-гамма-метода. Геология и геофизика 1966, № 6.
2. Барварин Г.Б., Кузнецов Г.А., Филиппов Е.М. Двухлучевой скважинный гамма-гамма-плотномер. Геология и геофизика, 1967, № 6.
3. Барварин Г.Б., Филиппов Е.М. Плотностной гамма-гамма-метод в геофизике. г. Новосибирск, Наука, 1971 г.
4. Долгих В.В. Транзисторный амплитудный селектор. Приборы и техника эксперимента. 1968, № 2.
5. Иванов А.А., Колпаков И.Ф., Тимохин Л.А. Применение туннельных диодов в приборах ядерной физики. М. Атомиздат, 1967.
6. Мононов Б.Н. Симметричные триггеры на плоскостных полупроводниковых триодах, М.Л. Госэнергоиздат, 1960.
7. Санитарные правила работы с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений, М., Госатомиздат, 1960.

Г. Б. ВАРВАРИН, Г. А. КУЗНЕЦОВ, Е. М. ФИЛИППОВ

ВОПРОСЫ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ И ПОРИСТОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ПОМОЩИ ДВУХЛУЧЕВЫХ ПЛОТНОМЕРОВ

Описание двухлучевых гамма-гамма-плотномеров (ДГГП), применявшихся для решения поставленных задач, приведено в предыдущей статье этого сборника. Некоторые методические вопросы двухлучевого гамма-гамма-метода определения плотностей (ДГГМ-п) рассматривались авторами ранее [1-4, 12]. В этих работах описаны также результаты применения двухлучевого гамма-гамма-каротажа плотности (ДГГК-п) для изучения углеразведочных и рудных скважин. В настоящей работе приводятся дальнейшие разработки авторов по ДГГК-п и некоторых других исследователей по изучению его физических

основ и по применению приборов, созданных с участием авторов, для определения плотности и пористости горных пород, а также для решения некоторых других задач.

Для определения пористости горных пород в нефтепромысловой геофизике широко привлекаются стационарные (ННК и НК) и импульсные (ИННК и ИНК) нейтронные методы [6]. С помощью импульсных нейтронных методов (ИННК и ИНК) в настоящее время определяется коэффициент пористости пород (K_p), а в случае минерализованных пластовых вод – и коэффициент их нефтеводонасыщенности (K_n). С помощью импульсных нейтронных методов при этом можно отбивать водонефтяной контакт (ВНК). Однако изучение газоносных горизонтов, а также изучение водо- и нефтенасыщенных пластов, в случае слабой минерализации пластовых вод, в значительной мере затруднено. Еще большую путаницу в изучение коллекторов вносит загипсованность и заглинизованность изучаемых горизонтов.

В этом случае как ИННК и ИНК, так и ННК и НК не позволяют однозначно определять пористость пластов в газоносных горизонтах, а также в загипсованных и заглинизированных горизонтах. При этом по нейтронным методам высокопористый газонасыщенный пласт интерпретируется как плотный с низкой пористостью. В то же время загипсованный пласт с нулевой пористостью может быть проинтерпретирован как пористый перспективный пласт.

Для устранения этой неопределенности необходимо привлекать метод ГНК-п. и, в частности, разрабатываемый авторами метод ДГНК-п. Ниже рассмотрим некоторые вопросы физических основ этого метода, а также результаты испытаний плотномеров на моделях пластов и в скважинах.

1. К ВОПРОСУ О ФИЗИЧЕСКИХ ОСНОВАХ МЕТОДА

Первые исследования по разработке физических основ ДГНК-п рассмотрены авторами в работах [1, 3, 4, 12]. В последующем некоторые исследования в этом направлении были выполнены и другими [6].

Напомним, что в этих работах указано, что при измерениях по этому методу на малых зондах интенсивность рассеянного излучения в основном будет обуславливаться однократно рас-

сеянным излучением, а при измерениях на больших зондах - многократно рассеянным излучением.

На основе расчетов по методике однократно рассеянного излучения, методике многократно рассеянного излучения по методу Монте-Карло и экспериментов установлено, что [1, 3, 4, 12]

$$\rho = \frac{1}{\alpha_g a} (\ln \frac{N_2}{N_1} - \epsilon) = \frac{1}{\alpha_g a} (\ln M - \epsilon), \quad (1)$$

где α и ϵ - постоянные, связанные с конструкцией прибора;
 $\alpha_g = \sum_{i=1}^m \rho_i Z_i / A_i$ (Z_i и A_i - соответственно атомный номер и атомный вес i -ого элемента с весовой концентрацией ρ_i , m - число компонент в породе).

О возможности выделения однократно рассеянного излучения с помощью однолучевых гамма-гамма-плотномеров (ОГГП) можно судить по данным Дж.Р.Херста и Р.К.Карлсона [13]. Этими авторами для измерения спектра регистрируемого гамма-излучения использовался прибор диаметром около 12 см оборудованный цезиевым источником активностью 1,5 кюри, размещенным в вольфрамовом коллиматоре с углом раствора 10° . Против детектора (кристалл иодистого цезия, активированного натрием, размерами 50x50 см и фотоумножитель) располагались три узких коллимационных отверстия диаметром около 6 мм и углом раствора 10° . Размер зонда был выбран равным 25,4 см. Углы наклона коллиматоров были рассчитаны на прием однократно рассеянного излучения на угол 90° ($E_\gamma = 288$ Кэв). Для подавления мягкого излучения кристалл был защищен сложным поглотителем. При подходе к кристаллу с внешней стороны фильтры располагались в следующей последовательности: 0,4 мм тантала; 0,18 мм серебра - и 0,13 мм специального сплава, типа пермалоя, одновременно выполнявшего роль магнитного экрана для фотоумножителя.

Измерения спектра велись на песчаных моделях. Кроме того в рабочей области такого плотномера (место пересечения лучей из коллиматора источника и коллиматора детектора) поочередно устанавливались блоки алюминия ($2,62$ г/см³) и пеностекла ($0,14$ г/см³). Размеры этих блоков выбирались в соответствии с телесными углами коллимационных отверстий. Полученный спектр показан на рис. 1а. Из этого рисунка видно, что энергетический диапазон 260-320 Кэв, в основном обусловлен вкладом однократно рассеянного излучения. Уве -

лишение плотности среды в рабочей области ведет к возрастанию регистрируемых скоростей счета за счет увеличения электронной плотности блоков, устанавливаемых в этой области. Для сплошных сред с плотностями свыше $0,5 \text{ г/см}^3$

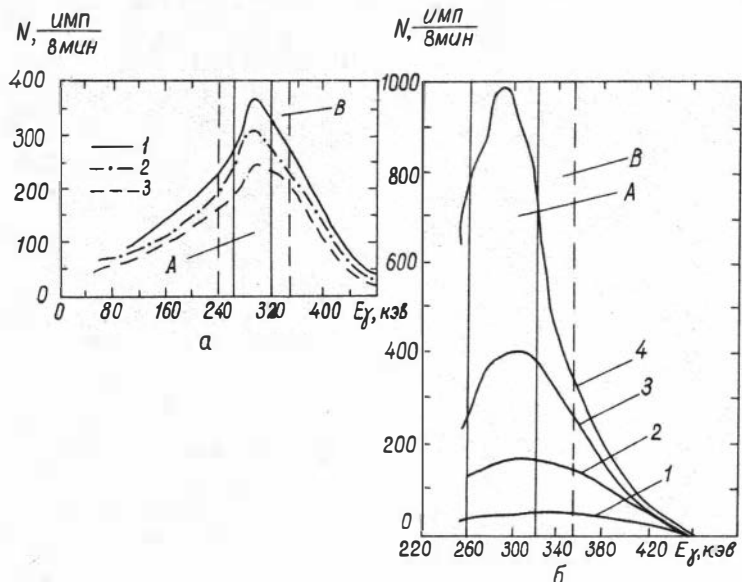


Рис.1 Энергетическое распределение рассеянного гамма-излучения цезиевого источника активностью 1,5 кури (А-область регистрируемого излучения, В-область, обусловленная ошибками энергетического разрешения кристалла):

а) спектр на песчанной модели: 1 - в точке "отражения луча" помещен алюминий; 2 - однородная модель; 3 - в той же точке блок из пеностекла.

б) спектр с вычетом однократно-рассеянного излучения, полученный на: 1 - алюминии ($2,62 \text{ г/см}^3$); 2 - песке с магнетитом ($1,76 \text{ г/см}^3$); 3 - песке с эпоксидной смолой ($1,23 \text{ г/см}^3$); 4 - песке с эпоксидной смолой ($0,58 \text{ г/см}^3$).

(для спадающей ветви градуировочной кривой [13]) будет иметь место обратная картина. При этом значительное влияние на показания прибора будет оказывать также вклад многократно рассеянного излучения. Об этом также можно судить по данным [13], показанным на рис.1 б. Из этого

рисунка видно, что для пород с малой плотностью максимум многократно рассеянного излучения также приходится на область, формируемую однократно рассеянным излучением (260 – 320 Кэв), а для пород с более высокими плотностями он несколько сдвигается в сторону более жесткого излучения.

В работе [13] показано также, что доля однократно рассеянного излучения по сравнению с многократным, для рассмотренного прибора будет составлять 77% для породы плотностью 0,5 г/см³, 32% для породы плотностью 1,5 г/см³ и 11% для породы плотностью 2,5 г/см³. Исходя из этих данных, можно оценить оптимальные размеры зондов, при работе на которых однократно рассеянное излучение преобладает над многократным. Полученные таким образом данные приведены в виде графиков на рис. 2. Данные для кобальтового источника получены путем сопоставления коэффициентов ослабления излучения этого источника с коэффициентами ослабления излучения цезиевого источника. Из рис. 2 видно, что однократно рассеянное излучение преобладает над многократным при $\rho l \leq 26 \text{ г/см}^2$ для Cs-137 и $\rho l \leq 32 \text{ г/см}^2$ для Co-60. Заметим кстати, что 1/3 однократно рассеянного излучения имеется еще при величинах $\rho l = 37,5 \text{ г/см}^2$ для цезиевого источника и $\rho l = 44,5 \text{ г/см}^2$ для кобальтового источника.

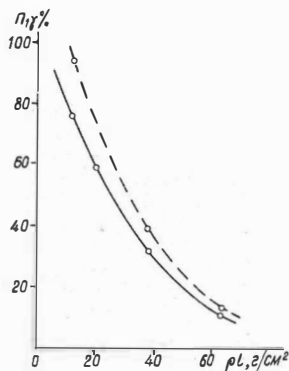


Рис. 2 Зависимость доли однократно рассеянного излучения к многократному от произведения ρl для цезиевого (сплошная кривая) и кобальтового (пунктир) источников.

Таким образом, при реализации ДГТМ-п также можно было бы использовать сочетание фильтров и гамма-спектрометрии для выделения области, связанной с однократно рассеянным излучением. Однако, при этом следовало бы использовать малые размеры зондов, гамма-спектрометрию и высокую активность источников. Однако, авторы настоящей работы пошли по другому пути, а именно: по

пути уменьшения активности источника и упрощения схемы

прибора, сочетающей в себе систему фильтров с интегральной схемой. В связи с этим авторами был рассмотрен вариант, при котором детекторами принимается все излучение с энергией выше 0,1 Мэв, т.е. кроме однократного также и многократное. Экспериментальные исследования, проведенные на плоских моделях, подтвердили, что и в этом случае ближняя зона также исключается [1,3,4]. Это объясняется тем, что для каждого размера зонда и угла наклона приемного коллиматора существуют некоторые усредненные траектории, которые имеют вид выпуклых поверхностей [3]. Для проверки этого положения были проведены расчеты методом Монте-Карло [4,12], результаты которых сведены в табл.1. Расчеты велись для сухой скважины диаметром 130 мм и скважины диаметром 130 мм, обсаженной стальной колонной диаметром 110 мм толщиной 5 мм и заполненной буровым раствором с плотностью 1,2 г/см³. Глубинный прибор имел диаметр равный 90 мм, размер малого зонда $\ell_1=40$ см, большого $\ell_2=50$, т.е. расстояние между детекторами равнялось 10 см ($\Delta\ell$). Коллиматор источника был направлен к оси прибора под углом $\varphi_1=45^\circ$, а коллиматор детектора - под углом $\varphi_2=120^\circ$ (60°). Коллиматоры имели ширину, равную 10 мм. Источником излучения служил изотоп кобальта-60. Под величиной P_1 в табл.1 понимается плотность вероятности попадания гамма-квантов на первый детектор, под P_2 - тоже на второй детектор, а под δ - относительная ошибка расчета вероятностей P_1 и P_2 .

Произведенные расчеты подтвердили общий характер зависимости (1). Кроме того, при этом было установлено, что влияние ближней зоны на результаты измерений по ДГГК-п исключается (см. табл.2). В этой таблице сопоставлены результаты, взятые из табл.1 для обеих скважин. Из табл.2 видно, что переход от сухой скважины к заполненной приводит к уменьшению плотности вероятности отдельно для каждого счетчика в 3 раза (для плотности среды 1,9 г/см³ и зонда 40 см) и в 45 раз (для плотности среды 4,9 г/см³ и зонда 50 см). В то же время отношения M при этом меняются всего лишь в 1,2÷1,3 раза. В интересующем нас диапазоне плотностей (от 1,9 до 3,0 г/см³) такое изменение плотностей вероятностей приводит к "ошибке" определения плотности пород по зависимости типа $\rho = F(P_1)$ в пределах

Таблица 1

Вероятности распределения многократно рассеянного излучения, детектируемого ближним (P_1) и дальним (P_2) счетчиками плотнора

Порода или минерал	Плотность, г/см ³	Сухая скважина		Скважина с колонной и буровым раствором		Сухая скважина		Скважина с колонной и буровым раствором		Сухая скважина	Скважина с колонной и бур. раств.
		$P_1 \cdot 10^7$	δ	P_1	δ	$P_2 \cdot 10^7$	δ	$P_2 \cdot 10^7$	δ	$M = \frac{P_1}{P_2}$	$M = \frac{P_1}{P_2}$
Уголь бурый	1,2	21,011	0,10	9,865	0,52	9,804	0,46	2,855	0,39	2,1	3,5
Антрацит	1,5	16,964	0,11	6,027	0,38	6,885	0,59	1,748	0,38	2,5	3,5
Глина сухая	1,9	10,611	0,11	3,052	0,26	3,910	0,71	0,850	0,42	2,7	3,6
Глина	2,1	8,528	0,12	2,133	0,22	2,833	0,74	0,554	0,43	3,0	3,9
Песчаник 10%вл*	2,3	7,225	0,13	1,628	0,21	2,146	0,74	0,389	0,46	3,4	4,2
Гипс	2,3	6,398	0,14	1,438	0,22	1,834	0,75	0,325	0,49	3,7	4,4
Песчаник 100%вл*	2,4	6,515	0,13	1,379	0,22	1,779	0,74	0,308	0,49	3,7	4,5
Сланец глинист.	2,4	6,392	0,14	1,392	0,22	1,779	0,74	0,311	0,48	3,6	4,5
Кварцит	2,6	5,618	0,15	1,055	0,25	1,293	0,72	0,206	0,49	4,3	5,1
Доломит	2,7	5,027	0,16	0,908	0,28	1,057	0,71	0,161	0,53	4,8	5,6
Гранит	2,7	5,153	0,16	0,941	0,85	1,109	0,71	0,171	0,52	4,6	5,5
Ангидрит	2,9	3,953	0,19	0,664	0,32	0,689	0,69	0,094	0,60	5,7	7,1
Известняк	3,0	3,802	0,20	0,590	0,34	0,593	0,67	0,076	0,61	6,4	7,8
Диабаз	3,1	3,627	0,21	0,543	0,35	0,531	0,65	0,065	0,62	6,8	8,4
Гематит	4,9	1,505	0,43	0,068	0,69	0,0536	0,84	0,119 · 10 ⁻²	0,84	28,1	57,2

Таблица № 2

Вероятности распределения многократно рассеянного излучения и их отношения

порода или минерал	Плотность, г/см ³	Размер зонда $e_1 = 40$ см				Размер зонда $e_2 = 50$ см		$M = \frac{P_1}{P_2}$	$M' = \frac{P'_1}{P'_2}$	$\Delta\rho(M)$, г/см ³	$\frac{M'}{M}$	$\frac{\Delta\rho(P)}{\Delta\rho(M)}$
		$P_1 \cdot 10^7$	$P'_1 \cdot 10^7$	$\frac{\Delta\rho(P)}{P_1}$, г/см ³	$\frac{P_1}{P'_1}$	$P_2 \cdot 10^7$	$P'_2 \cdot 10^7$					
		Глина	1,9	10,6	3,05	1,46	3,48	3,9	0,85	2,7	3,6	0,38
Песчан. 10%вл*	2,3	7,22	1,63	2,42	4,4	2,15	0,39	3,4	4,2	0,16	1,24	15
Песч. 100%вл*	2,4	6,52	1,38	2,70	4,7	1,78	0,308	3,7	4,5	0,14	1,24	19
Кварц	2,6	5,62	1,06	3,10	5,3	1,29	0,206	4,3	5,1	0,12	1,18	26
Гранит	2,7	5,15	0,94	-	5,5	1,11	0,171	4,6	5,5	0,13	1,20	-
Известняк	3,0	3,81	0,59	-	6,4	0,593	0,076	6,4	7,8	0,34	1,22	-
Гематит	4,9	1,50	0,068	-	22,0	0,0536	0,00119	-	-	-	-	-
Диабаз	3,1	3,63	0,543	-	6,7	0,531	0,065	6,8	8,4	0,36	1,23	-

*Здесь и в табл. 1 расчеты велись для песчаника пористостью 12%, заполненного на 10 и 100% водой.

от $\Delta\rho(P_1)=1,46\pm 3,10\text{ г/см}^3$ до $\Delta\rho(P_1)=0,94\pm 1,58\text{ г/см}^3$ для зонда размером 40 см. В то же время погрешность определения плотности в тех же условиях по зависимости типа $\rho=F(M)$ приводит к "ошибке" $\Delta\rho(M)$ в пределах от 0,12 до 0,36 г/см³. Таким образом двухлучевой метод на порядок снижает ошибку в определении плотности за счет исключения влияния ближней зоны. Характерно, что отношение M^1 для заполненной скважины к величине M для сухой скважины η_{FM}^1/M практически остается постоянным в пределах точности расчета ($\eta_1 = 1,2$). Это наводит на мысль, что введение коэффициента "состояния скважины" (в данном случае $\eta = 1,20$) позволяет еще больше снизить ошибку, получаемую при измерениях по ДГГМ-п.

Исходя из соотношения (1) можно показать, что абсолютная погрешность определения величины плотности породы будет складываться из погрешностей, обусловленных величинами

$$\Delta\rho = \frac{1}{\alpha_g a} \left\{ (\delta N_1)^2 + (\delta N_2)^2 + (\delta \alpha_g)^2 (b - \epsilon_n M)^2 \right\}^{1/2}, \quad (2)$$

где $\delta N_1, \delta N_2$ и $\delta \alpha_g$ — соответственно относительные ошибки измерения скоростей счета N_1 и N_2 , и коэффициента α_g .

Эта формула может быть переписана также в следующем виде:

$$\Delta\rho = \frac{1}{\alpha_g a} \left\{ (\delta M)^2 + (\delta \alpha_g)^2 (b - \epsilon_n M)^2 \right\}^{1/2}. \quad (3)$$

Величина коэффициента α_g близка к единице [11] и для пород известного состава всегда может быть вычислена более точно. Поэтому при изучении отдельных конкретных пластов можно принять, что $\alpha_g = \text{const}$. В этом случае формула (3) может быть записана в следующем виде:

$$\Delta\rho = \delta M / \alpha_g a. \quad (4)$$

Относительная ошибка определения плотностей пород при этом может быть представлена соотношением следующего вида:

$$\delta\rho = \frac{\Delta\rho}{\rho} = \frac{\delta M}{\epsilon_n M - b} = \frac{1}{\epsilon_n M - b} \left(\frac{N_1 + N_2}{N_1 N_2} \right)^{1/2}. \quad (5)$$

При исследовании реальных скважин с приборами ГГП, оборудованными применимыми устройствами, между прибором и породой может располагаться глинистая корка определенной толщины h_k с плотностью ρ_k и коэффициентом α_{gk} . Величина h_k при этом, обычно определяется с помощью каверномера. Поскольку состав бурового раствора, обычно, бывает известен,

то, величина $\alpha_{гк}$ для него в каждом конкретном случае может быть подсчитана. Плотность глинистой корки может быть определена на основе экспериментальных исследований с определенной точностью. Тем не менее погрешности определения величины h_k, ρ_k и $\alpha_{гк}$ будут приводить к погрешностям определения плотности породы. В какой-то мере эти погрешности могут оказывать влияние и на результаты определения плотности породы.

При исследовании скважин с помощью ДГГП с коллиматорами на результаты определения плотностей будут оказывать также влияние вариации параметров бурового раствора и изменение диаметра скважины. Диаметр скважины может быть оценен по данным кавернограммы.

На показания ГГК-п оказывают влияние следующие параметры бурового раствора: плотность (ρ_b) и коэффициент $\alpha_{рр}$. Величина коэффициента $\alpha_{рр}$ может быть подсчитана по аналогии с коэффициентом $\alpha_{гк}$. Плотность бурового раствора обычно бывает известна и выдерживается постоянной в определенных пределах. Более того на практике она может быть определена с помощью специальных глубинных приборов, основанных на поглощении гамма-лучей в буровом растворе [9, 10] и др.

Таким образом, в общем случае показания приборов ГГП могут зависеть от многих параметров. С помощью ДГГП, можно значительно ослабить влияние параметров, обусловленных изменениями диаметра скважины, бурового раствора и глинистой корки. Поэтому ошибки измерения плотностей, в основном, будут определяться погрешностями измерения величины M (см. формулы 4 и 5).

Пористость пород по данным ГГК-п, так же как и по данным ДГГК-п, можно определять лишь косвенно, пользуясь известным соотношением:

$$K_p = \frac{\rho_m - \rho}{\rho_m - K_n \rho_i}, \quad (6)$$

где ρ_m - минералогическая плотность горных пород, определяемая, обычно, по данным керна из опорных скважин; ρ_i - плотность среды, заполняющей поры; K_n - коэффициент заполнения пор. Отсюда выражение для абсолютной погрешности определения пористости будет иметь следующий вид:

$$\Delta K_p = \rho \delta \rho / (\rho_m - K_n \rho_i), \quad (7)$$

где $\delta\rho$ – относительная погрешность определения плотности пород.

Относительная погрешность измерения коэффициента пористости будет определяться из соотношения:

$$\delta K_n = \frac{\Delta K_n}{K_n} = \frac{\rho \delta \rho}{\rho_m - \rho} \quad (8)$$

В случае, если поры заполнены газом с плотностью $\rho_i \ll \rho_m$, то формулу (7) можно переписать в следующем виде

$$\Delta K_n = \rho \delta \rho / \rho_m \quad (9)$$

Соотношение для относительной погрешности при этом не меняется. Для пород с минералогической плотностью $2,7 \text{ г/см}^3$, коэффициентом пористости $K_n = 11\%$ и соответственно объемной плотностью $2,4 \text{ г/см}^3$, измеренной с относительной точностью 2% абсолютная ошибка в определении коэффициента пористости будет составлять величину $2,8\%$ при заполнении пор жидкостью с плотностью $\rho_i = 1 \text{ г/см}^3$ ($K_H = 1$) и $1,8\%$ для пор, заполненных газом. Относительные погрешности при этом в обоих случаях будут одинаковыми и равными 16% .

Минералогическая плотность пород бывает известна с достаточной степенью точности. Плотность среды, заполняющей поры, также может быть известна из геологических данных. Поэтому погрешность определения коэффициента пористости будет определяться, в основном, погрешностями определения плотности пород, рассмотренными выше. Естественно, что в некоторой степени на результаты определения величины K_n будут оказывать влияние и погрешности определения величин ρ_m и ρ_i .

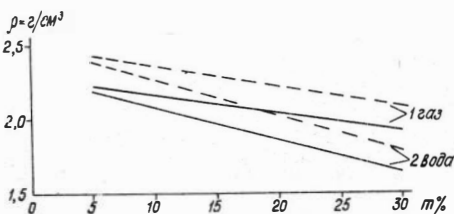


Рис. 3 Зависимость плотности горных пород от пористости для песчаника (сплошные кривые) и известняка (пунктирные кривые) при заполнении пор водой (1) и газом (2).

С целью выяснения возможностей применения ДГП для выявления газоносных и водоносных горизонтов в карбонатных ($\rho_m = 2,5 \text{ г/см}^3$) и песчано-глинистых ($\rho_m = 2,3 \text{ г/см}^3$) коллекторах были произведены расчеты по формуле (6) в слу-

чае заполнения пор минерализованной водой и газом под давлением. При этих расчетах считалось, что поры нацело заполнены изучаемой средой ($K_H=1$). Давление газа в порах принималось равным 90 атм., а плотность $\rho_{г,г}=0,09$ г/см³. Минерализация пластовых вод была выбрана равной 130 г/л, что соответствует плотности минерализованной воды равной $\rho_{г,в}=1,087$ г/см³. Полученная зависимость плотности пород от их пористости показана на рис.3. Из рисунка видно, что породы, заполненные водой и газом, резко отличаются друг от друга. При заполнении пор газом зависимость $\rho = f(K_H)$ является более резкой по сравнению с аналогичной зависимостью при заполнении пор минерализованной водой. Это указывает на возможность выявления газоносных пород на фоне водоносных. Это, в частности, особо ярко выражено на графике, представленном на рис.4.

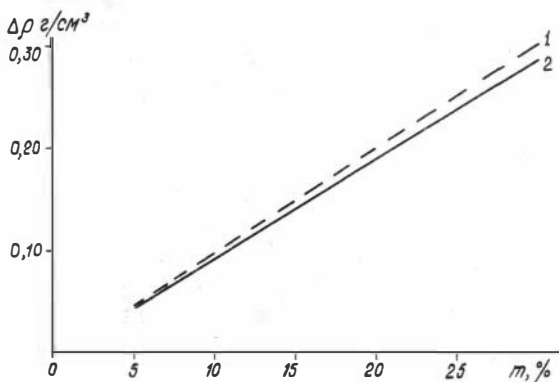


Рис.4 Зависимость приращения величины плотности от пористости для карбонатных (1) и песчано-глинистых пород (2).

2. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОКЛАДOK ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ НА ПЛОСКИХ МОДЕЛЯХ

Для определения истинной зависимости скорости счета первого и второго детекторов от плотности исследуемой среды и параметров ближней зоны была проведена серия экспериментальных измерений как с приставными макетами плотномеров на плоских моделях, так и с помощью макетов глубинных приборов, а затем с методическими образцами глубинных приборов на моделях скважин Сиб.СКБ МГ СССР (г. Новосибирск) и на моделях скважин Нижневолжского НИИ гео-

логии и геофизики ВНИИГТ г.Саратов).

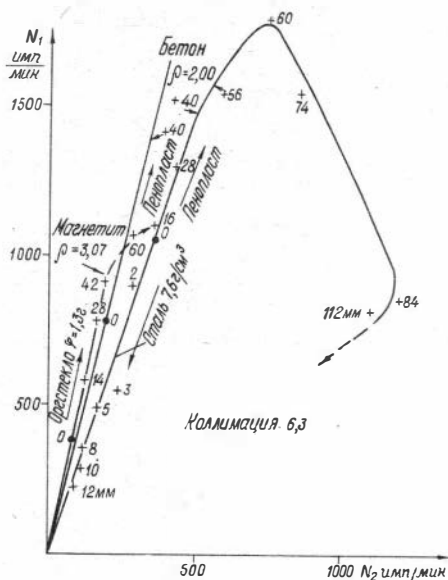
Измерения в плоской геометрии проводились на угольном блоке и на бетонном блоке с прокладками из оргстекла (имитация бурового раствора), из пенопласта (имитация сухой скважины) и из стали (имитация обсадной трубы).

При этих исследованиях степень коллимации детекторов и источника определялась отношением глубины коллимационной щели к ее толщине (k).

Если зависимость $\rho = f(N_1, N_2)$ в соответствии с формулой (1) сохраняется при наличии ближней зоны, то очевидно в фазовой плоскости $-N_1 = f(N_2)$ рабочая точка прибора ДГП в породе будет двигаться по прямой, проходящей через начало координат. Однако, в случае попадания рабочего треугольника прибора [1, 3, 4, 12] в ближнюю зону траектория рабочей точки начинает отклоняться от прямой и стремится попасть в точку, соответствующую плотности ближней зоны. Экспериментальные исследования показали справедливость этого предположения. Причем, "устойчивость" рабочей точки на прямой определяется коэффициентом коллимации " k ".

Результаты изучения зависимости $N_1 = f(N_2)$ на трех средах с различными прокладками d_n показаны на рис.5. Как видно из этого рисунка, расположение прокладки из стали толщиной от 0 до 12 мм между прибором и каменным углем ведет к уменьшению скоростей счета N_1 и N_2 . Рабочая точка, определяемая координатами (N_1, N_2) , передвигается по прямой от точки с $d_n=0$ до начала координат. При этом величина отношения N_1/N_2 , естественно, остается постоянной, и не зависит от изменения толщины стальной прокладки от 0 до 12мм.

При прокладке из пенопласта между прибором и каменным углем величины N_1 и N_2 растут до тех пор пока рабочий треугольник не входит в ближнюю зону. Траектория рабочей точки при этом остается на прямой вплоть до толщины пенопласта $d_n=40$ мм. При дальнейшем увеличении толщины пенопласта ($d_n=56$ мм) рабочая точка сходит с прямой и при толщине $d_n=84+112$ мм практически начинает соответствовать некоторой стабильной величине, соответствующей значению плотности пенопласта.



Зависимость $N_1 = f(N_2)$ для различных сред: угля ($1,3\text{г/см}^3$), бетона ($2,0\text{г/см}^3$) и магнетита ($3,07\text{г/см}^3$) с прокладками различной толщины в миллиметрах (цифры у точек) из пенопласта ($0,01\text{г/см}^3$), оргстекла ($1,3\text{г/см}^3$) и стали ($7,6\text{г/см}^3$). Измерения велись с прибором, имеющим коэффициент коллимации $K=6,3$ для источника и детекторов.

Та же картина наблюдается и на бетоне с прокладкой из пенопласта и на магнетите с прокладкой из оргстекла. Интересно отметить, что стабильная фазовая точка для оргстекла практически совпадает с фазовой точкой для угля. Поэтому при увеличении толщины прокладки из оргстекла свыше 42 мм на магнетите траектория рабочей точки сходит с прямой, соответствующей магнетиту, и устремляется к стабильной фазовой точке для угля при $\alpha_n = 0$. Это связано с тем, что величины плотностей оргстекла ($1,3\text{г/см}^3$) и каменного угля ($1,3\text{г/см}^3$) совпадают.

Аналогичные исследования проводились также с прибором, имеющим коэффициент коллимации детектора равный 0,6. Результаты измерений на угле с прокладкой из стали и пенопласта показаны на рис. 6. Из этого рисунка видно, что изменение толщины стальной прокладки от 0 до 12 мм не приводит к смещению рабочей точки с прямой, отвечающей каменному углю. Однако при величине прокладки из пенопласта свыше 16 мм рабочая точка начинает сходиться с прямой. Это указывает на тот факт, что в случае плохой коллимации $K=0,6$ двухлучевой принцип продолжает работать, но как и следовало ожидать, глубинность его при этом резко падает.

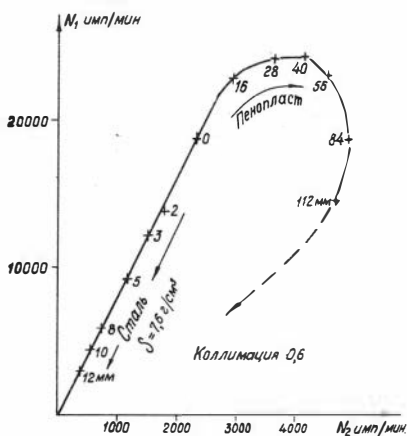


Рис. 6 Зависимость $N_1 = f(N_2)$ для каменного угля ($1,3\text{г/см}^3$) с прокладками из стали ($7,6\text{г/см}^3$) и пенопласта ($0,01\text{г/см}^3$) для прибора с коэффициентом коллимации $K=0,6$ для источника и детекторов.

В принципе, каждой точке фазовой плоскости (N_1, N_2) соответствует свое значение плотности и по значению N_1 и N_2 можно однозначно определить плотность исследуемой среды. Глубинность метода зависит не только от степени коллимации детекторов и источника, но и от размеров зонда [1, 4, 12].

3. ИССЛЕДОВАНИЯ НА МОДЕЛЯХ СКВАЖИН С МАКЕТАМИ ПРИБОРОВ ДГГП-60 и ДГГП-90

В случае аксиальной геометрии расположения прибор-рассеивающая среда основные положения двухлучевого метода, изложенные выше, сохраняются в том случае, если поперечных размеры детекторов и источника много меньше поперечных размеров скважины и конструкции прибора (размеров коллиматоров). Для определения оптимальной конструкции глубинного прибора были проведены модельные работы по выбору коллиматоров. Для этих целей был создан специальный макет глубинного прибора с наборными коллиматорами (рис. 7).

Внешний диаметр макета был равен 90 мм. Углы наклона коллиматоров в приборе можно было устанавливать равными 45° , 60° , 75° , 90° , а толщину коллимационной щели устанавливать равной 10, 20 и 30 мм. В качестве детекторов в макете прибора применялись фотоумножители типа ФЭУ-31 с кристаллом иодистого натрия, активированного таллием, размерами 18×25 мм. Размеры зондов были выбраны равными $\ell_1 = 20$ см, $\ell_2 = 48$ см ($\Delta \ell = 28$ см).

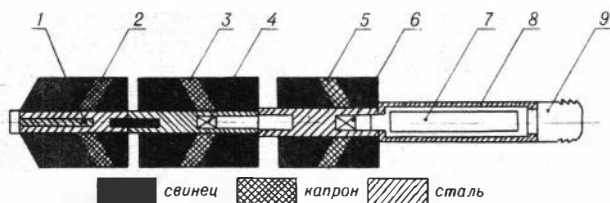


Рис.7 Схема набортного макета глубинного прибора. 1-источник гамма-излучения; 2-коллиматор источника; 3 и 5-коллиматоры детекторов; 4 и 6 - детекторы; 7-электронная схема; 8-корпус прибора; 9-переходной мост.

Измерения проводились на моделях скважин, изготовленных из цементных растворов различных марок с присадками из размолотого шлака и магнетита, просеянного через сито с диаметром ячеек 5мм, либо вообще без присадок. Параметры моделей приведены в табл.3.

На основании измерений с различными углами наклона коллиматора источника $\varphi_1 = 90^\circ, 75^\circ, 60^\circ, 45^\circ$ и углах наклона коллиматора детекторов $\varphi_2 = 60^\circ$ было установлено, что наилучшие результаты получаются при измерениях с углом наклона коллиматора источника величиной 45° . При этом угле отношение М меняется с увеличением диаметра скважины слабее, чем при всех остальных углах φ_1 . Брать величину φ_1 меньше 45° не имеет смысла, так как при этом рабочий треугольник для данного прибора входит в скважину при ее диаметре, равном 140мм.

Затем были проведены измерения на четырех моделях с плотностями 1,50; 1,90; 2,00; 2,33 г/см³ в скважинах диаметром 120, 130, 140, 170 и 230мм при углах $\varphi_2 = 45^\circ, 60^\circ$ и 75° . Результаты этих измерений приведены в табл.4. Как видно, измерения с прибором ДГП-90 велись в скважинах диаметром от 120 до 230мм. Наибольшие ошибки измерений при этом получаются для скважины диаметром 230мм. Это обусловлено тем, что рабочая область прибора для этой скважины попадала в полость скважины. Толщина исключаемой ближней зоны для этого прибора оценена равной 40мм. Поэтому в последующем средние ошибки измерений усреднялись нами для диаметров скважин в диапазоне 120-170мм.

Таблица 3

Параметры моделей скважин Сиб.ОМБ МГ СССР, изготовленных из цемента

№ п. п.	Диаметр сква- жины, мм	Плотность, г/см ³	Марка цементного раств. и примеси
1	60	1,90	М-100
2	80		
3	120		
4	130		
5	140		
6	170		
7	230		
8	60	2,33	М-100 с примесью дробленного гема- типа
9	80		
10	120		
11	130		
12	140		
13	170		
14	230		
15	60	1,50	М-100 с просеян- ным шлаком
16	80		
17	120		
18	130		
19	140		
20	170		
21	230		
22	60	2,0	М-100
23	80		
24	120		
25	130		
26	140		
27	170		
28	230		
29	60	2,05	М-150
30	80		
31	120		
32	130		
33	140		
34	170		
35	230		

Таблица 4

Погрешности измерений плотности различных сред, пройденных скважинами разного диаметра при $\varphi_1=45^\circ$ (константа и $\varphi_2=45^\circ; 60^\circ$ и 75°

Угол $\varphi_2=45^\circ$

Истинная плотность, ρ г/см ³	Диаметр скважины, d мм									
	120		130		140		170		230	
	ρ	$\delta\rho$	ρ	$\delta\rho$	ρ	$\delta\rho$	ρ	$\delta\rho$	ρ	$\delta\rho$
1,50	1,50	0	-	-	-	-	1,50	0	1,44	4,0
1,90	1,90	0	1,98	4,8	1,92	1,1	1,91	0,5	1,75	9,0
2,00	2,00	0	1,96	2,0	2,07	3,5	1,99	0,5	1,65	17,5
2,33	2,33	0	2,43	4,1	2,28	2,1	2,25	3,3	2,19	5,8
$\delta\rho(d)$		0		4,7		3,1		1,95		12%
$\delta\rho_{cp}=3,3\%$ для $d=120-170$ мм										
Угол $\varphi_2=60^\circ$										
1,50	1,50	0	1,53	2,0	1,54	2,6	1,52	1,3	1,37	3,7
1,90	1,90	0	1,87	1,6	1,84	4,0	-	-	1,37	3,7
2,00	2,00	0	1,98	1,0	2,02	1	1,96	2,0	1,76	17,0
2,33	2,33	0	-	-	-	-	2,38	2,1	2,0	14,0
$\delta\rho(d)$		0		1,95		3,45		2,24		17,3
$\delta\rho_{cp}=2,6\%$ для $d=120-170$ мм										
Угол $\varphi_2=75^\circ$										
1,50	1,50	0	1,46	2,7	1,46	2,7	1,54	2,7	1,31	12,7
1,90	1,90	0	-	-	1,82	4,2	-	-	-	-
2,00	2,00	0	2,17	8,5	1,88	6,0	1,96	2,0	2,03	1,5
2,33	2,33	0	2,38	2,14	-	-	2,43	4,3	2,36	1,3
$\delta\rho(d)$		0		6,5		5,5				10,7

$\delta\rho_{cp}=5,4\%$ для $d=120-170$ мм

Из таблицы видно, что наименьшие ошибки измерений получаются при углах коллиматоров $\varphi_2=60^\circ$. Однако, при измерениях в скважинах диаметром ≥ 30 мм при угле приемных коллиматоров $\varphi_2=75^\circ$ ошибка измерений уменьшается и является

вполне приемлемой при определении пород плотностью в пределах от 2,00 до 2,35г/см³.

С целью выяснения разрешающей возможности прибора ДГГП по пласту и определения точки записи прибора проводились исследования с прибором ДГГП-60 на модели сухой скважины диаметром 90мм, состоящей из двух сред: бетона (2,30г/см³) и алюминия (2,78г/см³). Результаты экспериментальных исследований приведены на рис.8. На основе сопос-

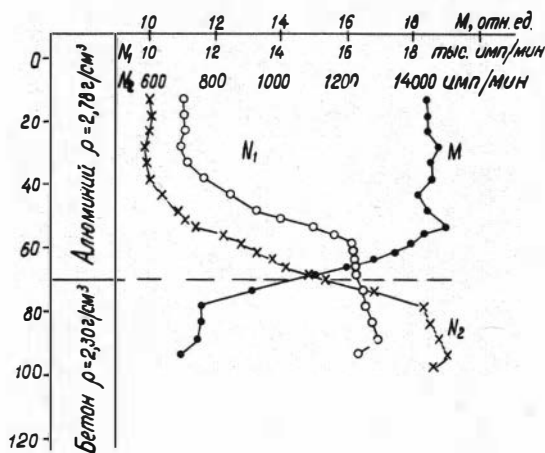


Рис.8 Переходные характеристики прибора: N_1 и N_2 — соответственно скорости счета нижнего и верхнего детекторов : $M = N_1/N_2$.

твления кривой M с положением контакта было установлено, что точка записи M расположена между детекторами на расстоянии равном примерно $1/3 \Delta l$ (при $\Delta l = 20$ см) от нижнего детектора. При этом, как видно из рис.8, величина переходной зоны по M равна примерно Δl , т.е. 20 см. При проведении этих исследований установлено также, что минимальную высоту модели или минимальную мощность пласта при модельных работах и эталонировке прибора следует выбирать не свыше длины большого зонда ℓ_2 на 20-40 см. С другой стороны, поскольку глубинность ДГГП-п больше соответствующей величины обычных ГГМ-п и определяется конструкцией прибора, диаметры моделей должны быть относительно больше диаметров моделей, используемых для градуировки приборов ГГП. Глубинность ГГМ-п, как известно, не превышает 10-15 см, поэтому слой породы в моделях для них должен быть порядка 15-20 см. Для двухлучевого метода желательно иметь слой породы не меньше 20-30 см.

С макетами приборов ДГГП-60 и ДГГП-90 были проведены исследования на моделях скважин ИВНИИГГ. Параметры сред, заполняющих модели, приведены в табл. 5. Каждая модель состояла из двух пластов мощностью 1 м и в целом имела размеры 2х2х2 м³. В них располагалось по пять скважин с диаметром от 100 до 290 мм. Каждый пласт в одной модели имел одинаковый состав и разную плотность. При измерениях пласты и скважины полностью заполнялись пресной водой. В случае необходимости уровень воды в пластах можно было менять.

Таблица 5

Некоторые физические параметры моделей

№ пласта	Наименование среды	Плотность, г/см ³	Пористость, %	Коэффициент остаточной влагонасыщенности в %
1	Мрамор	2,70	0,5	-
2	Щебенка мрамора с доломитом	2,53	16	4,18
3	"-	2,11	37	4,44
4	Песчаники	2,36	16	5,65
5	"-	1,92	37	10,41

На указанных моделях были проведены следующие измерения: 1. Определение истинной зависимости М от плотности при фиксированных диаметрах скважин; 2. Изучение влияния диаметра скважин на результаты измерения плотности; 3. Изучение влияния положения глубинного прибора в скважине на результаты измерений; 4. Изучение влияния конструкции приборов на стабильность измерений; 5. Изучение влияния обсадной колонны на результаты измерений; 6. Выяснение возможности отбивки газожидкостного контакта.

Определение истинной зависимости М от плотности породы проводились в скважинах диаметром 100 и 130 мм с плотностями моделей от 1,90 до 2,60 г/см³. Характер этих зависимостей показан на рис. 9. Как видно из этих кривых, зави-

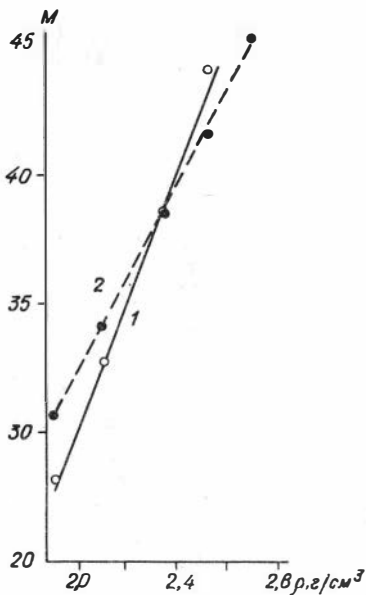


Рис.9 Эталонировочные графики $M=f(\rho)$ для прибора ДГП-90 при измерениях на зондах 37,5 и 57,5 см в скважинах диаметром 100 (1) и 130 мм (2).

Для скважин больших диаметров, от 220 мм и выше, зависимость величины M от плотности практически исчезает.

С целью количественной оценки влияния изменения диаметра скважины на точность измерения плотности по величине M была введена величина отношения ошибки определения плотности ($\delta\rho$) к приращению диаметра скважины Δd ($\beta = \delta\rho/\Delta d$ %/см). Для определения этого параметра были проведены измерения с прибором ДГП-60, на зондах размером 30 и 50 см, а также на зондах - 40 и 60 см в скважинах диаметром 100, 130, 190, 243 и 290 мм. Плотности пород в скважинах при этом были следующими: 1,92; 2,11; 2,36; 2,53; 2,70 г/см³. Измерения велись с помощью прибора, прижатого к стенке скважины и расположенного в ее центре.

Аналогичные измерения проводились и с прибором ДГП-90

симось $M=f(\rho)$ достаточно крутая. С другой стороны, из этих кривых видно, что изменение диаметра скважины от 100 до 130 мм приводит к изменению наклона кривых $M=f(\rho)$. Так, при $\rho=2,0$ г/см³ расхождения в значениях M приводит к погрешности в определении плотности на величину 0,08 г/см³, при $\rho=2,3$ г/см³ - на величину 0,04 г/см³.

Измерения по выяснению влияния изменения диаметра скважины на результаты определения плотности по величине отношения M велись для двух положений прибора - в центре скважины и у ее стенки. Результаты испытаний

прибора ДГП-60 показали, что увеличение диаметра скважины в одном и том же пласте ведет к уменьшению величины M . Для скважин

больших диаметров, от 220 мм и выше, зависимость величины M от плотности практически исчезает.

С целью количественной оценки влияния изменения диаметра скважины на точность измерения плотности по величине M была введена величина отношения ошибки определения плотности ($\delta\rho$) к приращению диаметра скважины Δd ($\beta = \delta\rho/\Delta d$ %/см). Для определения этого параметра были проведены измерения с прибором ДГП-60, на зондах размером 30 и 50 см, а также на зондах - 40 и 60 см в скважинах диаметром 100, 130, 190, 243 и 290 мм. Плотности пород в скважинах при этом были следующими: 1,92; 2,11; 2,36; 2,53; 2,70 г/см³. Измерения велись с помощью прибора, прижатого к стенке скважины и расположенного в ее центре.

Аналогичные измерения проводились и с прибором ДГП-90

на зонде размером 30 и 50 см, а также на зондах - 37,5 см и 57,5 см. Результаты всех этих измерений сведены в табл. 6 и 7.

Таблица 6

Значения величин f (%/см) при измерениях с помощью прибора ДГГП-60 в скважинах различного диаметра .

Плотность сред, г/см ³	Диаметр скважины, мм			
	100-120	120-130	130-140	150-160
	Прибор у стенки, зонды 30 и 50 см			
1,90	4,4	5,3	5,3	6,6
2,10	4,3	5,9	5,9	8,0
2,30	4,8	6,2	6,2	8,7
2,50	5,7	6,7	8,0	10,0
	Прибор у стенки, зонды 40 и 60 см			
1,90	2,8	3,3	3,5	4,4
2,10	4,3	4,8	4,8	6,8
2,30	4,8	5,4	5,4	7,2
2,50	5,0	6,7	8,0	8,0
	Прибор в центре, зонды 40 и 60 см			
1,90	1,9	2,9	3,1	4,8
2,10	2,2	2,9	3,4	5,3
2,30	2,4	3,6	4,3	6,2
2,50	2,9	4,0	4,5	6,7

Из табл. 6 видно, что при измерениях с прибором ДГГП-60 величина ошибки f с увеличением диаметра скважины и плотности пород возрастает. Из рассмотренных зондов оптимальными являются зонды размером 40 и 60 см. При измерениях на них ошибка понижается во всех рассмотренных случаях. Центрирование прибора при измерениях на этих зондах еще более понижает f . Тем не менее из табл. 6 видно, что прибор ДГГП-60 при этом может быть использован лишь для исследования скважин диаметром не свыше 120 мм. Ошибки при этом не выходят за пределы 2-3%. Большие погрешности измерений для этого прибора связаны с его малым диаметром и плохим коэффициентом коллимации детекторов ($K=0,7$ без жалюзей).

Таблица 7

Значения величин k (%/см) при измерениях с помощью прибора ДГГП-90 в скважинах различного диаметра

Плотность сред, г/см ³	Диаметр скважины, мм			
	100-120	120-130	130-140	150-160
	<u>Прибор у стенки, зонды 30 и 50 см</u>			
1,90	1,0	1,6	2,1	2,9
2,1	1,6	2,5	3,0	4,5
2,3	2,2	3,1	3,6	5,0
2,5	2,7	4,0	5,0	6,7
	<u>Прибор в центре, зонды 30 и 50 см</u>			
1,9	1,6	2,3	2,9	4,8
2,1	1,6	2,3	3,0	5,0
2,3	1,8	3,3	4,0	6,7
2,5	1,8	3,3	5,0	6,7
	<u>Прибор у стенки, зонды 37,5 и 57,5 см</u>			
1,9	0,9	1,9	3,1	5,3
2,1	0,9	2,2	3,7	7,5
2,3	1,1	2,2	3,3	6,6
2,5	1,1	2,1	3,4	6,6

Из табл.7 вытекают аналогичные данные. Однако, более высокая коллимация детекторов прибора ДГГП-90 ($K=2,2$ без жалюзей) позволяет с его помощью при замерах на зондах 37,5 и 57,5 см без центраторов определять плотность пород в скважинах диаметром до 130 мм с точностью в среднем равной 2,1%/см.

На показания ГГК-п сильное влияние оказывает экранирующее действие обсадной колонны. Поскольку глубинность ГГК ограничена и определяется весом рассеивающей среды на единицу поверхности скважины (г/см²), то вклад обсадной колонны в толщину ненасыщенного слоя легко оценить, рассматривая двухслойную среду из железа и породы. Для этого случая суммарную толщину рассеивающей среды можно приблизительно выразить соотношением вида:

$$x_2 = \tau_1 d_1 + \tau_2 d_2, \quad (10)$$

где ϵ_1 - линейный коэффициент ослабления гамма-лучей в первой среде, ϵ_2 - то же во второй среде, d_1 - толщина первой среды, d_2 - то же второй. Выражая линейный коэффициент ϵ через массовые коэффициенты μ и учитывая, что в диапазоне энергий гамма-излучения, используемого для ДГМ-п, μ практически постоянны для всех элементов, слагающих осадочные породы, и кроме того, учитывая их слабую зависимость от энергии в узкой области излучения (~ 200 Кэв), выражение (10) можно переписать следующим образом:

$$X_{\Sigma} = \mu_{ср} (1,1\rho_1 d_1 + \rho_2 d_2), \quad (11)$$

где коэффициент $1,1 = \mu_{Fe} / \mu_{ср}$.

Отсюда вклад первого слоя (железа) в полную толщину насыщенного слоя будет равен:

$$B_{Fe} = \frac{X_1}{X_{\Sigma}} = 1,1\rho_1 d_1 / (1,1\rho_1 d_1 + \rho_2 d_2). \quad (12)$$

Поскольку толщина предельно насыщенного слоя ($X_{н.с.}$) определяется типом источника и не зависит от типа рассеивающей среды, то безразлично, является ли исследуемая среда однослойной или многослойной. Поэтому вклад обсадной колонны в толщину насыщенного слоя легко определить, заменив в формуле (12) X на $X_{н.с.}$

$$B_{Fe} = \frac{1,1 \cdot 7,8 \cdot d_1}{X_{н.с.}}. \quad (13)$$

Для цезиевого источника $X_{н.с.} = 22 \text{ г/см}^2$, для кобальтового источника $X_{н.с.} = 32 \text{ г/см}^2$. Из этой формулы (13) нетрудно показать, что вклад обсадной колонны толщиной 8 мм для излучения цезия-137 составляет $20 \pm 45\%$, а для излучения кобальта-60 $17 \pm 23\%$ в зависимости от размера зонда. Это означает, что крутизна эталонировочной характеристики при наличии обсадной колонны снижается в $(1 - B_{Fe})$ раз. Отсюда нетрудно показать, что поскольку условиями разделения двух пород с плотностями, отличающимися в g раз ($g = \rho_2 / \rho_1$), является выполнение неравенства $(1 - g) \cdot (1 - B) \geq 2 \delta_{np}$ (где δ_{np} - относительная приборная погрешность), то каротажный прибор будет отличать друг от друга породы за обсадной колонной скважины только в тех случаях, если они отличаются по плотности на величину:

$$\Delta \rho \geq 2 \delta_{np} \rho_{ср} / (1 - B). \quad (14)$$

Если принять $\delta_{np} = 2\%$, $\rho_{ср} = 2,5 \text{ г/см}^3$ и толщину обсадной колонны $d = 8 \text{ мм}$, то обычные методы ГГК дают при работе с

кобальтовым источником разрешение по плотности порядка $\pm 0,12 \pm 0,13 \text{ г/см}^3$.

Для выяснения влияния обсадной колонны на ДГГМ-п были измерены эталонировочные характеристики для ДГГП-90 в моделях скважин с обсадными колоннами толщиной порядка 8мм и внутренним диаметром 96 и 151мм. Эталонировочные кривые при наличии обсадной колонны пошли выше и круче, чем при ее отсутствии (в полулогарифмических координатах) и параллельно сместились вверх на величину, равную $\ln 1,2$. Таким образом, наличие обсадной колонны приводит к улучшению эталонировочных кривых ДГГП. Это связано с ослаблением обсадной колонной мягкого многократно рассеянного гамма-излучения. В результате чего вклад однократно рассеянного гамма-излучения возрастает и принцип, положенный в основу ДГГМ-п проявляется сильнее.

С другой стороны, поскольку крутизна характеристики в полулогарифмических координатах практически не изменилась, то мы можем пользоваться тем же масштабом записи диаграммы, что и при измерениях в необсаженной скважине. Достаточно только ввести в выходной сигнал прибора постоянную составляющую, соответствующую величине $\ln 1,2$, что легко сделать аппаратным путем.

Таким образом, двухлучевой метод в отличие от обычного ГГК-п не теряет разрешения по плотности при наличии обсадной колонны. Это является существенным его преимуществом по сравнению с ГГК-п.

Для выявления возможности отбивки газо-жидкостного контакта в скважинах необходимо определять разрешающую способность прибора по пласту и точность определения им плотности в сухом пласте и в пласте, заполненном жидкостью. Выше уже были описаны эксперименты по определению переходной характеристики в моделях сухих скважин, изготовленных из бетона и алюминия. Подобный эксперимент был повторен на реальных моделях скважин НВНИИГТ. Измерения проводились с прибором ДГГП-90 на контакте двух пластов песчаника с плотностями $1,92$ и $2,36 \text{ г/см}^3$ в скважине диаметром 130мм. Пласт и скважина были заполнены

водой. Прибор прижат к стенке скважины. Измерения велись по точкам с шагом 5-10 см. Результаты измерений приведены на рис. 10. Как видно из этого рисунка, контакт двух пород четко отбивается по кривой М. Каждому из пластов соответствует некоторый разброс точек. Средние значения ρ , полученные по этим точкам, характеризуют оба пласта. Величина абсолютной ошибки $\Delta\rho$ для них оценена равной $0,03 \text{ г/см}^3$, а отклонение отдельных замеров не выходят за пределы $0,06 \text{ г/см}^3 - 0,08 \text{ г/см}^3$. Это указывает на неоднородность пластов, особенно нижнего с плотностью $2,36 \text{ г/см}^3$.

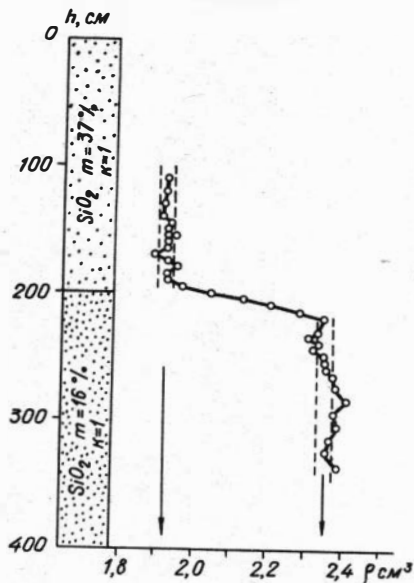


Рис. 10 Характер кривой М на контакте двух песчаников с различной пористостью.

Исследование возможности отбивки газобидкостного контакта (ГЖК) проводилось в скважине диаметром 190 мм в пласте песчаника пористостью 37%, заполненного водой до отметки 107 см. Пространство внутри скважины при этом было заполнено водой до самого устья. Плотность "сухого" песчаника равнялась $1,65 \text{ г/см}^3$, а заполненно-

го водой - $1,92 \text{ г/см}^3$.

Измерения велись по точкам с шагом 10 см (рис. 11). Как видно из этого рисунка, ГЖК очень четко отбивается по перепаду плотностей величиной $0,27 \text{ г/см}^3$. Погрешность измерений при этом не выходила за пределы $0,02 \text{ г/см}^3$. На основании экспериментальных исследований были сделаны следующие основные выводы:

1. Дифференциация эталонировочных кривых $M=f(\rho)$ является вполне достаточной для обеспечения требуемой точности. Кроме того, при наличии стальной колонны эта дифференци-

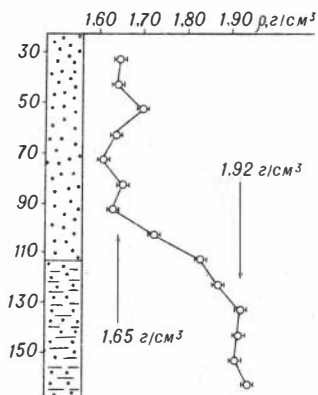


Рис.11 Стбивка газожидкостного контакта на модели песчаного пласта с пористостью 37%.

ция, в отличие от обычных диффузных методов ГГК-п, не ухудшается, а улучшается.

2. Разработанная методика и аппаратура существенно ослабляют влияние изменения диаметра скважины и позволяют непосредственно по измеряемой величине вести запись плотности изучаемых горных пород без введения поправок на изменение диаметра скважин вплоть до величины 130 мм для прибора диаметром 90 мм.

3. При наличии однозначной зависимости между плотностью и пористостью предлагаемая методика позволяет определять пористость газоносных пластов, начиная с 10% и выше, с абсолютной погрешностью $\pm 2\%$.

4. Оптимальной является конструкция глубинного прибора с коэффициентами коллимации в пределах $3 < K < 10$ и с углами наклона 45° для коллиматора источника и 60° для коллиматоров детекторов.

5. Для уточнения каротажной диаграммы, полученной при помощи автоматического интерпретатора, необходимо кроме записи величины M , вести также запись значений скоростей счета по каждому каналу. По этим значениям можно будет фиксировать наличие каверн, превышающих глубину прибора, а также — изменение диаметра скважины и типа ее обсадки. Все эти данные необходимы для перехода с одного масштаба на другой.

6. При каротаже скважин диаметром свыше 130 мм глубинный прибор необходимо снабжать центрирующими приспособлениями, либо переходить на другой вид функции $\rho = f(N_1, N_2)$, обеспечивающий большую точность интерпретации диаграмм.

4. ИССЛЕДОВАНИЯ НА МОДЕЛЯХ СКВАЖИН С ПРИБОРАМИ ДГГП-95 и ДГГП-120

В связи с тем, что заполнение скважины искажает пока-

зания ДГГП, особенно в скважинах большого диаметра, это приводит к нарушению зависимости $\rho = f(M)$, см. формулу (1). Однако погрешности измерений при этом могут быть снижены, если пользоваться не величиной отношения $\rho = f(N_1/N_2)$, а некоторой иной функцией от этих аргументов $\rho = f(N_1, N_2)$. С целью выяснения таких функций и построения алгоритма счетнорешающего устройства, преобразующего показания детекторов N_1 и N_2 в плотность были проведены исследования с приборами ДГГП-95 и ДГГП-120 на описанных выше моделях НВНИИГГ. Приборы ДГГП-95 и ДГГП-120 были созданы на основе опыта работы с приборами ДГГП-60 и ДГГП-90, результаты испытаний которых описаны выше.

Как уже говорилось выше, плотность для однократно рассеянного излучения определяется по формуле (1). При этом плотность является инвариантной к диаметру скважины ϕ и линейно зависит от $\epsilon n M$.

Так как плотность пород не зависит от диаметра скважины, то очевидно, что для постоянного значения ρ должно быть постоянно отношение M для определенного диапазона диаметров скважины. Следовательно в пространстве (N_1, N_2) , как уже отмечалось, множество точек, принадлежащих одной плотности, ложится на прямую линию, проходящую через начало координат. Все пространство (N_1, N_2) представляет собой двумерное численное множество однозначно отображающееся на множество (ρ, ϕ) в том случае, если кривые с разными плотностями одного множества (N_1, N_2) не пересекаются друг с другом. Это условие хорошо выполняется для однократно рассеянного излучения.

Для многократно рассеянного излучения траектории рабочей точки не подчиняются закону (1) и представляют из себя кривые, которые сходятся не в начале координат, а как видно из рис. 12-15, в некоторой точке $N_2 = N_0 = C$, значения которых принимают разные величины в зависимости от энергии источника излучения и конструкции прибора. Эти линии выполаживаются, искривляются и даже пересекаются друг с другом.

Область пересечения семейства кривых для излучения источника цезия-137 (рис. 13) значительно больше, чем для излучения источника кобальт-60 (рис. 12, 14, 15). Та часть множества (N_1, N_2) , где кривые для различных плотностей не

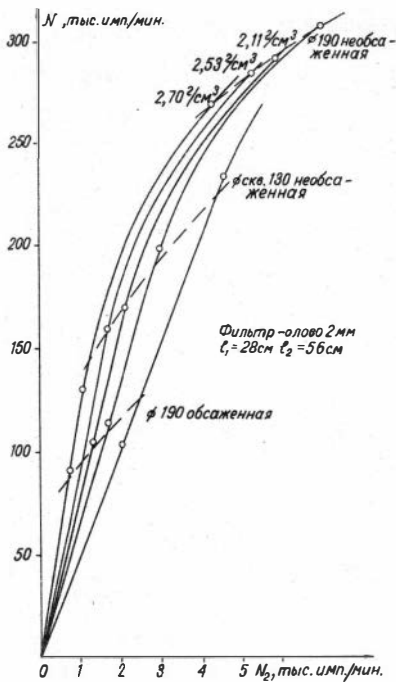


Рис. 12 Семейство функций $N_1 = f(N_2)$ для прибора ДГП-120 в необсаженных и обсаженных стальной колонной моделях скважин (детекторы обернуты слоем олова $\alpha = 2 \text{ мм}$; Co-60).

пересекаются, однозначно отображается во множество (ρ, φ) . Каждой паре значений N_1 и N_2 соответствует единственная пара значений ρ и φ . В этой части области (N_1, N_2) , в которой кривые пересекаются, однозначность определения ρ и φ исчезает.

на основании вышесказанного можно построить палетку, по которой определяется плотность породы и диаметр скважины (рис. 16 и 17). Так, с этой целью были построены

палетки на основании показаний прибора с источником кобальт-60 на зондах размером 20 и 40 см (рис. 16). На нем можно выделить три зоны: зону большой кривизны значений N_1 и N_2 , в которой точность определения ρ и φ выше, чем в области неопределенности, и область инверсии, в которой точность измерений вновь повышается.

По палетке можно вручную интерпретировать каротажные данные N_1 и N_2 и определять плотность породы и диаметр скважины. При этом погрешность определения плотности породы и диаметра скважины состоит из следующих частей: статистической и субъективной (погрешность считывания показаний прибора с каротажных диаграмм). Отбросив последнюю, оценим погрешность определения плотности пород и диаметра скважины на основании статистических погрешностей замеров N_1 и N_2 . Для этого берется зона пересечения значений $N_1 \pm \Delta N_1$ и $N_2 \pm \Delta N_2$, однозначно определяющая плот-

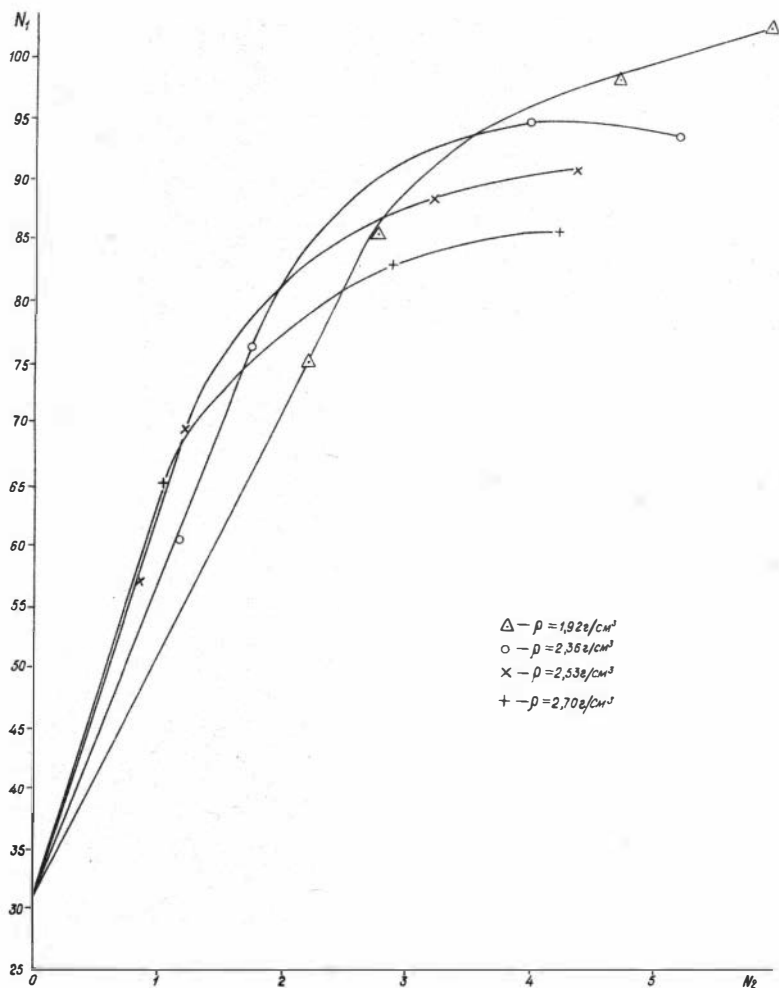


Рис. 13 Семейство функций $N_1 = f(N_2)$ для прибора ДГП-95 в необсаженных моделях скважин (источник цезий-137, размеры зондов 20 и 40 см).

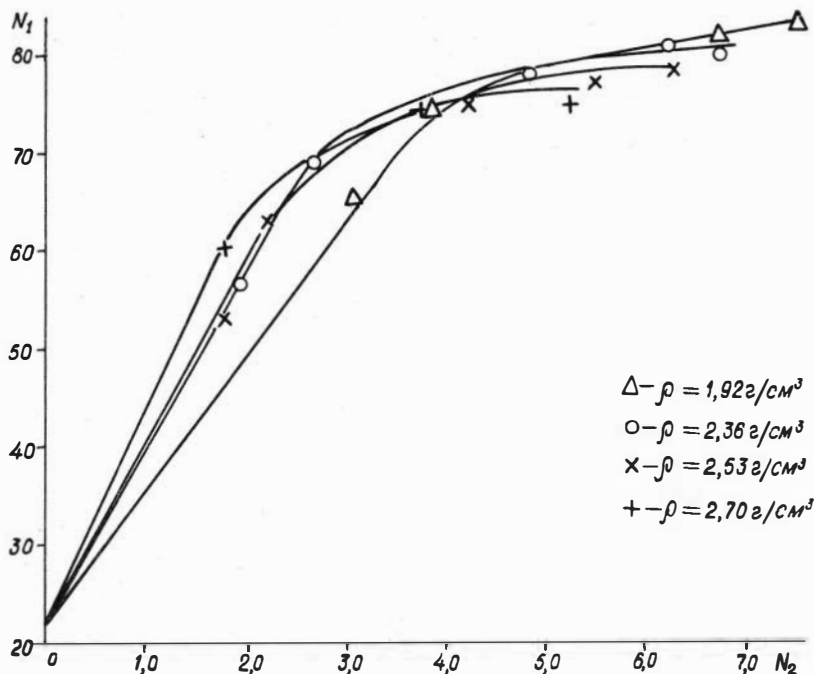


Рис. 14 Семейство функций $N_1 = f(N_2)$ для ДГП-95 в необсаженных моделях скважин (источник кобальт-60, размеры зондов 20 и 40 см).

ность пород и диаметр скважины и строится область статистической погрешности (рис. 18). Проектируя эту область на оси плотности и диаметра скважины, получаем абсолютную ошибку в определении этих величин.

Наименьшая погрешность при измерениях на зондах размером 20 и 40 см получена в точке ($\Phi = 100 \text{ мм}$, $\rho = 2,35 \text{ г/см}^3$) и равна 1,5% от величины плотности, а при измерениях на зондах размером 30 и 50 см получена в точке ($\Phi = 30 \text{ см}$, $\rho = 2,57 \text{ г/см}^3$) и равна 1,9%.

С помощью палеток можно определять плотность пород и диаметр скважин с достаточной точностью, но трудно автоматизировать процесс интерпретации. Для автоматизации

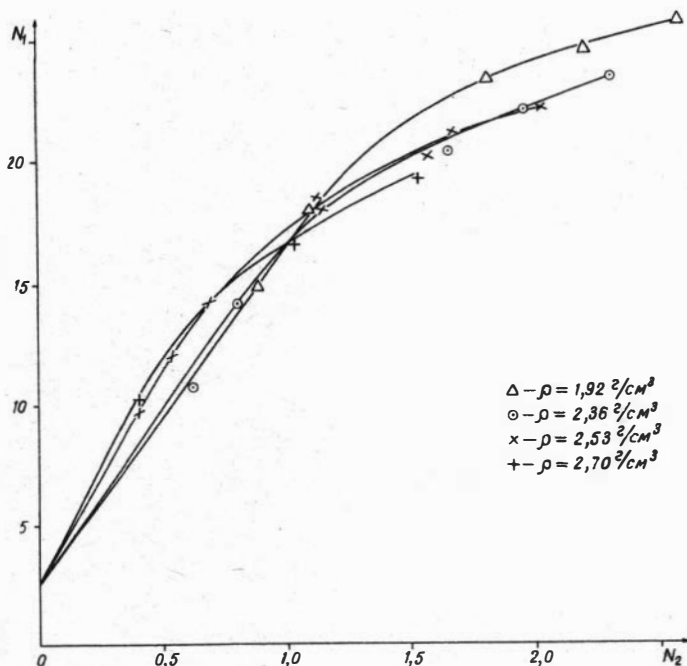


Рис. 15 Семейство функций $N_1 = f(N_2)$ для ДГГП-95 в необсаженных моделях скважин (источник кобальт-60, размеры зондов 30 и 50 см).

интерпретации вернемся к рис. 12-15. Как видно из этих рисунков, кривые $N_1 = f(N_2)$ сходятся в одну точку и линейны на некотором участке, поэтому можно пользоваться формулой (1), заменив в ней N_2 на $N_2 - N_0$, где N_0 - ордината, соответствующая точке пересечения кривых $N_1 = f(N_2)$ с осью N_2 . При этом, как видно из рис. 19, значения $M' = (N_1 - N_0) / N_2$ в логарифмическом масштабе линейно зависят от плотности. Таким образом, формула (1) может быть использована и при измерении многократно рассеянного гамма-излучения при замене N_2 на $N_2 - N_0$. Величина N_0 , обуславливается некоторым фоновым излучением, приходящим к детектору по буровому раствору. Часть этого излучения, естественно, доходит и до второго детектора. Однако, второй детектор располагается на значительно

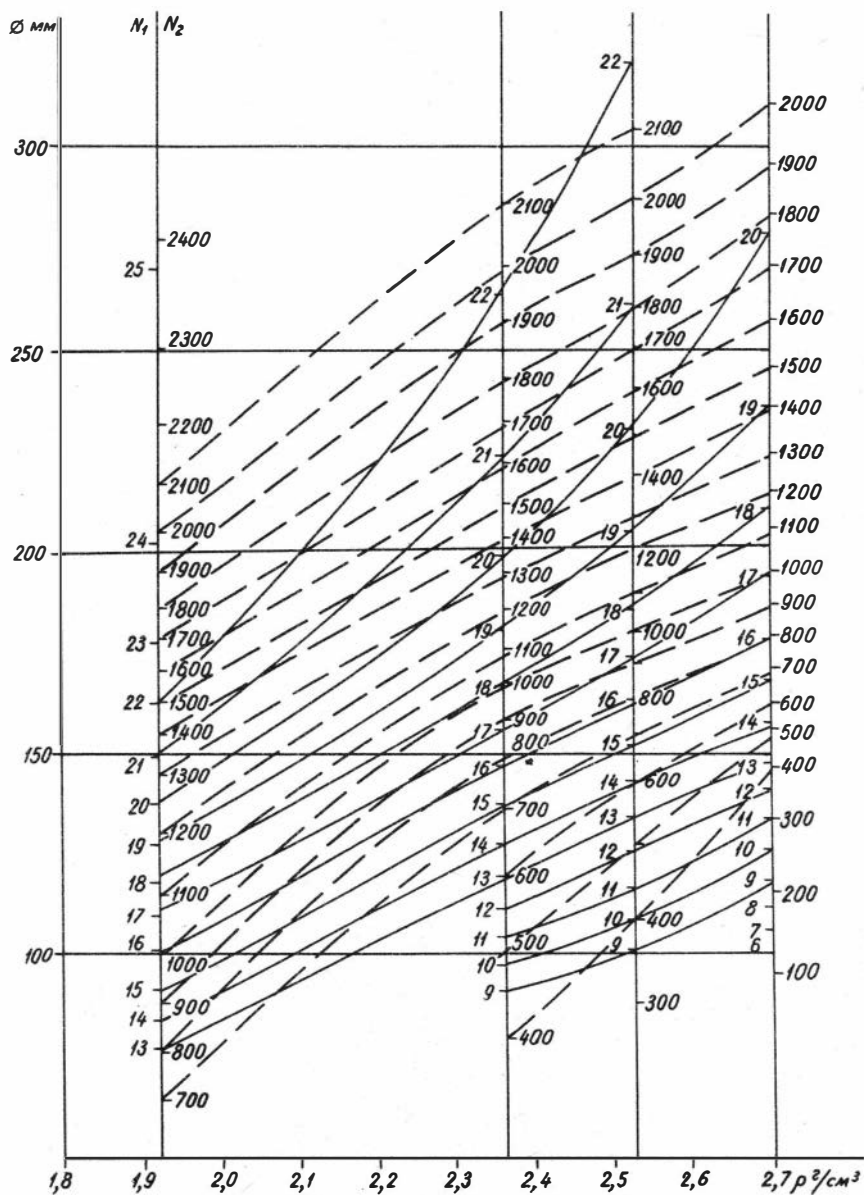


Рис.16 Палетка для определения плотности пород и диаметра скважин с помощью прибора ДГП-95 (размеры зондов 20 и 40 см, источник кобальт-60).

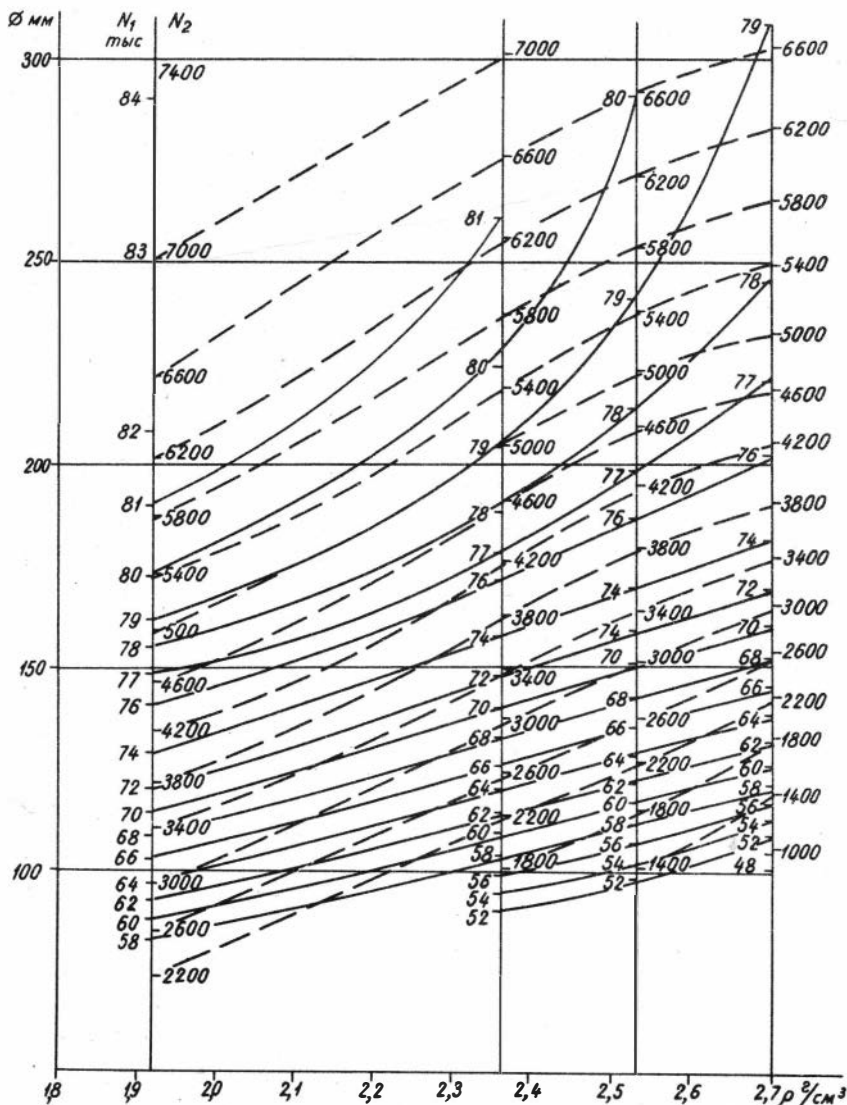


Рис.17 Палетка для определения плотности пород и диаметра скважин с помощью прибора ДРГП-95 (размеры зондов 30 и 50 см, источник кобальт-60).

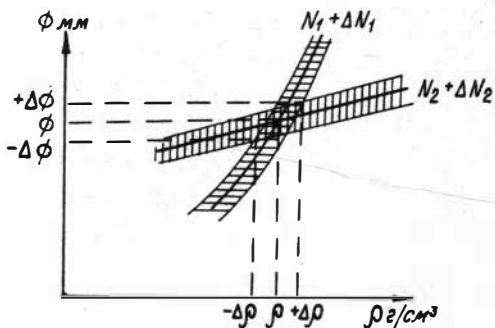


Рис.18 Схема определения статистических погрешностей, обусловленных влиянием изменения плотности пород $\pm \Delta \rho$ и диаметра скважин $\pm \Delta \phi_{\text{скв.}}$ по палеткам.

тому к нему будет доходить гораздо меньше паразитного излучения, идущего по скважине, и авторы считают, на данном этапе изученности этого вопроса, возможным пока не учитывать это излучение. На практике от излучения, идущего по скважине, можно избавиться путем подавления мягкого излучения на уровне ~ 250 кэв.

большем расстоянии от источника по сравнению с первым. Поэтому

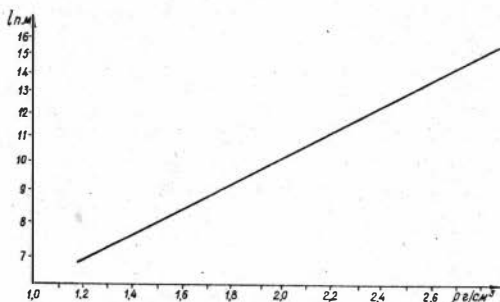


Рис.19 Градуировочная кривая для ДГГП-95.

запись величины плотности. Палетки рис.16-17 можно перестроить в новой системе координат M' и N' вида рис.20 и рис.21.

Решение уравнения (1) нетрудно осуществить путем создания счетно-решающего устройства, которое вело бы автоматическую

На палетке рис.20 на вертикальном участке траектории M' результаты определения плотности не зависят от изменения диаметра скважины в пределах от 100 до 150мм. Сособенно наглядно это видно из рис.22. Значение погрешности, измеренной при ручной интерпретации результатов резко снижается.

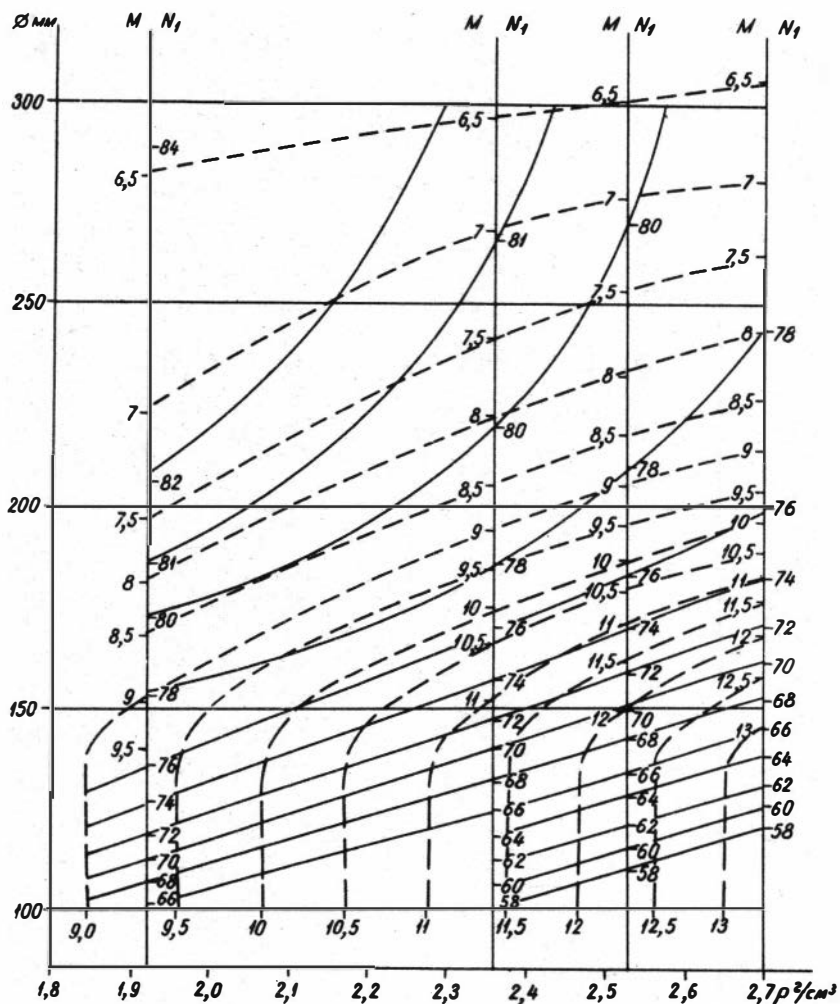


Рис. 20 Палетка для определения плотности пород и диаметра скважины с помощью прибора ДГГП-95 на зондах размером 20 и 40 см.

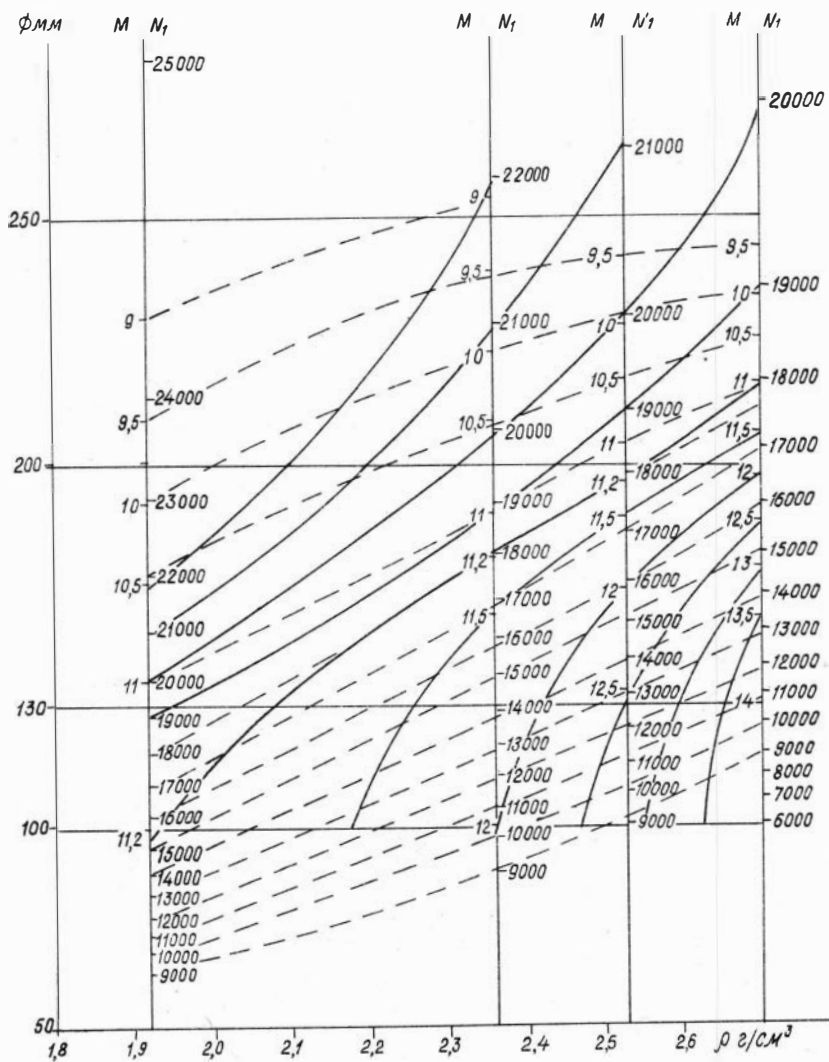


Рис. 21 Палетка для определения плотности пород и диаметра скважины с помощью прибора ДГП-95 на зондах размером 30 и 50 см.

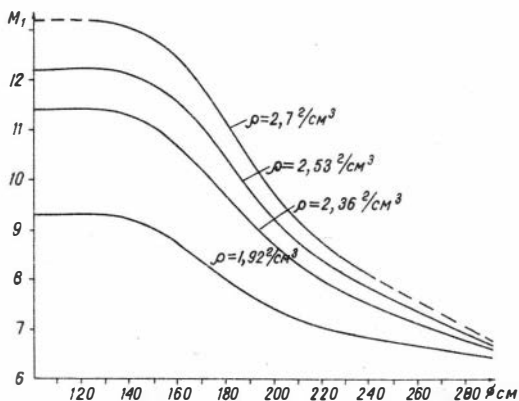


Рис. 22 Зависимость $M = f(r)$ (СКВ) для зондов 20 и 40 см.

5. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ ПРИБОРОВ В СКВАЖИНАХ

Результаты сопоставления данных по определению плотностей горных пород с помощью приборов РГП-1 [7] и ДГГП-120 (с центраторами) на одной из скважин Саратовского Поволжья диаметром 243 мм показаны на рис. 23. Для прибора РГП-1 эта скважина по диаметру является оптимальной, а для прибора ДГГП-120 с центраторами этот диаметр является предельным.

В приборе РГП-1 использовался цезиевый источник активностью 71,5 мг. экв. радия, а в приборе ДГГП-120 – кобальтовый источник активностью 30 мг. экв. радия. Каротаж с помощью приборов велся на скоростях соответственно 21 см/час (с постоянной времени прибора $\tau = 8$ сек) и 110 м/час ($\tau = 16$ сек).

Плотность пород по данным РГП-1 определяется с помощью палеток, разработанных Ю.А. Гулиным. Прибор ДГГП-120 был проградуирован в скважине по опорным горизонтам, после чего запись кривых велась в абсолютных значениях.

В геологическом отношении исследованный участок скважины представлен однородной карбонатной толщей с плотностью пород, равной 2,60 г/см³. Для отдельных участков плотность пород понижается до 2,39 г/см³ за счет сильной трещиноватости. Так, например, зона пониженной плотности (от 2,45 до 2,32 г/см³) отмечается на глубине от 370 до 380 м.

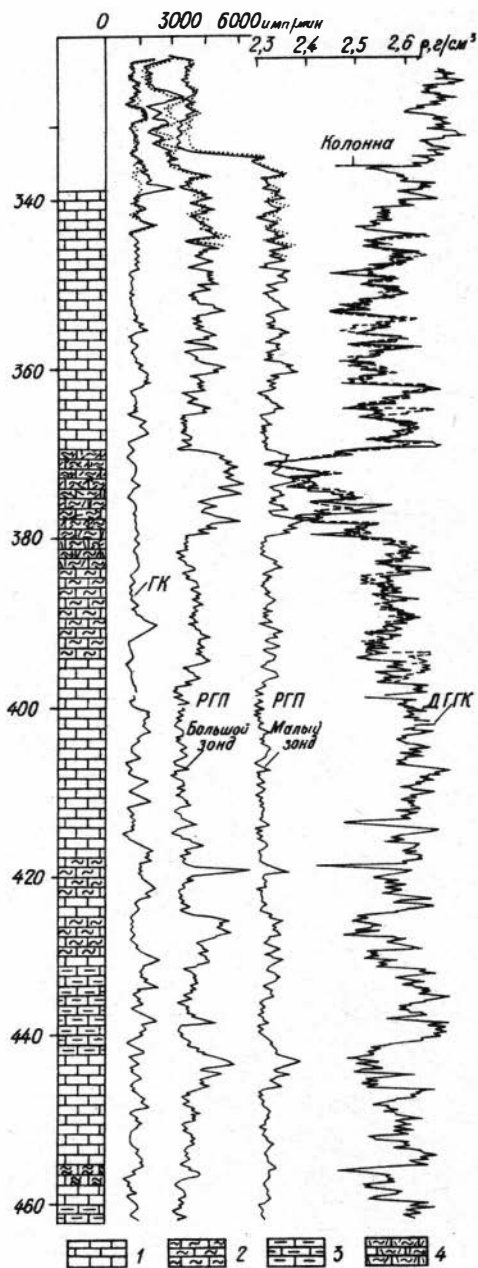


Рис. 23 Диаграммы ГГК, ГГК₁ и ГГК₂, записанные с помощью прибора РГП-1, и ДГГК, записанной с помощью прибора ДГГП-120 на одной из скважин Саратовского Поволжья.

1-известняки; 2-трещиноватые известняки; 3-глинистые известняки; 4-высокопористые известняки.

Трещиноватые участки четко выявляются на глубине 414м ($\rho = 2,48$ г/см³); 420м ($\rho = 2,42$ г/см³); 425-428м ($\rho = 2,50$ г/см³); 441-446м ($\rho = 2,52$ г/см³) и 476м ($\rho = 2,48$ г/см³). Повышенной плотностью ($\rho = 2,65$ г/см³) выделяются участки кремне-ных известняков на глубине 468+480м.

Воспроизводимость результатов проверялась по данным записи повторных кривых, по казанных пунктиром. Приборы градуировались только для необсаженной части скважины от 335м и ниже. Поэтому повторные данные для прибора РГП-1 можно сопоставлять лишь на участке 338-346м, а для прибо-

ра ДГГП-120 на участке - 338-400м. Из диаграмм видно, что повторные данные удовлетворительно согласуются с первичной записью. Максимальные расхождения для прибора ДГГП-120 достигают $0,12 \text{ г/см}^3$, а для прибора РГП-1 - $0,17 \text{ г/см}^3$.

Для расчета средних отклонений первичных замеров от вторичных воспользуемся формулой для большого числа сопоставлений ($m > 10$) [5]:

$$\delta\rho = \left[\frac{\sum (\rho' - \rho'')^2}{2m} \right]^{0,5}, \quad (15)$$

где ρ' и ρ'' - соответственно величины плотности первого и второго замеров, m - число сопоставленных точек.

В соответствии с сопоставляемыми интервалами величины m для данных, полученных при помощи ДГГП-120 и РГП-1, следует взять равными 125 и 21. В результате средняя абсолютная ошибка сопоставлений для прибора ДГГП-120 получается равной $0,024 \text{ г/см}^3$, а для прибора РГП-1 - $0,06 \text{ г/см}^3$. Эти значения отвечают относительным погрешностям, соответственно равным примерно 1% и 2,5%. При большем сопоставлении для прибора РГП-1 также по всей видимости получилась бы значительно меньшая ошибка измерений.

В целом результаты, полученные с помощью ДГГП-120 и РГП-1 хорошо согласуются друг с другом. Дифференциация кривых для обоих приборов примерно одинакова. Тем не менее при этом следует иметь в виду, что: 1. прибор ДГГП-120 позволяет получить информацию со всего периметра скважины, поэтому информация, получаемая с помощью этого прибора является более представительной по сравнению с информацией, получаемой с помощью прибора РГП-1; 2. отсутствие прижимных устройств на приборе облегчает проведение исследований в скважинах и уменьшает возможность прихвата его в скважине; 3. наличие счетно-решающего устройства в пульте прибора ДГГП позволяет в процессе каротажа вести запись диаграммы плотностей, что также является существенным преимуществом ДГГП-120 по сравнению с РГП-1. В связи с тем, что при исследовании скважин большого диаметра (свыше 243мм) на показания прибора ДГГП-120 начинает оказывать действие ближняя зона, то определение плотностей горных пород в них следует вести с помощью прибора РГП-1. Однако, и в этом случае прибор лучше оборудовать коллиматорами против источника и детектора и измерения вести по

методике двухлучевого гамма-гамма-метода, т.е. использовать счетно-решающее устройство, позволяющее записывать плотность в абсолютных значениях. Приборы ДГГП-40 и ДГГП-48 были испытаны на меднорудных месторождениях Среднего и Южного Урала (Еурибай) на скважинах № 629, 2477, 3255 и 3308. Глубина скважины не превышала 1 км. Скважины промерялись на разных глубинах в интервале 60 м. Скорость подъема глубинного снаряда была равна 120 м/час. При непрерывной записи регистрировались два параметра: M_1 и M_2 (рис. 24 и 25)

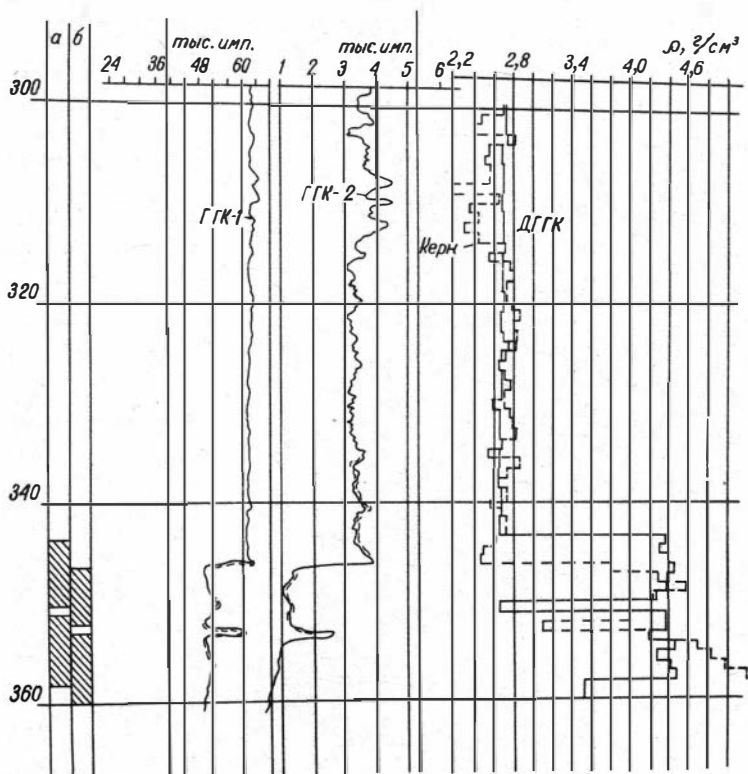


Рис. 24. Данные каротажа с прибором ДГГП-48 на одной из рудных скважин а) рудные горизонты, выделенные по керну; б) то же с помощью прибора.

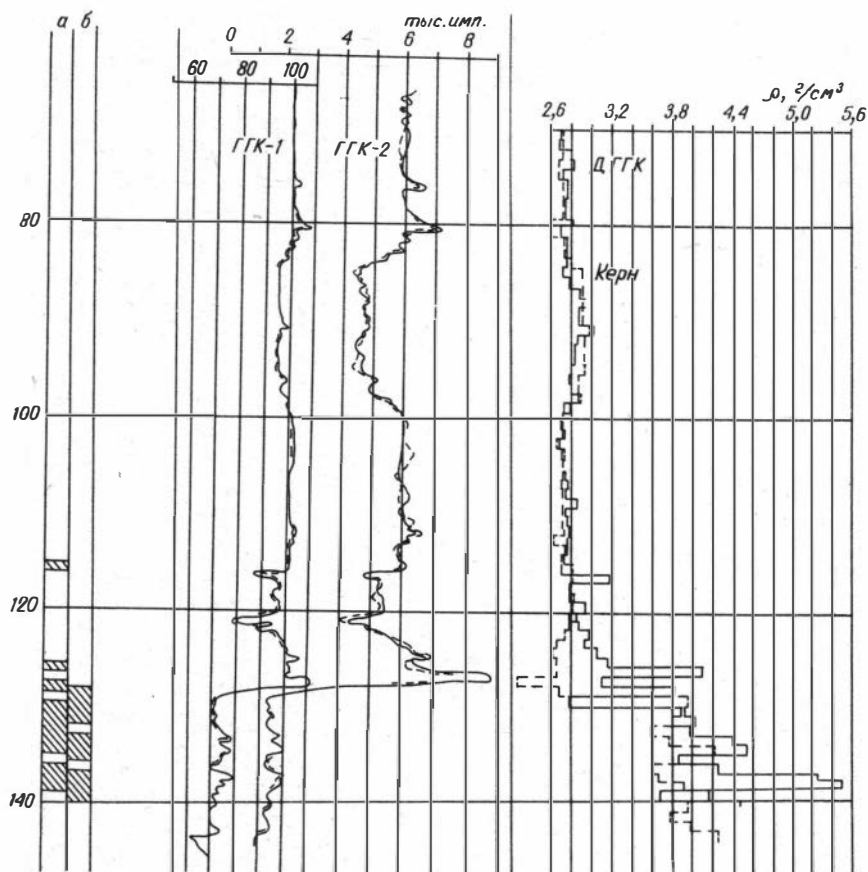


Рис.25 Данные каротажа с прибором ДГГП-40 на одной из рудных скважин а) рудные горизонты, выделенные по керну; б) то же с помощью прибора.

Отношение скоростей счета в зависимости от плотности не было записано ввиду неотрегулированного масштаба записи. Отношение N_1/N_2 считывалось с диаграмм вручную, и по градуировочному графику определялось значение плотности для этих скважин. Для повышения точности определения плотности по разрезу скважины получены две повторные записи.

на рис.24 и 25 даны сравнения диаграмм плотностей по

керну (сплошная линия) и снятой с помощью приборов (пунктирная). На этих же рисунках построены рудные зоны по керну (а) и прибору (б). Сдвиг в определении плотностей на рудной зоне определяется малым выходом керна, а следовательно, плохой привязкой его к глубине скважины. Выброс, наблюдаемый на глубине 327 м на скважине 689, объясняется либо зашкаливанием прибора по каналу N_2 , либо наличием зоны разрушения с присутствием больших каверн, где прибор "прихватывает" буровой раствор.

В целом плотности, определенные по керну и по прибору, совпадают на участках 60-120 м на скважине 3255 и 315-340 м на 689 в пределах ошибки. Расхождение, наблюдаемое на скважине 689 на участке 300-315 м, возможно, обусловлено малой представительностью кернового опробования и несовпадения объемов породы, по которым производится керновое и приборное определение плотностей.

В ходе обработки данных каротажа была найдена среднеквадратичная погрешность в определении плотности с помощью приборов, обусловленная статистическим разбросом, которая определялась по формуле:

$$\sigma = \left[\sum_{i=1}^n \delta_i^2 / (n-1) \right]^{0,5}, \quad (16)$$

где $\delta_i = \frac{\rho_{pi} - \rho_{ki}}{\rho_{ki}} \cdot 100\%$ - относительная погрешность в i - точке, ρ_{pi} - приборная плотность, ρ_{ki} - плотность керна.

Для скважины № 689 величина σ оказалась равной 3,16%, а для скважины № 3255 - 1,86%.

Кроме того, была определена среднеквадратичная ошибка повторяемости диаграмм для этих скважин, оказавшаяся равной 2,46% и 1,18% для 689 и 3255 соответственно.

Среднеквадратичная ошибка считалась по формуле:

$$\sigma = \left[(\delta\rho)^2 / 2n \right]^{0,5}, \quad (17)$$

где $\delta\rho = 4\rho / \rho_1 \rho_2$, $4\rho = \rho_1 - \rho_2$, ρ_1, ρ_2 - $\rho_1^2 + \rho_2^2$, ρ_1 - плотность 1-го замера, ρ_2 - плотность 2-го замера.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы: приборы ДГП-48 и ДГП-40 позволяют определять плотность по разрезу необсаженных скважин диаметром от 69 до 110 мм, с точностью от ± 3 до $\pm 2\%$ от измеряемой плотности в диапазоне от 2,2 до 5,3 г/см³. Повторяемость каротажных диаграмм для скважин диаметром 69 мм равна $\pm 1,2\%$ по плотности, для скважин диаметром 110 мм -

- $\pm 2,5\%$. Применение этих приборов позволяет уточнить литологию разреза, выделить рудные интервалы и, при однозначной зависимости между плотностью и содержанием руд, оценивать запасы полезных скопаемых.

В Ы Б О Д Ы:

На основании теоретических и экспериментальных исследований, проведенных на плоских моделях, установлено, что с помощью двухлучевого гамма-гамма-метода возможно проводить измерения плотностей горных пород при наличии мешающей ближней зоны, расположенной между прибором и измеряемой средой. При этом в случае регистрации однократно рассеянного излучения толщина исключаемой ближней зоны может достигать 10 см.

При регистрации многократно рассеянного излучения толщина исключаемой зоны убывает примерно в 2 раза. Толщина исключаемой ближней зоны при этом в значительной степени определяется степенью коллимации источника и детекторов и при коэффициентах коллимации порядка 3-5 может достигать 4-6 см. Значительное увеличение коэффициента коллимации, с одной стороны, резко уменьшает коэффициент использования источника, и в то же время незначительно увеличивает толщину исключаемой зоны. Поэтому оптимальными значениями коэффициентов коллимации являются величины, лежащие в пределах 3-5.

При аксиальной геометрии прибора удается в значительной степени поднять коэффициент полезного использования источника, что позволяет снизить его активность до приемлемых значений порядка 30 ± 50 мг экв. радия. С другой стороны, аксиальная геометрия позволяет обходиться без прижимных устройств, что в значительной степени упрощает конструкцию прибора и снижает вероятность аварийных ситуаций при проведении каротажных работ.

Модельные работы на скважинах НБНИИГИ показали, что с помощью разработанных приборов можно также определять плотность горных пород за обсадной колонной диаметром до 243 мм с приемлемой точностью.

Наличие автоматического интерпретирующего устройства в приборе позволяет на диаграммные ленты непосредственно записывать измеряемый параметр.

Скважинные исследования позволили убедиться в работоспособности разработанных приборов в нефтяных, газовых и рудных скважинах. На основании вышеизложенного можно заключить следующее:

1. Разработанные приборы ДГП-95 и ДГП-120 могут быть использованы для плотностного каротажа необсаженных скважин диаметром до 243 мм с точностью определения плотностей в среднем до $\pm 0,05 \text{ г/см}^3$.

2. Помимо этого прибор ДГП-120 может быть использован для плотностного каротажа обсаженных скважин диаметром 243 мм с точностью определения плотностей $\pm 0,07 - 0,1 \text{ г/см}^3$.

3. Приборы ДГП-95 и ДГП-120 могут быть использованы для отбивки газожидкостного контакта как обсаженных, так и в необсаженных скважинах диаметром до 243 мм.

4. Для увеличения точности определения плотности и снижения методической ошибки необходимо центрировать приборы, либо пользоваться специальными палетками, которые приведены в тексте.

5. Для экспрессной интерпретации можно пользоваться результатами, вырабатываемыми автоматическим интерпретатором, обеспечивающим точность порядка $\pm 3\%$ и работающим по формуле $\rho = a \ln M^b - c$.

6. Приборы ДГП-60, ДГП-48 и ОГП-40 могут использоваться для плотностного каротажа разведочных и структурных скважин диаметром до 120 мм и обеспечивают относительную точность определения плотности порядка $\pm 2\%$.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Барварин Г.Е., Филиппов Е.М., Кузнецов Г.А. Исследование по исключению влияния ближней зоны на результаты гамма-гамма-метода. Геология и геофизика, № 6, 1966.
2. Барварин Г.Б., Кузнецов Г.А., Филиппов Е.М. Двухлучевой скважинный гамма-гамма-плотномер. Геология и геофизика, № 6, 1967.
3. Барварин Г.Б., Кузнецов Г.А., Филиппов Е.М. Плотностной двухлучевой гамма-гамма-метод опробования месторождений по разрезам скважин. В сб. "Вопросы методики опробования месторождений полезных ископаемых при разведке и эксплуатации. Издание Свердловского горного института, 1969.

4. Варварин Г.Б., Филиппов Е.М. Плотностной гамма-гамма-метод в геофизике. г. Новосибирск, "Наука" Сибирское Отделение, 1971.
5. Доерфель К. Статистика в аналитической химии. Мир, 1969.
6. Коржев А.А., Дунченко И.А. Определение плотности угольных пластов по данным ГГК. Прикладная геофизика (сб.). М., Недра, 1970, вып. 59.
7. Прибор для плотностного гамма-гамма-каротажа (РГП-1). Каталог геофизической аппаратуры, Недра, 1968.
8. Состояние и перспективы ядерно-геофизических методов поисков и разведки полезных ископаемых (труды ВНИИЯГ, вып. 5), М., Недра, 1969.
9. Труфанов В.В., Бернштейн Д.А., Галявич А.Ш. Прибор для определения жидкости действующих скважин. Геофизическая аппаратура, вып. 32, Недра, 1967.
10. Труфанов В.В., Галявич А.Ш. Применение метода ГГК для исследования эксплуатационных скважин. Нефте-промышленное дело. Научно-технический сборник, №6, 1967.
11. Филиппов Е.М. Коэффициенты ослабления гамма-излучения некоторых горных пород и минералов. В сб. Полевые ядерные геофизические методы. Наука М., 1966.
12. Ядерно-геофизические методы (сб.), г. Новосибирск, Наука Сибирское Отделение, 1971.
13. Hearst Y.R. and Carlson R.C. The RJDS : A density logger for rough holes. Geophisics. 1969, v. 34, N 2.

С.М.АСРЯН, Г.Б.ВАРВАРИН, Е.М.ФИЛИППОВ

ИЗУЧЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-УГЛОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАССЕЯННОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПЛОСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ГОРНОЙ ПСРО-

ДЫ

Несмотря на то, что плотностной гамма-гамма-метод (ГГМ-п) на протяжении последних 15 лет с каждым годом все шире привлекается для решения разнообразных геологических задач [2], целый ряд вопросов, касающихся теории и практики этого метода, остается не решенным до сих пор. К таким вопросам можно отнести глубинность метода, влияние ближней зоны, выбор оптимальной конструкции прибора, обеспечивающей наименьшую погрешность в измерении плотности и достаточный коэффициент полезного использования источника.

Для решения этих задач, применительно к определению плотностей горных пород при помощи приставки гамма-гамма-плотномеров (ПГП) [2], необходимо знать пространственно-угловое распределение потока рассеянных гамма-квантов на плоской поверхности горной породы.

Известно, что задачи по переносу гамма-излучения в случае сложной геометрии (источник-рассеиватель-детектор) аналитически не решаются. Изучение этой задачи экспериментальным путем связано с целым рядом технических трудностей. Эти трудности присущи не только ГГМ-п, но и другим ядерно-геофизическим методам. В связи с этим для решения ядерно-геофизических задач все шире применяется математическое моделирование, основанное на расчетах по методу Монте-Карло [1, 2, 5, 6, 8, 9].

Применительно к исследованию плотностей горных пород на плоской поверхности первые исследования были выполнены в 1966г в ИГиГ СОАН СССР [1, 2, 9]. Аналогичные исследования применительно к изучению разреза нефтяных скважин были выполнены Ю. А. Гулиным и Г. И. Лоятовым [5]. В этих работах рассмотрен случай, когда излучение источника испускается в конус, поставленный основанием на изучаемую горную породу.

В работах [1, 2, 9] проведены исследования по изучению вопросов оптимизации ПГП, которые в дальнейшем были положены в основу разработки портативного плотнмера с повышенными метрологическими данными (создан Сиб. ОКБМГ СССР, г. Новосибирск) [7].

В работе [5] также вырабатываются рекомендации по оптимальному конструированию скважинных гамма-гамма-плотномеров, которые позволяют в значительной степени ослабить влияние глинистой корки на результаты измерения плотности.

Настоящая работа является продолжением исследований, приведенных в [1, 2, 9], и посвящена изучению глубинности метода рассеянного излучения и выявлению возможностей управления траекториями гамма-квантов в породе за счет изменения конструктивных параметров прибора: длины зонда, наклона коллиматоров детекторов и источника и т.д.

Управление траекторией прохождения гамма-квантов в породе, осуществляется в основном за счет

коллимации источника первичного излучения и коллимации приемника, регистрирующего рассеянное излучение, т.е., за счет принципа, положенного в основу двухлучевого гамма-гамма-метода [2,3,4,8,9]. На первом этапе этих исследований было изучено пространственно-угловое распределение рассеянных гамма-квантов. Расчеты проводились применительно к использованию протяженных детекторов типа газоразрядных или группы сцинтилляционных. Ось этих детекторов располагалась перпендикулярно направлению на источник (рис.1). Энергия источника выбрана равной 0,662Мэв (цезий-137). Излучение этого источника направлено в породу под

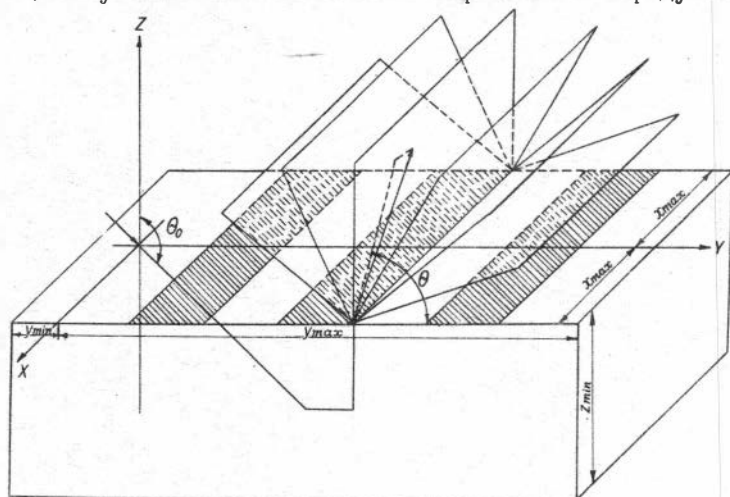


Рис.1 Иллюстрация для расчетов распределения рассеянного гамма-излучения на плоской поверхности породы.

углом $45^\circ (\theta=135^\circ)$ в вертикальной плоскости к детекторам. Детекторы за счет коллиматоров, с углом раствора $\Delta\theta=30^\circ$, могут принимать излучение с определенных направлений ($0-30^\circ, 30-60^\circ, 60-90^\circ, 90-120^\circ, 120-150^\circ, 150-180^\circ$). Длина детекторов выбрана равной 50см, а ширина 5см. Измеряется угол вылета рассеянного излучения (θ) из породы, а также средняя глубина залегания траекторий \bar{z} и их удаленность от источника квантов

$$\bar{z} = k^{-1} \sum_{j=1}^k \left(\sum_{i=1}^l z_i \cdot e^{-t} \right)_j, \quad (1)$$

$$\bar{y} = \kappa^{-1} \sum_{j=1}^K \left(\sum_{i=1}^{\ell} z_i e^{-1} \right)_j, \quad (2)$$

где κ - количество квантов попавших в детектор, i - индекс точки рассеяния j -го кванта, ℓ - количество актов рассеяния j -го кванта.

Кроме того, рассматривается вклад однократно-рассеянного гамма-излучения в общий поток излучения, а также поведение траекторий однократно рассеянных гамма-квантов.

Для изучения зависимости распределений от плотности пород, расчеты велись для трех сред (уголь бурый - $\rho = 1,2$ г/см³, силвин - $\rho = 2$ г/см³, известняк - $\rho = 3$ г/см³). При решении этой задачи в ее программу также были заложены возможности по изучению глубинности и краевых эффектов. Для этого модель, как это видно из рис. 1, ограничена по глубине (Z_{min}), длине (X_{max}) и ширине (Y_{min} , Y_{max}).

Эти величины можно задавать любыми и таким образом имитировать рассеивающий блок ограниченных размеров. Расчет переноса гамма-излучения велся по широко известной методике, см., например, [9] и др., поэтому здесь нет смысла останавливаться на описании алгоритма решения задачи. Следует подчеркнуть только некоторые особенности в строении алгоритма, связанные с формированием массивов различных групп гамма-квантов, попадающих на детекторы. Практически параллельно формировалось два основных массива - массив однократно-рассеянных гамма-квантов и массив многократно рассеянных гамма-квантов, в которых гамма-кванты формировались в группы по детекторам. Для этого предварительно формировался некий переменный трехзначный массив M , в котором накапливалась сумма координат столкновений (Z и y) и число актов рассеяния.

Если гамма-квант погибал в результате фотоэффекта или ухода за границы блока, то содержимое всех этих трех ячеек стиралось. Если же гамма-квант выходил на верхнюю плоскость (XOY), т. е. на плоскость детекторов, то проводились следующие операции: определялся номер детектора, в который попал гамма-квант и угол его вылета. Затем в группу из четырех ячеек памяти, присвоенных данному номеру детектора и данному углу, добавляются: в первую - количество квантов, попавших в данный детектор под данным углом, в остальных переписывались соответственно из массива M .

число актов рассеяния, средняя глубина траектории $(\sum_{i=1}^n z_i \cdot e^{-\lambda z_i})$, средняя удаленность траектории от начала координат, где находится источник $(\sum_{i=1}^n y_i \cdot e^{-\lambda y_i})$. После этого массив M „устился“ и начинался расчет новой траектории гамма-кванта, вылетающего из источника. После расчета заданного числа траекторий во всех детекторах производились вычисления средних глубин \bar{z} и удаленностей траекторий \bar{y} по формулам (1) и (2). Таким образом, в результате расчетов мы получаем плотность вероятности попадания в детектор гамма-квантов и средние „координаты“ траекторий (\bar{z} и \bar{y}) всех гамма-квантов, попавших в заданный детектор.

В дальнейшем алгоритме решения задачи было добавлено еще четыре детекторных плоскости, параллельных XOY и расположенных на высоте $Z = 5, 10, 15, 20$ см. Каждой плоскости присваивались группы детекторов по той же системе, что и для плоскости XOY . Эти добавочные плоскости позволили решить задачу ослабления влияния воздушного промежутка между измерительным прибором и измеряемой средой, на чем мы остановимся подробнее несколько позже.

Итак, как видно из вышесказанного, такая постановка задачи и описанная особенность алгоритма решения позволили получить большой объем информации о поведении траекторий гамма-квантов в рассеивающей среде, по которой можно судить о возможностях управления этими траекториями. На основании полученных результатов был определен характер углового распределения гамма-квантов на разных зондах и вклад в это распределение однократно рассеянного гамма-излучения (рис. 2 а). Как видно из рисунка 2а для плотности 2г/см^3 на зонде 0 ± 5 см однократно рассеянное излучение (зачерненное поле диаграммы) составляет порядка 90% от всего излучения, попадающего на детектор, причем в углы от 0 до 60° практически идет только однократно рассеянное излучение. Заметное количество многократно рассеянного излучения попадает лишь в углы от 90° до 180° , т. е. практически в направлении, обратном первичным квантам.

По мере удаления от детектора вклад однократно рассеянных квантов в общий поток спадает очень быстро. Так, на зонде $5-10$ см (рис. 2б) он составляет уже 25%. Причем, если

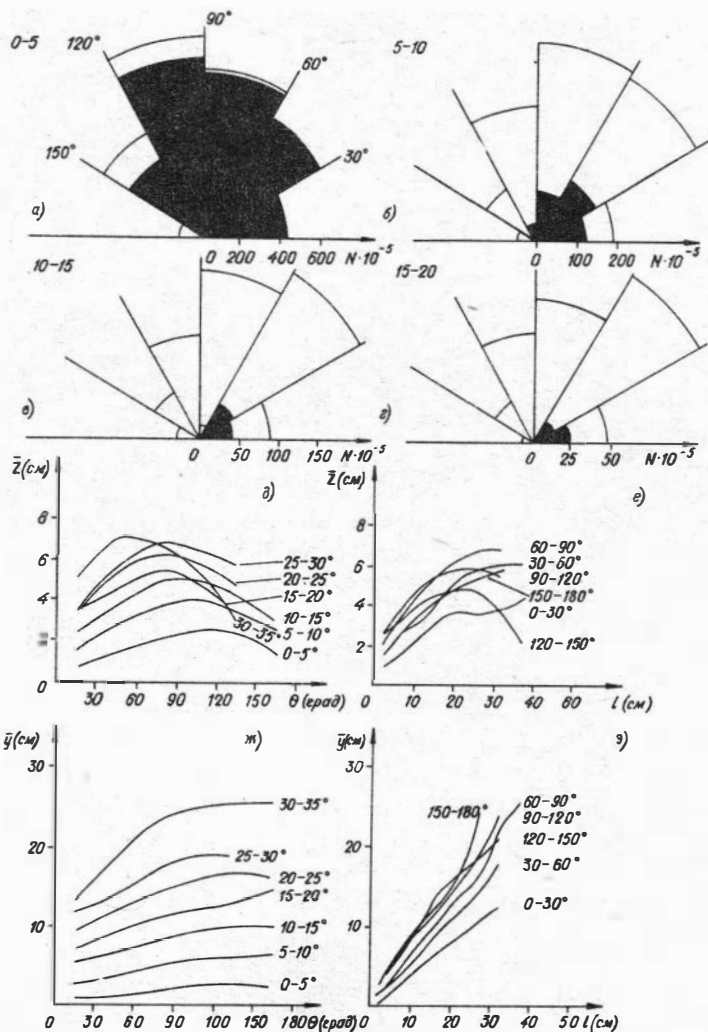


Рис.2 Результаты расчета углового и пространственного распределения рассеянного излучения на плоской поверхности породы с плотностью 2г/см^3 : а, б, в и г – распределение однократно (пространство, залитое тушью) и многократно (пространство ограничено сплошными линиями) рассеянного

в угле $0-30^\circ$ он составляет 65%, в угле $30-60^\circ$ - 30%, в угле $60-90^\circ$ - 25%, то по мере дальнейшего увеличения угла, вклад однократно рассеянного излучения спадает еще резче, (в угол $90-120^\circ$ попадает только 10% излучения, а для больших углов - единицы процентов). Таким образом, однократно рассеянное излучение имеет более пологие полярограммы, чем многократно рассеянное.

Вклад однократно рассеянного излучения составляет на зонде 10-15 см - 14%, на зонде 15-20 см - порядка 10% и т.д. При этом указанное выше расхождение в направленности полярограммы однократно и многократно рассеянных излучений хорошо наблюдается вплоть до 25 см. При больших зондах в решении задачи получены большие дисперсии, которые не позволяют сделать какие-либо определенные выводы о направленности излучений.

На рис. 2 также приведены зависимости глубинности траекторий от угла вылета (рис. 2д) и от длины зонда (рис. 2е). Как видно из рис. 2д, на больших размерах зондов в основном регистрируются гамма-кванты, средние траектории которых отвечают большим глубинам, чем на малых зондах. Причем для каждого зонда имеется ясно выраженный экстремум по углу выхода (θ_v), для среды с плотностью 2 г/см^3 этот экстремум лежит в диапазоне от 75° до 135° , для среды с плотностью $1,2 \text{ г/см}^3$ - от 90° до 135° , для среды с плотностью 3 г/см^3 - от 60° до 120° . При этом, по мере увеличения зонда экстремум смещается от $120^\circ-135^\circ$ для зонда 0-5 см ($\rho = 2,0 \text{ г/см}^3$) до $60-75^\circ$ для зонда 20-25 см. Эти экстремумы выражены довольно вяло, но тем не менее позволяют ориентироваться в выборе оптимальных углов приема рассеянного гамма-излучения по глубинности. Более того, из рис. 2д-е ясно видно, что выбирая соответствующие размеры зондов и излучения на зондах 0-5 см (а) и 5-10 см (б), 10-15 см (в) и 15-20 см (г), д и е - зависимость глубинности расположения траекторий гамма-квантов от угла приема излучения (д) для различных размеров зондов (см) и от размера зонда (е) при различных углах приема излучения, ж и з - зависимости средней удаленности траекторий от угла приема рассеянного излучения (ж) для различных размеров зондов (см) и размера зонда (з) при различных углах.

углы приема рассеянного гамма-излучения, можно управлять глубиной прохождения потока рассеянного излучения в толще рассеивателя в пределах от 1 до 7 см по многократно рассеянному излучению и до 15-20 см по однократно рассеянному излучению для среды с плотностью 2г/см^3 . Выбирая соответствующие углы приема излучения, можно увеличить глубинность траектории и за счет увеличения длины зонда (рис. 2е), так как с увеличением зонда от 0 до 25-30 см практически для всех углов вылета квантов имеется явно выраженная тенденция к увеличению глубинности \bar{z} . Однако, по мере дальнейшего увеличения длины зонда глубинность начинает спадать. Для углов в пределах $90-120^\circ$ и $120-150^\circ$ спад начинается при 25 см и в районе 30 см, для углов $60-90^\circ$ при 30 см, а для углов $30-60^\circ$ — при зондах свыше 35 см. Подобная тенденция к спаду глубинности имеет место и для плотностей пород 1, 2 и $3,0\text{г/см}^3$. Причем для первой среды спад начинается на больших зондах, а для последней, естественно, на меньших. Спад глубинности с увеличением выше некоего экстремального для выбранного угла зонда, можно объяснить выполаживанием траекторий за счет преобладания многократно рассеянного излучения. На рис. 2 ж, з приведены зависимости средней удаленности \bar{y} ("центра") траекторий от начала координат по оси y в зависимости от угла θ и размера зонда. Как и следовало ожидать, эти зависимости носят монотонно возрастающий вид. В данном случае они представляют более практический нежели теоретический интерес, так как позволяют в совокупности с рис. 2 д, е оценить положение "центра" траекторий в толще рассеивателя. Интересно отметить такую деталь: для низко стелящихся углов ($0-30^\circ$, $30-60^\circ$) величина \bar{y} , как правило, меньше половины расстояния от детектора до источника. В то же время для больших углов θ величина \bar{y} смещается ближе к детектору.

На рис. 3 а-д приведены зависимости регистрируемого излучения от плотности исследуемых сред для различных размеров зондов и углов приема излучения. Из приведенных результатов видно, что для малых зондов (0-5 см) увеличение плотности породы ведет к возрастанию интенсивности регистрируемого излучения при всех углах приема, т.е. все

графики при этом соответствуют доинверсионным кривым $N=f(\rho)$. Наиболее резкая зависимость $N=f(\rho)$ при этом наблюдается для углов приема излучения в пределах $30-60^\circ$. Большая часть зависимостей $N=f(\rho)$ рис.36 попадает в зону инверсии кривых и, следовательно, диапазон размеров зондов (5-10 см) является невыгодным для использования в ГГМ-п для рассматриваемой геометрии измерений.

Для заинверсионных областей (рис.3в-д) наиболее удобными для рассматриваемого диапазона плотностей пород, являются зонды в пределах 10 ± 20 см, а углы приема излучения в пределах $30 \pm 90^\circ$. При этом для относительно высокой плотности вероятности регистрируемого излучения ($N \sim 10^{-3}$ попадания гамма-квантов в детектор) обеспечивается хорошая крутизна зависимости $N=f(\rho)$.

В настоящее время остро назрела необходимость в создании мобильных гамма-гамма-плотномеров, перевозимым тем или иным видом транспорта. Такие плотномеры могут найти широкое применение при инженерно-геологических исследованиях, в строительном деле для контроля плотности укатки и утрамбовки постели дорог, ложа каналов, взлетно-посадочных полос и т.д. В настоящее время уже создан и прошел успешные испытания ряд приборов разработки В.Г.Фирстова [2] (РП-МАД4-1,3). Для ослабления влияния воздушного зазора результаты измерения, в этих приборах датчик устанавливается на стальную лыжу, которая буксируется прямо по грунту вслед за автомобилем. Такое конструкторское решение является только временным выходом из положения, так как во-первых, снижает маневренность установки, во-вторых не позволяет вести определения плотностей пород на приемлемых скоростях движения транспорта, и, в-третьих, наличие воздушного зазора, обусловленного неровностями изучаемой поверхности, приводит при этом к значительному искажению результатов определения плотностей пород и грунтов.

С целью выяснения возможностей определения плотностей при наличии воздушного зазора между породой и прибором были произведены специальные расчеты, результаты которых показаны на рис.3е. Из рисунка видно, что для исключения воздушного зазора в пределах от 0 до 10 см можно работать по двухлучевому принципу [2+4] с измерением отношения

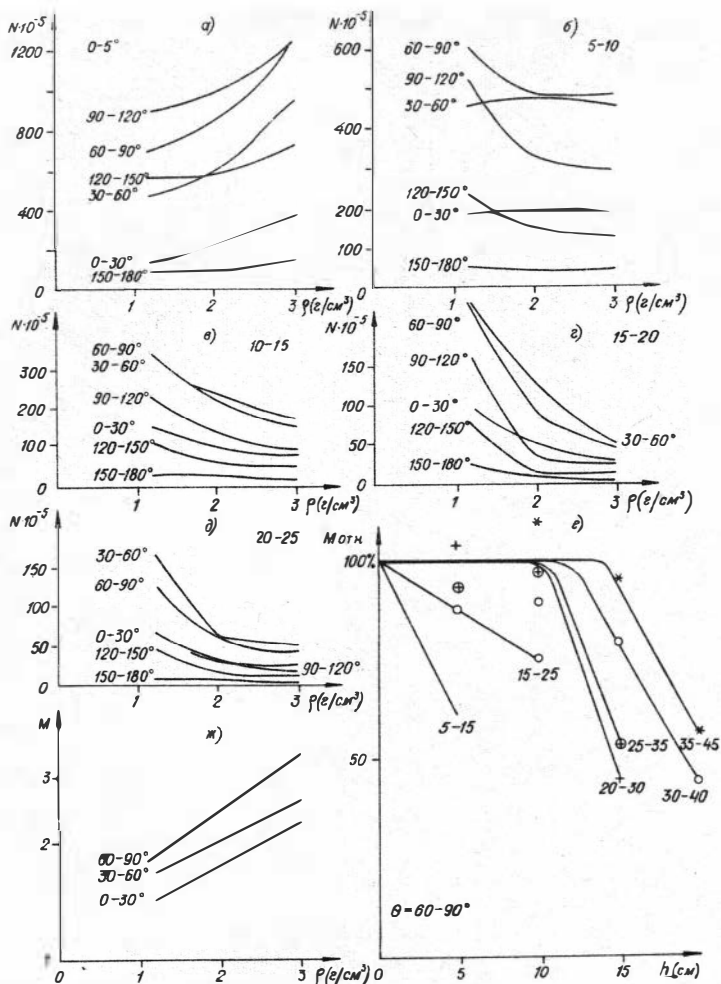


Рис.3 Зависимость регистрируемых скоростей счета от плотности среды для размеров зондов: 0-5 см (а), 5-10 см (б), 10-15 см (в), 15-20 см (г) и 20-25 см (д) при различных углах приема рассеянного излучения, а также величины отношения скоростей счета, измеренных на предыдущем зонде к последующему $M(5-15) = (5-10)/(10-15)$ и т.д. от величины воздушного

$M = N_1/N_2$ на зондах $\ell_1=20-25$ см и $\ell_2=25-30$ см, а также при $\ell_1=25-30$ см и $\ell_2=30-35$ см, а для исключения воздушного зазора в пределах от 0 до 15 см – на зондах $\ell_1=35-40$ см и $\ell_2=40-45$ см. Для зондов $\ell_1=30-35$ см и $\ell_2=35-40$ см величина исключаемого воздушного зазора уже падает до 13 см. Аналогичным образом уменьшение угла приема излучения до $30-60^\circ$ также приводит к уменьшению величины исключаемого воздушного зазора. При измерениях по однозондовой методике при этом воздушный зазор величиной 5 см приводит к погрешности в определении плотностей до 100–150%.

Зависимости отношения скоростей счета от плотности породы для зондов в пределах $\ell_1=25-30$ см и $\ell_2=30-35$ см и углов от 0 до 90° показаны на рис. 3ж. Наибольшая дифференциация кривых при этом наблюдается для углов в пределах $60-90^\circ$.

Из всего вышеизложенного можно сделать следующие основные выводы. С помощью подбора длин зондов и направленных детекторов (применение коллиматоров) можно управлять усредненными траекториями гамма-квантов, попадающих в детекторы. Используя однократно рассеянное излучение (выделяя теми или иными аппаратными путями), можно получить относительно высокую глубинность траекторий (20 см и выше). Однако малая плотность вероятности ($N < 10^{-4} \pm 10^{-5}$) ограничивает эту возможность.

Используя многократно рассеянное излучение, можно также управлять траекториями в средах с плотностью $1,2 \text{ г/см}^3$ – до 15 см, а в средах с плотностью 3 г/см^3 – до 7–10 см.

Наиболее оптимальными зондами, обеспечивающими хорошую точность определения плотности приставными гамма-гамма-плотномерами являются зонды порядка 15–25 см при углах приема излучения от 45 до 75° .

воздушный зазор оказывает значительное влияние на по-
завора (ϵ) для углов приема излучения в диапазоне $60-90^\circ$
и плотности породы $1,2 \text{ г/см}^3$ и от изменения плотности по-
род для пар зондов M (25–35) при разных углах приема из-
лучения (χ).

казания однозондовых плотномеров даже при использовании хорошей коллимации. Применяя двухлучевой гамма-гамма-метод, можно исключать влияние воздушного зазора величиной до 15 см. Таким образом, открываются перспективы для создания мобильных подвесных гамма-гамма-плотномеров для измерений на плоской поверхности пород.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Варварин Г. Б. Исследование по определению плотностей горных пород приставными и зондовыми гамма-гамма-плотномерами. Кандидатская диссертация, г. Новосибирск, ИГиГ СО АН СССР, 1967 г.
2. Варварин Г. Б., Филиппов Е. М. Плотностной гамма-гамма-метод в геофизике. г. Новосибирск, Наука, 1971.
3. Варварин Г. Б., Кузнецов Г. А., Филиппов Е. М. Исследования по исключению влияния ближней зоны на результаты гамма-методы. Геология и геофизика, 1966, № 6.
4. Варварин Г. Б., Кузнецов Г. А., Филиппов Е. М. Двухлучевой скважинный гамма-гамма-плотномер. Геология и геофизика, 1967, № 6.
5. Гулин Ю. А., Понятов Г. И. Результаты математического моделирования гамма-гамма-каротажа для условий нефтяных скважин. Ядерная геофизика (труды ВНИИЯГГ, вып. 7), М. Недра, 1969.
6. Дядькин И. Г., Понятов Г. И. К теории и методике математического моделирования ядерно-геофизических исследований, связанных с распространением гамма-квантов. Изв. АН СССР, сер. "Физика Земли", 1966, № 1.
7. Универсальный гамма-гамма-плотномер (УГПН-1). Каталог Сиб. ОКБ МГ СССР, Новосибирск, 1970.
8. Хисамутдинов А. И. Решение некоторых вопросов теории метода Монте-Карло и двух задач ядерной геофизики. Кандидатская диссертация, г. Новосибирск ВЦ СО АН СССР, 1969.
9. Ядерно-геофизические методы (труды семинара по ядерной геофизике, декабрь 1967 г.), г. Новосибирск, Наука (в печати).

ПРИМЕНЕНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО ГАММА-ГАММА-ПЛОТНОМЕРА
УГП-1 ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТЕЙ ГОРНЫХ ПОРОД

Серийно выпускаемые приставные и зондовые гамма-гамма-плотномеры типа ПП-1 и ГП-1 обладают ограниченным диапазоном измеряемых плотностей ($1,0 \pm 2,5 \text{ г/см}^3$), а также относительно высокой погрешностью в определении плотности ($\pm 0,1 \text{ г/см}^3$) и поэтому не могут применяться для решения геофизических и геологических задач. В связи с этим Сибирским ОКБ МГ СССР совместно с Институтом Геологии и Геофизики СО АН СССР был специально разработан универсальный гамма-гамма-плотномер, предназначенный для применения в геологии, геофизике, а также в смежных областях - инженерной геологии, горном деле, мелиорации, почво- и грунтоведении и т.д.

Разработанный прибор имеет следующие технические данные:

1. Диапазон измеряемых плотностей $1,2-4,5 \text{ г/см}^3$.
2. Погрешность определения плотности не более $\pm 2\%$ относительных.
3. Продолжительность одного измерения 1,5-3 мин.
4. Диапазон рабочих температур от -5°C до $+45^\circ\text{C}$.
5. Прибор работоспособен при относительной влажности до $95 \pm 3\%$ при $+20^\circ\text{C}$.
6. Прибор выдерживает вибрации 50 гц с ускорением до $3g$ и ударные перегрузки до $5g$ при длительности импульса до 10 мсек .
7. Источник радиоактивного излучения - цезий-137 активностью $0,1 \text{ мг экв. радия}$.
8. Комплект питания - 4 батареи $11,5 \text{ ПМЦГ-1,3В}$. Одного комплекта хватает на 50 часов непрерывной работы.
9. Глубина исследуемых скважин - 30 м , диаметр исследуемых скважин от 40 до 60 мм .
10. Размеры образцов: минимальный - 10 мм , максимальный - 150 мм .
11. Габариты и вес с комплектом батарей:
Приставное устройство $250 \times 72 \times 90 \text{ мм}$; $4,1 \text{ кг}$.

Зондовое устройство $\varnothing 32 \times 1040 \text{ мм}$; 3,9 кг.

Пульт прибора $235 \times 185 \times 102 \text{ мм}$; 4,5 кг.

Лебедка с кабелем 30 метров КТШ-0,3 $440 \times 255 \times 200 \text{ мм}$;
10 кг.

Приставка на просвечивание $410 \times 155 \times 150 \text{ мм}$; 12 кг.

В отличие от приборов ПГП-1 и ГГП-1 прибор УГГП-1 обладает следующими особенностями:

а) он является универсальным, так как позволяет изменять плотность горных пород на поверхности, в шпурах и неглубоких скважинах поверхностного и подземного бурения, а также в образцах;

б) активность используемого в нем источника на порядок меньше чем у ПГП-1 и ГГП-1;

в) УГГП-1 обладает более высокой точностью, в определении плотности (не более $\pm 2\%$ от измеряемой плотности);

г) по сравнению с ПГП-1 прибор УГГП-1 обладает более широким диапазоном рабочих температур, а также повышенной электронной и конструктивной надежностью.

Прибор в целом представляет из себя счетный радиометр, собранный по схеме интегрального дискриминатора (рис.1). В гильзе приставного устройства (зонда) располо-

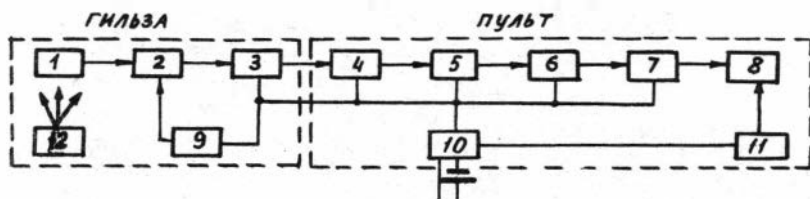
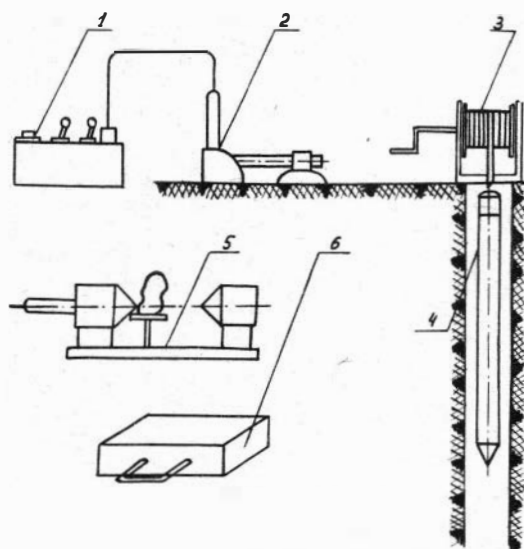


Рис.1 Блок схема УГГП-1: 1-кристалл иодистого натрия, 2-ТЭУ; 3-предварительный усилитель, 4-линейный усилитель, 5-дискриминатор, 6-пересчетная схема, 7-формирователь импульсов запуска МЭС-54, 8-МЭС-54, 9-высоковольтный преобразователь напряжения, 10-стабилизатор напряжения, 11-преобразователь напряжения питания МЭС-54, 12-контрольный препарат для проверки работы прибора.

жены: сцинтилляционный детектор (1,2), преобразователь напряжения для питания ТЭУ (9) и предварительный усили-

тель (3). Последний усиливает импульсы ФЭУ по мощности и по кабелю передает их на пульт. Эти импульсы усиливаются до нужного уровня линейным усилителем (4) и затем с помощью дискриминатора (5) выделяются из уровня тепловых шумов ФЭУ. С выхода дискриминатора импульсы поступают через пересчетную схему (6) на формирователь импульсов (7) для запуска электромеханического счетчика МЭС-54 (8). Питание схемы датчика МЭС-54 осуществляется от специального преобразователя напряжения, вырабатывающего - 80 вольт. Питание прибора осуществляется от четырех батарей типа 11,5-ПМЦГ-1,3 У (12) через стабилизатор на - 6,8 вольта (10).

Конструктивно прибор состоит из следующих основных узлов (рис.2): пульт (1), приставное устройство (2), зондовое устройство (4), лебедка с кабелем КТШ-С, 3 (30 м) (3), приставка для просвечивания образцов (5), кроме того в комплект прибора входит контрольно-эталонировочное устройство для эталонировки и калибровки прибора в стационарных условиях (6).



Приставка для просвечивания образцов (5). Кроме того в комплект прибора входит контрольно-эталонировочное устройство для эталонировки и калибровки прибора в стационарных условиях (6).

Приставное устройство включает в себя приемную гильзу, направляющую, съемный защитный контейнер с источником цезия-137. Приемная гильза, включающая в себя кристалл, ФЭУ и эмиттерный повторитель, выполнена в виде герметичного стального цилиндра.

Рис.2 Комплект прибора УГПП-1: 1-пульт, 2-приставное устройство, 3-лебедка с кабелем, 4-зондовое устройство, 5-приставка для просвечивания образцов, 6-контрольно-эталонировочное устройство.

Зонд состоит из приемной гильзы, удлинителей, защитного контейнера с источником цезия-137, защитного экрана. Пульт заключен в пылебрызгонепроницаемый корпус. Батареи питания расположены в отдельном отсеке корпуса. При работе пульт подвешивается на груди оператора с помощью ремней.

Списываемый прибор прошел широкие стендовые испытания на соответствие вышеуказанным техническим параметрам, после чего была проведена пробная эксплуатация прибора в полевых условиях. Прибор эксплуатировался в течение трех лет (1969-1970 гг.). Причем в 1968 г. полевые испытания проводились с опытно-методическим образцом прибора, а в 1969 и 1970 гг. с опытным образцом, доработанным на основании результатов полевых испытаний 1968 года.

Испытания прибора проводились в Якутии (обнажения реки Лены, р. Маркоки, на кимберлитовой трубке Мир), в Горной Лории (рудник Темир-Тау), а также на ряде строительных объектов СибАкадемстроя г. Новосибирска.

Целью этой работы являлось выяснение метрологических свойств УГП-1 в реальных полевых условиях, а также разработка методики работы с ним на обнажениях, в горных выработках и на мелких скважинах.

В процессе пробной эксплуатации УГП-1 было проделано около 900 определений плотностей горных пород в их естественном залегании. Для контроля точности измерений с помощью денситометра Д-3 проведено 1000 определений плотности образцов, отобранных в точках измерений плотности пород с помощью УГП-1.

В табл. 1 приведены характеристики обнажений по р. Лене, промеренных с помощью УГП-1; в табл. 2 - обобщенные плотности пород, слагающих эти обнажения.

Разрез кимберлитовой трубки "Мир" в основном представлен следующими породами: вмещающие породы выполнены тонким переслаиванием песчаников, алевролитов, аргиллитов. Песчаники коричневатосерые, мелкозернистые, тонкоплитчатые, тонкослоистые; алевролиты: серые, тонкоплитчатые, тонкослоистые. Рудное тело выполнено темнозеленым, черным, средне-кристаллическим кимберлитом.

В табл. 3 приведены в обобщенном виде результаты измерений в кимберлитовой трубке "Мир".

Таблица 1

характеристика обнажения по р.Лене

№№ пп	№ обна- жения	Координаты обнажения	Возраст, размер обнаж.м	Слагающие породы
1.	Ш-1	Правый берег, 7км выше г.Ленска	Толбачев- ская сви- та	Доломиты темносерые, тонко- и среднезернистые с включениями кальцита
2.	Ш-2	Правый берег, напротив по- селка Ня	Ордовик, 30x700	1. Известняки коричнева- тые, темносерые, средне- и тонкоплитчатые, кальци- тизированные; 2. Песчани- ки серые, темносерые, мелко- и среднеплитчатые, известковистые.
3.	Ш-3	Правый берег, 300м выше ус- тья р.Баланнах (приток Лены).	Ордовик 30x150	Известняки темносерые, коричневатосерые, толсто- плитчатые, слабо трещино- ватые, кальцитизирован- ные
4.	Ш-4	Правый берег, 150м у устья р.Баланнах (приток Лены)	Слекмин- ская сви- та	Песчаники белые, желтова- тосерые, мелко- и средне- зернистые, трещиноватые
5.	Ш-5	Правый берег, 50м ниже ус- тья р.Баланнах (прит.Лены).	Слекмин- ская сви- та 70x20	Известняк темносерый, тонкокristаллический, кальцитизированный
6.	Ш-6	Правый берег, 100м ниже ус- тья р.Балан- нах (прит.Ле- ны)	Слекмин- ская свита 30x20	Известняк темносерый, гранитовый, толстоплит- чатый с включениями кальцитов
	Ш-7		20x40	
7.	Ш-8	Правый берег, устье ручья Таас-Юркийэ 3км выше п.Шерба	Слекмин- ская свита 200x30	1). Траппы темносерые, среднезернистые; 2). Известняк серый, светлосерый афанитовый, среднеплитчатый, мелко- зернистый.
8.	Ш-9	Правый берег, против п.Шер- ба, выше устья Счдугуй-Туос- Туур	Тиновс- кая свита 200x40	Доломит, коричневатосе- рый, брекчированный, кабернозный

Таблица 2

Сбообщенные плотности пород, слагающих обнажения Ш-1+Ш-9

№ пп	Название породы	Плотность г/см ³				Коли- чест- во изме- рений
		по Д-3	по УГГП-1			
			мини- маль- ная	макси- маль- ная	средняя	
1.	Песчаник серый, кварцевый, мелкозернистый	2,61	2,46	2,76	2,63	36
2.	Доломит темносерый, тонкозернистый	2,70	2,63	2,75	2,69	22
3.	Известняк темносерый, от тонкозернистого до среднеплитчатого	2,67	2,59	2,75	2,68	46
4.	Траппы	2,96	2,92	2,99	2,96	4

Таблица 3

Сбообщенные плотности пород по трубке "Мир"

№ пп	Название породы	Плотность г/см ³				Коли- чест- во изме- рений
		по Д-3	по УГГП-1			
			мини- маль- ная	макси- маль- ная	средняя	
1.	Песчаники с включениями аргиллита и алевролита	2,40	2,24	2,55	2,42	70
2.	Кимберлит темнозеленый	2,48	2,27	2,62	2,47	196

На железнорудном месторождении Темир-Тау измерения плотности пород велись в шахте, доломитовом карьере, Самарском железнорудном карьере, а также в обнажении правого берега р. Мундыбаш. Рудное тело скарнового типа представлено флогопитомагнетитовыми, пироксеномагнетитовыми рудами. Вмещающие породы представлены пироксеномагнетитовыми скарнами, а также серпентинизированными породами. Самарс-

кий карьер представлен мармитовыми рудами. Доломитовый карьер в основном выполнен сырыми, светлосерыми, бурными, а также белыми мелкозернистыми доломитами. Известняки доломитизированные мелкозернистые, серые.

В табл. 4 приведены в обобщенном виде результаты измерений на руднике Темир-Тау.

Таблица 4

Обобщенные плотности пород и руд месторождения Темир-Тау

№№ пп	Название породы	Плотность, г/см ³				Количество измерений
		по Д-3	По УГГП-1			
			минимальная	максимальная	средняя	
1.	Доломит белый, серый, бурый, мелкозернистый	2,80	2,63	2,83	2,79	33
2.	Известняк доломитизированный	2,70	2,64	2,86	2,73	8
3.	Песчаник темносерый, мелкозернистый	2,61	2,60	2,84	2,62	11
4.	Скарны	2,82	2,59	3,06	2,76	20
5.	Флагопитомагнетитовые, пироксеномагнетитовые руды	4,16	3,38	4,84	4,12	49

Для определения точности измерения плотности горных пород с помощью УГГП-1 была проведена статистическая обработка результатов полевых испытаний. В качестве критерия качества использовались две характеристики: среднеквадратичная статистическая ошибка прибора $\sigma_{\text{приб.ст.}}$ и среднеквадратичная ошибка определения плотности горных пород с помощью прибора УГГП-1 $\sigma_{\text{приб.ст.}}$ по определению

$$\sigma_{\text{приб.ст.}} = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta \rho_i)^2 / (n-1)}, \quad (1)$$

где $\Delta \rho_i = \rho_{\text{приб.ст.}} - \rho_i$

Здесь n - количество измерений, взятых на данной точке, $\rho_{\text{приб.ср}}$ плотность в данной точке, определенная по градуировочному графику прибора по среднему значению счета $N_{\text{ср}}$; ρ_i - плотность в данной точке, определенная по градуировочному графику для i -ого измерения.

$$\sigma_{\text{нр}} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta \rho_i \text{нр})^2}{2m}}, \quad (2)$$

где $\Delta \rho_i \text{нр} = \rho_{\text{приб.ср}} - \rho_{\text{контр.ср}}$; m - общее количество исследованных точек, $\rho_{\text{контр.ср}}$ - средняя плотность в данной точке, полученная на основании измерений на денситометре Д-Э образцов, отобранных в этой точке.

Результаты статистической обработки материалов испытательного прибора УГП-1 на обнажениях р.Львы, кимберлитовой труски "Мир" и железорудном месторождении Темир-Тау показали, что среднеквадратичная ошибка прибора при измерении плотности составила $\sigma_{\text{приб.}} = 0,043 \text{ г/см}^3$ и не превышает заданной $\pm 2\%$, а среднеквадратичная статистическая погрешность измерения, определенная для всех обнажений (кроме рудника Темир-Тау) не превышает допустимой статистической погрешности

$$\Delta N(\%) = 100\% \cdot N^{-5} \quad (3)$$

и составляет $\sigma_{\text{приб.ст.}} = \pm 0,0173 \text{ г/см}^3$, что при средней плотности по всем обнажениям $\rho = 2,6 \text{ г/см}^3$ всего $0,66\%$.

Доверительная вероятность (А) того, что $\rho_{\text{приб.ср}}$ отличается от "истинного" значения ($\rho_{\text{контр.ср.}}$) не более чем на $\Delta X = \pm 0,05 \text{ г/см}^3$ составила по всем обнажениям $A = 0,96$.

Кроме выше рассмотренных измерений были проведены специальные измерения на стабильность показаний прибора УГП-1 во времени. Измерения велись на котлаване жилого дома в районе Академгородка Сибирского Отделения АН СССР в течение порядка 10 дней, которые показали, что стабильность показаний прибора лежит в пределах статистического разброса. Кроме полевых испытаний прибора было также проведено лабораторные испытания приставки на просвечивание. С помощью этой приставки можно измерять ослабление узкого пучка гамма-квантов в образцах горной породы. Поскольку при этом выполняются условия "хорошей геометрии", интенсивность излучения (N) прошедшего через образец определяется по формуле:

$$N = N_0 e^{-\mu \rho x}, \quad (4)$$

где μ - массовый коэффициент ослабления гамма-излучения цезия-137 в образце, ρ - плотность образца, x - толщина в месте просвечивания, N_0 - интенсивность в отсутствии образца.

Поскольку при $E_\gamma = 0,662$ Мэв $\mu = \text{const}$ для всех типов горных пород, то из выражения (4)

$$\rho x = \mu^{-1} \cdot \ln N_0/N = \mu^{-1} \cdot (\ln N_0 - \ln N) = C = \mu^{-1} \cdot \ln N \quad (5)$$

Проградуировав прибор в координатах $(N, \rho x)$ и зная толщину x , нетрудно определить плотность образца в месте просвечивания. Из выражения (5) нетрудно определить необходимую точность определения толщины образца в месте просвечивания, если мы хотим добиться заданной точности определения ρ .

В самом деле из выражения (4) следует $\rho x = \mu^{-1} \ln N_0/N$

$$\text{Отсюда: } \rho = (\mu x)^{-1} \cdot \ln N_0/N \quad (6)$$

Поскольку $D\rho = \sum (\partial\rho/\partial x_i) \cdot Dx_i$, где x_i - i -й аргумент, то

$$\partial\rho = [-(\mu x^2)^{-1} \cdot \ln^2 N_0/N]^2 Dx + [(\mu x)^{-1} \cdot N_0^{-1}]^2 N_0 + [(\mu x)^{-1} \cdot N^{-1}]^2 N$$

$$\text{Отсюда } D\rho = \mu^{-2} x^{-2} \ln^2 N_0/N [\partial x/x^2 + (N_0^{-1} + N^{-1}) \cdot 1/\ln^2 N_0/N]$$

Считая $\partial\rho/\rho^2 = \delta^2\rho$, $Dx/x^2 = \delta^2x$, и учитывая (4), получаем

$$\delta^2\rho = \delta^2x + (\delta^2N_0 + \delta^2N)(\ln^2 N_0/N)^{-1} \quad (7)$$

Поскольку дробь правой части (7) соответствующим выбором времени экспозиции может быть сделана сколь угодно малой, то практически можно считать $\delta\rho = \delta x$ (8)

Таким образом, если мы хотим иметь погрешность в определении плотности $\pm 2\%$, то и погрешность в определении толщины образца должна не превышать $\pm 2\%$. Это для минимальной толщины образца (10мм) составляет $\pm 0,2$ мм. Поэтому толщина образцов в приставке для просвечивания определяется с помощью встроенного в прибор штангенциркуля, обеспечивая этого точность $\pm 0,1$ мм.

"Хорошая геометрия" обеспечивается за счет высокой коллимации источника и детектора с помощью свинцовых экранов. В этой приставке в качестве детектора используется приемная гильза приставного устройства (рис. 2), которая вывинчивается из приставного устройства и ввинчивается в приемный конус, а в качестве источника-контейнер пристав -

ного устройства вместе с источником, вставленный в конус излучателя. Образец кладется на подставку.

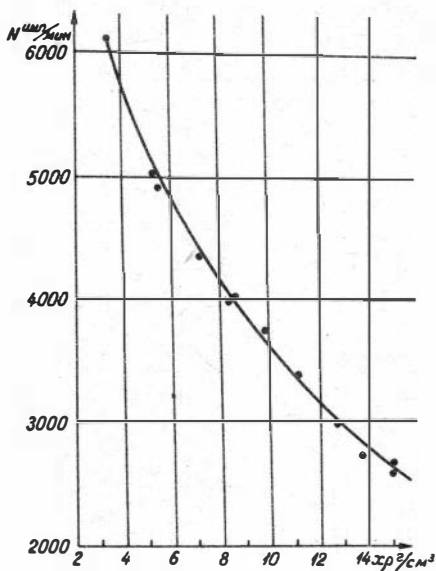


Рис.3 Эталонировочный график приставки на просвечивание.

Выбранная конструкция приставки позволяет использовать ее как в лабораторных, так и в полевых условиях для решения геолого-геофизических задач. Ниже приводятся результаты измерений горных пород в образцах по методу гамма-просвечивания, проведенных с помощью УГГП-1. Для измерений были использованы образцы гранитов, гранодиоритов, диоритов и приконтактовых сланцев из Актауского интрузива Кжно-Нуратинских гор Западного Узбекистана, представленные А.П.Пономаревой и Э.П.Изохом. Проведено измерение плотности 196 образцов размером от 6см³ до 200см³.

Бвиду незначительной среднеквадратичной статистической погрешности (1,5%) измерения в исследуемой точке производились дважды. Исследуемые образцы в основном промерялись в одном направлении, так как граниты, гранодиориты, диориты равномернозернисты и однородны по своей структуре и текстуре. Бвиду того, что определение плотности проводилось на образцах гранитного состава, которые являются сами радиоактивными и распределение радиоактивных элементов в них различно, градуировочные кривые построены для различных групп отдельно. Для построения градуировочных кривых были отобраны образцы различных групп пород и проведены измерения на денситометре Д-3. Точность определения плотности на денситометре Д-3 в диапазоне плотностей $2\pm 3\text{г/см}^3$ составляет $\pm 0,02\text{г/см}^3$. Зависимость интенсивности регистриру-

емой интенсивности от плотности для различных групп пород и проведены измерения на денситометре Д-3. Точность определения плотности на денситометре Д-3 в диапазоне плотностей $2\pm 3\text{г/см}^3$ составляет $\pm 0,02\text{г/см}^3$. Зависимость интенсивности регистриру-

емого излучения (M) от произведения ρx для гранодиоритов показана на рис.3.

Результаты измерения образцов приведены в табл.6.

Таблица 6

Обобщенные данные о плотности образцов различных пород, определенных с помощью УГГП-1

№№ пп	Название породы	плотность г/см ³				Количес- тво обра- зцов
		по Д-3	по УГГП-1			
			мини- маль- ная	макси- маль- ная	сред- няя	
1.	Граниты, адамел- литы	2,60	2,58	2,73	2,62	57
2.	Гранодиориты	2,68	2,62	2,72	2,67	27
3.	Габбродиориты, диориты и квар- цевые диориты	2,75	2,66	2,89	2,77	52
4.	Приконтактные сланцы	-	2,68	2,84	2,74	8

Как видно из этой таблицы группы пород хорошо различа-
ются по плотностям, так адамеллиты и граниты имеют среднюю
плотность 2,62г/см³; гранодиориты - 2,67г/см³; габбродиориты,
диориты и кварцевые диориты - 2,77г/см³. Адамеллиты и гра-
ниты-близкие по составу породы и поэтому имеют сходные, но
все же несколько различающиеся значения плотностей; так
средняя плотность гранитов $2,59 \pm 2,61$ г/см³, а адамеллитов -
 $2,60 \pm 2,63$ г/см³. Кроме того были отобраны образцы из
контактов, измерения которых проводились в трех точках. Так
например: образец № 1054-б из контакта гранита с диоритом,
гранит (в 2-х см от контакта) $\rho = 2,56$ г/см³, контакт $\rho =$
 $= 2,60$ г/см³, диорит (в 1,5см от контакта) $\rho = 2,67$ г/см³; об-
разец № 1079-в из контакта гранита с кварцевым диоритом,
гранит (1,2см от контакта) $\rho = 2,63$ г/см³, контакт $\rho = 2,72$
г/см³, кварцевый диорит $\rho = 2,76$ г/см³.

Таким образом, можно сделать вывод, что при измерениях
на приставке для просвечивания прибором УГГП-1 образцов
горных пород возможно быстро и достаточно точно опре-
делять плотность образца в любой интересующей нас точке.
Это особенно важно при определении плотности отдельных

включений, вкрапленностей, определение плотности по различным направлениям, что совершенно невозможно при определении плотности путем гидростатического взвешивания. Все это открывает новые возможности для решения различных геологических задач.

Испытания зондового датчика были проведены на грунтах в зоне строительных объектов СибНИИЭПа, при этом измерения велись по скважинам, пробуренным в котлованах под фундаменты зданий. Затем по этим скважинам были отбиты шурфы и методом режущего кольца отобраны пробы грунта, промеренного с помощью УГП-1. Расхождения между показаниями УГП-1 и контрольными замерами не превышали $\pm 0,02$ г/см³.

Таким образом, из всего вышеизложенного можно сделать следующие выводы о возможностях прибора УГП-1 для решения геолого-геофизических задач.

1. Прибор по своим техническим возможностям является универсальным и найдет широкое применение при исследовании физических свойств горных пород.

2. Прибор позволяет с высокой точностью ($\pm 2\%$) производить измерение плотности на обнажениях, шпурах и мелких скважинах, а также образцов горных пород.

3. С помощью прибора можно производить разделение пластов по литологии, вести уточнение границ рудного тела и данных гравиметрической съемки. В строительстве и инженерной геологии прибор найдет широкое применение при исследовании фундаментов, насыпных сооружений, уплотненных грунтов, а также при контроле качества строительной продукции.

4. Использование прибора УГП-1 значительно повышает производительность труда при производстве вышеуказанных работ.

Г. Б. ВАРВАРИН, Г. А. КУЗНЕЦОВ, Е. М. ФИЛИППОВ

ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ГЛУБИНЫХ ПРИБОРОВ ИЗ СКВАЖИНЫ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙ

Несмотря на все принимаемые меры предосторожности ни один из видов каротажа не гарантирован от обрыва глубинного прибора в скважине. При этом кроме потери ценной ап-

паратуры теряется много времени на ее извлечение, а в некоторых случаях есть опасность вывода из строя скважины. Такие аварии ликвидируются чаще всего с помощью набрасывания „паука“ или навинчивания на глубинный прибор колокола, а иногда и простого разбуривания глубинного прибора буровым инструментом [1]. Однако прибор, извлеченный при этом из скважины, часто бывает непригодным для последующих исследований. В связи с этим работники каротажных партий бывают вынуждены самостоятельно изготавливать различные приспособления для извлечения глубинных приборов из скважины. Авторами для этих целей созданы специальные ловильные приспособления, опускаемые в скважину на кабеле.

Застрававшие в скважине приборы можно классифицировать на оборвавшиеся с длинным кабелем, с коротким кабелем и без кабеля. Этот фактор необходимо учитывать и при разработке ловильных инструментов.

Для извлечения приборов с длинным кабелем авторами разработан комплект крюкообразного ловильного инструмента, показанный на рис. 1а. Устройство изготовлено из

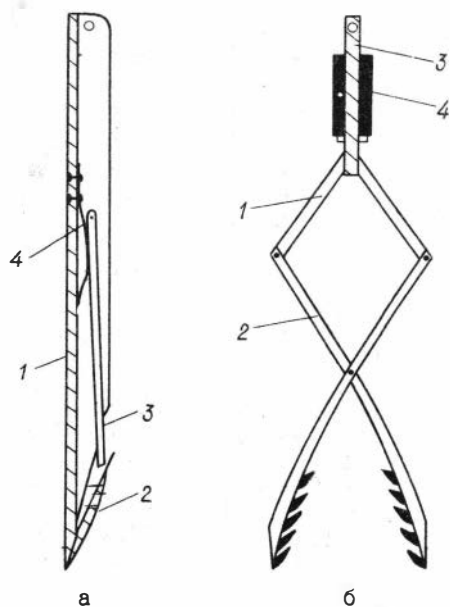


Рис. 1 а) Крюкообразный ловильный инструмент: 1-швеллер; 2-крючок; 3-защелка; 4-пружина.

б) Ножницеобразный ловильный инструмент: 1-малый рычаг; 2-большой рычаг; 3-стержень; 4-утяжельитель.

швеллера (1), к заостренному концу которого приваривается стальная полоска (2). Устройство при подъеме может захватить крючком опущенный кабель. При захвате

крючком кабеля последний отжимает защелку (3), попадает в щель крючка и захватывается.

Для вылавливания глубинного прибора, оборвавшегося с кабелем небольшой длины, использовалось ножницеобразное ловильное устройство, показанное на рис. 16. Это устройство изготавливается из четырех отрезков стального швеллера, скрепленных в виде ножниц. Верхние концы крепятся на несущем стержне (3), а нижние концы, несущие зубья, остаются свободными. При спуске вся система находится в сложенном состоянии. В момент встречи препятствия (кабеля) утяжелитель (4) давит на рычаги и расширяет захват. При подъеме устройства рычаги сжимаются и захватывают кабель зубьями. Это устройство также выгодно использовать для захвата плотно осевшего в скважине кабеля, когда устройство, показанное на рис. 16 не может проникнуть между витками осевшего кабеля.

Аварии, связанные с прихватом глубинного прибора в скважине, приводят, чаще всего, к обрыву кабеля у свечного моста. Для извлечения таких приборов может применяться трубообразный ловильный инструмент (рис. 2а). В нижней части этого устройства имеется четыре подвижных зуба. В обычном состоянии они находятся в горизонтальном положении. При надевании этого устройства на цилиндрический корпус глубинного прибора зубья поднимаются вверх и заходят в пазы. Труба свободно одевается на глубинный прибор и может захватить его при подъеме за нижнюю часть корпуса, либо за кольцеобразные выступы, имеющиеся на свечном мосте. При случае, это трубообразное устройство может быть использовано для сбивания камней, прихвативших прибор в скважине. Это устройство можно применять только в хорошо промытых скважинах. В скважинах с вязким глинистым буровым раствором применение этого устройства малоэффективно. Глина заполняет окна в трубе и зубья в ней могут залипнуть и не вернуться в свое исходное горизонтальное положение. В этом случае удобнее пользоваться самозахватывающим ловильным инструментом, показанным на рис. 2б. Как видно на рисунке, в нижней части несущего стержня (1) шарнирно крепятся зажимные стержни (2), другой конец которых таким же образом крепится на захватах

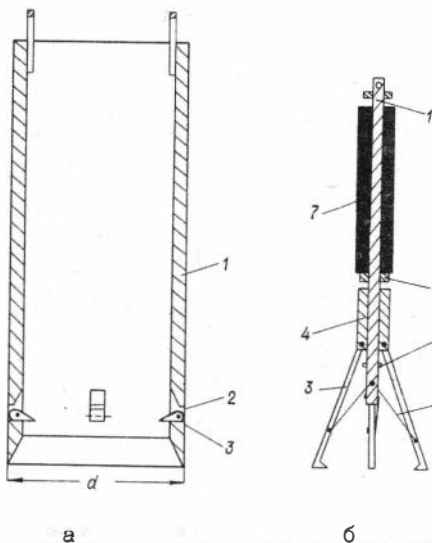


Рис. 2 а) Трубообразный ловильный инструмент: 1-труба (щучья часть); 2-окно; 3-зуб.

б) Самозахватывающий ловильный инструмент: 1-несущий стержень; 2-зажимные стержни; 3-захват; 4-подвижная втулка; 5-верхний ограничитель; 7-утяжелитель.

(за). Нижний конец захватов затачивается в виде зубьев, а верхний на - подвижной втулке (4). Угол расхождения захвата регулируется верхним

ограничителем хода (5) и нижним ограничителем (6). На несущий стержень насаживается утяжелитель (7). При спуске ловильного инструмента в скважину захваты под тяжестью втулки сжаты. Как только нижний конец захватов упрется в головку глубинного прибора, захваты под действием тяжести утяжелителя разжимаются и охватывают головку глубинного прибора. При подъеме несущий стержень идет вверх, он подтягивает зажимные стержни, которые заставляют захват сжиматься и цеплять зубьями за выступы на свечном мосте глубинного прибора. Зацепившийся прибор необходимо без остановки плавно поднимать вверх. Малейшая остановка может ослабить силу захвата и глубинный прибор может выскользнуть. Сила захвата также обуславливается весом глубинного прибора, чем тяжелее прибор тем она сильнее.

Бвиду того, что на зубья захватов падает вся нагрузка, то их необходимо делать из очень прочной стали.

Из всего вышеизложенного видно, что созданные авторами приспособления являются весьма простыми и легко могут быть изготовлены в любой мехмастерской. Безусловно, описанные здесь приспособления не исключают всего многообразия устройств, которые могут быть использованы при ликви-

дании аварий с глубинными приборами на скважинах.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Мараззин А.В. и Ермолаев В.М. Бурение структурно-поисковых скважин. Л. Гостоптехиздат, 1955.

Б. С. ВАХТИН, В. С. ИВАНОВ, А. В. НОВОСЕЛОВ, Е. И. ТЕТЕРИН,

Е. М. ФИЛИППОВ

ПРИМЕНЕНИЕ РАДИАЦИОННО-РЕЗОНАНСНЫХ ДЕТЕКТОРОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БОРА В СКВАЖИНАХ

Известно, что применение метода нейтрон-нейтронного каротажа на тепловых и надтепловых нейтронах (ННТ-т и ННТ-н), а также метода нейтронного гамма-каротажа (НГК) в комплексе с другими позволяет выделять бороносные пласты по разрезу скважин лишь качественно [1,4]. При содержаниях бора свыше 10-15% В₂O₃ дифференциация рудных участков по содержанию бора не наблюдается.

Выделение бороносных участков, а также дифференциация рудной зоны по содержаниям бора является важной задачей для предприятий горно-добывающей промышленности и геолого-разведочных организаций. Для повышения точности определения бора авторы применили метод нейтрон-нейтронного каротажа на резонансных нейтронах (ННТ-р) [2], подойдя к нему с несколько иных позиций.

Известно, что при захвате тепловых и резонансных нейтронов ядрами таких элементов, как серебро, родий, индий и другие мгновенно испускается гамма-излучение высокой энергии, порядка 6-7 Мэв [3]. Это излучение может быть использовано для определения бора, особенно, его высоких концентраций, так как величина сечения (σ) поглощения нейтронов ядрами бора в области резонансов этих элементов гораздо ниже, чем в области тепловых нейтронов. Так, если для тепловых нейтронов $\sigma = 755$ барн, то в области резонансов индия и родия $\sigma \approx 100$ барн, а серебра и золота - 54 барна. Регистрацию нейтронов в области резонансов можно осуществить посредством радиационно-резонансных детекторов, представляющих собой сочетание счетчика

гамма-квантов с фольгой определенного элемента. В качестве фольг могут быть использованы элементы с благоприятными параметрами, такие как серебро, золото, индий, родий (см. табл.).

Таблица 1

Параметры некоторых элементов, которые могут быть использованы в радиационно-резонансных детекторах.

Стабильный изотоп	Распространенность, %	Сечение поглощения нейтронов в барнах		Энергия резонанса, эв	Период полураспада ядра продукта, Т	Энергия связи нейтрона в ядре, мэв
		тепловых	резонансных			
Rh-103	100	150+7	4850	1,26	44сек	6,8;6,7
Ag-107	51,35	30+2	640	16,6	2,4мин	7,0;7,27
Ag-109	48,65	84+7	12500	5,23	24сек	6,6
In-113	4,23	58+13			72сек	7,1
In-115	95,77	197+21	27000	1,45	13сек 54мин	6,6;6,47
Au-197	100	98+0.3	30600	4,94	2,7дн	6,49;6,35

Каротаж на бор с использованием серебряной фольги в качестве детектора резонансных нейтронов был проведен Н. И. Сотниченко, который в своей работе основывался на результатах работ лаборатории ядерной геофизики ИГиГ СО АН СССР, занимающейся разработкой НМ-р с 1965г. В своих расчетах и экспериментах Н. И. Сотниченко исходил из предположения, что с помощью фольг и детектора гамма-квантов регистрируется наведенная активность серебра-110; фактически же, при этом на детектор оказывает действие гамма-излучение, обусловленное радиационным захватом нейтронов в фольге. Влияние наведенной активности является при этом весьма ничтожным.

Прибор, который применялся авторами для проведения исследований, сделан на базе стандартной аппаратуры ПРКС-2. В качестве детектора гамма-излучения в нем использовался кристалл иодистого натрия, активированного таллием, диаметром 20 и высотой 40мм, обернутого фольгой из определенного металла. Для уменьшения нежелательного гамма-излучения скважины (естественного и возникающего при захвате тепловых нейтронов ядрами элементов, слагающих породы),

гильза прибора снаружи экранировалась свинцом толщиной 5мм. Для того, чтобы отфильтровать тепловые нейтроны, на этот экран устанавливается фильтр из кадмия толщиной 0,5 мм. Гамма-излучение, возникающее при захвате тепловых нейтронов кадмием, ослаблялось свинцом. Источник нейтронов помещался в зондовом устройстве, которое с помощью резьбы крепилось к гильзе, и экранировалось от детектора свинцом (см. рис. 1).

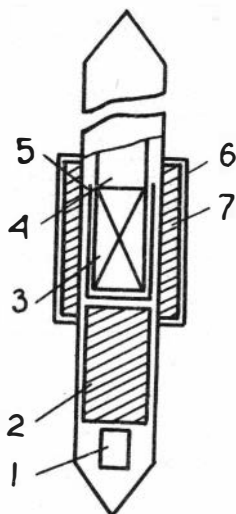


Рис. 1 Схематическое изображение датчика каротажного прибора: 1-источник нейтронов; 2-свинец; 3-кристалл $NaI(Tl)$; 4- ^{252}Cf ; 5-фольга; 6-кадмий; 7-свинец

Опытные работы по выбору фольг, детекторов, размеров зонда, а также геометрических и временных параметров проводились на скважине диаметром 210мм и глубиной 18м. Согласно данным шламowego опробования содержание бора в интервале глубин от нуля до 5м составляет 4,05% B_2O_3 , а от 5 до 18м - 16-17% B_2O_3 . Были опробованы фольги из серебра, золота, индия и родия; детекторы гамма-излучения - кристаллы иодистого натрия, пластмассовые сцинтилляторы; размеры зонда менялись в преде-

лах от 18 до 33см. Применяемый плутоний-бериллиевый источник имел выход $1,1 \cdot 10^6$ нейтр/сек.

Было установлено, что наилучшая дифференциация бороносных участков достигается для зонда длиной не более 23см при использовании в качестве детектора гамма-излучения кристалла иодистого натрия. Апробированные фольги приблизительно равноценны, причем при использовании двух различных фольг эффект суммируется, т. е. дифференциация получается более четкой. К сожалению, из четырех имеющихся и апробированных фольг можно сделать сочетание только из двух фольг, имеющих резонансы в различных областях энергий, например, индия или родия в сочетании с серебром или золотом. Это объясняется тем, что резонансы индия (энергия резонанса $E_p =$

=1,45эв) и родия ($E_p=1,26эв$) перекрываются. То же самое наблюдается у серебра ($E_p=5,23эв$) и золота ($E_p=4,94эв$). Введение в радиационно-резонансный детектор фольг, имеющих резонансы в области энергий между 1-5эв, а также слева и справа от этой области, позволит увеличить возможности этого метода.

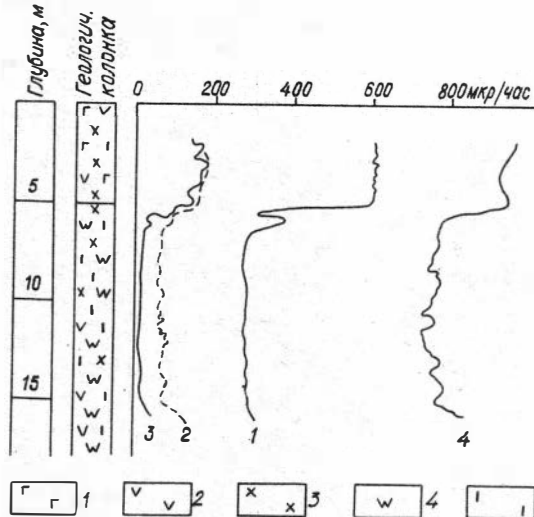


Рис. 2 Результаты каротажа скважины: 1-по НК-р с двойной фольгой при уровне дискриминации 1; 2-то же -3; 3-по НК-т с ЛДНМ; 4-по НК с $Na(Tl)$. Условные обозначения: 1-кварцевый порфир, 2-кварц; 3-кальцит, 4-волластонит, 5-датолит.

На рис. 2 приводятся результаты измерений по НК-р, НК-т и по НК. Как видно из этого рисунка, наилучшая дифференциация наблюдается при использовании двух фольг и при уровне дискриминации прибора "1" (кривая 1). При уровне дискриминации "3" контакт на глубине 5м отбивается менее четко, но зато наблюдается дифференциация по рудной зоне. Измерения по НК-т с кристаллом ЛДНМ (кривая 3) дают возможность четко отбить контакт между породами с различным содержанием бора, но, как видно из этого рисунка, дальнейшее увеличение бора уже не приводит к уменьшению скорости счета, так как кривая уже вышла на насыщение. И, наконец, метод НК (кривая 4) хотя и выделяет рудную зону, но имеет меньшую точность по сравнению с НК-р.

На рис. 3 приводятся результаты измерений на разведочной скважине для различных зондов - 18; 23 и 35 см. детектор представлял собой сочетание индиевой и серебряной фольг

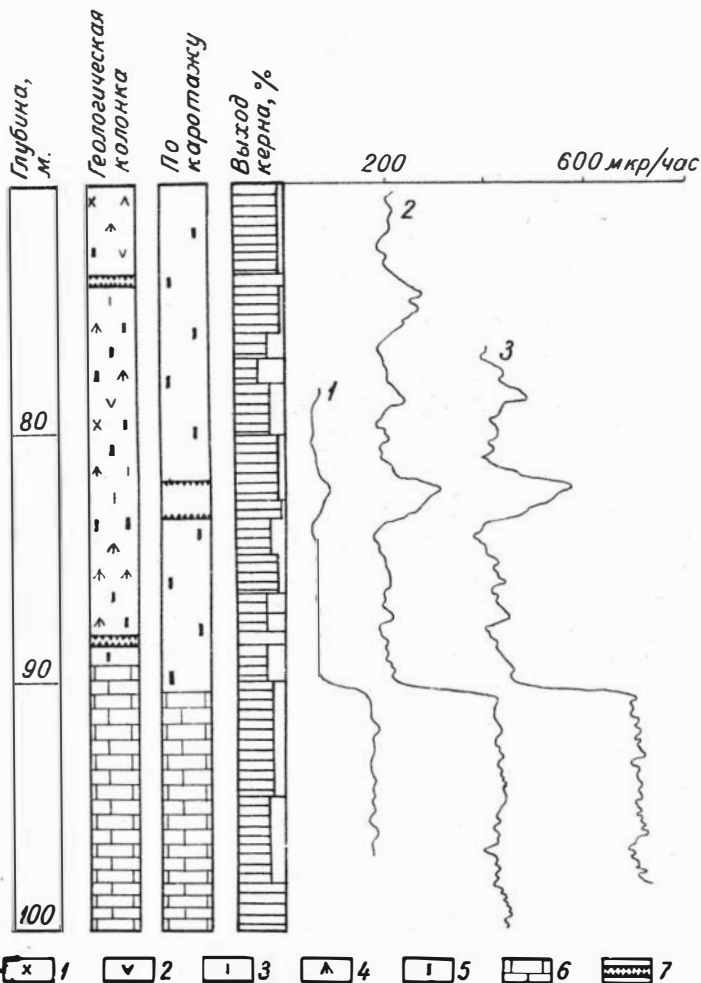


Рис.3 Результаты НКР-р: 1-зонд 18см; 2-то же 23см; 3-то же -35см, Условные обозначения: 1-кальцит; 2-кварц; 3-гранат; 4-геденбергит; 5-датолит; 6-известняк; 7-продушины.

и кристалла иодистого натрия. Как видно из рисунка, наиболее целесообразно применять зонды размером не более 23см,

так как при этом хорошо выделяется контакт между борсодержащими породами и известняками.

На рис.4 приведены результаты измерений по ННК-р и НКГ по другой разведочной скважине.Здесь применялись фольги из родия и серебра в сочетании с кристаллом иодистого натрия.Размер зонда составлял 23см.

При сопоставлении кривых ННК-р с геологической колонкой и с кривой НКГ видно, что бороносные породы четко выделяются среди вмещающих. На всех трех кривых ННК-р выявляются зоны датолитовых пород, выделенных по керну. Наиболее четкое разделение наблюдается для уровня дискриминации "1", однако, этот уровень целесообразно применять при невысоких концентрациях бора; при больших содержаниях следует сильнее "зарезать" гамма-фон скважины и устанавливать уровень дискриминации "3" или "5". Из рис.3 и 4 видно, что наибольшая дифференциация получается при сочетании серебряной и родиевой фольг.

Таким образом, гамма-излучение, возникающее при резонансном захвате нейтронов, может быть использовано для выделения бороносных пластов и пропластков. Судя по экспериментальным данным, наведенная активность фольг составляет весьма незначительную долю в общем потоке гамма-излучения.

ННК-р в комплексе с другими методами (НКГ, ГК) может также использоваться для выделения продушин (пустот) по разрезу скважины. На рис.4 продушина, выделенная при кернавом опробовании, отмечается минимумом и по НКГ, и по ННК-р. На второй разведочной скважине (рис.3) небольшие продушины ННК-р не отмечаются, однако, по данным ГК, которые здесь не приводятся, Б. Н.Балашев выделяет продушину в интервале 82,0-83,5м.

Резервом для повышения точности может служить увеличение потоков нейтронов, размеров детекторов, подбор элементов с энергиями резонансов в интервале от 1 до 5эв, а также уменьшение мешающего гамма-излучения скважины, как естественного, так и возникающего в породах под действием нейтронов.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность В. Н.Балашеву за оказанное содействие в проведении работ.

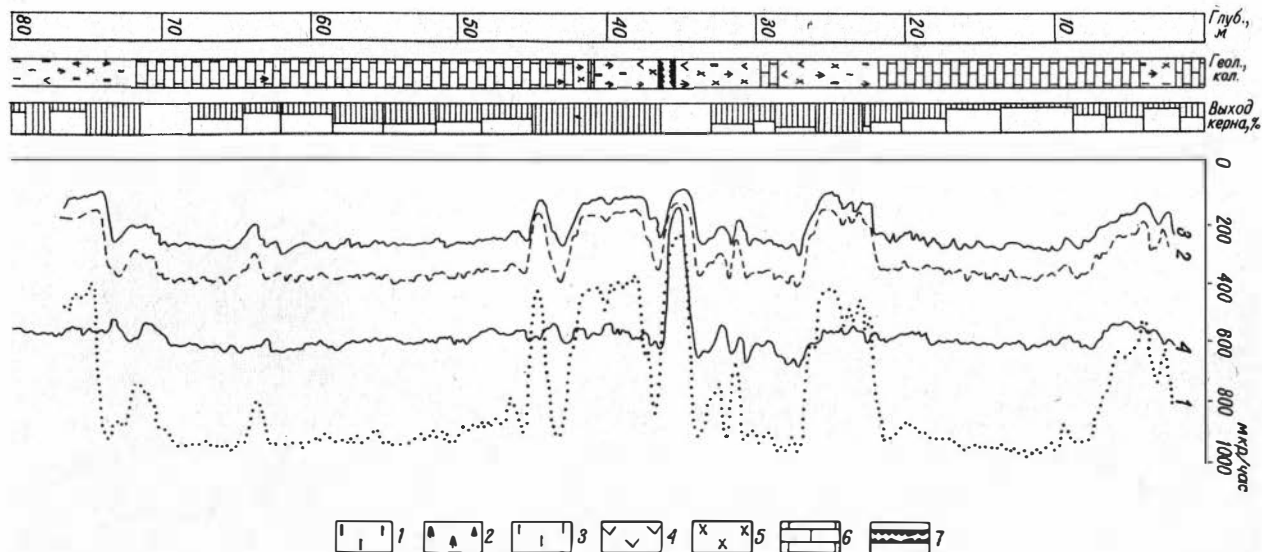


Рис.4 Результаты измерений на разведочной скважине.Кривая 1-по НК-р с двумя фольгами, при уровне дискриминации "1";2-то же при уровне дискриминации "3",3-то же "5";4-по НК. Условные обозначения:1-датолит;2-геденбергит;3-гранат,4-кварц;5-кальцит;6-известняк; 7-продушины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов В. И., Барсуков В. Л., Иванова В. Ф., Христианов В. К. Нейтронные методы поисков и анализа борного сырья. Из-во "Наука", М., 1964.
2. Вахтин Б. С., Филиппов Е. М. Возможные области применения нейтронно-резонансного метода в геофизике. Геология и геофизика. № 2, 1970.
3. Грошев А. В., Демидов А. М., Луценко В. Н., Пелехов В. И. Атлас спектров гамма-лучей резонансного захвата тепловых нейтронов. Атомиздат. М., 1958.
4. Лебедев В. Е., Резванов Р. А., Фельдман И. И., Перевалов А. В. Некоторые результаты исследования пространственно-энергетического и временного распределения нейтронов в борсодержащих средах. Ядерная геофизика (Тр. ВНИИЯГГ) вып. 3, Изд-во "Недра", М., 1968.

Б. С. ВАХТИН, Е. М. ФИЛИППОВ

НЕЙТРОННО-РЕЗОНАНСНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В настоящее время количественный анализ проб минералов, руд, соединений и продуктов переработки борного сырья производится главным образом химическими методами. Время анализа занимает не менее 1 часа [5]. Анализ аморфного бора (содержание свыше 91%B) на общий бор занимает несколько часов. Кроме химических методов для определения бора широко применяется нейтрон-нейтронный метод на тепловых нейтронах (ННМ-т) [2, 7]. Однако, возможности применения этого метода ограничены, так как при концентрациях свыше 10 - 15%B₂O₃ (3-5%B) происходит практически полное поглощение тепловых нейтронов ядрами бора и вследствие этого - увеличение погрешностей определения бора. Другие ядерные методы, такие как нейтронный-альфа или альфа-нейтронный [6], связаны с рядом трудностей при их реализации.

Нейтронно-резонансный метод определения ряда элементов, разработанный в Институте геологии и геофизики СО АН СССР [3], имеет перед другими методами ряд преимуществ: селективность, экспрессность, достаточную точность. Применяя в

качестве детекторов нейтронов фольги из родия или серебра, можно "снизить" сечение бора к поглощению нейтронов с 755барн (сечение поглощения тепловых нейтронов) до 100 или 54барн в области резонансов родия и серебра соответственно (см.рис.1). Это "снижение" сечения бора с одно-

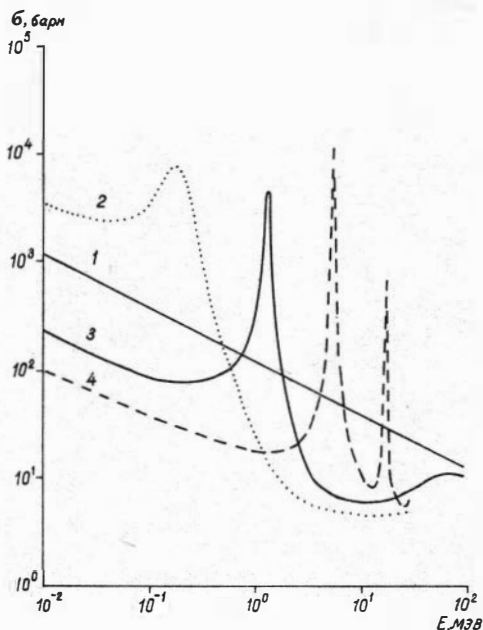


Рис. 1 Эффективные нейтронные сечения бора (1), кадмия (2), родия (3) и серебра (4).

временным увеличением эффективности регистрации нейтронов расширяет диапазон определения бора до 100%. Для того, чтобы исключить влияние тепловых нейтронов на активацию фольг-детекторов, применяется фильтр из кадмия. О количественном содержании элемента в пробе судят по степени изменения наведенной активности этого детектора, помещаемого или внутри пробы, или на пути выхода нейтронов из нее.

Авторами разработано две экспериментальных нейтронно-резонансных установки с ручным управлением. Схематическое изображение первой (НРУ) приводится на рис. 2. НРУ состоит из бака-замедлителя (1) диаметром и высотой по 80 см, заполненного водой. В его центральной части помещаются источники нейтронов (2). В осевой части замедлителя проделан вертикальный цилиндрический канал, в который помещается кассета (3) с пробой, имеющая вид цилиндра с двойными стенками, и фольга - детектор резонансных нейтронов (4), называемая

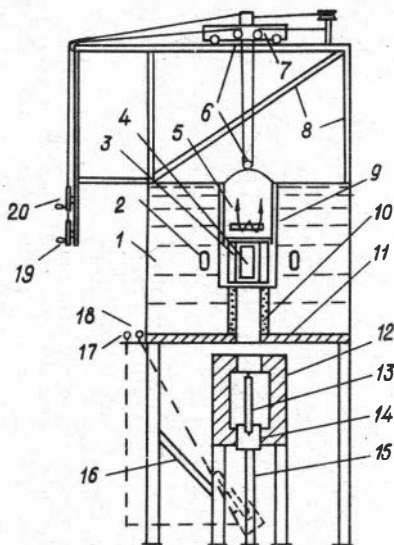


Рис.2 Схематическое изображение НРУ: 1-бак-замедлитель, 2-источник нейтронов, 3-кассета с пробой, 4-детектор нейтронов, 5-электромагнит, 6-блок, 7-тележка, 8-арматура, 9-кадмий, 10-индиево-серебряная защита, 11-свинец и бура, 12-домик, 13-бета-счетчик, 14-втулка, 15-направляющая, 16-жолоб, 17-рычаг, для вертикального перемещения втулки, 18-то же для поворота втулки, 19-рукоятка для горизонтального перемещения электромагнита, 20-рукоятка для вертикального перемещения электромагнита.

далее просто детектором. Кассета с помощью буртика крепится внутри кожуха электромагнита (5), имеющего два штифта, выступающих внутрь кожуха. Детектор также имеет вид полого цилиндра и помещается во внутреннюю полость кассеты. На верхней части детектора укреплено стальное кольцо из магнитомягкого материала, за которое он удерживается в кассете с помощью электромагнита. Электромагнит вместе с кассетой и детектором может перемещаться по вертикали и горизонтали с помощью блока (6) и тележки (7) по направляющей, укрепленной на баке-замедлителе с помощью арматуры (8) из дюралевого уголка. Нижняя часть вертикального канала имеет меньший диаметр и служит для прохода детектора в регистрирующий домик. Для того, чтобы детектор во время движения не активировался от нейтронного источника, этот канал имеет индиево-серебряную защиту (10). Кроме того, весь вертикальный канал покрыт листовым кадмиевым (9) толщиной 1мм для отфильтровывания тепловых нейтронов. Свинец и бура (11) служат для уменьшения фона в нижней части НРУ. Для удобства работы во время загрузки полости замедлителя замедляющим материалом, а также при установке источников, имеется площадка и лестница (на рисунке не показаны). Под за-

медлителем располагается регистрирующий домик (12), изготовленный из стали. Внутри домика помещается газонаполненный бета-счетчик (13). На верхней части счетчика имеется направляющий конус, обеспечивающий фиксированное положение детектора на счетчике. Счетчик крепится во втулке (14), которая по направляющей (15) может перемещаться по вертикали и поворачиваться на некоторый угол до упора в желоб (16). Вертикальное перемещение втулки осуществляется посредством рычага (17), поворот — рычагом (18). Рукоятки (19) и (20) служат для горизонтального и вертикального перемещения электромагнита.

Аналогичная нейтронно-резонансная установка с электро-механическим приводом для подачи детектора резонансных нейтронов из положения облучения в положение измерения создана во ВНИИРТе [4]. Эта установка предназначена для определения в пробах серебра, индия, родия.

Работа на НРУ складывается из следующих операций. С помощью рукояток (19) и (20) электромагнит устанавливается вне бака-замедлителя (в крайнее левое положение по рис. 2). В кожух электромагнита вставляется кассета с пробой, включается электромагнит и снизу в полость кассеты вводится детектор. Убедившись, что он надежно удерживается электромагнитом за стальное кольцо, электромагнит с кассетой и детектором устанавливают в центральный канал замедлителя для облучения на определенное время, называемое далее $t_{обл}$. Спустя время $t_{обл}$ включают электромагнит и одновременно включают пересчетный прибор. Детектор под собственным весом перемещается в регистрирующий домик (примерно за 0,5 сек) и надевается на счетчик. Далее в течение времени $t_{изм}$ измеряется наведенная активность детектора. Спустя время $t_{изм}$ пересчетный прибор выключается, втулка (14) со счетчиком (13) посредством рычагов (17) и (18) переводятся в нижнее положение, детектор снимается со счетчика с помощью специального захвата, и цикл операций может быть повторен для той же или другой пробы.

В НРУ применялось два плутоний-бериллиевых источника с общим выходом $8,6 \cdot 10^6$ нейтр/сек. Бес проб составлял 150–200 г. Детекторами служили фольги из серебра и родия толщиной по 0,1 мм. Регистрация наведенной бета-активности

осуществлялась с помощью счетчика типа СТС-6 и пересчетных приборов ПС-10000 ("Флокс") или ПП-12. Время $t_{обл.}$ выбирается в зависимости от периода полураспада радиоактивного изотопа, образующегося в детекторе при резонансном захвате нейтронов, и составляло для серебра 2 мин (период полураспада T серебра-110 равен 24,2 сек), для родия - 4 мин (родий-104 имеет $T=44$ сек). Времена $t_{изм.}$ брались равными $t_{обл.}$ для того, чтобы полностью зарегистрировать наведенную активность детектора. Пробы представляли собой смеси борной кислоты с кварцевым песком и имели содержания 0; 10; 20; 30; 40 и 50% B_2O_3 ; толщина слоя проб была выбрана равной 1 см. Замедлителем служило оргстекло. Толщина слоя оргстекла между кассетой и источником нейтронов составляла 1 см.

Результаты измерений по определению бора приводятся на рис. 3а. Здесь показана зависимость разности скоростей счета пустой и борсодержащей проб от содержания бора (кривая 1 - для родиевого детектора, 2 - для серебряного). Анализ этого рисунка показывает, что точность определения бора с помощью родиевого детектора составляет 2-3% отн, с помощью серебряного - 3-5% при затратах времени соответственно 8-9 и 4-5 мин. на один цикл измерения.

Была также исследована возможность использования полученных градуировочных кривых для анализа естественных борсодержащих проб пород. Анализу были подвергнуты пробы, взятые нами во время полевых работ на одном из борных месторождений. Борными минералами в них является ашарит и гидроборатит, вмещающими породами - главным образом, гипсы и отчасти, глины. Химический анализ проб был проведен по нашей просьбе в химлаборатории Комбината (зав. лабораторией Ю. И. Зубакина).

Измерения проводились только с серебряным детектором. Геометрические и временные параметры оставались теми же. Для каждой пробы делалось по четыре замера. Результаты анализа проб в сопоставлении с данными химического анализа приводятся в табл. 1.

Как видно из таблицы, наибольшие расхождения в результатах анализов соответствуют пробам с малым содержанием бора (пробы № 6, 9, 10). Для проб с высокими содержаниями

Таблица 1

Сопоставление данных химического и нейтронно-резонансного анализа естественных борсодержащих проб

№ пп	№ пробы	Химический анализ, % B_2O_3	Нейтронно-резонансный анализ, % B_2O_3	Абсолютная ошибка, % B_2O_3	Относительная ошибка, % отн.
1	2	3	4	5	6
1	1	14,0	14,0	0,0	0,0
2	2	24,8	24,6	+0,2	8,1
3	6	3,6	3,3	+0,3	8,3
4	7	40,2	40,2	0,0	0,0
5	9	6,5	5,5	1,0	14,0
6	10	2,91	2,3	0,61	20,9
7	11	27,8	29,9	-2,1	7,56
8	12	24,2	24,4	-0,2	0,82
9	13	26,1	24,8	+1,3	5,2
10	14	25,0	25,5	-0,5	2,0
11	15	30,2	30,9	-0,7	2,3
12	16	18,7	18,7	0,0	0,0
Среднее значение для 12 проб				+0,56	5,7
Среднее значение для 9 проб				+0,55	2,6

(более 10% B_2O_3) бора погрешность составляет несколько относительных процентов. Средняя арифметическая ошибка определения бора составила для двенадцати проанализированных проб 0,56% B_2O_3 , относительная - 5,7%. Если же взять значения ошибок для проб с содержаниями выше 10% B_2O_3 (для девяти проб), то они составляют 0,55 и 2,9%.

Повышение точности может быть достигнуто при использовании в качестве эталонов тщательно проанализированных проб с исследуемого месторождения, а также при дифференцированном подходе к анализу проб с различными содержанием бора; для анализа проб с содержанием до 10% B_2O_3 применять кассеты с зазором (толщина слоя пробы) 15 мм, для проб с более высоким содержанием - 10 мм.

НРУ также была применена для определения еще более вы-

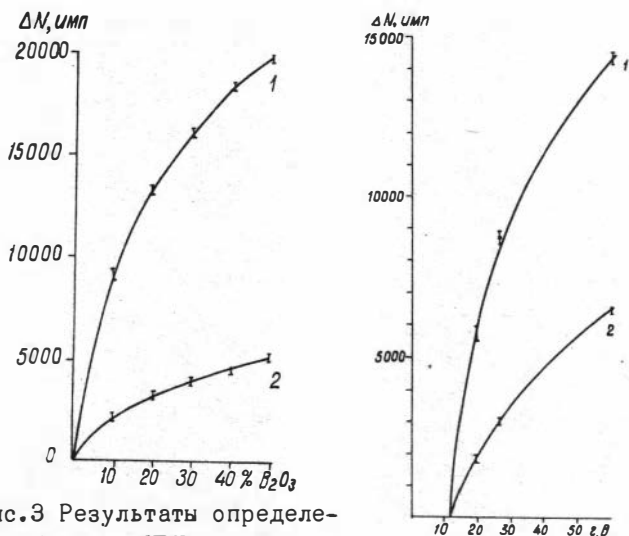


Рис.3 Результаты определения бора на НРУ; а - в смесях борной кислоты с песком, б - в элементарном боре, 1-с детектором из родия, 2 - то же из серебра.

соких концентраций бора - до 98%. Использовались пробы кристаллического и мелкокристаллического бора с содержанием 98%B, коричневого (94,66%) и черного (86%). Измерения проводились с кассетами, имеющими зазор (толщина слоя пробы) 5мм. В связи с тем, что насыпная плотность данных продуктов различна (например, 0,24г/см³ для черного и 1,1 - 1,2 - для кристаллического) содержание выражалось в граммах общего бора.

Результаты измерений приведены на рис.3б. Здесь за пробу с минимальным содержанием принималась проба черного бора (86%B). (Кривая 1 соответствует измерениям с детектором из родия, 2 - из серебра). Анализируя этот рисунок и полученные данные, можно сделать вывод, что оба детектора являются равноценными, хотя и точность определения с детектором из родия составляет 2-3% отн, а из серебра - 3-5%. Дело в том, что затраты времени на измерения по родию приблизительно в два раза больше, чем по серебру, т.е. для одинаковых затрат времени точность определения одинакова

для обоих типов детекторов. Однако, предпочтение следует, по нашему мнению, отдавать детектору из серебра, так как серебро "снижает" сечение бора больше, чем родий. Кроме того, серебро обладает такими положительными механическими качествами, как прочность, упругость, в то время как фольга из родия хрупкая, ломкая. К тому же при облучении родия замедленными нейтронами кроме изотопа родий-104 еще образуется родий-104m ($T=4,4$ мин), который, накапливаясь, мешает измерениям по родию-104.

НРУ без каких-либо переделок может быть использована для определения в пробах серебра, родия, индия, иридия, золота, некоторых редкоземельных элементов, причем при определении первых четырех элементов в качестве детекторов должны применяться фольги из определяемых элементов, а для определения золота и некоторых редкоземельных элементов может быть использовано перекрывание резонансов определяемого элемента с элементом-детектором [3]. Нами были проведены эксперименты с индий-содержащими пробами, причем, в качестве детекторов применялись фольги как из индия, так и из родия (во втором случае использовалось перекрывание резонансов индия и родия). Результаты экспериментов представлены на рис. 4. Из этого рисунка видно,

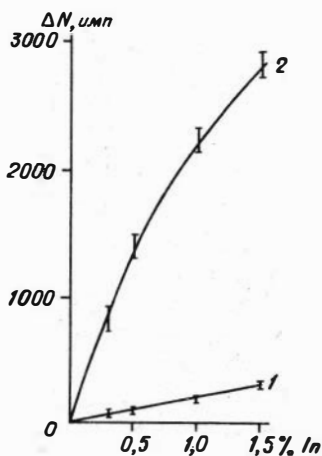


Рис. 4 Результаты измерений индий-содержащих проб на НРУ: 1-с детектором из индия; 2-то же из родия.

что порог чувствительности определения индия с помощью родиевого детектора равен $\sim 0,1\%$, а с помощью индиевой — приблизительно в два раза выше при одном и том же числе замеров, т.е. применение родиевого детектора более целесообразно, чем индиевого.

Недостатком геометрии НРУ, а также установок, описанных в работах [2, 3, 4, 6, 7], является

неполное использование излучения источника. Действительно, при размещении источников вне пробы (далее будем называть такое размещение источников эксцентрическим), используется приблизительно половина его излучения, а половина излучения рассеивается в замедлителе. Если же источник нейтронов на время облучения помещать внутри пробы (центральное расположение), то нейтроны, пройдя практически без поглощения и рассеяния через детектор, пробу и кадмий, после взаимодействия с замедлителем вновь поступят на детектор, пройдя через кадмий и пробу. Такое расположение источника должно увеличить эффективность использования его излучения приблизительно в два раза.

Для проверки этого положения была изготовлена экспериментальная нейтронно-резонансная установка с центральным расположением источника (НРЦ).

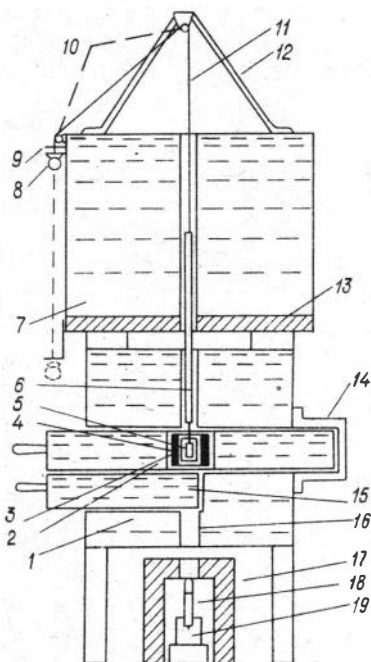


Рис. 5 Схематическое изображение НРЦ: 1-блок-замедлитель; 2-каретка, 3-кассета с пробой, 4-детектор, 5-источник нейтронов, 6-труба, 7-задний блок, 8-рукоятка, 10-ролики, 11-тросик, 12-тренога, 13-свинец, 14-ограничитель, 15-держатель детектора, 16-канал, 17-домик, 18-блок из трех бета-счетчиков, 19-втулка.

Схематическое изображение НРЦ приводится на рис. 5. НРЦ состоит из блока-замедлителя (1), имеющего форму куба с ребром 50 см, заполненного брусками из оргстекла. В центральной части замедлителя проделан горизонтальный канал прямоугольного сечения для каретки (2). Каретка представляет собой брус из оргстекла сечением 10x10 см и длиной 70 см. В каретке имеется

стекла сечением 10x10 см и длиной 70 см. В каретке имеется

вертикальный цилиндрический канал, выложенный внутри кадмием толщиной 1мм. В этот канал помещаются кассета (3) с пробой и детектор (4). Кассета также имеет вид цилиндра с двойными стенками. Зазор между стенками (толщина слоя пробы) - 5мм. Высота кассет - 95мм. Детектор изготовлен из фольги серебра толщиной 0,1мм и имеет вид полого цилиндра диаметром 48 и высотой 25мм. Для обеспечения жесткости детектора на его торцах укреплены тонкие стальные кольца. Источник нейтронов (5) в рабочем положении помещается внутри детектора и крепится с помощью штыря на подвижной трубе (6), которая вместе с источником может перемещаться вертикально в канале защитного блока (7) источника. Труба (6) укреплена на тросике (11), который перекинут через ролики (10). Вилка (9) фиксирует источник в рабочем положении; аналогичная вилка на нижней части блока (7) - в нерабочем (на рис. 5 показано пунктиром). Для того, чтобы во время облучения детектор не активировался нейтронами, не прошедшими через пробу, нижняя часть канала каретки заглушена кольцевым диском, состоящим из кадмия и серебра. Такой же диск укладывается на кассету сверху.

На верхней плоскости блока (7) установлена тренога (12) для крепления ролика подвижной трубы. Защита из свинца (13) необходима для уменьшения прямого гамма-фона от источника. Скоба (14) служит ограничителем хода каретки. Фиксация детектора внутри кассеты во время облучения производится посредством держателя (15), представляющего собой брус из оргстекла сечением 5x10см. Когда держатель находится в правом положении, как это показано на рис. 5, детектор опирается на его поверхность. При сдвиге держателя на себя (по рисунку влево) на расстояние более 5см, ничем не удерживаемый детектор по каналу (16) под собственным весом перемещается в измерительный домик (17). В домике помещается бета-счетчик (18), укрепленный во втулке (19), которая может свободно выдвигаться из домика.

Порядок работы на НРЦ заключается в следующем. Источник нейтронов устанавливается в нерабочее (верхнее) положение, держатель (15) в правое положение (по рисунку). Каретка выдвигается, в ее канал устанавливается кассета с пробой, детектор и защитный диск. После этого устанавливают в ра-

бочее положение каретку (до упора в ограничитель) и источник нейтронов. Спустя время $t_{\text{обл.}}$ источник переводится в нерабочее положение, держатель сдвигается влево на 5–6 см и включается пересчетный прибор. Детектор под собственным весом подается в измерительный домик, где в течение времени $t_{\text{изм.}}$ измеряется его наведенная активность. Кроме того, необходимо принять ряд мер, обеспечивающих защиту счетчика от воздействия прямого излучения источника: между блоками (1) и (7) или (1) и (17) поставить свинцовую защиту, а держатель (15) и каретку поставить таким образом, чтобы они перекрывали вертикальный канал блока (1).

Для того, чтобы иметь возможность сопоставления результатов, полученных для центральной и эксцентрической геометрии, была предусмотрена возможность измерения на НРЦ в той и другой геометрии. Переделка НРЦ для проведения измерений в эксцентрической геометрии сводится к ликвидации верхнего защитного блока и находящихся на нем деталей (позиции 6–13). Источники нейтронов тогда располагаются в блоке (1) по обе стороны от канала для каретки (на рис. 5 они будут видны как один, изображенный на этом рисунке). Все остальные параметры как геометрические, так и временные оставались такими же, как при измерениях в цилиндрической геометрии.

При измерениях в цилиндрической геометрии в НРЦ применялся один плутоний–бериллиевый источник с выходом $4,3 \cdot 10^6$ нейтр/сек, при измерениях в эксцентрической геометрии – два таких источника (общий выход $8,6 \cdot 10^6$ нейтр/сек); регистрирующий блок состоял из трех параллельно соединенных счетчиков типа СТС–6; пересчетным прибором служила установка ПП–12. В качестве проб использовались навески кристаллического, мелкокристаллического, коричневого и черного бора (см. выше).

Результаты экспериментов приводятся на рис. 6 (кривая 1 – для цилиндрической геометрии, 2 – для эксцентрической). Здесь ΔW – разность скоростей счета для пробы с минимальным содержанием бора (бор черный, содержание 86% B) и остальных проб. Как видно из рисунка, кривые 1 и 2 можно считать идентичными, так как центральное расположение одного

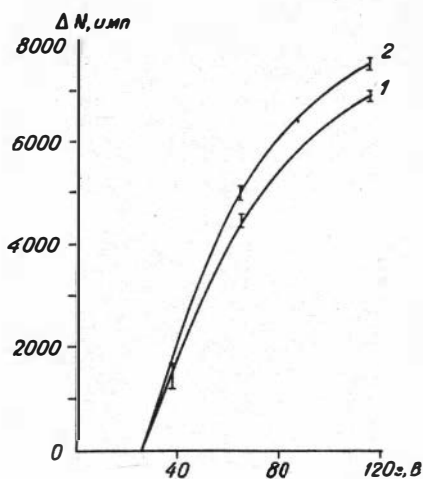


Рис. 6 Сопоставление измерений на НРЦ с центральным расположением (1) одного источника и с внешним (2) — двух источников.

Для этого в конструкции установок должна быть предусмотрена возможность увеличения диаметров каналов в блоке-замедлителе и регистрирующем домике для обеспечения свободного прохода кассеты с пробой. Кроме того, целесообразно также увеличить количество бета-счетчиков, расположив их по окружности с радиусом, большим радиуса кассеты. Этим будет обеспечено измерение наведенной активности пробы в геометрии, близкой к 4π .

Комплексное применение нейтронно-резонансного и нейтронно-активационного методов позволит увеличить круг анализируемых элементов. Пороги чувствительности определения кремния и алюминия составят несколько процентов, ванадия около $10^{-1}\%$, марганца и индия — около $10^{-2}\%$. Применение гамма-спектрометрии даст возможность определять медь, кобальт, а также избавляться от влияния мешающих элементов.

В заключении авторы выражают глубокую благодарность

источника дает такой же эффект, как эксцентрическое — двух таких же источников; погрешности измерения двух видов геометрии примерно одни и те же (см. табл. 2).

Таким образом, расположение источника внутри пробы увеличивает эффективность использования его излучения приблизительно в два раза, избавляет от необходимости выбирать оптимальное расстояние источник-проба и кроме того, способствует повышению радиационной безопасности работ.

Описанные выше установки могут быть в принципе использованы для проведения нейтронно-активационного анализа.

А.Г.Фадееву и Г.А.Сычеву за участие в конструировании установок.

Таблица 2

Сопоставление погрешностей измерений скорости счета для различной геометрии

Тип продукта. Содержание, % В	Вес пробы, г	Содержание бора, в г, В	Значение ошибки, % отн	
			Один источник внутри пробы	Два источника вне пробы
Бор кристаллический, 98	116,6	114,1	1,25	1,35
Бор мелкокристаллический, 98	38,8	37,8	7,1	6,8
Бор коричневый, 94,66	67,3	63,7	2,0	2,1
Бор черный, 86	30,7	26,4	-	-

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Атлас нейтронных сечений. Атомиздат. М., 1959.
2. Баранов В. И., Барсуков Е. Л., Иванов В. Ф., Христианов Е. К. Нейтронные методы поисков и анализов борного сырья. Изд. "Наука". М., 1964.
3. Вахтин Б. С., Филиппов Е. М. Возможные области применения нейтронно-резонансного метода в геофизике. Геология и геофизика, № 2, 1970.
4. Гамбарян Р. Г., Рогов Е. В., Штань А. С. Установка для нейтронно-резонансного анализа элементного состава вещества. Атомная энергия, т. 25, вып. 3, 1968.
5. Немодрук А. А., Каралова Э. К. Аналитическая химия бора. Изд. "Наука" М., 1964.
6. Плаксин И. Н., Старчик Л. П. Ядерно-физические методы контроля вещественного состава. Изд. "Наука" М., 1966.
7. Якубович А. Л., Зайцев Е. И., Пржицалговский С. М. Ядерно-физические методы анализа минерального сырья. Атомиздат. М., 1969.

ПРИМЕНЕНИЕ АКТИВАЦИОННЫХ ДЕТЕКТОРОВ РЕЗОНАНСНЫХ НЕЙТРОНОВ ДЛЯ РАЗДЕЛЬНОГО СПРЕДЕЛЕНИЯ БОРА И ЛИТИЯ

Пороги чувствительности определения лития и бора нейтронно-абсорбционным и нейтронным альфа-методами с использованием ампульных нейтронных источников составляют $\sim 0,1\%$ по окиси [2,6,8]; такой же порог получен авторами работ [5,8] при определении лития по реакциям (α, α') и (α, n) с использованием в качестве источника альфа-частиц препарата из плутония.

В работе [9] приводятся результаты исследований по определению лития методом "промежуточной активации", когда в качестве детектора тепловых нейтронов использовалась индиевая фольга, помещаемая в замедлитель между двух литийсодержащих парафиновых дисков и облучаемая в течение определенного времени нейтронами от ампульного источника. Затраты времени на один цикл измерения составляют 5 часов. Порог чувствительности составляет около $0,01\%$ Li_2O .

Определение лития в присутствии бора авторы работ [6,8] осуществляли путем ослабления влияния бора. Для этого между исследуемой пробой и детектором альфа-частиц помещали алюминиевую фольгу толщиной 1 мг./см^2 . Эта фольга поглощает альфа-частицы, образовавшиеся при реакции на боре (энергия $E = 1,49 \text{ Мэв}$), и пропускает ядра лития, образовавшиеся при реакции на литии ($E = 2,05 \text{ Мэв}$). Однако, методы определения бора и лития, основанные на регистрации альфа-частиц, не нашли широкого применения из-за ряда недостатков. Главнейшим из них являются - необходимость строгого выдерживания геометрии измерений: (толщины пробы, расстояния проба-детектор; требуется весьма тонкое измельчение пробы и распределение ее на тарелочке и т. д.).

Применение метода (α, n) связано с использованием открытых препаратов, что не всегда приемлемо. Нейтронно-абсорбционный метод не дает однозначного ответа в случае совместного нахождения в пробе бора и лития [6,8].

Раздельное определение бора и лития может быть осуществлено нейтронно-резонансным методом [7] на установке

НРУ, описанной в работе [3].

Известно, что сечение поглощения нейтронов ядрами лития, также как и бора, подчиняется закону $1/\sqrt{E}$, причем величина сечения σ для лития приблизительно на порядок ниже величины сечения бора [1]. Так, для тепловых нейтронов $\sigma_{Li} = 71$ барн, тогда как $\sigma_B = 755$ барн. В области резонансов родия и серебра сечения для бора равны соответственно 110 и 54, для лития - 10,2 и 5,4 барна (см. табл. 1). В табл. 1 также

Таблица 1

Значения полных и макроскопических сечений поглощения тепловых и резонансных нейтронов для некоторых элементов

тов

№ пп	Элемент	ρ (г/см ³)	Энергия нейтронов (E, эВ)					
			E=0,025		E=1,26		E=5,23	
			σ	Σ_a	σ	Σ_a	σ	Σ_a
1	Литий	0,534	71	3,29	10,2	0,467	5,4	0,25
2	Бор	1,73	755	72,4	110	10,56	54	5,18
3	Родий	12,4	150	10,9	4850	283	6,9	0,04
4	Серебро	10,5	62	3,63	17,5	1,03	12500	735
5	Кадмий	8,65	3315	153,4	14	0,52	5,2	0,24

Примечание: значения σ даны в барнах, Σ_a - в см⁻¹

приводятся значения макроскопических сечений для лития, бора, родия, серебра и кадмия. Из этой таблицы видно, что при использовании в качестве детекторов нейтронов фольги из родия или серебра и фильтра из кадмия можно свести почти к нулю влияние лития, так как сечение поглощения нейтронов в области резонансов родия и серебра, для лития и кадмия приблизительно равны. Для бора же эти величины существенно различаются - на один-два порядка, поэтому присутствие бора в анализируемой пробе будет сказываться. При выборе материала детектора предпочтение следует отдавать серебру, так как Σ_{Ag} больше, чем Σ_{Rh} , т.е. эффективность регистрации серебряного детектора будет выше, чем родиевого. Таким образом, применение кадмиевого фильтра и серебряного детектора при анализе проб, содержащих бор и литий, дает

Возможность определить в пробах бор. Измерения, проведенные в аналогичных условиях в отсутствии кадмиевого фильтра - по общему потоку нейтронов - позволяют судить о присутствии в пробе и бора, и лития. Раздельное определение этих двух элементов может быть осуществлено путем совместной обработки результатов измерений.

Экспериментальная проверка этих положений осуществлялась на установке НРУ [3]. Были составлены смеси (эталонные пробы) из песка с углекислым литием с содержаниями 0,51; 1,04; 2,26; 4,00; 6,00; 9,75% Li_2O и песка с бурой с содержаниями 0,1; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0 и 8,0% B_2O_3 . Для получения возможно большей чувствительности толщина слоя проб была выбрана равной 15 мм. Временные параметры составляли: время облучения - 2 мин, время измерения наведенной активности фольг-детекторов - 100 сек. На рис. 1 приводится зависимость разности скоростей счета ΔN нейтронов пустой N_0 и

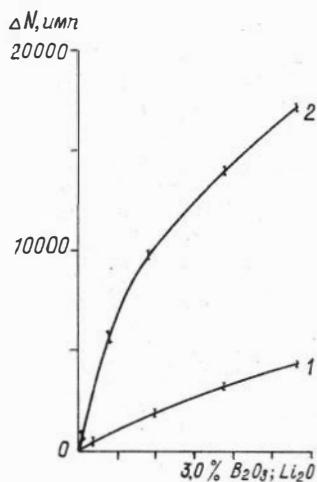


Рис. 1 Результаты определения лития (1) и бора (2) по общему потоку нейтронов

литий- и борсодержащей N_1 проб от содержания элемента (кривые 1 и 2). Анализ этих кривых показывает, что порог чувствительности определения лития нейтронно-резонансным методом по регистрации общего потока нейтронов равен 0,15-0,2% Li_2O , бора - около 0,04% B_2O_3 (в случае присутствия в пробе только одного из этих элементов). Таким образом, нейтронно-резонансный метод позволяет проводить определения бора с порогом чувствительности в 2-3 раза выше, чем нейтронно-абсорбционный [8]. Порог чувствительности определения лития примерно в два раза выше.

На рис. 2 приводятся результаты измерений тех же проб по надкадмиевым нейтронам (кривая 1 -

литиевых, кривая 2 - борсодержащих). Этот рисунок показыва-

ет, что концентрации лития до 6-7% Li_2O практически не оказывают влияния на скорость счета по надкадмиевым нейтронам. В природных соединениях литий встречается в концентрациях не более 5-6% по окиси, т.е. влиянием лития, находящегося в рудных пробах совместно с бором, при измерениях подобного рода можно пренебречь. Что касается бора, то его уверенное определение по надкадмиевым нейтронам можно проводить, начиная с концентрацией 0,3-0,4% B_2O_3 (кривая 2).

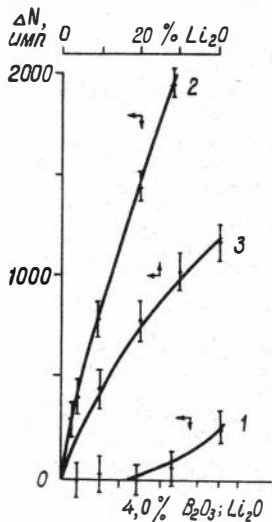


Рис. 2 Результаты определений лития (1), бора (2) и высоких концентраций лития (3) по надкадмиевым нейтронам.

Таким образом, порядок работы на НРУ по раздельному определению бора и лития складывается из следующих операций. НРУ предварительно градуируется по пробам с известным содержанием бора по нейтронам общего спектра (без кадмиевого фильтра) и по надкадмиевым нейтронам, а по пробам, содержащим известные концентрации лития (до 6-7% Li_2O) — только по нейтронам общего спектра. Для боросодержащих проб строятся графики зависимости скорости счета от содержания бора, приведенного к одному

весу, $N_r = f(B)$ и $N_r^{ca} = f(B)$; для литийсодержащих — зависимость разности ΔN скорости счета пустой (N_0) и литийсодержащей (N_1) пробы от содержания — $\Delta N = f(Li)$.

Для пробы с неизвестным содержанием бора и лития делается два вида измерений — по надкадмиевым нейтронам и нейтронам общего спектра (обозначим их скорости счета соответственно N^{ca} и N). Содержание бора определяется по градуировочной кривой $N_r^{ca} = f(B)$. После этого по кривой $N_r = f(B)$ определяется скорость счета N' , соответствующая данному содержанию бора (приведенному). Разность скоростей счета $N - N'$ обусловлена присутствием в пробе лития. Используя градуировочную кривую $\Delta N_r = f(Li)$, можно определить содержание в пробе лития. Рассмотрим пример такого определения

бора и лития. Для пробы с неизвестным содержанием бора и лития получены следующие средние значения скоростей счета из пяти замеров: $N = 30895$ имп, $N^{cd} = 16103$ имп. По градуировочной кривой $N_r = f(B)$ вначале определяем приведенное содержание бора ($0,54\% B_2O_3$), а затем, умножив на соотношение весов анализируемой и эталонной пробы, получаем истинное содержание бора - $0,474\% B_2O_3$. Далее по кривой $N_r = f(B)$ определяем скорость счета, которая соответствует приведенному содержанию бора $0,54\% B_2O_3$. Она равна 30492 имп. Разность $30895 - 30492 = 403$ обусловлена наличием лития и соответствует по градуировочной кривой $\Delta N_r = f(Li)$ содержанию $0,36\% Li_2O$ (приведенное) или $0,31\% Li_2O$ - истинное содержание. Фактически в пробе содержание бора составляло $0,498\% B_2O_3$, лития - $0,3\% Li_2O$.

Экспериментальное подтверждение этой методики демонстрирует табл. 2. В ней приведены результаты определения бора и лития в искусственных пробах - смесях песка с бурой и углекислым литием. Пробы составлялись с таким расчетом, чтобы содержание лития и бора в них было в пределах от $0,3 - 0,4$ до $6 - 8\%$ по окиси. Данные нейтронно-резонансного анализа находятся в удовлетворительном согласии с истинными значениями концентраций бора и лития. Средняя относительная погрешность определения составляет величину порядка 6% .

В работе [3] нами было показано, что на установке НРУ можно проводить определения с содержанием бора от нескольких процентов вплоть до элементарного бора ($98\% B$) с относительной погрешностью в несколько процентов. Приведенные в данной работе результаты экспериментов позволяют расширить диапазон определения бора в область низких концентраций до $0,01\% B$ ($0,04\% B_2O_3$), т.е. на установке НРУ, варьируя толщиной пробы (от 5 до 15 мм), можно перекрыть диапазон от $0,01$ до $100\% B$. Установки аналогичного назначения НИХ-2м [2] и РАП-2м [8] имеют гораздо меньший диапазон.

НРУ может быть использована для определения высоких концентраций лития (свыше $2 - 3\% Li_2O$) по методике, аналогичной методике определения бора [3]. При использовании родиевого детектора нами были проведены измерения с пробами,

содержащими 0; 10; 20; 30 и 40% Li_2O . При этом измерения проводились по надкадмиевым нейтронам с пробами толщиной 10 мм. Результаты этих измерений приводятся на рис. 2 (кривая 3). Есть основания полагать, что по аналогии с бором, верхний предел определения лития также может составлять $\sim 100\%$.

Таблица 2

Результаты определения бора и лития в пробах

№ пп	Вес пробы, г	Содержание, %		Данные нейтронно-резонансного анализа		Погрешность определения				
						бора		лития		
		B_2O_3	Li_2O	B_2O_3	Li_2O	абс.	отн. %	абс.	отн. %	
1	369,7	0,498	0,30	0,47	0,31	0,02	5,6	0,01	3,3	
2	367,2	0,982	0,70	1,00	0,67	0,02	2,0	0,03	4,3	
3	362,0	1,9	3,00	2,05	3,15	0,15	7,9	0,15	5,0	
4	301,3	7,9	0,50	7,2	0,45	0,7	8,9	0,05	10,0	
5	389,2	0,426	6,00	0,45	5,42	0,24	5,6	0,58	9,7	
Среднее значение						±6,0		±6,5		

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Атлас нейтронных сечений. Атомиздат М., 1959
2. Баранов В. И., Барсуков В. Л., Иванова В. Ф., Христианов В. К. Нейтронные методы поисков и анализов борного сырья. Изд. Наука. М., 1964.
3. Вахтин Б. С., Филиппов Е. М. Нейтронно-резонансные установки для определения некоторых элементов (настоящий сборник).
4. Вахтин Б. С., Филиппов Е. М. Определение высоких концентраций бора нейтронно-резонансным методом. Заводская лаборатория, 1971. № 4.
5. Михайлов Г. И., Старчик Л. П. Анализ лития по выходу реакции $\text{Li}^7(\alpha, n)\text{Li}^7\alpha$. Атомная энергия, т. 24, вып. 6, 1968.
6. Плаксин И. Н., Старчик Л. П. Ядерно-физические методы контроля вещественного состава. Изд. "Наука" М, 1966.
7. Филиппов Е. М., Жаворонков В. Я., Вахтин Б. С. Исследования по разработке аппаратуры и методики определения некоторых элементов по резонансным и тепловым нейтронам. В

сб. "Радиоизотопные приборы в промышленности и геофизике" т. 2 Изд. МАГАТЭ, Вена, 1966.

8. Якубович А. Л., Зайцев Е. И., Пржиалговский С. М. Ядерно-физические методы анализа минерального сырья. Атомиздат. М., 1969.

9. Selecki A., Starosta A. The measurement of the concentration of some elements by the indirect activation method. Part II: isotope analysis of lithium. Isotopenpraxis. b. 6, N. 2, 1970.

Е. С. ВАХТИН, Е. М. ФИЛИППОВ, А. П. БОРТНИКОВА

СПРЕДЕЛЕНИЕ БОРА И КАДМИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТУРЫ НА ГАЗОРАЗРЯДНЫХ СЧЕТЧИКАХ И ПРОМЕЖУТОЧНОГО ПОГЛОТИТЕЛЯ ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ

Спределение низких концентраций бора (от нескольких сотых процента и выше) может производиться с помощью ННМ-т [1, 4], более высоких - от нескольких десятых долей процента и выше - с помощью ННМ-р [2]. Определение кадмия в концентрациях от 0,03% и выше может проводиться по регистрации гамма-квантов радиационного захвата [3].

Авторами исследована возможность определения низких концентраций бора и кадмия с использованием газоразрядных счетчиков излучения и дополнительного поглотителя тепловых нейтронов - кадмиевой фольги. Схематическое изображение установки, на которой проводились исследования, приводится на рис. 1. Она состоит из парафинового блока-замедлителя (1) с двумя источниками нейтронов (2). В центральной части блока проделан вертикальный канал, в котором размещается газоразрядный счетчик СТС-6 (3). Счетчик имеет съемный цилиндрический экран (4) из кадмиевой фольги толщиной около 0,5 мм. Рассета (5) с пробой, помещаемая в канал блока-замедлителя, имеет вид цилиндра с двойными стенками (расстояние между стенками 15 мм). Свинец (6) служит для уменьшения прямого гамма-излучения источника нейтронов.

Пробы представляли собой смеси песка с бурой и песка с окисью кадмия. Для каждой пробы производилось два вида измерений: без кадмиевого экрана и с ним.

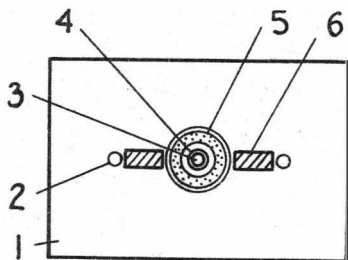


Рис.1 Схематическое изображение установки (вид сверху) 1-блок-замедлитель, 2-источник нейтронов, 3-газоразрядный счетчик, 4-кадмиевый экран, 5-кассета с пробой, 6-свинец.

Результаты измерений приводятся на рис.2. Как показали измерения, для борсодержащих

проб с увеличением содержания бора скорость счета уменьшается. Уменьшение скорости счета при отсутствии кадмиевого экрана можно объяснить тем, что регистрируемое счетчиком гамма-излучение связано, главным образом, с реакцией (n, γ) на ядрах элементов матрицы, и чем больше в пробе бора, тем меньше интенсивность этого излучения. Реакция $B^{10}(n, \alpha)Li^7$, сопровождающаяся выделением гамма-квантов с энергией 0,479 Мэв, видимо, играет при этом незначительную роль. Уменьшение скорости счета захватного гамма-излучения кадмия (при наличии кадмиевого экрана) обусловлено поглощением тепловых нейтронов ядрами бора в пробе. Порог чувствительности определения бора с использованием кадмиевого экрана составляет около 0,01%В. (0,03%В₂O₃), тогда как по измерениям без кадмиевого экрана он равен 0,03%В. Кривая 3, построенная по разности кривых 1 и 2, дает порог чувствительности 0,025%В, т.е. практически равный порогу при измерениях без кадмиевого фильтра.

Для проб, содержащих кадмий, скорость счета увеличивается при измерениях без кадмиевого экрана и уменьшается при наличии его. Увеличение скорости счета в первом случае объясняется возникновением гамма-квантов с энергией от 1 до 9 Мэв при реакции (n, γ) на кадмий. В работе [3] показано, что порог чувствительности определения кадмия по этой реакции составляет 0,035%Cd. нами получен порог чувствительности 0,02%Cd. (рис. 2б, кривая 1). Это связано с улучшением геометрии облучения: в работе [3] свинцовый экран, расположенный между источником нейтронов и пробой, имеет размер, больший, чем кассета с пробой (более 80 мм). В установке, применяемой нами, внешний диаметр кассеты также

равен 80 мм, а свинцовый экран между источником и кассетой имеет толщину 50, а ширину 20 мм. Это, по видимому, и создает лучшие условия для замедления нейтронов.

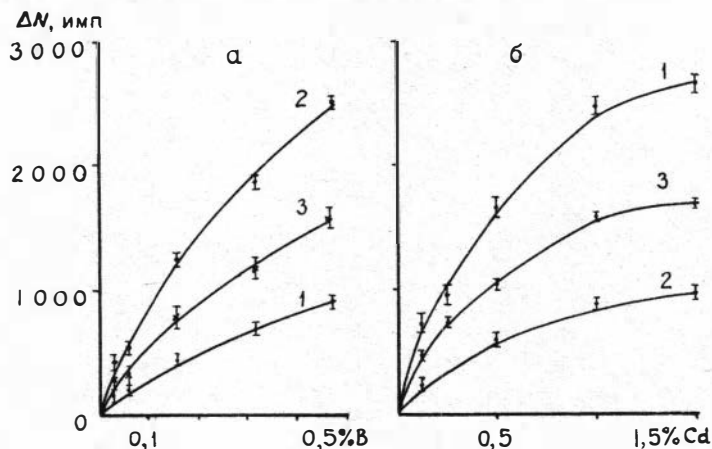


Рис.2 Результаты определения бора (а) и кадмия (б). 1-без кадмиевого экрана, 2-с кадмиевым экраном, 3-по разности кривых 1 и 2.

Уменьшение скорости счета при наличии кадмиевого экрана также, как и в случае борсодержащих проб, обусловлено уменьшением потока тепловых нейтронов, достигающих кадмиевого экрана.

Пороги чувствительности определения кадмия составляют для измерений в отсутствии и при наличии кадмиевого экрана соответственно 0,02 и 0,08% Cd. Кривая 3, построенная по разности двух этих измерений, также позволяет оценить порог чувствительности, равный 0,02% Cd, т.е. определение кадмия по захватному гамма-излучению ядер кадмия, находящихся в пробе, и определение кадмия по "чистому" эффекту от захватного гамма-излучения кадмиевого экрана - равноценны при одинаковых затратах времени. На практике определение кадмия более целесообразно проводить по регистрации гамма-излучения, возникающего в самой пробе, т.е. по методике, описанной в работе [3].

Таким образом, применение промежуточного поглотителя тепловых нейтронов (кадмиевой фольги) в сочетании с газо-

разрядным счетчиком, позволяет понизить порог чувствительности определения бора до 0,01%. Что касается определения кадмия, то измерения в данной геометрии позволили понизить порог чувствительности до 0,02% при использовании двух источников нейтронов общей активностью около 100 мкюри ($0,88 \cdot 10^5$ и $1,1 \cdot 10^5$ нейтр/сек). В работе [3] авторы применили источник активностью 150 мкюри.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Баранов В. И., Барсуков В. Л., Иванова В. Ф., Христианов В. К. Нейтронные методы поисков и анализов борного сырья. Изд. "Наука". М., 1964.
2. Вахтин Б. С., Филиппов Е. М. Нейтронно-резонансные установки для определения некоторых элементов (настоящий сборник).
3. Плаксин И. Н., Малышева Н. Г., Старчик Л. П., Зданович И. Д. Применение гамма-квантов радиационного захвата нейтронов для определения содержания кадмия и бора в продуктах обогащения. Заводская лаборатория, № 9, 1967.
4. Якубович А. Л., Зайцев Е. И., Пржиялговский С. М. Ядерно-физические методы анализа минерального сырья. Атомиздат. М., 1969.

В. Г. Руслев

АНАЛИЗ НЕФТИ НА ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЯДЕРНЫМИ МЕТОДАМИ

Основными элементами нефти являются углерод (83+87%) и водород (11,4+14,4%), в меньшем количестве в состав нефти входят кислород (0,02+3,0%), азот (0,07+1%) и сера (0,1+6,3%) [7,9]. Анализ нефти на эти элементы не может быть решен одним ядерным методом, а лишь их совокупностью, и представляет собой многопараметрический анализ, в котором определение компонентов взаимосвязано. Задача заключается в том, чтобы для каждого элемента выбрать наиболее селективный метод, сводящий к минимуму влияние других элементов. С другой стороны комплексное использование различных ядерно-физических методов для решения одной задачи должно предполагать использование небольшого комплекса аппаратуры и

источников ядерного излучения.

Общепринятый химический метод определения основных элементов нефти даёт возможность определять независимо углерод, водород, азот и серу, а кислород определяется по разности, что даёт большую ошибку.

Из перечисленных элементов наименее благоприятными ядерными характеристиками обладает углерод. Реакции на углероде, вызванные нейтронами, или приводят к образованию стабильных изотопов, или имеют очень малое сечение; реакции типа $C^{12}(p, \gamma)N^{13}$ и $C^{13}(p, n)N^{13}$, вызванные протонами отдачи, которые образуются при взаимодействии нейтронов с водородом нефти, тоже не могут быть использованы для определения углерода, так как они имеют меньший выход, чем interfering реакция на азоте [13]. Углерод можно определять по неупругому рассеянию нейтронов [2] или методом гамма-активационного анализа [1]. Однако эти методы требуют сложного и дорогостоящего оборудования. Методы определения углерода, основанные на облучении заряженными частицами, не пригодны для анализа нефти, так как в этом случае нефть необходимо помещать в вакуум, что приводит к интенсивному испарению лёгких фракций. Выход заключается в том, что при полном анализе нефти на основные элементы определять углерод прямым путём вовсе нет необходимости: если углерод определять по разности, относительная точность будет всё же достаточно высока, так как содержание углерода в нефти значительно выше содержания других элементов.

Прежде всего производят анализ нефти на те элементы, определение содержания которых не зависит от содержания других элементов. Этому требованию отвечает кислород, определяемый методом наведённой активности (НА). Образцы облучают потоком быстрых нейтронов генератора в течение 15±30 сек. Затем регистрируют высокоэнергетичное бета- или гамма-излучение азота-16, образовавшегося по реакции $O^{16}(n, p)N^{16}$. Благоприятными обстоятельствами являются высокий порог реакции и высокая энергия испускаемого излучения, что позволяет дискриминировать излучение других элементов. В связи с малым периодом полураспада кислорода установка должна иметь пневмопочту для доставки образца к детектору за

1+4 сек. Счёт производят в течение 15+30 сек двумя кристаллами NaI(Tl) размерами 76x76 мм или кристаллом размером 100x100 мм с колодцем. Для образца объёмом 7 мл этносительная точность определения кислорода равна $\pm 2\%$, порог чувствительности - $10^{-5}\%$ с использованием потока 10^{12} н/см²сек.

Мониторирование потока нейтронов при анализе на кислород может осуществляться одновременным облучением материала с большим содержанием кислорода, например, плексигласа, активность которого замеряется через 50 сек после облучения [8]. В качестве монитора может быть использована также золотая фольга, в которой в результате реакции (n, n') образуется изотоп Au^{197m}. Бензойная и анисовая кислоты в виде таблеток могут быть использованы как эталоны.

Необходимым условием анализа является устранение влияния активации постороннего кислорода, содержащегося в материале контейнера и в окружающем воздухе. Содержание кислорода в контейнере учитывается путём замера активности пустого контейнера; если анализируются образцы с содержанием кислорода менее 0,1%, то необходимо вводить поправку на активность кислорода, который содержится в воздухе, наполняющем контейнер.

Независимо от других элементов в нефти можно определять и водород - путём регистрации протонов отдачи образующихся в результате упругого рассеяния быстрых нейтронов на водороде, который имеет наибольшее сечение рассеяния по сравнению с другими рассматриваемыми элементами. Источник нейтронов помещается под кюветой, детектор протонов - над ней, возможно ближе к поверхности нефти. Толщину слоя нефти следует взять в несколько раз больше средней длины свободного пробега протона в нефти, равной 0,08 см, чтобы получить слой насыщения. Облучая органическое соединение полониево-бериллиевым нейтронным источником в 1 кюри и регистрируя протоны в течение 10 мин детектором ZnS(Ag) толщиной 5-6 мг/см² и диаметром 70 мм, можно достичь порога чувствительности 0,06%.

С точки зрения экономичности решения задачи анализа нефти выгодно воспользоваться комплексным определением водорода совместно с серой методами, аппаратура для которых

одна и та же, отличаются лишь источники: для определения содержания водорода используется бета-излучатель, а для серы - низкоэнергетичный гамма-излучатель. Определение содержания водорода по поглощению бета-излучения (БМп) является одним из хорошо разработанных методов [14]. Интенсивность бета-излучения, прошедшего слой вещества, является функцией суммы сечений поглощения всех атомов в пробе: $I = f(A)$, где $A = \sum_i n_i S_i'$, n_i - число атомов элемента i в пробе, S_i' - сечение поглощения элемента i . Если C_i - относительное содержание элемента в пробе, то его вес будет равен $\rho V C_i \cdot n = \frac{\rho V C_i N}{a_i}$ где N - число Авогадро, a_i - атомный вес, ρ - плотность, V - объём пробы. Если обозначить $VNS_i' = S_i$, то

$$A = \sum_i \rho \frac{C_i S_i}{a_i} = \rho \sum \frac{C_i S_i}{a_i} \quad (1)$$

Таким образом, степень поглощения электронов (так же как и мягкого гамма-излучения) сильно зависит от плотности жидкости, а поэтому плотность должна быть определена возможно более точно в условиях термостатирования. Значения для основных элементов нефти таковы: для водорода 0,992, для углерода 0,566, для азота 0,583, для кислорода 0,597, для серы 0,719. Предыдущую формулу перепишем в виде

$$\frac{A}{\rho} = \frac{C_H S_H}{a_H} + \frac{C_C S_C}{a_C} + \sum \frac{C_j S_j}{a_j}$$

где j - все компоненты, кроме H и C. Углерод можно исключить на том основании, что сумма всех компонентов равна:

$$C_C = 1 - C_H - \sum_j C_j. \text{ Отсюда } C_H = \frac{\frac{A}{\rho} - \frac{S_C}{a_C} - \sum C_j \left(\frac{S_j}{a_j} - \frac{S_C}{a_C} \right)}{\frac{S_H}{a_H} - \frac{S_C}{a_C}}$$

Исходя из значений S/a , можно заключить, что если пренебречь 1% азота, то ошибка в определении водорода будет равна $0,0004 C_H$. Таким образом, элементами с индексами j у нас будут кислород, содержание которого уже известно, и сера, наличием которой пренебрегать нельзя, так как значение S_j/a_j значительно отличается от значений этого отношения для углерода, азота и кислорода, и формула для определения концентрации водорода в нефти будет иметь вид:

$$C_H = \left[\frac{A}{\rho} - \frac{S_C}{a_C} - C_S \left(\frac{S_S}{a_S} - \frac{S_C}{a_C} \right) - C_O \left(\frac{S_O}{a_O} - \frac{S_C}{a_C} \right) \right] : \left(\frac{S_H}{a_H} - \frac{S_C}{a_C} \right).$$

Значения A определяются по градуировочной кривой $I = f(A)$, полученной экспериментально с использованием соединений, содержащих элементы C, H, O и N в известных соотношениях. Каждому значению I , измеренному ионизационной камерой или счётчиком при облучении соединения известного состава, ставится в соответствие значение A , вычисленное по формуле (1), и через полученные точки проводится градуировочная кривая.

В качестве источника бета-излучения чаще всего используется Sr^{90} активностью до 25 мкюри, толщина слоя жидкости берётся равной 2-4 мм. Измерения удобнее производить двумя детекторами, на один из которых излучение попадает через кювету с пробой, а на другой – через пустую кювету. При этом регистрируют разность их показаний.

Аналогичным способом определяется сера по поглощению мягкого гамма-излучения (ГМп). Этот метод основан на резко выраженной зависимости коэффициента поглощения μ от атомного номера Z поглотителя, что даёт возможность измерять малые концентрации более тяжёлого элемента на фоне лёгких, к которым относится водород и углерод. При энергии гамма-излучения 21 Кэв массовый коэффициент поглощения для серы μ_S в 15 раз превышает массовые коэффициенты поглощения для водорода μ_H и для углерода μ_C . Интенсивность гамма-излучения, прошедшего через слой органической жидкости, содержащей серу, является функцией $I = f(\mu \rho \ell)$, где ℓ – толщина слоя. Здесь

$$\mu = \mu_S C_S + \mu_H C_H + \mu_C C_C + \sum_i \mu_i C_i \quad (2)$$

индекс i означает остальные элементы. Если из них мы учтём только кислород, содержание которого известно, так что $C_S + C_H + C_C + C_O = 1$, то из этих двух уравнений следует:

$$C_S = \frac{\mu - \mu_C + C_H (\mu_C - \mu_H) + C_O (\mu_C - \mu_O)}{\mu_S - \mu_C} \quad (3)$$

Наибольшее распространение в качестве излучателя гамма-лучей получил изотоп Fe^{55} , имеющий энергию 5,9 Кэв. Для этой энергии массовые коэффициенты поглощения равны [4]: $\mu_H = 0,52 \text{ см}^2/\text{г}$, $\mu_C = 10,4 \text{ см}^2/\text{г}$, $\mu_N = 18,2 \text{ см}^2/\text{г}$, $\mu_O = 27,0 \text{ см}^2/\text{г}$ и $\mu_S = 205 \text{ см}^2/\text{г}$. Чтобы вычислить C_S , нужно знать μ . Первона-

начально замеры производят на органических жидкостях с известным содержанием элементов H, O и S , μ для которых вычисляют по формуле (2), и, умножая μ на ρ (ρ можно принять равным 1), находят абсциссу точки кривой $I = f(\mu \rho)$. Кривая, проведённая по нескольким подобным точкам, будет служить градуировочной кривой, используемой затем для нахождения μ жидкостей (нефтей) с неизвестным содержанием серы, исходя из измеренного значения I .

При выводе формулы (3) мы пренебрегли наличием в нефти азота. Подсчёты показывают, что максимальная ошибка из-за неучёта 1% азота составляет 0,02% C_S , а ошибка за счёт микроэлементов пренебрежимо мала.

Толщина слоя нефти для источника Fe^{55} берётся равной 3 мм. Для анализа проб используют кюветы с бериллиевыми окнами толщиной $0,3 \pm 0,5$ мм, диаметром 30 ± 40 мм [5]. В качестве детекторов излучения используют торцовый счётчик, ФЭУ с органическим сцинтиллятором или ионизационную камеру.

Формулы для C_N и C_S являются взаимозависимыми и представляют собою систему двух уравнений с двумя неизвестными, решение которой несложно. Абсолютные ошибки определения водорода и серы составляют 0,03%.

Для определения серы активационным методом используется реакция $S^{34}(n, p)P^{34}$ [11]. Кислород в этой области даёт комптоновское распределение, величину которого можно легко учесть, если содержание кислорода в нефти известно. Влияние кислорода можно уменьшить, выдержав образец перед регистрацией и используя большой кристалл с защитой антисовпадениями. Остальные изотопы, образующиеся при облучении серы нейтронами, не обладают гамма-активностью. Используя их, прибегают к замеру бета-излучения и анализу кривой спада по которой в принципе можно определить не только содержание серы, но и отношение изотопов S^{32} и S^{34} (реакции $S^{34}(n, \alpha)Si^{31}$ и $S^{32}(n, p)P^{32}$), если облучение производить в течение двух часов быстрыми нейтронами генератора с выходом не менее 10^{10} нейтр/сек, а кривую спада регистрировать в течение суток. Недостаток этого метода - длительность облучения и замера, что вызывает необходимость в использовании тщательного мониторингирования выхода генератора и в ста-

билизации чувствительности регистрирующей аппаратуры. Нужно учитывать, что на выход бета-излучения из пробы сильно влияет водородосодержание пробы. Чтобы не допустить изменения счёта из-за испарения лёгких фракций необходима герметизация пробы на время облучения и замера.

Концентрацию азота в нефти определяют по десятиминутной позитронной активности азота-13, образующегося при облучении нефти нейтронами с энергией 14 Мэв, путём регистрации аннигиляционного излучения. Регистрируя позитроны бета-счётчиками, можно было бы повысить эффективность регистрации, но в этом случае будет сильно мешать бета-излучение продуктов активации серы. Во всех случаях мешает также интерферирующая реакция на протонах отдачи $C^{13}(p,n)N^{13}$, выход которой пропорционален произведению концентраций $C_C C_N$ и для среднего значения $C_C C_N = 0,12$ эквивалентен содержанию азота 0,0008 г/г. Поскольку содержание водорода C_H известно, а также известны содержания кислорода и серы, то можно сказать, что содержание углерода известно с точностью до содержания азота, т.е. $\pm 0,5\%$, так что поправка к азоту будет содержать ошибку 0,0004 C_N .

Облучая пробу нефти быстрыми нейтронами, не следует забывать о том, что замедление и термализация нейтронов происходит в самой пробе, если объём её достигает нескольких кубических сантиметров или десятков кубических сантиметров. В результате этого на тепловых нейтронах происходит активация ванадия, содержащегося в нефти, что вносит дополнительную ошибку при измерениях. Количество тепловых нейтронов можно уменьшить, поместив в кадмиевую кювету с нефтью кадмиевые перегородки или стружки, хорошо поглощающие тепловые нейтроны. В эксперименте с пробой весом 50 г с кадмиевым поглотителем активность ванадия уменьшилась в 5 раз.

В работе [8] среднеквадратичная ошибка отдельного измерения содержания азота составила 4,57%. Эту сравнительно большую величину ошибки можно объяснить тем, что мониторингирование производилось по излучению Sr^{87} , который имеет период полураспада сильно отличающийся от 10 минут, в то время как выход генератора сильно меняется.

Измерить содержание азота в нефти можно также по реак-

ции (n, γ), регистрируя гамма-кванты радиационного захвата тепловых нейтронов. Полониево-бериллиевый источник активности 5 кюри и четыре кристалла NaI(Tl) были помещены внутрь большого объема пробы, окруженной водой. Специальная электронная схема укорочения импульсов улучшала временное разрешение регистрирующей схемы, обеспечивая регистрацию гамма-квантов с энергией 10,8 Мэв при наличии большого числа более мягких гамма-квантов. Замедление быстрых нейтронов происходило в самой пробе, вода играла главным образом роль защиты. Время измерения 10-20 мин, относительная ошибка определения содержания азота 1,25% [12]. Мешающими элементами здесь могут быть железо и кремний, поэтому установка не должна их содержать. Различие в водородосодержании и здесь сказывается на величине плотности тепловых нейтронов.

Точность методов измерения основных элементов нефти приведена в итоговой таблице, элементы в которой даны в той последовательности, в которой целесообразно их определять:

Таблица

Точность определения основных элементов нефти

Элемент	Примерное содержание, %	Метод определения	Абсолютная ошибка, %
Кислород	1	НА	0,02
Водород	12	БМп	0,03
Сера	1	ГМп	0,03
Азот	1	НА	0,04
Углерод	85	По разности	0,12

Из таблицы следует, что углерод по разности определяется с достаточной точностью. Указанные ошибки можно уменьшить, если теперь учесть влияние тех элементов, которыми ранее пришлось пренебречь, так как их содержание было неизвестно.

Литература

1. Азимов С.А. Гамма-активационный метод определения содержания углерода в угле. - Докл. АН Узб. ССР, №2, 1966.
2. Бенецкий Б.А. Исследование неупругого рассеяния 14 Мэв

- нейтронов на ядрах лёгкого и среднего веса.—В сб.: Исследования атомного ядра с помощью заряженных частиц и нейтронов. М., изд-во "Наука", 1965.
3. Ботвина А.Я., Сокольский В.В., Файзрахманова Н.Р. Определение кислорода в меди и органических материалах на нейтронном генераторе.—В сб.: Труды второго Всесоюзного совещания по активационному анализу. Ташкент, изд-во "Фан" Узб. ССР, 1971.
 4. Либхафски Х.А., Пфрейфер Г.Г., Уинслоу Э.Г., Земани П.Д. Применение поглощения и испускания рентгеновских лучей. М., изд-во "Металлургия", 1964.
 5. Ляст И.Ц., Дробиз А.М., Хачатуров Ю.Г. Радиометрическое определение серы. М., изд-во "Химия", 1968.
 6. Михеев Л.М., Михеева Н.Б. Радиоактивные элементы в аналитической химии. М., Госатомиздат, 1961.
 7. Новые нефти восточных районов СССР. Справочник. М., изд-во "Химия", 1968.
 8. Шамаев В.И. Определение азота в органических соединениях методом активации быстрыми нейтронами.—В сб.: Труды I Всесоюзного координационного совещания по активационному анализу. Ташкент, изд-во "Наука" Узб. ССР, 1964.
 9. Эрих В.Н. Химия нефти и газа. М.—Л. изд-во "Химия", 1966.
 10. Anders O.U., Briden D.W. A rapid nondestructive method of precision oxygen analysis by neutron activation.—Analyt. Chem. Vol. 36, No 2, 1964, p. 287–295.
 11. Gibbons D. et al. Measurement of additives in oil.—Radiochemical methods of analysis. Proceedings of a symposium, Salzburg, 19–23 oct 1964. Vienna, Intern. Atomic Energy Agency, 1965.
 12. Nelligan W.B., Tittman J. A high stability gamma-ray spectrometer for use at high counting rates.—IRE transactions on nuclear science. Vol. NS-5, No 3, 1958.
 13. Seagrave J.D. The thick target yield of the reaction $C^{12}(p,\gamma)N^{13}$ —Phys. Rev., Vol 84, No 6, 1951, p. 1219–1221.
 14. Smith V.N., Otvos J.W. Hydrogen determination and liquid analysis with a beta-particle absorption apparatus—Analyt. Chem. Vol 26, No 2, 1954, p. 359.

НЕЙТРОННЫЙ АКТИВАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ НЕФТЕЙ С
ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЕЙ

Наряду с основными элементами (углерод, водород, кислород, сера, азот) нефть содержит свыше сорока микроэлементов с концентрациями в диапазоне 10^{-6} - 10^{-10} г/г и ниже. Во многих отечественных [2,5,12-14] и зарубежных работах [23 и др.] подчеркивается важность изучения микроэлементов в нефтях и их компонентах (асфальтены, смолы и др.) для понимания многих вопросов, связанных с генезисом и геохимической историей нефти. Важны различия в содержании микроэлементов не только в нефтях разных месторождений, но и для нефтей различных горизонтов одного и того же месторождения. Последнее может иметь существенное значение не только в геохимии нефти, но и при решении ряда практических вопросов, связанных с разработкой нефтяных месторождений.

До последнего времени основное внимание уделялось изучению двух микроэлементов: ванадия и никеля, соотношение концентраций которых варьирует в достаточно широких пределах у нефтей различного возраста и характеризует в определенной мере изменения, которые претерпела нефть в своем развитии [6,9,23]. Однако для решения широкого круга генетических вопросов необходимо привлечение данных о вариациях в нефтях содержания других микроэлементов [1,9-11].

Имеется целый ряд работ, в которых анализируется содержание большого числа микроэлементов в нефтях [13,15,18,19] и битумах [3]. Оценено содержание бора, натрия, магния, алюминия, кремния, калия, кальция, титана, ванадия, хрома, марганца, железа, кобальта, никеля, меди, цинка, галлия, германия, стронция, молибдена, бария, олова, имеются указания о наличии в нефтях бериллия, фосфора, хлора, рубидия, циркония, цезия, вольфрама, золота, тория, серебра, иода, иттрия, итербия. Однако, общее количество материала по концентрациям микроэлементов в нефтях недостаточно. Чувствительность спектрального анализа, используемого, в

основном, для этих определений, не всегда достаточна. Проведение спектрального анализа связано с трудоемкой процедурой озоления нефти, при которой теряется часть анализируемых элементов, за счет чего результаты анализа оказываются искаженными.

Все большее применение для изучения микроэлементов нефтей находит нейтронный активационный анализ, не требующий озоления нефти и обладающий по сравнению со спектральным анализом значительно большей чувствительностью для большинства определяемых элементов. Однако, в связи с многокомпонентностью нефти, как объекта исследования, наибольшая чувствительность и возможность одновременного определения большого числа элементов достигается лишь с применением радиохимии [24, 27]. Без радиохимии разработаны конкретные методики, позволяющие одновременно определять не более двух-трех элементов, причем общее число элементов, поддающихся анализу, относительно невелико. Судя по литературе, без применения радиохимии методом нейтронного активационного анализа разными авторами определялись: ванадий [1, 4, 17, 24, 25], хром [24], медь [17, 24, 30], натрий [22, 30], мышьяк [30], марганец [17, 18, 24], никель [30], бром [26, 30], цинк [17, 26], сурьма [24], аргон [16], железо [26], фосфор [26], хлор [26]. Применение радиохимии наряду с указанными дополнительно позволило определять кобальт, молибден, золото, селен, скандий.

Методики анализа на разные элементы отличаются энергией нейтронов, используемых для активации (тепловые нейтроны, быстрые нейтроны реактора, нейтроны с энергией 14 мэв, получаемые от генератора нейтронов, резонансные нейтроны), временным режимом облучения, выдержки и замера. Для выделения излучений определенных элементов используется как спектрометрия регистрируемых излучений с применением, чаще всего, сцинтилляционных спектрометров, так и расчленение кривых спада наведенной активности на компоненты по периодам полураспада. Однако во многих случаях разрешения сцинтилляционных спектрометров оказывается недостаточно для выделения линий определяемых элементов и необходимо введение соответствующих поправок на влияние других элементов. Расчленение кривых спада наведенной активности на

число компонент, большее двух (достаточно часто встречающаяся ситуация при анализе нефтей) связано с большими погрешностями. Все это приводит к существенному снижению точности анализа, особенно если при обработке результатов измерений не используются электронно-вычислительные машины.

Значительно увеличиваются возможности активационного анализа нефтей с развитием полупроводниковой гамма-спектрометрии. К сожалению, в настоящее время в литературе почти отсутствуют (за исключением разве [2E]) конкретные данные по применению полупроводниковых гамма-спектрометров для анализа нефтей. В этой связи нами были проведены исследования по выяснению возможностей качественного многокомпонентного анализа микроэлементов нефтей на примерах Ромашкинского и Марковского нефтяных месторождений, сильно различающихся по условиям образования.

Пробы нефтей объемом порядка 1 мл упаковывались в полиэтиленовые ампулы и облучались на реакторе типа ИРТ-2000 в потоке 10^{12} - 10^{13} нейтр/см²сек в течение 10-12 часов. Время выдержки проб от момента окончания облучения до начала замера составляло 10 дней и больше, что исключило из рассмотрения радиоизотопы с периодами полураспада, меньшими 15-20 часов.

Анализ гамма-излучения радиоактивных образцов осуществлялся с помощью полупроводникового германий-литиевого гамма-спектрометра, блок-схема которого представлена на рис. 1. Условия регистрации излучения примерно соответствовали 2π-геометрии. В работе использовался германий-литиевый детектор фирмы "САИП" (Франция) с активным объемом

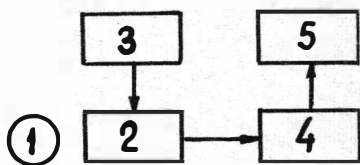


Рис. 1 Блок-схема полупроводникового гамма-спектрометра: 1-проба, 2-германий-литиевый детектор, 3-блок поляризации детектора, 4-низкошумящий зарядочувствительный усилитель, 5-многоканальный амплитудный анализатор.

тиевый детектор фирмы "САИП" (Франция) с активным объемом

20,5 см³. Разрешающая способность детектора при энергии 122кэв равна 2,4 кэв, а при энергии 1333 кэв - 3 кэв (см. рис. 2а, б), а фотопики и при малых (122 кэв), и при больших энергиях (1333кэв) в высокой степени симметричны (рис. 2а, в). Отношение ширины пика на уровне 0,1 его высоты к ширине на полувысоте равно 2. Отношение пик-комpton при энергии 1333 кэв равно 12.

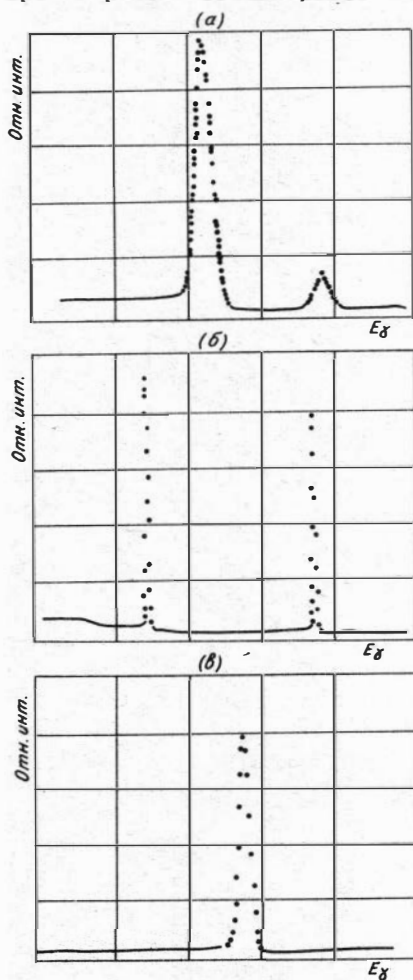


Рис. 2 Разрешающая способность и форма аппаратурных линий детектора:

- а) кобальт-57 ($E_{\gamma}=122$ кэв, $E_{\gamma}=136$ кэв),
- б) кобальт-60 ($E_{\gamma}=1173$ кэв, $E_{\gamma}=1333$ кэв),
- в) кобальт-60 ($E_{\gamma}=1333$ кэв).

В связи с тем, что использовавшийся нами амплитудный анализатор импульсов (АИ-12Б "Тензор-1") обладает малым числом каналов, пришлось прибегнуть к регистрации спектров по частям в энергетических интервалах 0-350кэв, 300-800кэв и 800-2000кэв. Небольшое перекрытие выбранных энергетических интервалов позволяет оценить относительную интенсивность линий различных участков регистрируемого спектра.

На данном этапе исследований, в основном, ставилась чисто качественная задача установления круга элементов, выявляемых в исследуемых пробах при используемом режиме облучения

и замера наведенной активности. Спектры снимались через 10 и 24 дня, а также через 4 и 8 месяцев после конца облучения. Время замера активности изменялось от десятков минут до несколько часов в зависимости от величины регистрируемой активности. Относительно большое время регистрации спектра при отсутствии в анализаторе устройств стабилизации спектра привело в ряде случаев к заметному уширению аппаратных линий по сравнению с ранее приведенными эталонными спектрами (рис. 2) вызванному, в основном, нестабильностью характеристик анализатора.

При идентификации изотопов учитывался как спектральный состав излучения, так и различие в периодах полураспада изотопов. Для изотопов, имеющих несколько линий в спектре, соотношение интенсивностей линий проверялось с использованием эталонных спектров, приведенных в [20, 21, 29]. Различие в спектральной чувствительности спектрометров, используемых при снятии эталонных спектров и в данной работе хотя и значительно, но не является препятствием при рассмотрении не слишком далеко удаленных линий. В самом деле, отношение интенсивностей линий 1,17 и 1,33 мэв кобальта-60 по данным [27] и по эталонному спектру, снятому с применяемым в данной работе спектрометром совпадает с точностью до второго знака. Поэтому при качественных сопоставлениях, достаточных во многих случаях для идентификации изотопов, использование таких эталонных спектров вполне оправдано.

На рис. 3 приведены гамма-спектры нефтей Ромашкинского, а на рисунке 4 - Марковского месторождений, снятые через 10 (рис. 3а, 4а) и 24 дня (рис. 3б, 4б) после облучения. Даже не проводя детального анализа спектров, можно сделать вывод, что они отражают содержание в анализируемых пробах большого числа элементов. При этом спектры дополняют друг друга, поскольку спектры (а) содержат линии элементов с относительно малыми периодами полураспада, а в спектрах (б) видны линии ряда долгоживущих изотопов, которые маскировались более интенсивными линиями короткоживущих изотопов в спектрах (а).

Рассмотрим спектры более детально. На спектре рис. 3а выявляется очень интенсивная линия 510кэв, характеризующая

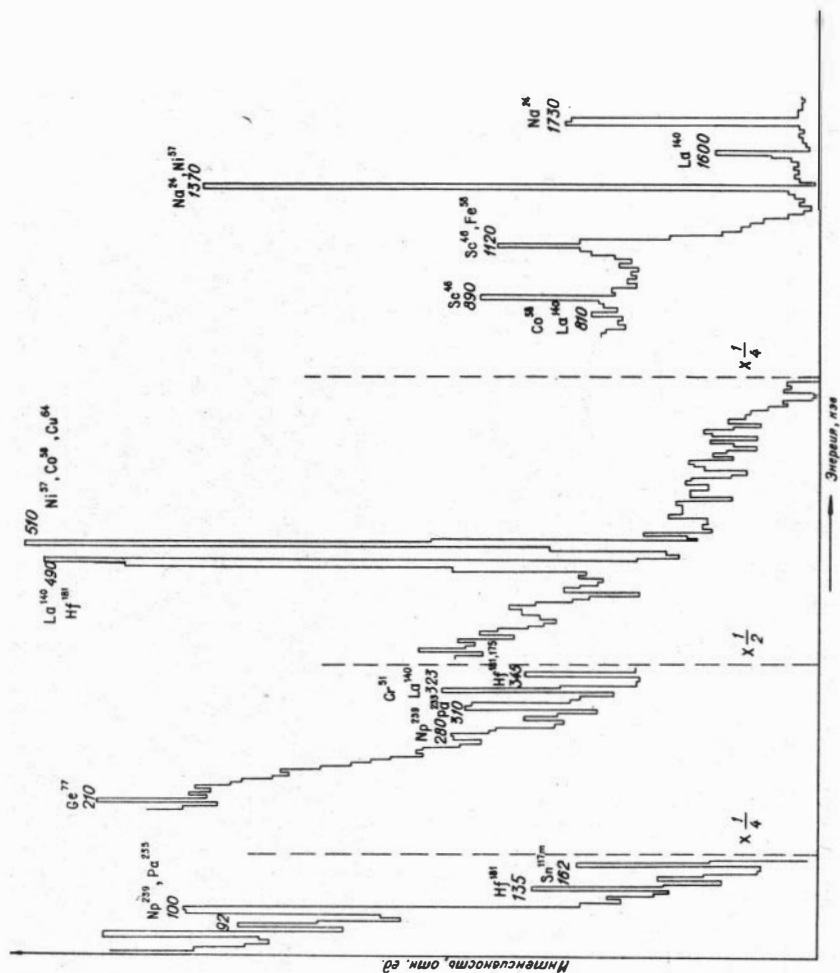


Рис.3а Гамма-спектр нефи Ромашкинского месторождения. Замер через 10 дней.

короткоживущий изотоп медь-64 ($T=12,88$ час) и образующийся по (n, p) - реакции на никеле долгоживущий изотоп кобальт-58 ($T=71,3$ дня), а также линии 1,37 и 1,73 мэв, характерные для натрия-24 ($T=15$ час). Эти линии менее ин-

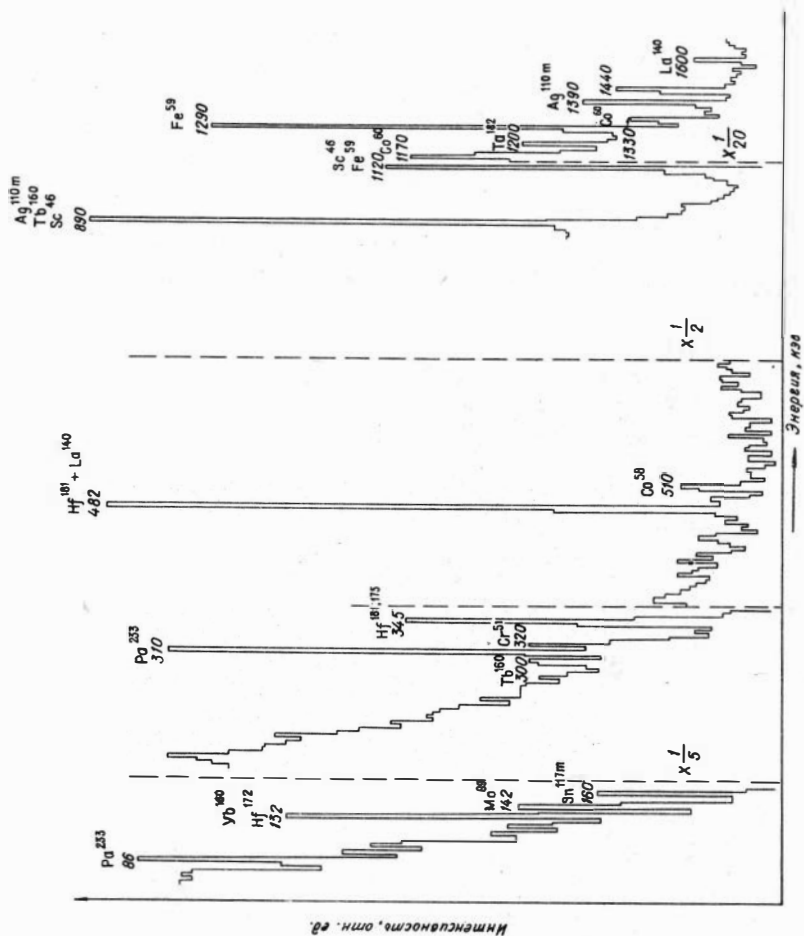


Рис.36 Гамма-спектр нефти Ромашкинского месторождения. Замер через 24 дня.

тенсивны на спектре рис.4а.В принципе, в линии 510 кэв и 1,37 мэв может дать вклад никель-57 ($T_{1/2}=36$ час), образующийся по реакции $(n,2n)$ из никеля-58, однако, как показывает

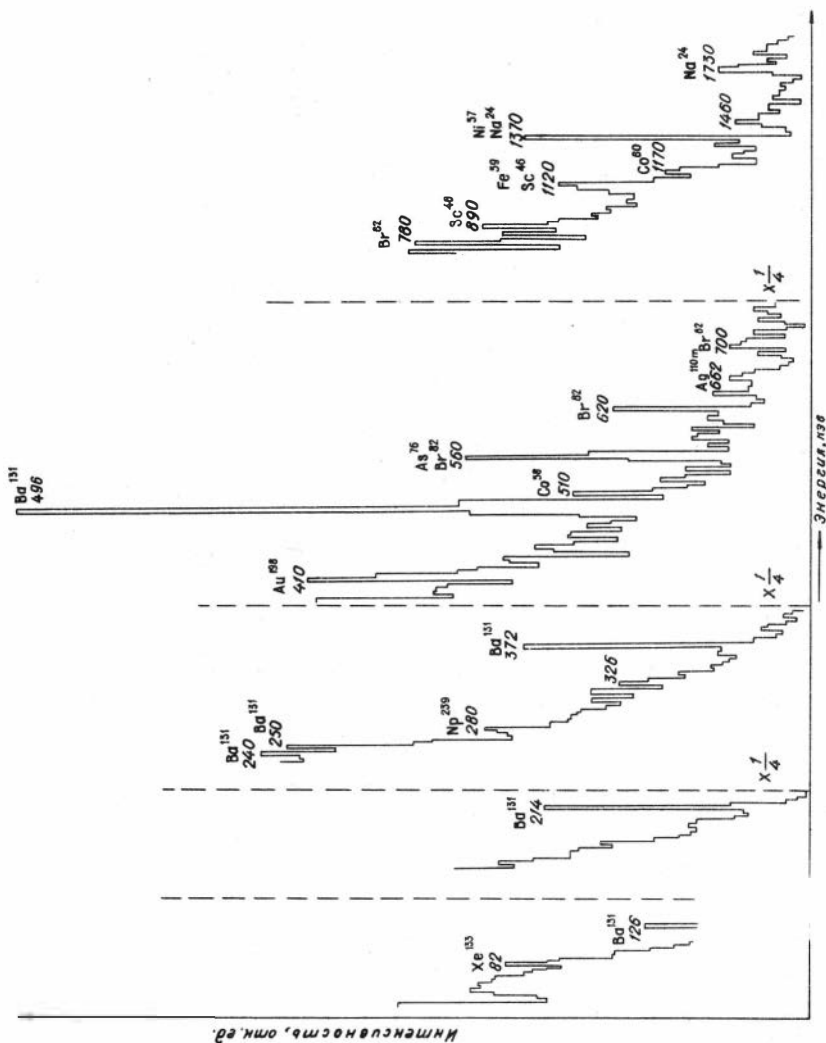


Рис.4а Гамма-спектр нефти Марковского месторождения. Замер через 10 дней.

расчет, при облучении нейтронами реактора равных содержания меди и никеля вклад никеля-57 в линию 510 кэв на три

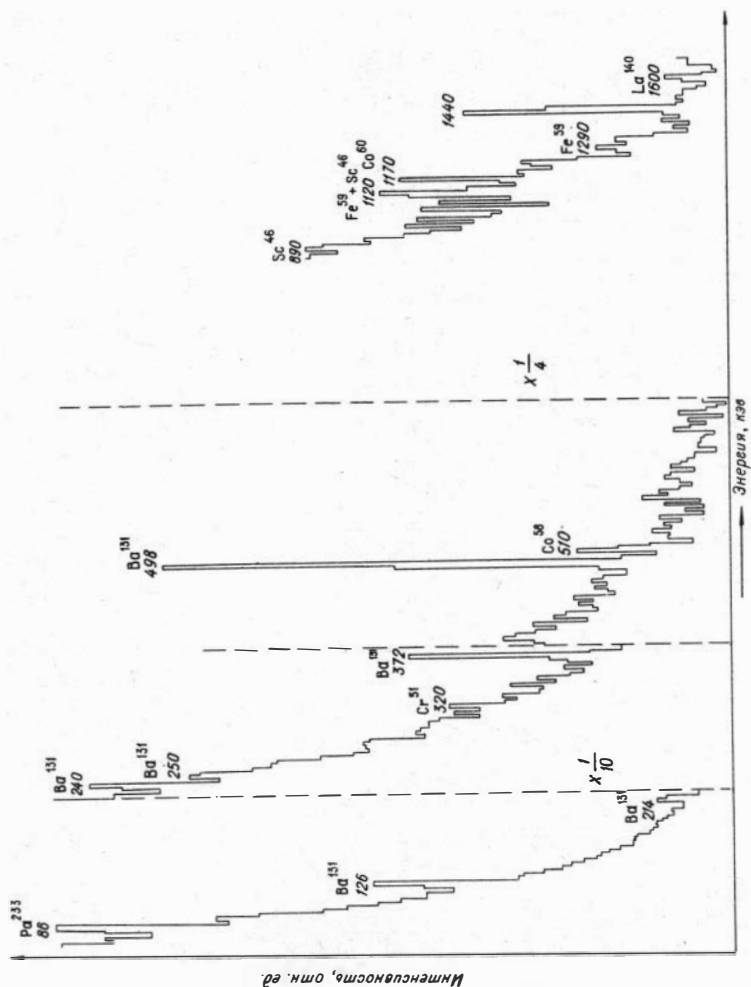


Рис. 46 Гамма-спектр нефти Марковского месторождения. Замер через 24 дня.

порядка меньше вклада меди-64. Вклад же этого изотопа в линию 1,37 мэв исчезающе мал. На спектре рис. 3а видны также интенсивные линии лантана-140 (323,490 и 1600 кэв) и гаф-

ния (135,345 и 482 кэв). Несколько меньшими интенсивностями на этом спектре характеризуются линии 210 кэв германия ($T=11,3$ час), 100 и 280 кэв нептуния-239 ($T=2,3$ дня), образовавшегося путем бета-перехода из урана-239, полученного по (n, γ)-реакции на уране-238. На спектре рис.4а наиболее четко выявляются линии бария-131, золота-198 и брома-82. Сопоставление интенсивностей линий лантана-140 на эталонных спектрах и спектрах рис.3 так же как такое же сопоставление интенсивностей линий гафния-181, позволяет сделать вывод, что линия 490 кэв характеризует сумму излучений лантана и гафния, а линия 323 кэв-лантана-140 и хрома-51. Разделение этих изотопов по периодам полураспада затруднительно. Дело в том, что лантан-140 частично может быть получен при делении ядер урана за счет распада образующегося при этом бария-140 ($T=12,8$ дня), в результате чего период полураспада лантана-140 может значительно отличаться от его табличного значения. Подтверждением происхождения лантана-140 за счет урана является присутствие линии 1600 кэв в спектрах, снятых через достаточно большое время после конца облучения, когда изотоп с периодом полураспада 40,2 часа уже должен полностью распастись. С учетом всего вышесказанного концентрацию гафния наиболее целесообразно определять по линиям 135 и 346 кэв, суммарную концентрацию лантана и урана-по линии 1600 кэв. Исключить вклад урана в линию 1600 кэв можно, определив его содержание по активности нептуния-239 с учетом соотношений интенсивностей линий 280 и 1600 кэв в исследуемом и эталонном спектрах или путем замера интенсивности линии 1600 кэв через время, необходимое для полного распада ядер лантана-140, образовавшихся непосредственно по реакции (n, γ).

Содержание хрома можно определять с некоторой ошибкой по линии 320 кэв хрома-51 ($T=27,8$ дня) через время, когда активность лантана-140, контролируемая по линии 1600 кэв окажется пренебрежимо малой.

Линия 162 кэв, очень четко проявляющаяся на спектре рис.3а, значительно более слабая на спектре 3б и совсем незаметная на спектре рис.4 характеризует сумму излучений олова-117 м ($T=14$ дней) и скандия-47 (3,4 дня). Последний

изотоп образуется по (n, γ) -реакции на кальций-46 с последующим переходом кальция-47 в скандий-47 ($T=4,53$ дня). Для уверенного определения кальция по этой линии необходимо проведение замера активности через время, меньшее используемого в данном случае. Для учета содержания олова необходим замер через 1,5-2 месяца после облучения.

Затруднительным является выделение излучения мышьяка-76 ($E_{\gamma}=560$ кэВ, $T=26,8$ час) в присутствии брома-82, имеющего в спектре очень близкую по энергии линию 565 кэВ и мало отличающегося по периоду полураспада. При равных количествах брома и мышьяка интенсивность излучения мышьяка-76 в два раза больше интенсивности излучения брома-82. Присутствие мышьяка-76 может быть определено по несоответствию отношения линий 560, 620, и 780 кэВ брома-82 по сравнению с эталонным спектром. В частности, на спектре 1 (б) отношение $I_{560}/I_{620}=2$ и характерно для брома-82. Это позволяет сделать вывод, что содержание мышьяка в исследуемой пробе существенно ниже содержания брома и оценено по данному спектру быть не может.

В спектрах выявляется целый ряд линий, характеризующих излучение долгоживущих изотопов. Наиболее интенсивными линиями, наряду с уже упоминавшимися линиями гафния, характеризуется скандий-46 (890 и 1120 кэВ, $T=83,9$ дня), железо-59 (1090 и 1290 кэВ, $T=46,5$ дня), барий-131 (122, 214, 372 и 496 кэВ, $T=11,5$ дня), протактиний-233 (86 и 310 кэВ, $T=27$ дней) и кобальт-60 (1170 и 1330 кэВ, $T=5,3$ года). Несколько менее интенсивны, кроме уже упомянутой линии 320 кэВ хрома-51, линии тербия-160 (300 и 360 кэВ, $T=72$ дня) и серебра-110 (660 и 1390 кэВ, $T=253$ дня).

Некоторые из этих линий однозначно характеризуют содержание соответствующих элементов в нефти: железа (по линии 1290 кэВ железа-59), бария, серебра, тербия, титана (по линиям протактиния-233). Ряд изотопов, линии которых имеются в спектре, может образоваться за счет различных ядерных реакций на ядрах нескольких элементов. Поэтому соответствующие линии характеризуют, в принципе, суммарное содержание ряда элементов. Так по интенсивности линии 890 кэВ (она практически полностью связана со скандием-46) определяется суммарное содержание титана и скандия (первый по реакции

(n, ρ), второй — по реакции (n, γ), по интенсивности линии 1170 кэв кобальта-60 — никель, медь и кобальт, активность хрома-51 может быть связана как с хромом, так и с железом. В случае суммы (титан+скандий) нельзя заранее исключить влияние одного из элементов. Хотя, судя по литературным данным, содержание титана в нефти существенно превышает содержание скандия, скандий может дать заметный вклад в излучение скандия-46, т.к. макроскопическое сечение (n, γ) реакции на скандии на 5 порядков превышает сечение реакции (n, ρ) на титане. Что касается излучения кобальта-60, то сечение соответствующей реакции на кобальте на 5 и 6 порядков, соответственно, превышает сечение реакций, дающих тот же изотоп на никеле и меди, так что линия 1170 кэв практически характеризует содержание кобальта (в линию 1330 кэв возможен вклад суммарного излучения (810+510 кэв) от линии кобальта-58, характеризующей содержание никеля). Точно так же излучение хрома-51 характеризует практически полностью содержание хрома, поскольку превышение на пять порядков сечения реакции (n, γ) на хrome полностью компенсирует не более чем на 2-3 порядка большее содержание железа в нефти.

Сложной является линия 1120 кэв, характерная для скандия-46 и цинка-65, а в случае недостаточного разрешения спектрометра включающая и линию 1090 кэв железа-59. Для определения цинка эта линия может использоваться или при замере через очень большое время, достаточное для распада скандия-46 и железа-59, или при исключении вклада этих изотопов с учетом соотношения интенсивностей соответствующих линий в эталонных спектрах.

В спектрах, приведенных на рис. 3 и 4 слабо выражена их средняя часть в интервале 500 кэв — 890 кэв. При более тщательном снятии этой части спектра в ней выявляются линии: 609 кэв сурьмы-124; 720 и 760 кэв циркония-95; 810 кэв кобальта-58 и 820 кэв марганца-54. В жесткой части спектра всех исследованных проб (анализировалось 6 проб нефтей различных месторождений и горизонтов, причем часть из них неоднократно) проявляется достаточно интенсивная линия 1440 кэв, принадлежащая долгоживущему изотопу с периодом полураспада порядка десятка суток.

Приведенный анализ не исчерпывает всего состава изотопов, излучение которых представлено в спектрах при данном режиме облучения и измерения. Тем не менее можно сделать вывод, что по этим спектрам, проведя соответствующую обработку, можно судить о наличии в анализируемых пробах таких элементов, как натрий, кальций, скандий, титан, хром, железо, кобальт, никель, медь, цинк, германий, мышьяк, бром, цирконий, серебро, олово, сурьма, барий, лантан, тербий, гафний, золото, торий и уран.

Сравнение спектров нефтей различных месторождений показывает, что имеются большие различия их по содержанию элементов. Из-за различного количества анализируемого материала и несколько различающихся условий замера в данном случае нельзя строго количественно сравнивать содержание элементов в этих нефтях, но даже при качественном рассмотрении спектров видно, что нефть Марковского месторождения значительно богаче барием, тогда как в нефти Ромашкинского месторождения несопоставимо больше тория, гафния и лантана. Существенно различаются сравниваемые нефти по отношению железа к титану, кобальта к титану и кобальта к железу. Так, судя по отношению интенсивностей линий 1290 кэв и 890 кэв нефть Марковского месторождения значительно обогащена железом, что подтверждается и данными спектрального анализа (содержание железа в нефти Марковского месторождения $2,4 \cdot 10^{-3}$, а Ромашкинского — $2,4 \cdot 10^{-6}$ г/г.) Значительно больше для нефти Марковского месторождения отношение интенсивностей линий 1170 и 890 кэв, в несколько раз больше для нее и отношение интенсивностей линий 1170 и 1290 кэв. При более детальном анализе можно, очевидно, увидеть и другие различия в сравниваемых нефтях.

Круг анализируемых элементов может быть значительно расширен путем использования различных временных режимов. Так при облучении на реакторе в течение 10 минут и замере спектров через 5 минут после прекращения облучения ($[2E]$) в спектре выявляются (см. рис. 5) линии алюминия-28 (1,78 мэв), натрия-24 (1,37 мэв и 1,73 мэв), хлора-38 (1,6 мэв), ванадия-52 (1,44 мэв), аргона-41 (1,29 мэв), марганца-56 (840 кэв), брома-80 (620 кэв) и цинка-69м (440 кэв).

Таким образом можно сделать вывод, что нейтронный акти-

вационный анализ с полупроводниковой спектрометрией регистрируемого излучения может быть эффективным средством для анализа элементного состава нефти.

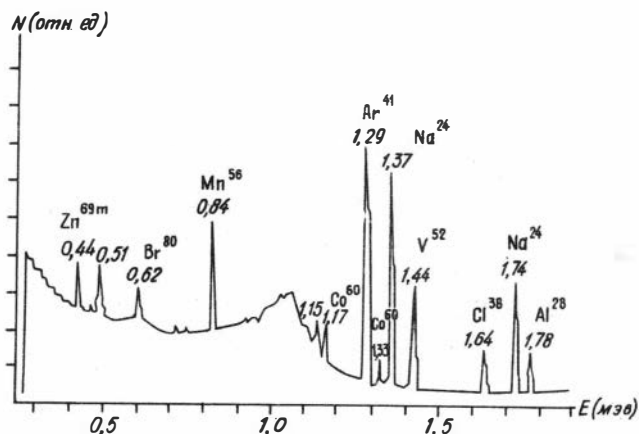


Рис.5 Гамма-спектр нефти при кратковременном облучении на реакторе

Количественное определение элементов по гамма-спектрам может быть проведено, если одновременно с анализируемыми нефтями проводить облучение и измерение эталонов с известным содержанием соответствующих элементов.

Проделанная работа не претендует на исчерпывающее рассмотрение вопросов качественного анализа микроэлементов в нефтях, а является первой пробной работой в этом направлении, на примере которой апробируются основы методики анализа и выявляются необходимые требования к регистрирующей аппаратуре и методам обработки получаемой информации. В частности, можно сделать вывод, что использование амплитудного анализатора с малым числом каналов для подобных работ крайне невыгодно и не позволяет полностью реализовать все спектрометрические характеристики германий-литиевого детектора. Переход к использованию анализаторов с числом каналов, порядка тысячи и больше делает невозможным проведение обработки информации без использования электронно-

-вычислительных машин. Методика и программа для обработки спектров при этом может быть реализована, например, аналогично приведенной в работе [10].

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Бланкова Т. Н., Русяев В. Г., Бочкарев Б. Н. Активационный анализ нефтей на ванадии. Сб. Ядерно-физические методы, Новосибирск, "Наука", 1971.
2. Богомолов А. И., Шишанский В. К. Основные направления развития методов исследования нефтей в нефтяной геохимии. Материалы 9 совещания работников лабораторий геологических организаций, вып. 6, ротапринт ВИМС, М., 1965.
3. Виноградов А. П., Ассоциация твердых битумов с тяжелыми металлами. Сб. Неметаллические ископаемые СССР, т. 2, 1943.
4. Глухов Г. Г., Мещеряков Р. Л., Яковлев Б. М. К определению содержания микропримесей в нефти радиоактивационным методом. Программа и тезисы докладов 18 ежегодного совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Рига, изд-во "Наука", Л., 1968.
5. Гуляева Л. А. Некоторые современные направления геохимических исследований осадочных пород, связанные с геологией нефти. Сб. Геохимия каустобиолитов и их месторождений, М., изд-во АН СССР, 1962.
6. Гуляева Л. А., Лосицкая И. Ф. Взаимодействие нефтей с ванадием в водных растворах. Геохимия № 7, 1967.
7. Гуляева Л. А., Лосицкая И. Ф., Ковалева Т. А. Ванадий и цинк в каустобиолитах. Сб. Микроэлементы в каустобиолитах и осадочных породах. М., "Наука", 1965г.
8. Гуляева Л. А., Лосицкая И. Ф. Исследование содержания германия в нефтях Советского Союза. Геохимия, № 2, 1959.
9. Деменкова П. Я. К вопросу о связи ванадия и никеля с нефтями девонских отложений Болго-Уральской области. Сб. Об условиях образования нефти. М., Гостоптехиздат, 1955.
10. Дубинская Н. А., Янсон Л. Б. Вычислительная программа для активационного анализа по гамма-спектрам. Сб. Методы и применение нейтронного-активационного анализа. Рига, изд-во "Зинатне", 1969.
11. Израелян А. Д. Распределение комплекса микроэлементов в

- отложениях майкопской свиты Азербайджана в системе нефть-порода-вода. Труды Азерб. НИИ по добыче нефти, вып. 9, 1960.
12. Карцев А.А. Основы геохимии нефти и газа. М., "Недра", 1969.
 13. Катченков С.М. К вопросу о накоплении зольных элементов в нефтях. Труды ВНИГРИ, новая серия, вып. 83, Гостоптехиздат, 1955.
 14. Катченков С.М. К вопросу о накоплении элементов семейства железа ДАН, т. 143, №2, 1962.
 15. Катченков С.М. Спектральный анализ горных пород, Л., "Недра", 1964.
 16. Катченков С.М., Флегонтова Е.И. Малые элементы в осадочных породах и нефтях Западной Сибири. Труды ВНИГРИ, вып. 227, 1964.
 17. Лобанов Е.М., Мингалеев Г.Г. Количественное определение алюминия, ванадия, марганца, цинка и меди в золе и сырой нефти методом активационно-аналитического анализа. Сб. Активационный анализ элементного состава геологических объектов. Ташкент, изд-во "Фан", 1967.
 18. Лобанов Е.М., Мингалеев Г.Г. Нейтронно-активационное определение некоторых элементов в образцах сырой нефти. Сб. Там же.
 19. Филонов В.А. Уран в нефтях днепровско-донецкой и припятской впадин. ДАН СССР, т. 159, №2.
 20. Фирсов В.И., Сухов Г.В. Атлас гамма-спектров радиоизотопов, измеренных на германий-литиевом спектрометре. Ротапринт ин-та "Гиредмет", М., 1969.
 21. Applied gamma-ray spectrometry. Ed. Crouthamel, Pergamon Press, 1960.
 22. Caddock B.D., Deterding J.H. The determination of sodium in heavy fuel oils by neutron activation analysis. Analyst, 90, 1072, 1965.
 23. Colombo U.R. I metalli in tracce nella geochimica del petrolio. La rivista dei combustibili, 18, 1964, p. 462.
 24. Colombo U.P. Systematic neutron technique for the determination of trace metals in petroleum. Anal. Chem., 36, 1964, p. 82.
 25. Fimio Aoki, Minory Okada Determination of vanadium in petroleum. Tokyo Kgyo Shikens no Hokoku, 58, 49, 58, 1963.

26. Gibbons D., Mc Gabe W.J., Clive G. The application of $^{14}\text{-mev}$ neutron activation analysis to the measurement of additives in lubricating oil. Radiochemical methods of analysis, vol. 1, 1965. Proceedings of a simposium in Salzburg.
27. Patek P., Bildstein H. Bestimmung von Spurelementen in Erdölen des Feldes Matzen-Auersthal mit Neutronen-aktivierung analysis. Z. für Anal. Chem., 5, 3, 1967.
28. Rodenbusch H., Prokop R. Neutronen Aktivierungsanalyse in der Mineralölindustrie. Erdöl und Kohle, 8, 1969.
29. Salmon L. Gamma-ray spectroscopy applied to radioactivation analysis. Harwel, 1959.
30. Veal D.J. Nondestructive activation analysis of grude oils for arsenic to one part per billion and the simultaneous determination of five other trace elements. Anal. Chem. 38, 8, 1966.

Т. Н. БЛАНКОВА, Б. Н. БОЧКАРЕВ, В. Я. ЖАВОРОНКОВ, Л. А. ЧЕРНЯКОВА,

М. З. ЮСУПОВ

ВОЗМОЖНОСТИ НЕЙТРОННОГО АКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА ПЛАСТОВЫХ ЖИДКОСТЕЙ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ В НЕФТЯНЫХ СКВАЖИНАХ ПЛАСТОВ, ОБВОДНЕННЫХ ОТ ЗАКАЧКИ

При эксплуатации нефтяных месторождений с применением законтурного и внутриконтурного заводнения весьма актуальным является контроль за продвижением закачиваемых вод по пласту. В связи со сложностью этой задачи, обусловленной неоднородностью коллекторских свойств пластов и трудностью их оценки, ни один из многочисленных применяемых методов не оказывается достаточно эффективным, и постоянно идет поиск новых, более эффективных методов.

В настоящее время в практику геофизических исследований внедряются скважинные опробователи пластов, позволяющие в скважине взять пробы пластовых жидкостей из разных пластов с целью оценки характера этих жидкостей.

Нами были проведены исследования по выяснению возможностей нейтронного активационного анализа с облучением проб на реакторе и замером активностей на полупроводниковом гамма-спектрометре при изучении пластовых жидкостей.

При этом решалась задача выявления пластов, содержащих дошедшую по данной скважине закачиваемую воду, другими словами — выявления пластов, обводненных за счет закачки поверхностной воды. Разделение пластов, содержащих "глубинную" пластовую воду и воду, закачанную с поверхности, основывалось на различии в химическом составе глубинных и поверхностных вод. В качестве параметра при сопоставлении таких вод обычно используется отношение Cl/Br , которое для вод в хорошо промываемых структурах оказывается больше, чем в менее промываемых [2]. Нами в качестве параметра, характеризующего исследуемые воды, использовалось отношение Na/Br .

Для пластовых вод Ромашкинского нефтяного месторождения, где $NaCl$ является основной солевой компонентной вод и лишь незначительное количество хлора связано с другими элементами (магний, кальций), характер изменения отношения Na/Br должен быть тот же, что и для Cl/Br . Замена хлора на натрия диктовалась условиями измерения проб, облучение которых проводилось на удаленном от измерительных устройств реакторе, и на доставку проб от реактора к измерительным устройствам требовалось время, за которое короткоживущий изотоп хлор-38 ($T=38$ мин) полностью распадается.

Объектом исследования являлись воды, взятые скважинным опробователем пластов из скважин Ромашкинского нефтяного месторождения Татарии. Пробы были подобраны таким образом, чтобы в рассмотрение были включены пласты, как хорошо промытые закачиваемой водой, так и не измененные за счет закачки.

Исследования проводились следующим образом. Пробы воды объемом 1,5 мл запаивались в полиэтиленовые ампулы и облучались на реакторе в течение 30 минут потоком нейтронов $\sim 10^{12}$ н/см²сек. Затем через 7 дней после облучения (время доставки проб от реактора к измерительному устройству) с использованием полупроводникового спектрометра с кристаллом германия объемом ~ 20 см³ и амплитудного анализатора АИ-128 (характеристика аппаратуры дана в [1]) снимались гамма-спектры облученных проб.

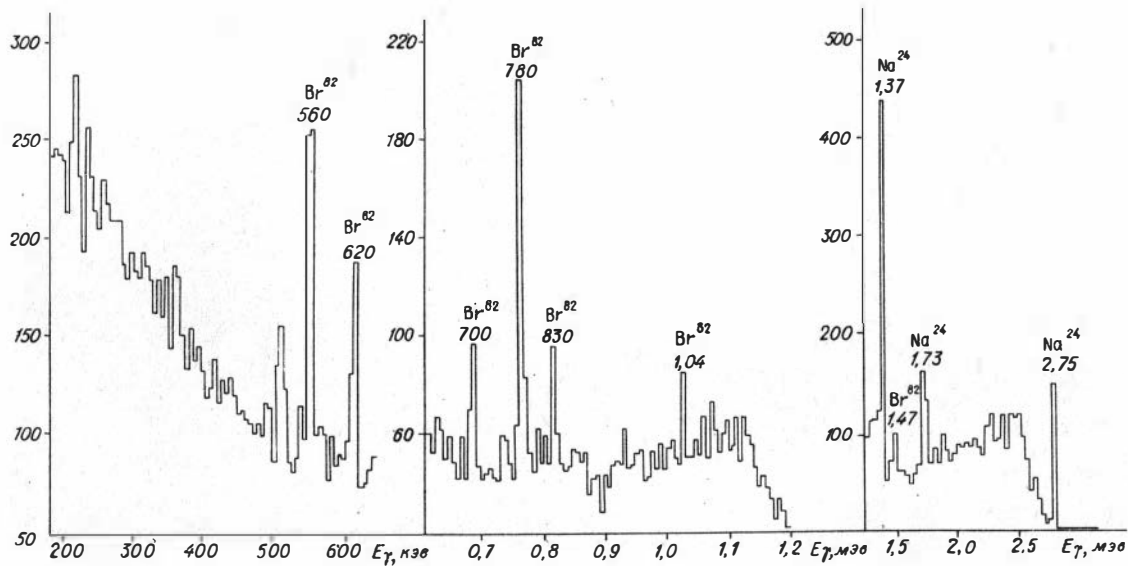


Рис.1 Спектр воды из скв.6349. Глубина отбора пробы 1781,4 м.Замер через 7 дней после облучения.

При измерении спектров не ставилась задача выявления большого числа элементов, определению подлежали лишь линии изотопов натрия-24 ($T=15$ час) и брома-82 ($T=36$ час). Типичный спектр, полученный при таких измерениях, приведен на рис. 1. Спектр снят по частям в энергетических интервалах 200–650 кэв, 550–1200 кэв и 1,2–3 мэв, что связано с особенностями использования амплитудного анализатора с недостаточным для обеспечения требуемого энергетического разрешения числом каналов. Спектр содержит всю группу интенсивных линий брома-82 (560, 620, 700, 780 и 830 кэв, 1,04 и 1,47 мэв) и натрия-24 (1,37, 1,73, и 2,75 мэв). В качестве меры количества натрия и брома использовалась суммарная интенсивность всех линий соответствующего изотопа.

Было проанализировано 11 водных проб, взятых из различных пластов пяти скважин Ромашкинского месторождения. Характеристика соответствующих пластов давалась по результатам геофизических исследований скважин, проведенных Лениногорской промыслово-геофизической конторой треста "Татнефтегеофизика" (см. табл. 1).

На рис. 2 приведено сопоставление суммарных интенсивностей линий брома-82 и натрия-24 для исследованных проб.

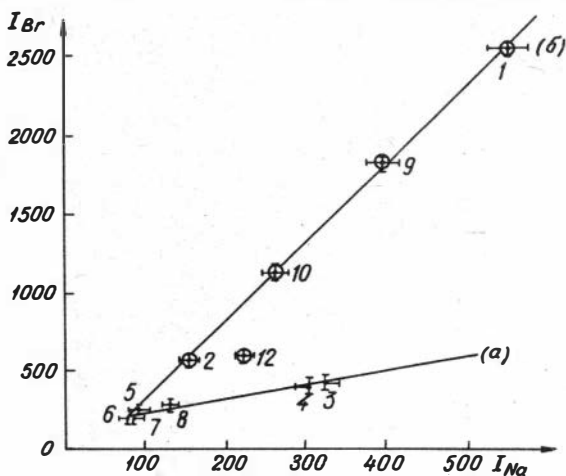


Рис. 2 Связь I_{Br} и I_{Na} для пластов, промытых закачиваемой водой (а) и пластов, до которых закачиваемая вода не дошла (б).

Как видно из рисунка, наблюдается резкое различие в отношении N_a/B_z , с одной стороны, для пластов, хорошо промытых закачиваемой водой (пробы 3, 4, 5, 6, 7, 8) и, с другой стороны, — пластов водоносных или нефтеносных (дающих наряду с нефтью некоторое количество воды), до которых закачиваемая вода заведомо не дошла (пробы 1, 2, 9, 10). В первом случае среднее отношение N_a/B_z равно 0,8, во втором — 0,2. Превышение значения N_a/B_z для пластов, промытых закачиваемой водой, хорошо согласуется с общими представлениями, высказанными выше. Проба 11 характеризуется промежуточным значением N_a/B_z , что свидетельствует о смещении в ней воды закачиваемой и пластовой.

Таблица 1

Характеристика исследованных проб по геофизическим данным

№ пробы	Площадь	№ скважины	Глубина отбора пробы	Плотность воды, г/см ³	Характеристика пласта по геофизическим данным
1	В. Лениногорская	6349	1781,4	1,01	нефтеносный алевролит
2.	"	"	1802,8	1,002	водоносный песчаник
3	Зеленогорская	4772 ^a	1787,2	1,003	песчаник, обводненный от закачки
4	"	"	1756,4	1,001	"
5	Ю. Ромашкинская	9463	1739,2	1,001	"
6	"	"	1751,2	1,000	"
7	"	"	1762,0	1,001	"
8	Зай-Каратаевская	9243	1732,4	1,000	обводненный песчаник
9	"	"	1734,0	1,004	первоначально: песчаник, обводненный от закачки, при повторной интерпретации: нефтеносный песчаник с некоторым количеством соленой воды
10	"	"	1749,2	1,002	нефтеносный песчаник
11	Зеленогорская	8342	1702,4	1,002	"

Используемый метод оказался эффективным для разделения пластов, несмотря на сильное опреснение анализируемых вод (плотность воды в исследуемых пробах меняется в очень узких пределах от 1 до 1,01 г/см³). Статистическая ошибка при определении активностей натрия-24 и брома-82 для подавляющего большинства проб несопоставима мала по сравнению с различиями в содержании натрия и брома для разных пластов. Лишь для проб 5, 6, 7 с минимальной концентрацией натрия однозначная характеристика пласта оказалась невозможной.

Полученных материалов, конечно, недостаточно для того, чтобы сделать окончательные выводы об эффективности и ограничениях метода активационного анализа для решения поставленной задачи. Однако даже первые результаты, полученные с его использованием, свидетельствуют о целесообразности дальнейшей разработки метода и проверки его на большем промышленном материале.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Бланкова Т. Н., Бочкарев Б. Н., Жаворонков В. Я. Нейтронный активационный анализ микроэлементов нефтей с использованием полупроводниковой гамма-спектрометрии (настоящий сборник).
2. Гавриленко Э. С. Гидрохимические показатели нефтеносности по солевому и изотопному составу подземных вод. Киев, изд-во "Наукова думка", 1965.

Т. Н. БЛАНКОВА, М. Г. НАГАЕВ, И. М. АМЕРХАНОВ

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙТРОННОГО АКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА С ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ СПЕКТРОМЕТРИЕЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ НЕФТЕЙ ТАТАРИИ

Анализ содержания микроэлементов в нефтях имеет большое значение при изучении вопросов происхождения, миграции и геохимии нефтей, а также играет существенную роль для решения некоторых практических задач, связанных с промышленным использованием нефтепродуктов. Бедность металлоорганических соединений для процессов переработки нефти совершенно очевидна, особенно в связи с развитием каталитических процессов переработки и повышением требо-

ваний к стабильности нефтепродуктов.

Для выяснения генетических связей нефтей и битумов и корреляции их по разрезу и площади многие исследователи наряду с другими геохимическими и физическими параметрами привлекают данные о содержании микроэлементов в нефтях. Большинство геохимических работ, посвященных микроэлементам нефти, связаны с определением содержания в нефти ванадия и никеля. Большое значение, однако, может иметь определение в нефтях других элементов, содержание которых значительно ниже содержания ванадия и никеля и происхождение которых, в отличие от происхождения ванадия и никеля является вторичным по отношению к нефти.

Определение чаще всего только ванадия и никеля (изредка железа, меди, марганца и др.) вызвано не только исключительным интересом к этим элементам, но и из-за ограниченный применяющихся аналитических методов. Общепринятыми методами определения микроэлементов являются спектральные методы, основанные на анализе золы или кокса. Как показали исследования Л. А. Гуляевой и Г. И. Ермаковой при озолении нефтей и битумов происходит заметное улетучивание микрокомпонентов. Поэтому они предложили проводить анализ кокса. Однако последний метод тоже не гарантирует от улетучивания микроэлементов как при приготовлении кокса, так и при его сжигании в приборе.

Нами была опробована для изучения микроэлементов в нефтях, асфальтенах и битумах методика нейтронного активационного анализа с полупроводниковой гамма-спектрометрией. При анализах с нейтронной активацией нет необходимости превращения нефтей в золу или кокс, и концентрации элементов, определенных этим методом, ближе подходят к истинным.

Объектом исследования служили пробы нефтей, битума и асфальтенов месторождений Татарской АССР. Несмотря на то, что в литературе имеются достаточно подробные обзоры, касающиеся содержания микроэлементов в нефтях, битумах и породах Урало-Поволжья (А. П. Виноградов, 1936; Л. А. Гуляева, 1945г.; С. М. Катченков, 1964г.; П. Я. Деменкова, 1955: и др.), данных по месторождениям Татарии очень мало (Л. А. Гуляева, 1952г.).

Образцы нефтей и асфальтенов подбирались с таким рас-

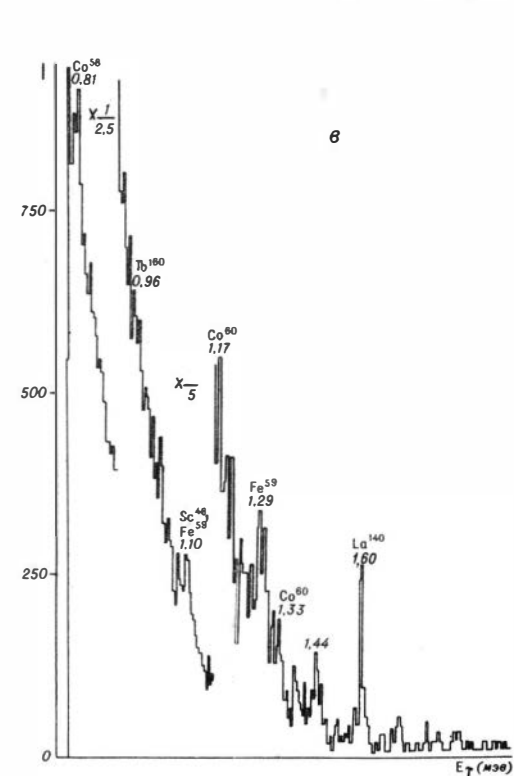
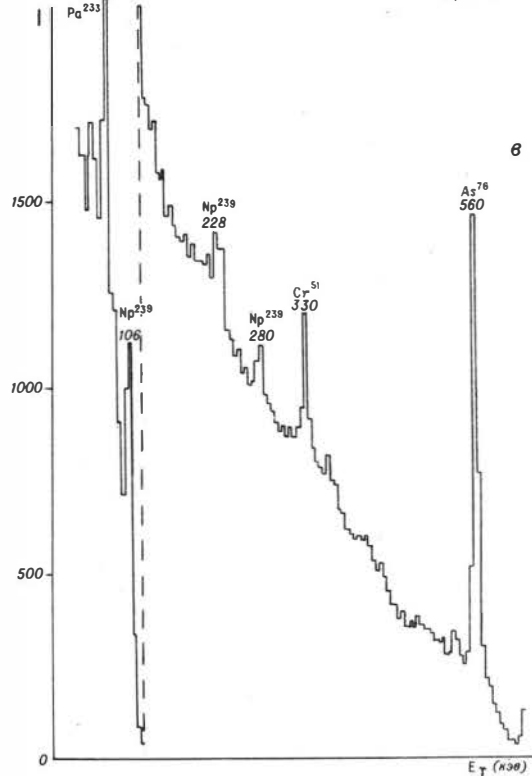
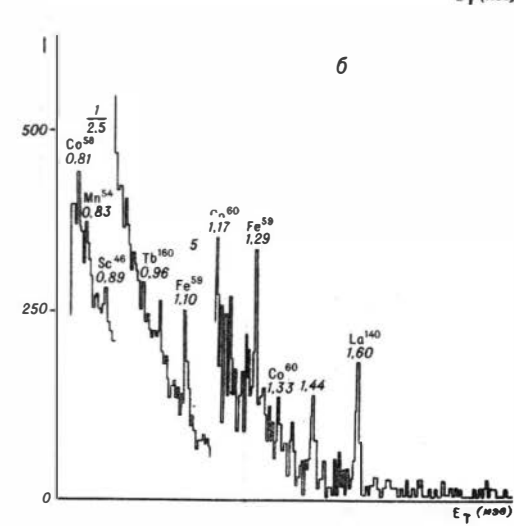
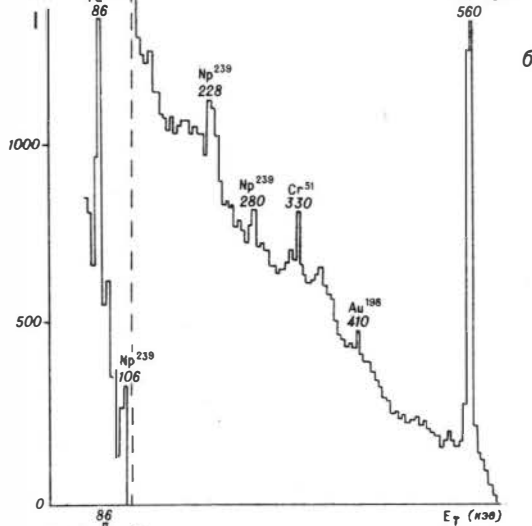
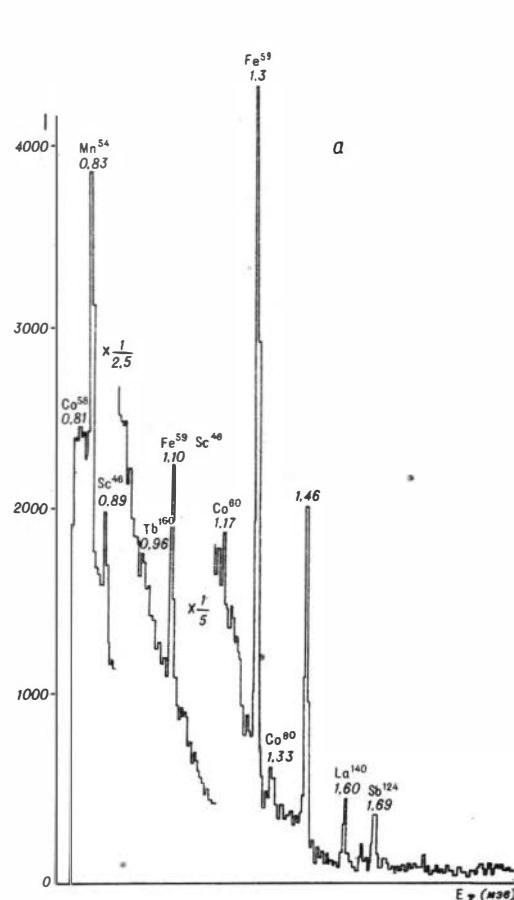
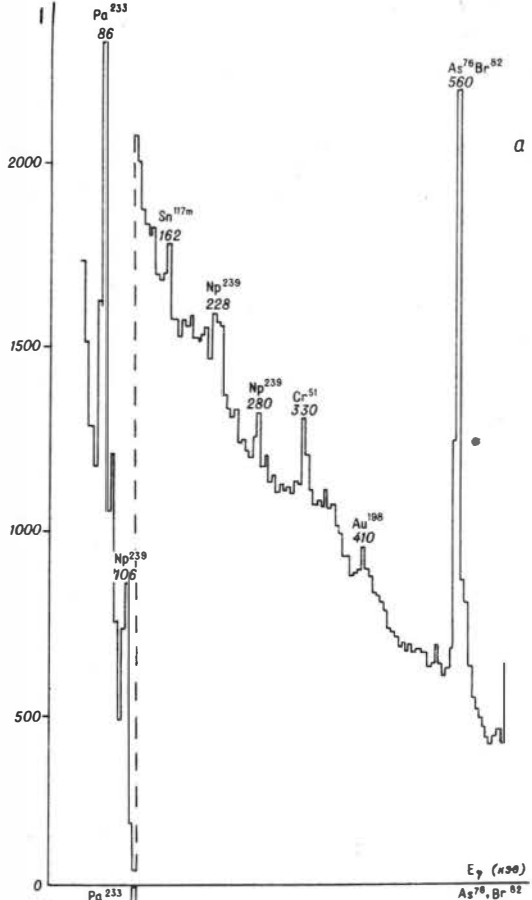


РИС. 1 ГАММА-СПЕКТРЫ НЕФТЕЙ БАВЛИНСКОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ: а) скв. 165, пласт С₁; б) скв. 362, пласт Д₁; в) скв. 475, пласт Д₃.

четом, чтобы были представлены как различные месторождения, так и разные стратиграфические горизонты. Пробы нефти были отобраны со скважин 362 и 475 Бавлинского месторождения и 3330 Ромашкинского месторождения (все-девонская система) и скважины № 165 Бавлинского месторождения (каменноугольная система). Асфальтены выделялись из нефти со скважины 4313 (девонская система) и 27 (каменноугольная система) петролейным эфиром путем повторного переосаждения по общепринятой методике. Некоторые характеристики исследованных нефтей и асфальтенов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты анализов некоторых нефтей и асфальтенов

Месторождение	Номер скважины	Возраст вмещающих пород (ярус, подъярус)	Пласт	Содержание в нефти			
				асфальтены %	смолы %	мг/100г	
Ромашкинское	4313	нижефранский	D ₁	2,64	14,3	200 ^x	13 ^x -
" "	3330	" "	" "	-	-	6,3	2,4 0,2
Бавлинское	362	" "	" "	1,1	1,0	3,1	1,2 0,4
" "	475	живетский	D ₃	0,7	8,5	1,2	0,7 0,1
" "	165	турнейский	C ₁ ¹	6,8	19,6	18,9	4,7 0,8
Шугуровское	27	визейский	C ₁ ²	5,63	18,9	209 ^x	32 ^x 0,3

^x содержание в асфальтенах.

Указанное в таблице содержание ванадия, никеля и железа определялось эмиссионным спектральным методом на приборе ИСП-2Э.

Как известно, на территории Татарской АССР в пермских отложениях заключены большие запасы битумов, которые представляют громадные потенциальные запасы горючих ископаемых. Определение содержания микроэлементов в битумах и сопоставление их с нефтями имеет существенное информационное значение с точки зрения геохимии и формирования залежей.

Использованный в данных исследованиях образец битума

представлял собой нефтееподобную жидкость, полученную из битуминозного песчаника Сугушлинского месторождения (Уфимский ярус) методом вытеснения жидкой углекислотой. В нем содержалось 6,3% асфальтенов и 16,4% смол (спирто-бензольных).

Нефти перед облучением фильтровались, а затем запаивались в полиэтиленовые ампулы диаметром ~5 мм. Для упаковки асфальтенов и битума использовались полиэтиленовые ампулы диаметром ~3 мм. При облучении на реакторе нефть бралась в количестве 1 мл, количество асфальтенов составляло 34,6 мг (скв. 4313) и 20,8 мг (скв. 27), количество битума — 62,5 мг. Время облучения проб нефтей Бавлинского месторождения, асфальтенов и битума составляло 12 час, поток нейтронов 10^{12} н/см²сек. Проба нефти из скв. 3330 Ромашкинского месторождения облучалась 12 часов потоком реакторных нейтронов 10^{13} н/см²сек. Наряду с облучением проб на

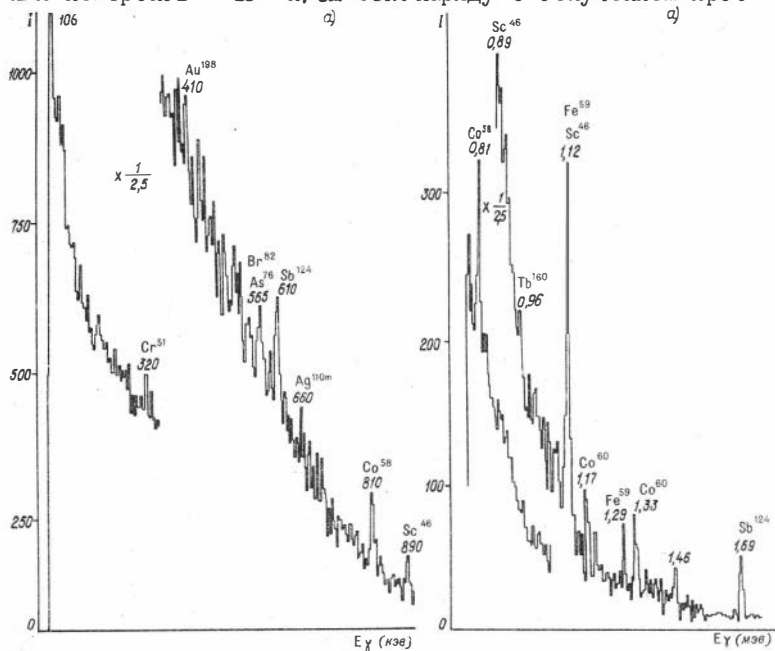


Рис. 2а Гамма-спектры асфальтенов. Скв. 27 Шугуровского месторождения, пласт С₁².

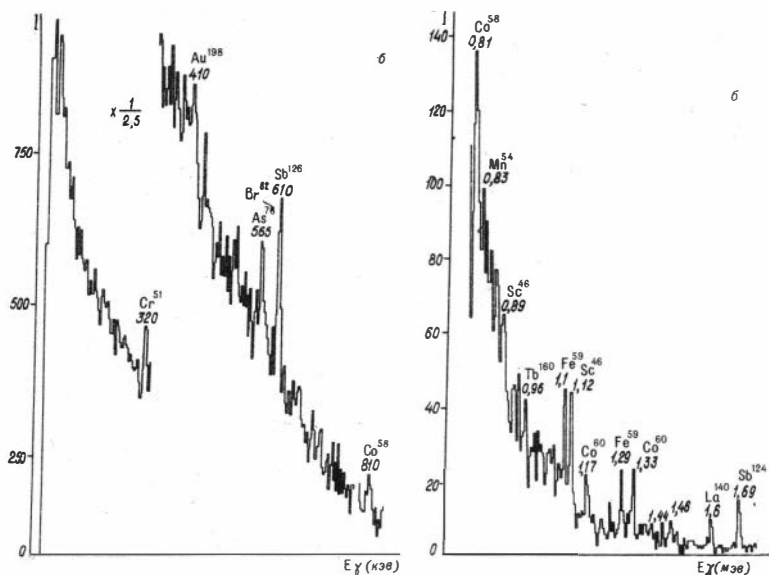


Рис.26 Гамма-спектры асфальтенов.Скв.4313 Ромашкинского месторождения, пласт Д₁

реакторе проводилось облучение их генератором нейтронов. Для этой цели использовался лабораторный генератор нейтронов Института геологии и геофизики СО АН СССР с выходом $\sim 10^9$ н/сек (по быстрым нейтронам). Мишень генератора окружалась парафином для использования наряду с быстрыми нейтронами с энергией 14 мэв и тепловых нейтронов. Облучались пробы нефти из скв.165 Бавлинского месторождения (турнейские отложения) и скв.3330 Ромашкинского месторождения (девон). Вес проб 50 г. Время облучения 20-30 минут.

Измерение гамма-спектров активированных проб осуществлялось на полупроводниковом спектрометре с кристаллом германия объемом 20 см³ (характеристика спектрометра дана в [1]), сочлененном с амплитудным анализатором АИ-256.

Спектры нефти Бавлинского месторождения, асфальтенов и битума, облученных на реакторе, снимались по час -

тям в энергетических интервалах 0-800 кэв и 800 кэв-2мэв. Перерыв между облучением и замером при снятии мягкой части спектра составлял 10-12 дней, жесткая часть спектра снималась через 1 месяц после облучения. Спектры нефти из скв. 3330 снимались через 12 и 24 дня, а также через 4 и 8 месяцев после облучения. Замер спектров нефтей, облученных генератором нейтронов, проводился через 2 мин после конца облучения, набор спектров осуществлялся в течение 20 мин.

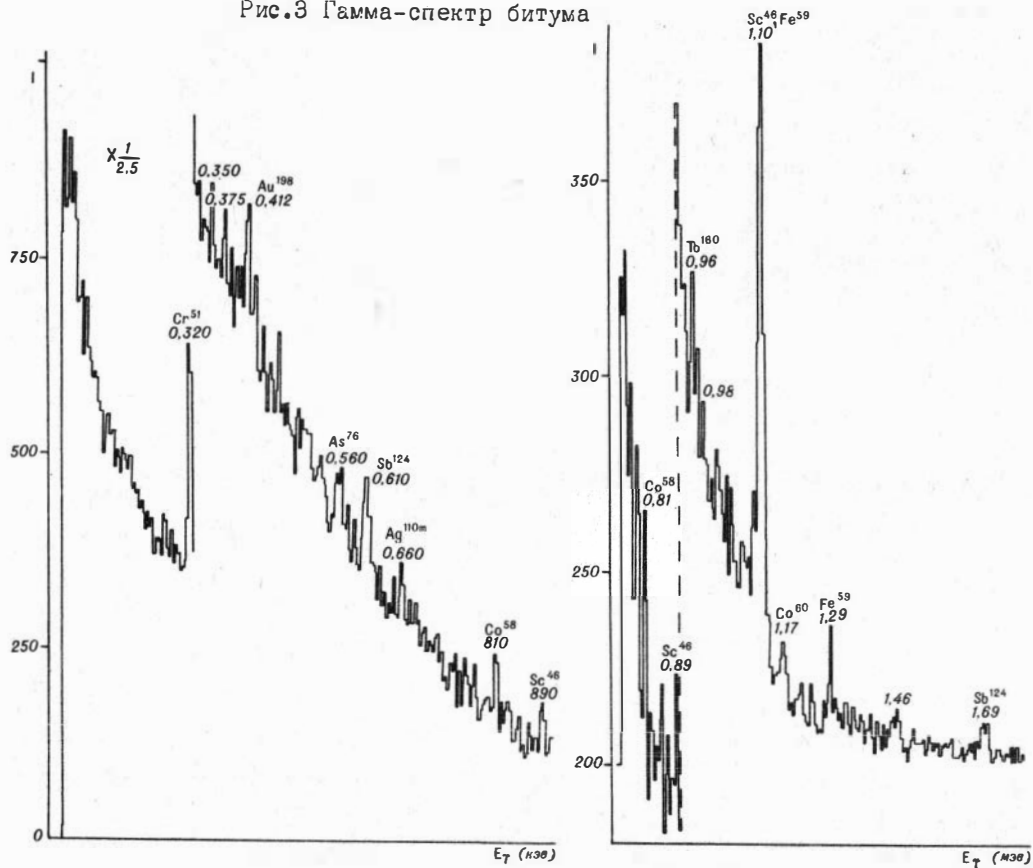
На рис. 1, 2, 3 приведены спектры проб, облученных на реакторе. Рис. 1 демонстрирует спектры нефтей Бавлинского месторождения, рис. 2 - спектры асфальтенов, рис. 3 - спектр битума. Спектры нефти из скв. 3330 и характеристика условий облучения и замера даны в [1]. На рис. 4 приведены спектры нефтей из карбона (турнейские отложения в скв. 165) и девона (скв. 3330), полученные после облучения проб на генераторе нейтронов. Наклонные прямые на спектрах - калибровочные прямые, полученные по замерам на эталонах с известными энергиями гамма-линий и используемые для калибровки спектра по энергиям.

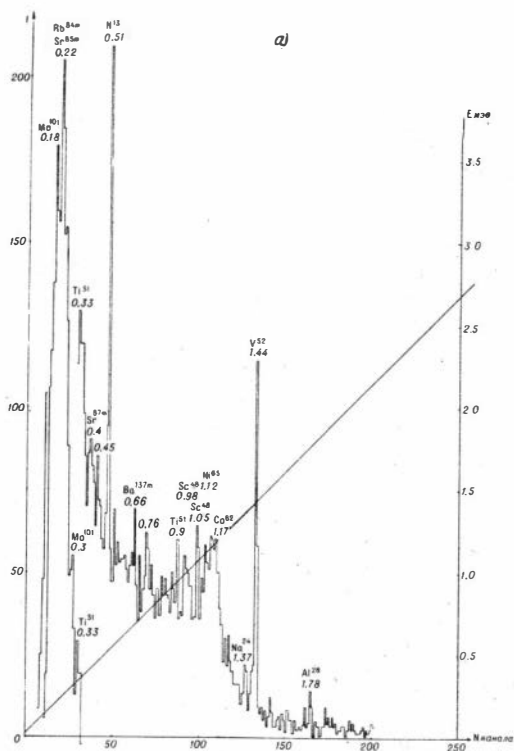
Из рассмотрения всех имеющихся в нашем распоряжении спектров можно сделать вывод, что комплекс элементов, обнаруженных во всех исследованных объектах, практически совпадает. Несколько отличается этот комплекс в спектре нефти из скв. 3330, в котором выявляются дополнительно линии 135 кэв гафния-181, 142 кэв молибдена-99, 490 кэв (гафний-181 + лантан-140) и очень интенсивная линия 510 кэв меди-64 и кобальта-58. Это связано, во-первых, с тем, что проба нефти из скв. 3330 облучалась на порядок большим потоком нейтронов (все линии в этом спектре намного интенсивнее, чем в других спектрах), и, во-вторых, с меньшим перерывом между облучением и замером при снятии жесткой части спектра.

Всего в исследованных образцах идентифицировано 24 элемента: Ni, Co, Fe, Ti, Sc, Cr, Mo, Ag, Th, U, Tl, La, Hf, Sn, Ge, Sb, As, Na, Au, Zr, Al, V, Sr.

Из них такие элементы как алюминий, ванадий, стронций и молибден определены лишь по короткоживущим изотопам, образовавшимся при облучении проб генератором нейтронов, тогда как натрий, никель, барий и кальций, выявляются при облучении как генератором, так и реактором. Элементы натрий ,

Рис.3 Гамма-спектр битума





Фиг.4а Гамма-спектр нейтрон после облучения на генераторе нейтронов. Скв.165 Бавлинского месторождения (турнейские отложения).

ний спектра или по отношению интенсивностей двух или нескольких линий, характеризующих соотношение концентраций элементов в сравниваемых пробах. В последнем случае не требуется даже приведение результатов к одинаковому весу проб.

Переходим к описанию результатов обработки полученных спектров. Наиболее интенсивными линиями в спектрах нефтей, снятых после облучения генератором нейтронов, являются ли-

лантан, германий, золото и кальций при облучении реактором нейтронов определяются лишь при замерах, проводимых через время, меньшее одного месяца после облучения (спектры рис.3а в статье [1]).

Из-за отсутствия эталонов определенных элементов на данном этапе исследования оказалось невозможным осуществить количественную оценку содержания элементов в сравниваемых объектах. Поэтому для проб, облучение и замер которых проводились в одинаковых условиях, сопоставление велось или по интенсивностям соответствующих ли-

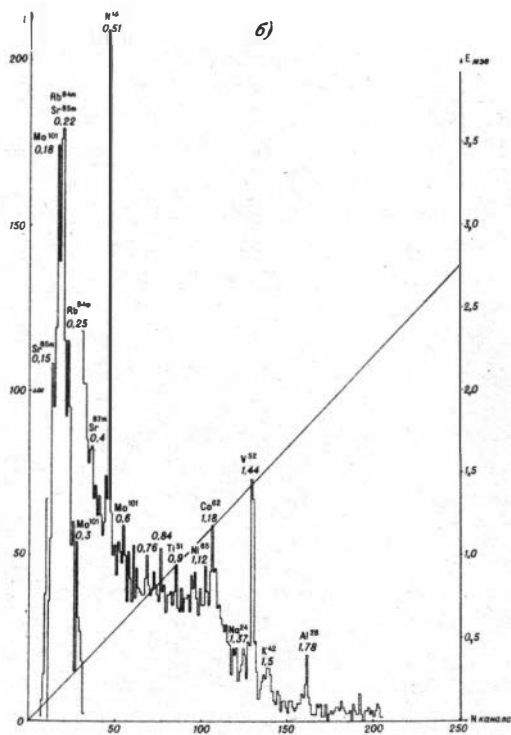


Рис.46 Гамма-спектр нефтей после облучения на генераторе нейтронов. Скв. 3330 Ромашкинского месторождения (девон).

даннами о большем отношении V/Ni в нефтях карбона по сравнению с нефтями девона, полученными как для исследуемых нефтей спектральным методом (см. табл.1), так и в целом по нефтям [2].

В спектрах нефтей, полученных после облучения реакторными нейтронами наиболее интенсивными являются линии железа-59, скандия-46, кобальта-58, кобальта-60 и лантана-140. Сравнение интенсивностей этих линий в разных пробах позволяет сделать ряд конкретных выводов.

нии 1,44 мэв ванадия-51 и 510кэв, в основном обусловленная излучением азота-13. Присутствие в спектре наряду с этим линий, характеризующих содержание никеля (1,12мэв никеля-65 и 1,17 мэв кобальта-62) позволяет судить о соотношении в исследуемых нефтях ванадия и никеля. Были приближенно определены характеризующие отношение V/Ni в сравняемых нефтях отношения интенсивностей линий 1,44 мэв и 1,17 мэв. Значения $\frac{I_{1,44 \text{ мэв}}}{I_{1,17 \text{ мэв}}}$

оказались равными ~ 2 для нефти из скв.3330 и ~ 4 для нефти из скв.165, что подтверждается

В спектре нефти из скв. 165, принадлежащей каменноугольной системе, интенсивность линии $\text{E}10$ кэв кобальта-58, характеризующей содержание в пробе никеля, примерно в 2 раза больше, чем в спектрах нефтей из девонской системы. В спектрах асфальтенов нефти карбона (скв. 27) интенсивность линии $\text{E}10$ кэв примерно в 4 раза больше, чем для асфальтенов нефти девона (скв. 4313). Сравнение интенсивностей линий 1,3 мэв железа-59 и 0,83 мэв марганца-54 в спектрах нефтей показывает на значительную обогащенность железом нефти карбона по сравнению с нефтью девона. Эти установленные особенности спектров вполне согласуются с данными эмиссионного спектрального анализа (см. табл. 1).

Следует отметить также, что нефти карбона в целом более обогащены микроэлементами, чем нефти девона, на что отчетливо указывает сравнительно большая интенсивность всех соответствующих гамма-линий в спектре нефти из скв. 165 и асфальтенов нефти из скв. 27.

Сопоставление интенсивности линии 1,6 мэв лантана-140 образовавшегося путем перехода бария-140 в лантан-140 при делении ядер урана в спектрах всех исследованных образцов приводит к следующему выводу: содержание урана с глубиной по стратиграфическому разрезу увеличивается. Об этом говорит отсутствие линии 1,6 мэв в спектре битума, наличие ее в спектрах нефти и асфальтенов из карбона, большая интенсивность в спектре нефти и асфальтенов девона, причем наиболее значительная в спектре нефти из скв. 475, принадлежащей к нижней девону. Отношение же интенсивностей линий урана и тория (по изотопу протактиний-233), в первом приближении можно считать постоянным для изученных нефтей.

Для асфальтенов характерным является, кроме выше указанного, большая обогащенность их микроэлементами по сравнению с нефтями независимо от принадлежности их к тем или иным стратиграфическим системам или месторождениям. Сравнение относительных концентраций элементов показывает также, что в асфальтенах происходит сглаживание различий, наблюдаемых для относительных концентраций элементов в нефтях карбона и девона. Асфальтены, являющиеся наиболее изменчивой частью нефтей, по относительному содержанию микроэлементов отличаются меньше, чем сами нефти, хотя, как уже было сказа-

но выше, относительная концентрация микроэлементов в асфальтенах нефти карбона (скв. 27) несколько выше, чем в асфальтенах нефти девона (скв. 4313). Таким образом, полученные результаты не противоречат распространенному взгляду о том, что микроэлементы преимущественно концентрируются в высокомолекулярной части нефти. В дальнейшем при изучении распределения микроэлементов в высокомолекулярной части нефти будут получены более уверенные данные, представляющие интерес в плане поиска геохимических критериев генетической общности нефтей.

ВЫВОДЫ:

1. Для определения микроэлементов в нефтях и битумах месторождений Татарии с успехом может быть применен метод нейтронного активационного анализа.
2. Нефти и асфальтены, принадлежащие к каменноугольной системе, независимо от месторождения более обогащены микроэлементами по сравнению нефтями и асфальтенами из девонской системы.
3. Микроэлементы в основной своей массе сконцентрированы в высокомолекулярной части нефти, в смолисто-асфальтеновой фракции.
4. Битум, выделенный из битуминозного песчаника пермских отложений, по содержанию микроэлементов не отличается от нефтей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бланкова Т. Н., Еочкарев Е. Н., Жаворонков В. Я. Нейтронный активационный анализ микроэлементов нефти с полупроводниковой гамма-спектрометрией. (Настоящий сборник).
2. Гуляева Л. А. Опыт корреляции нефтей и битумов Урало-Поволжья по микроэлементам. ДАН СССР, т. 48, 1945.

Т. Н. БЛАНКОВА, В. С. БЫШЕВСКИЙ, В. Н. КРЫМОВА

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НЕЙТРОННОГО АКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА С ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ СПЕКТРОМЕТРИЕЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СИНГЕНЕТИЧНЫХ НЕФТЕЙ

Определение сингенетичности и эпигенетичности нефтяных залежей вмещающим толщам имеет большое значение и

для теории нефтеобразования, и для практики нефтепоисковых работ. Однако этот вопрос во многих районах, несмотря на применение целого комплекса методов, главным образом, геохимических, остается дискуссионным. Очевидно, для более надежного его решения необходимо привлечение новых методов.

Активационный метод, обладающий весьма высокой чувствительностью при определении многих химических элементов в малых навесках, позволяет сравнивать содержание элементов в нефтях и битумоидах и, тем самым, судить о генетической связи нефтей с теми или иными осадочными комплексами. В данной статье освещается первый опыт такого исследования, выполненного на материалах по Иркутскому амфиатру.

В этом районе притоки нефти были получены из многих горизонтов нижнего кембрия, главным образом из парфеновского горизонта нижнемотской подсвиты и осинского горизонта усольской свиты. Большинство исследователей, опираясь на ряд геохимических показателей, считает, что нефти этих горизонтов сингенетичны [2 и др.]. Однако, ряд исследователей полагает, что метаморфизм, окисление и фильтрационный эффект могли из единой исходной нефти образовать все известные здесь типы нефтей [1 и др.].

Были исследованы две пробы нефтей и три пробы битумоидов. Нефть осинского горизонта отобрана из скв. 1 Марковской площади, а нефть парфеновского горизонта — из скв. 18 той же площади. Битумоиды извлекались хлороформом из песчаников и аргиллитов, подстилающих парфеновский горизонт, а также из бельских аргиллитов, перекрывающих усольскую свиту (в самом осинском горизонте аргиллитов в керне не обнаружено).

Пробы нефтей для анализа брались объемом 1 мл, пробы битумоидов — в количестве 84 мг (из песчаника парфеновского горизонта), 86 мг (из аргиллита парфеновского горизонта) и 18 мг (из бельского аргиллита). Перед облучением пробы запаивались в полиэтиленовые ампулы.

Облучение проб проводилось на реакторе потоком нейтронов $\sim 10^{12}$ н/см² сек. Время облучения 12 часов. Замер активности проб осуществлялся на полупроводниковом гамма-спектрометре с кристаллом германия объемом 20 см³, сочлененном с амплитудным анализатором АИ-256 (описание спектро-

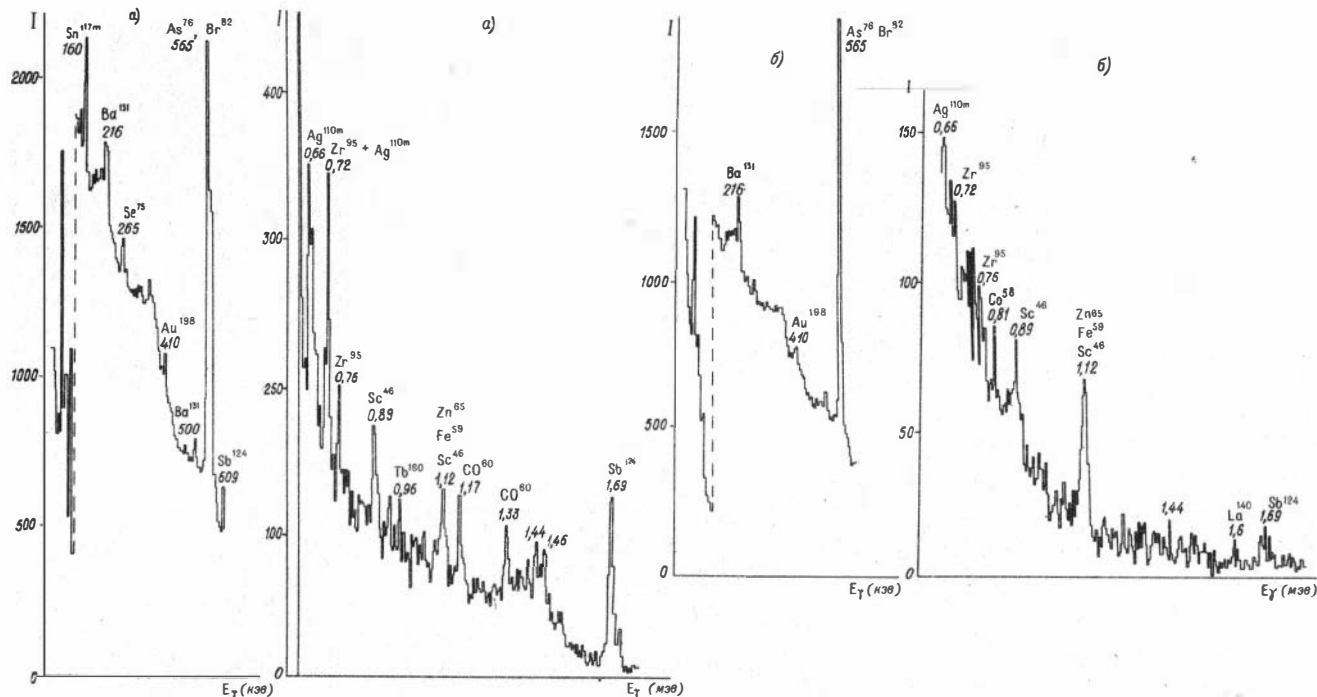


Рис.1 Гамма-спектры нефтей Марковской площади.

а) скв.1 (осинский горизонт)

б) скв.18 (парфеновский горизонт)

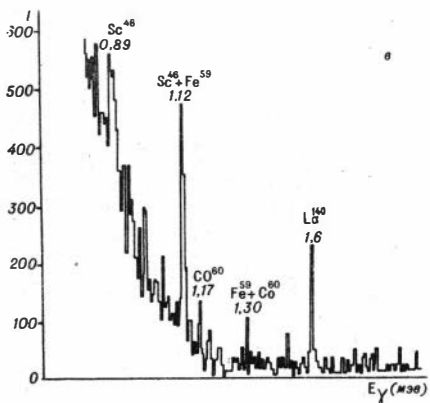
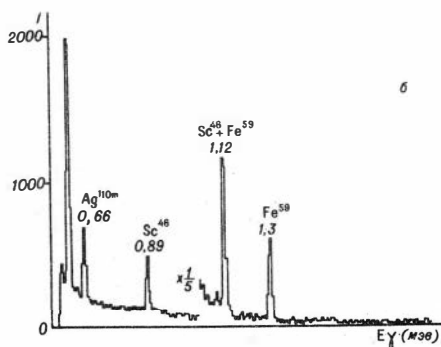
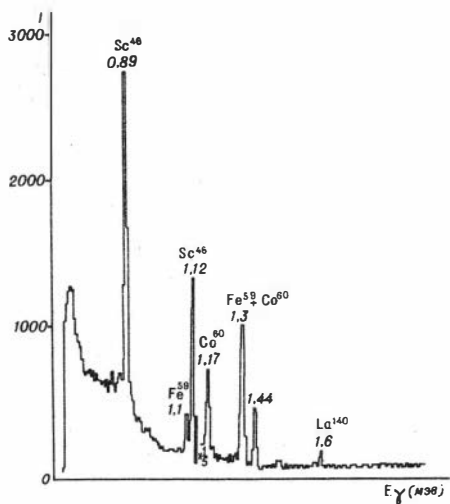


Рис. 2 Гамма-спектры битумоидов

а) из песчаника парфеновского горизонта

б) из аргиллита парфеновского горизонта

в) из аргиллита бельской свиты,

метра см. в [3]). В связи с использованием анализатора с недостаточным для поставленной задачи числом каналов спектры гамма-излучения облученных проб снимались по частям в энергетических интервалах 0-650 кэв и 650-2000 кэв. Выдержка проб между облучением и замером при снятии мягкой части спектра была равна неделе, жесткая часть спектра снималась повторно через разное время после облучения, начиная с двух недель и кончая пятью месяцами. Время замера в зависимости от величины регистрируемой активности варьировалось от 30 минут до нескольких часов.

На рис. 1 приведены спектры, полученные после облучения проб нефтей, на рис. 2 - представляющая наибольший интерес жесткая часть спектров битумоидов.

В мягкой части спектров нефтей выявляется

очень интенсивная линия 565 кэв брома-82, менее интенсивные линии бария-131, золота-198 и селена-75. В спектре нефти осинского горизонта четко выражена линия 609 кэв сурьмы-124, практически не видная в спектре нефти парфеновского горизонта. В мягкой части спектра битумоида, выделенного из песчаника парфеновского горизонта, выделяется, кроме того, четкая линия 320 кэв хрома-51, практически не видная в спектрах битумоидов, выделенных из аргиллитов, а в спектре битумоида из аргиллита бельской свиты явно выражена линия 280 кэв нептуния, характеризующая содержание урана.

Жесткая часть спектра, снятая через большее время после облучения, не содержит линий короткоживущих изотопов. Наиболее четко в этой части спектра выражены линии серебра -110 м (630 кэв и 1,39 мэв), скандия-46 (890 кэв), кобальта -60 (1,17 и 1,33 мэв), циркония-95 (720 и 760 кэв), сурьмы-124 (1,69 мэв) и лантана-140 (1,6 мэв). На всех спектрах выявляется также очень интенсивная линия 1,1 мэв, включающая в себя излучение железа-59, скандия-46 и цинка-65.

Сравнение спектров показывает, что для нефтей и битумоидов различных горизонтов как общая регистрируемая активность, так и интенсивности отдельных линий и их соотношения оказываются различными. Так из двух сравниваемых нефтей наибольшей активностью характеризуется нефть, взятая из осинского горизонта. В спектре этой нефти значительно интенсивнее линии кобальта, титана (в сумме со скандием), серебра и сурьмы. Из трех сравниваемых битумоидов наибольшей активностью характеризуется битумоид, извлеченный из песчаника парфеновского горизонта. Для этого битума характерна наибольшая по сравнению с другими пробами интенсивность линий кобальта, железа, титана (в сумме со скандием), а также хрома. Большие концентрации кобальта и титана (в сумме со скандием) выявляются в битумоиде, извлеченном из аргиллита бельской свиты, по сравнению с битумоидом, извлеченным из аргиллита парфеновского горизонта.

В целом сопоставление спектров нефтей и битумоидов, извлеченных из аргиллитов бельской свиты и парфеновского горизонта, позволяет сделать вывод об относительно больших концентрациях кобальта и титана (в сумме со скандием) в нефтях и битумоидах осинского горизонта и о большей для

них величине отношения интенсивности линий 1,17 мэв и 0,89 мэв, характеризующего отношение $\frac{Ce}{Ti+Sc}$. При этом в битумоидах это отношение оказывается меньше, чем в нефтях.

Изложенное выше дает основание заключить, что по комплексу малых элементов нефти ближе к тем битумоидам, которые извлечены из пород, залегающих в тех же частях разреза. Это свидетельствует о сингенетичности сравниваемых нефтей.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Исаев В.П. Геологические закономерности изменения нефтей Иркутского нефтегазоносного бассейна. Автореферат диссертации на степень кандидата геолого-минералогических наук, Иркутск, 1968.
2. Самсонов В.В. О генетической связи нефтегазопроявлений с условиями формирования осадочных комплексов (на примере Иркутского нефтегазоносного бассейна). Сб. Геологическое строение и нефтегазоносность восточной части Сибирской платформы и прилегающих районов. Изд-во "Недра", 1968.
3. Бланкова Т.Н., Бочкарев В.Н., Жаворонков В.Я. Нейтронный активационный анализ микроэлементов нефтей с полупроводниковой спектрометрией. (Настоящий сборник).

В.Н. БОЧКАРЕВ, Э.Н. ГИЛЬБЕРТ, В.Я. ЖАВОРОНКОВ

К ВОПРОСУ О НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ ЗОЛОТА В РУДАХ И ГОРНЫХ ПОРОДАХ

Нейтронно-активационный метод анализа широко применяется для определения низких концентраций золота в горных породах и рудах. Известны методы определения золота как с радиохимическим выделением изотопа золота-198 после облучения [3÷6, 11÷13], так и без разложения образца [1, 2].

Известно, что возможности гамма-спектрометрического определения золота без разложения образца существенно ограничиваются более низкой, по сравнению с радиохимическим методом, чувствительностью. Тем не менее, принимая во внимание высокую экспрессность подобных анализов, нами была проведена оценка возможности определения золота инструментальным методом в образцах горных пород Алданского

щита (бассейн р. Учур).

Методика анализа, в основном, традиционна, поэтому подробно на ней останавливаться нет необходимости. Отметим **лишь** отдельные особенности использованной методики.

Для уменьшения фона мешающих элементов использовался способ резонансной активации, аналогичный описанному в работе [1].

Облучение образцов горных пород совместно с эталонами золота проводилась в канале реактора типа ИРТ-2000 потоком нейтронов порядка 10^{13} нейтрон·см⁻²·сек⁻¹ в течение 10 часов. Два типа эталонов готовились путем нанесения микрообъемов раствора золотохлористоводородной кислоты известной концентрации на полоски обеззолненной фильтровальной бумаги и порошок тщательно промытого кварцевого стекла. При сравнительных измерениях эталонов оказалось, что эталоны, приготовленные на основе фильтровальной бумаги обладают повышенной активностью по сравнению с эталонами на основе кварца. Относительные различия площадей фотопиков от изотопа золото-198, измеренных с помощью сцинтилляционного спектрометра с кристаллом йодистого натрия, активированного таллием, размером 150x100 мм, составляют (24±2)% и (34±5)% для эталонов с содержанием золота 10^{-6} и 10^{-8} г соответственно. Наиболее вероятное объяснение этих расхождений заключается, по видимому, в относительно разных потерях части золота при приготовлении эталонов за счет различия в сорбирующей способности фильтровальной бумаги и кварцевого порошка. Это обстоятельство надо учитывать при проведении количественного активационного анализа, и оно менее значимо при качественном анализе, если результаты измерений нормируются с помощью эталонов, приготовленных по одной и той же методике. Основной причиной, побудившей нас отказаться от использования эталонов на основе фильтровальной бумаги послужила ее недостаточная радиационная чистота, что наглядно видно из рис. 1, на котором приведены сцинтилляционные гамма-спектры эталонов двух типов. Наличие мешающих примесей в фильтровальной бумаге приводит к повышению фона в области фотопика золота. Поэтому в дальнейшем нами использовались только эталоны на основе кварца.

Навески проб весом порядка 1 г упаковывались в пакетики из алюминиевой фольги толщиной 30±40 микрон. К сожале- нию, недостаточная радиационная чистота использованной фольги привела к тому, что гамма-излучение ее примесей да- вало значительный вклад в область фотопика золота даже спустя 7 и более дней после окончания облучения. Для иск- лючения этого пришлось переупаковывать пробы в специаль- ные алюминиевые контейнеры, в которых и проводились все измерения.

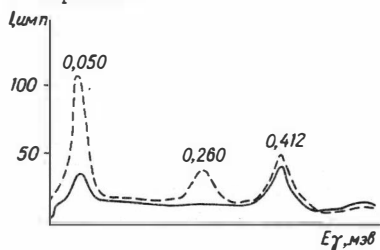


Рис.1 Сцинтилляционные гам- ма-спектры эталонов с со- держанием 10^{-8} г золота на основе фильтровальной бумаги (пунктир) и кварца (сплошная кривая).

Спектры гамма-излучения облученных проб и эталонов измерялись после 7 и 17 днев-

ных "остываний" на сцинтилляционном спектрометре с кри- таллом иодистого натрия размером 150x100 мм, имеющим раз- решение по линии цезия-137 порядка 1%. Обработка получен- ных спектров проводилась по методу Коувелла [7]. Получен- ные результаты инструментального определения золота в пробах горных пород юго-востока Алданского щита через 17 дней после облучения представлены в табл.1. Как видно из приведенных данных чувствительность прямого инструмен- тального определения золота в малых навесках (до 1г) поряд- ка $10^{-6}\%$.

Известно, что пробы малого веса являются недостаточно представительными из-за неравномерного распределения золота в породах [1]. Для повышения чувствительности и точности оп- ределения золота в горных породах необходимо проводить определение золота из проб большого веса (>20г) [2, 13]. Так как работа с большими облученными навесками сопряжена со значительными трудностями вследствие высокой наведенной активности, рядом авторов было предложено проводить пред- варительное выделение золота из образцов до облучения [2, 10, 13].

Таблица 1

Тип породы	сод. 10-6%	Тип породы	сод. 10-6%
Карбонатно-глинистая порода	<2,5	Строматолитовый доломит	<2,5
Доломиты и доломитистые известняки	<1,8	Песчаник кварцполевошпатовый железненный	<3,0
Песчаник кварцполевошпатовый	<4,3	Конгломерат олигомиктовый	<4,3
Мелкогалечный конгломерат олигомиктовый	<4,3	Галька конгломерата кварцполевошпатового состава	<3,0
Песчаник кварцполевошпатовый с кремнисто-железистым цементом	<3,0	Гранит	<4,0
Песчаник кварцполевошпатовый с железистым цементом	<4,0	Гранито-гнейс	<2,5

Предварительное выделение золота обычно проводится или способами пробирного анализа с получением концентрата золота в виде серебряного или свинцового королька [10, 13], или соосаждением с теллуром [2]. Эти способы выделения золота сложны, трудоемки и не позволяют непосредственно после облучения производить измерения золота, так как и серебро и теллур в значительной степени мешают гамма-спектрометрическому определению золота. Хорошо иллюстрирует высказанное утверждение рис. 2, на котором представлен гамма-спектр облученного теллуристого концентрата золота, снятый на полупроводниковом германий-литиевом спектрометре. Использованный в работе детектор объемом $20,5 \text{ см}^3$ имеет разрешение порядка 3 кэв на линии 1,33 мэв кобальта-60.

Из приведенного гамма-спектра следует, что особенно сильно мешают определениям золота по линии 412 кэв иод-131, а по линии 73 кэв - иод-131 и теллур-121 м, так как фотопики этих изотопов практически не разрешаются на обычно применяемых сцинтилляционных детекторах с монокристаллами иодистого натрия.

Нами для **предварительного** выделения золота из образцов

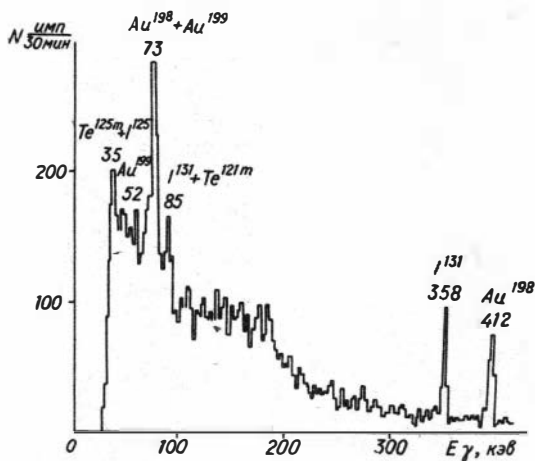


Рис.2 Полупроводниковый гамма-спектр облученного теллурического концентрата золота.

горных пород была применена экстракция его дибутилсульфидом [9]. Методика заключается в следующем. Проба весом 10 ± 20 г обрабатывается царской водкой при нагревании. 1) Раствор упаривается

досуха и остаток вторично обрабатывается царской водкой. Полученный раствор упаривается до объема 3 ± 5 мл, обрабатывается концентрированной соляной кислотой и затем вновь упаривается до влажных солей. После добавления 5 мл 1 м нсв раствор отфильтровывается в делительную воронку. Осадок на фильтре промывается 1 м соляной кислотой. Золото извлекается из полученного раствора экстракцией 5 мл 0,1 м раствора дибутилсульфида в бензоле в течение 3 ± 5 минут. После разделения фаз для облучения отбирается $0,2 \pm 0,3$ мл органической фазы. Облучение проводится в загерметизированной полиэтиленовой ампуле. По описанному способу золото выделяется в радиохимически чистом виде и на гамма-спектрах облученной органической фазы не обнаруживаются никаких примесей, мешающих определению золота. Это позволяет в ряде случаев использовать простые регистрирующие устройства для измерения активности золота после облучения.

нами проведены исследования по определению содержания золота в образцах ряда горных пород с предварительным вы-

- 1). Применяемые в работе кислоты целесообразно подвергнуть дополнительной очистке посредством перегонки.

делением его по описанной методике с последующей активацией экстракта в течение 10 минут и регистрацией гамма-излучения сцинтилляционным спектрометром с кристаллом иодистого натрия размером 40x50 мм. Результаты определений представлены в табл.2.

Таблица 2

Название породы	Содержание в %
Андезит	$(4,4 \pm 1,8) \cdot 10^{-7}$
Серпентинит	$(1,3 \pm 0,2) \cdot 10^{-6}$
Базальт	$(1,6 \pm 0,4) \cdot 10^{-7}$
Зеленокаменные ортосланцы	$(4,3 \pm 1,0) \cdot 10^{-7}$
Глинистые алевролиты	$(3,0 \pm 0,3) \cdot 10^{-6}$
Песчаник полимиктовый	$(2,1 \pm 0,6) \cdot 10^{-6}$

Примечание: Точность определения, представленная в таблице, охарактеризована доверительным интервалом при $P=0,95$ согласно [8].

Как видно из приведенных данных точность определения золота с предварительным выделением значительно выше, чем при определении инструментальным методом из малых навесок, а чувствительность определения в ряде случаев может достигать 10-10%.

Простота и надежность описанного способа выделения золота дают возможность одновременно обрабатывать большие партии проб с достаточно высокой производительностью.

Таким образом, предварительное выделение золота приводит к значительному увеличению точности анализа, сводит к минимуму работу с облученным материалом, повышает представимость пробы и, благодаря значительному обогащению, позволяет использовать в ряде случаев маломощные источники нейтронов (нейтронные генераторы, ампульные изотопные источники) при сохранении достаточно высокой чувствительности.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Е. М. Лобанов, И. А. Миранский, В. Ф. Позычанюк, Д. Г. Сайфутдина, А. А. Хайдаров. Сб. Активационный анализ горных пород

- и других объектов, "ФАН", Ташкент, 1967 г., 47.
2. Е. М. Лобанов, Ш. Хатамов, А. А. Кист, сб. Активационный анализ горных пород и других объектов, "ФАН", Ташкент, 1967, 158.
 3. Г. А. Пережогин, И. П. Алимарин, ЖАХ, 20, 793 (1965).
 4. Э. Е. Раковский, Б. А. Серебряный, Радиохимия, 10, 75 (1968).
 5. D. A. Beardsley, G. B. Briscoe, J. Ruzicka, M. Williams, Talanta, 12, 329 (1965).
 6. A. Chow and F. E. Beamish, Talanta, 14, 219 (1967).
 7. D. F. Covell, Analyt. Chem., 31, 1785 (1959).
 8. K. Doerfel, Statistik in der analytischen Chemie, Leipzig, 1966.
 9. Э. Н. Gilbert, G. V. Glukhova, G. G. Glukhov, V. A. Mikhailov, Radioanalyt. Chem. (in press).
 10. F. O. Simon, M. T. Millard, Analyt. Chem., 40, 1150 (1968).
 11. E. A. Vincent, J. H. Crockett, Ibid., 18, 143 (1960).
 12. E. A. Vincent, A. A. Smales, Geochim. et cosmochim. acta, 9, 154 (1956).
 13. A. D. Wilson, Analyst, 89, 18 (1964).

В. Н. БОЧКАРЕВ, В. Я. ЖАВОРОНКОВ, А. А. КУЛИКОВ

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙТРОННОГО АКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ РАСЧЛЕНЕНИЯ ДОКЕМБРИЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ АЛДАНСКОГО ШИТА

Составление и сопоставление геологических разрезов и стратиграфических схем докембрийских метаморфических пород представляет собой трудную задачу особенно для районов, характеризующихся сложным геологическим строением. В настоящее время для изучения геологических объектов все шире применяются методы ядерной геофизики. На примере изучения разреза докембрийских отложений юго-восточной части Алданского щита исследовались возможности применения метода нейтронного активационного анализа с целью решения некоторых задач стратиграфии, литологии и палеогеографии.

Нами использовалась, в основном, ординарная методика нейтронного активационного анализа, поэтому нет необходимости здесь останавливаться подробно на принципах, лежащих в основе анализа. Они с достаточной полнотой изложены, например, в работе [1]. Отметим лишь основные особенности анализа, относящиеся к приготовлению проб, облучению и измерению активности.

Навески порошковых проб горных пород весом порядка 1 г, упакованные в пакетики из алюминиевой фольги толщиной 30 ± 40 микрон, помещались в кадмиевый чехол с толщиной стенок 0,5 мм и облучались на реакторе типа ИРТ-2000 потоком порядка $5 \cdot 10^{11}$ нейтр. хсм⁻²сек⁻¹ в течение 10 часов. Упаковка проб в кадмий была произведена с целью снижения мешающего влияния некоторых элементов (натрия, железа и др.), имеющих большие сечения активации на тепловых нейтронах.

Измерение наведенной активности проб проводилось через 17 дней после облучения, что целиком исключило из рассмотрения радиоизотопы с периодом полураспада меньшим 30 ± 40 часов. Гамма-излучение проб регистрировалось многоканальным сцинтилляционным спектрометром, состоящим из 256-канального анализатора импульсов ("Диафрагма") и однокристалльного сцинтилляционного датчика. В качестве датчика использовался кристалл иодистого натрия, активированного таллием, размером 150x100 мм и фотоумножитель типа ФЭУ-49. Разрешение счетчика по линии цезия-137 порядка 12%. Свинцовая защита толщиной 100 мм, в которую помещен счетчик, существенным образом уменьшает его фон. Достаточно высокая активность проб позволила в $\sim 2\pi$ -геометрии измерений ограничиться регистрацией импульсов в течение 1 мин, причем эффект превосходил фон счетчика более чем на порядок, в связи с чем последний не учитывался при обработке результатов измерений. Имевшаяся в нашем распоряжении алюминиевая фольга, использованная в качестве упаковочного материала к сожалению, оказалась недостаточно радиационно чистой: после облучения давала ощутимый вклад в активность проб. Это потребовало кропотливой процедуры переупаковки проб в неактивные контейнеры.

В рамках качественного активационного анализа мы огра-

ничились регистрацией гамма-излучения радиоизотопов в диапазоне энергий 50÷600 кэв, желая сохранить за отработываемой методикой высокую экспрессность на стадии измерения наведенной активности и не преследуя при этом цели получения исчерпывающей информации о всех элементах, входящих в состав пробы.

На рис. 1 приведены нормированные аппаратурные спектры гамма-излучения 21 образца из различных стратиграфических горизонтов. При анализе спектров даже чисто графическим сопоставлениям можно с большой достоверностью идентифицировать горные породы. Совершенно четкая идентичность аппаратурных линий видна внутри какой-либо литологической разности пород в рамках одной свиты, серии, комплекса. Например: карбонатно-глинистые отложения пестроцветной свиты нижнего кембрия - пробы 67, 68, 69; доломиты юдомской свиты вендского комплекса - пробы 70, 71, 73; песчаники гонамской и омахтинской свит учурской серии нижнего рифея - пробы 76, 77, 79, 80, 82, 83; гранитизированные породы нижнеархейского кристаллического фундамента - пробы 85, 86, 87. Одновременно фиксируются различия в высоте фотопиков на аппаратурных спектрах однотипных пород обусловленные положением этих пород в разрезе и вариациями содержаний микроэлементов, дающих после облучения следующие радиоизотопы: скандий-47 (0,16 мэв), хром-51 (0,32 мэв), олово-117 м (0,16 мэв); барий-131 (0,21 и 0,37 мэв), иридий-192 (0,2; 0,3; 0,47 мэв), протактиний-233 (0,3 мэв), тербий-160 (0,09; 0,3 мэв), иттербий-175 (0,28; 0,4 мэв).

Нередко, пробы одной литологической разности пород, взятые из разных свит, дают близкие спектры, что объясняется близостью палеогеографических условий осадконакопления и соответствующим набором микроэлементов. В пределах учурской серии песчаники гонамской и омахтинской свит дают идентичные спектры, что обусловлено непрерывностью процесса осадконакопления. Породы омахтинской свиты согласно залегают на отложениях гонамской свиты [3]. Обращает на себя внимание идентичность спектров проб Е1 (строматолитовые постройки *Stromatolites givunensis* - гонамская свита) и 72 (микрослоистые доломиты юдомской свиты). Спектр последней несколько отличается от спектров ниже и выше лежащих доломитов юдом-

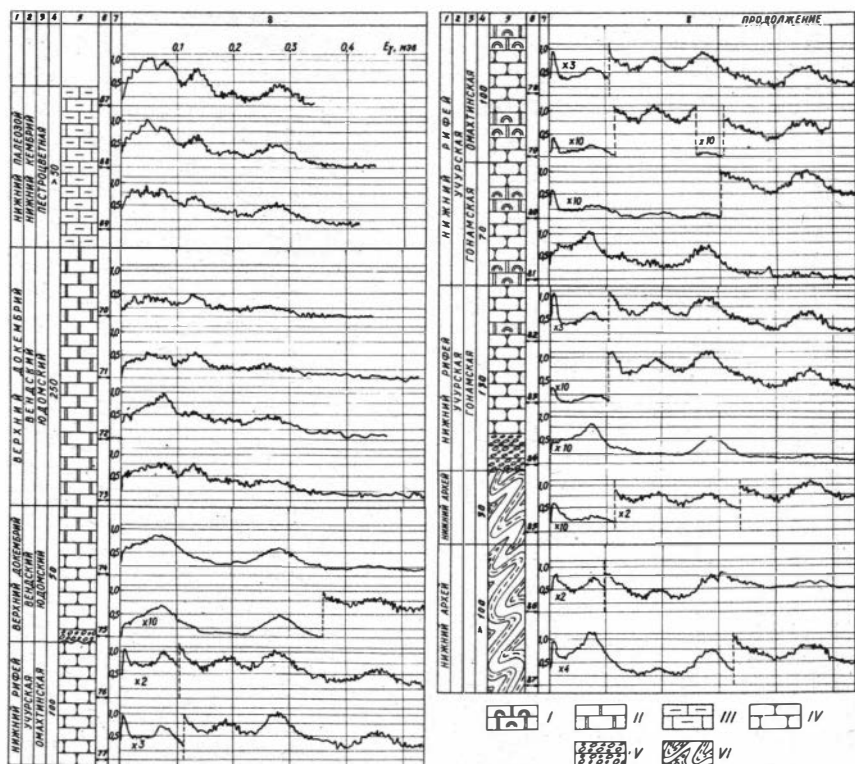


Рис. 1 Спектры гамма-излучения образцов из разреза девонских отложений юго-восточной части Алданского щита: 1 - подгруппа, 2-комплекс, серия отдел; 3-свита; 4-мощность в м; 5-колонка; 6-номера проб; 7-относительная интенсивность; 8-аппаратурные спектры. I-строматолитовые доломиты; II-доломиты и доломитистые известняки; III-карбонатно-глинистые породы; IV-песчаники и гравелиты; V- конгломераты; VI-породы кристаллического фундамента.

ской свиты. Такое соотношение спектров можно объяснить наличием в пачке доломитов юдомской свиты прослоев пластинчатых строматолитовых построек, представленных микрослоистыми разностями доломитов, условия образования которых близки к условиям образования строматолитовых построек гонам-

ской свиты. Также идентичны спектры базальных грубообломочных пород юдомской (пробы 74,75) и гонамской (проба 84) свит, характеризующихся кварц-полевошпатовым составом обломочного материала и карбонатно-кремнистым составом цементирующей массы (конгломераты гонамской свиты железные).

Содержания микропримесей по данным спектрального анализа, в конгломератах очень близкие. Отсутствие жесткой части спектра не дает нам возможности в целом идентифицировать спектры конгломератов. Тем не менее можно сказать, что условия формирования этих отложений очень близкие и областями сноса обломочного материала возможно были одни и те же районы. На рис. 1 четко фиксируются две границы резкого изменения спектров, соответствующие крупным стратиграфическим перерывам в осадконакоплении. Отложения учурской серии нижнего рифея характеризующиеся низкой степенью метаморфизма и углами наклона крыльев брахискладок 3-5° с угловым и стратиграфическим несогласием лежат на гранитизированных сложно дислоцированных кристаллических породах нижнего архея и трансгрессивно перекрываются почти не метаморфизированными горизонтально залегающими образованиями вендского комплекса. Эти же границы подтверждаются полевыми геолого-радиометрическими наблюдениями и лабораторными гамма-спектрометрическими определениями [2].

Сопоставление спектров дает дополнительные материалы для правильного решения вопросов стратиграфии докембрия юго-восточной части Алданского щита и, в частности, стратиграфического положения отложений юдомской свиты. Вполне вероятно, что рассмотренная процедура качественного нейтронного активационного анализа окажется пригодной для решения аналогичных задач и в других районах.

Несомненно, количественный активационный анализ проб горных пород, наряду с затронутой проблемой позволит решать и целый ряд геохимических задач, однако в этом случае, к сожалению, теряется простота и экспрессность, присущие качественному анализу.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Боуэн Г., Гиббонс Д. Радиоактивационный анализ м. Атомиздат, 1968г.

2. Куликов А.А., Бобров В.А. Гамма-спектрометрическая и радиометрическая характеристика отложений юдомской свиты. В сб. Проблемы региональной геологии и петрографии Сибири и методы геохимических и геофизических исследований, Новосибирск, Наука, 1970.
3. Нужнов С.В. Рифейские отложения юго-востока Сибирской платформы М., Наука, 1967.

Г. М. КАЗАКЕВИЧ, Е. М. ФИЛИПОВ, С. Т. ШЕСТЕЛЬ

ХАРАКТЕРИСТИКИ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ДАТЧИКОВ С ИМПУЛЬСНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Решение целого ряда ядерно-физических задач требует использования модуляции коэффициента усиления ФЭУ в ходе экспериментов. Одним из видов такой модуляции является импульсная. В этом случае основными характеристиками модуляции являются: изменение коэффициента усиления ФЭУ (глубина модуляции); время установления рабочего режима; а также требуемые характеристики сцинтилляционных датчиков, использующих управление ФЭУ.

В настоящее время исследованию различных схем и режимов управления ФЭУ посвящен целый ряд работ [1-8]. Классификация методов изменения коэффициента усиления ФЭУ представлена в книге [4]. В соответствии с данной работой способы модуляции коэффициента усиления ФЭУ делятся на три группы: подача на один или несколько электродов ФЭУ импульсов напряжения, вызывающих изменение коэффициента усиления умножителя вследствие изменения его электронно-оптической фокусировки; питание фотоумножителя импульсным напряжением; расфокусировка электронно-оптической системы ФЭУ при помощи внешнего импульсного электромагнитного поля. Рассмотрим эти способы подробнее.

Блочировка ФЭУ импульсами напряжения, подаваемыми на один или несколько его электродов в зависимости от используемых схем и типов фотоумножителей позволяет изменять коэффициент усиления ФЭУ в десятки, сотни и более раз и требует для своей реализации обычно достаточно простых схем. К трудностям, возникающим при подобном управлении ФЭУ

относятся: дискриминация помех, возникающих на выходе датчика в момент подачи управляющего импульса, а также, зачастую, недостаточное уменьшение коэффициента усиления ФЭУ при подаче блокирующего импульса.

Применение импульсного питания позволяет менять коэффициент усиления ФЭУ с весьма высокой эффективностью, однако выдвигает ряд специфических требований к величине динамического сопротивления делителя ФЭУ; к мощности генератора модулирующих импульсов и его выходному сопротивлению для получения достаточно коротких фронтов изменения коэффициента усиления [4].

Запирание ФЭУ при помощи электро-магнитных полей [4], дефокусирующих поток электронов, позволяет избежать трудности, которые встречаются при блокировке фотоумножителя импульсами напряжения. Однако этот метод имеет свои недостатки. К ним относятся: необходимость получения достаточно коротких импульсных полей с большой крутизной нарастания и спада и возможность появления в катушке остаточного магнетизма, дефокусирующего поток электронов после импульса управления.

Совместно с В. А. Гришковым, авторами настоящей работы, были предприняты попытки исследования первого и второго способа модуляции при использовании некоторых отечественных и зарубежных ФЭУ.

РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ СХЕМ ЗАПИРАНИЯ ФЭУ ПО ДИНОДАМ

Исследование возможностей запирания ФЭУ по динодам велось с помощью установки, блок-схема которой представлена на рис. 1.

В качестве исследуемых, были использованы фотоумножители M12FS60; S12FS60, имеющие коробчатую динодную систему; ФЭУ-13 с жалюзной динодной системой и ФЭУ-30 с торовидной динодной системой. Схема подачи управляющих импульсов на фотоумножители M12FS60 и S12FS60, дана на рис. 2; схема подачи управления на ФЭУ-13 и ФЭУ-30 подобна представленной.

Запирание фотоумножителей производилось подачей на первый или третий диноды отрицательных импульсов, амплитудой до 300 в. длительностью 3+250 мксек. Импульсы вырабаты-

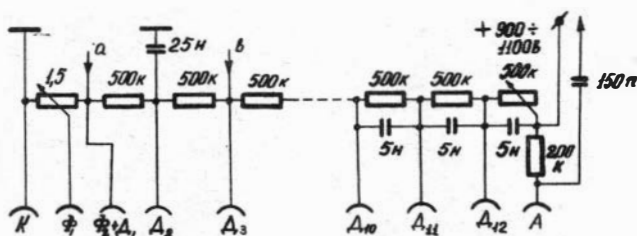


Рис.2 Принципиальная схема подачи блокирующих импульсов на ФЭУ типа М12ФС60 (S12FS60).

вались высоковольтным ключом, смонтированным в датчике. Схема ключа дана на рис.3.

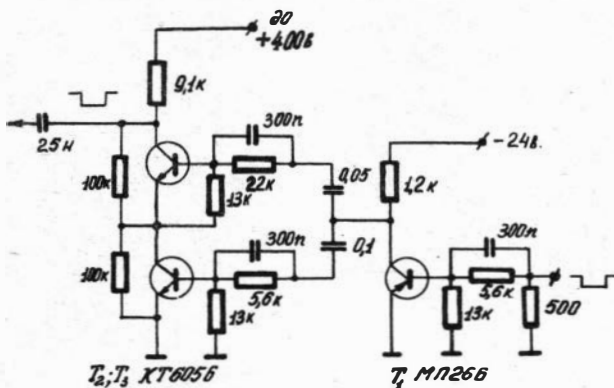


Рис.3 Принципиальная схема высоковольтного ключа.

Управление высоковольтным ключом осуществлялось с помощью одновибратора-формирователя длительности (рис. 4); схема пропускания (рис. 5) предназначена для подавления сигнала помехи, возникающей в момент подачи управляющего импульса. Коэффициент отбора схемы пропускания лучше 100 при амплитуде помехи от сигнала запрета не более 50 мв.

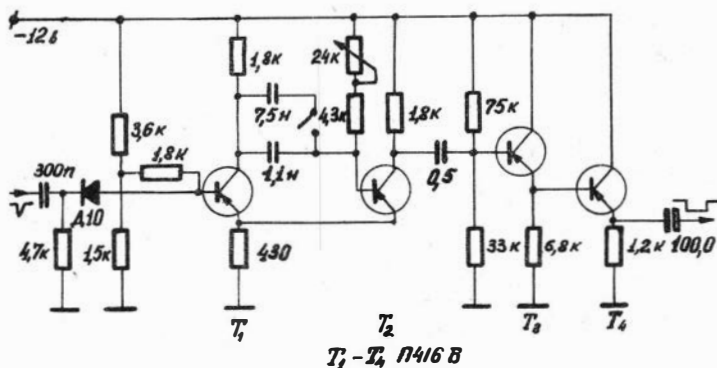


Рис. 4 Принципиальная схема одновибратора.

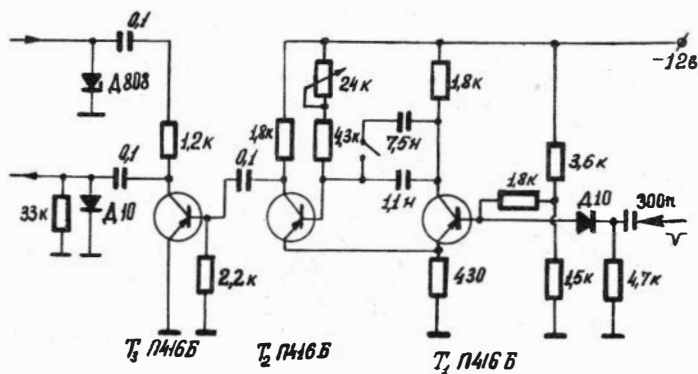


Рис. 5 Схема пропускания.

Для питания высоковольтного ключа и низковольтных цепей применялись стабилизированные выпрямители, позволяющие получать выходные напряжения в пределах 0+400 в, а также, - 12 и - 24 в.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ СЧЕТЧИКОВ С БЛОКИРОВКОЙ ПО ДИНОДАМ.

В качестве источника света в исследуемых схемах использовались полупроводниковые световые генераторы и кристаллы иодистого натрия, активированного таллием, возбуждаемые препаратом цезий-137. Амплитуда световых импульсов от генераторов выбиралась равной амплитуде от кристалла иодистого натрия размером 50x50 мм, длительность - 1 мксек. Амплитуда сигнала на выходе ФЭУ не превышала 5 в, что находилось в пределах линейности эмиттерного повторителя. Длительность запирающих импульсов составляла 80 мксек при частоте следования 100 гц. Ослабление коэффициента усиления ФЭУ определялось отношением амплитуды сигнала на выходе открытого фотоумножителя к сигналу с запертого ФЭУ при неизменной амплитуде световых импульсов. Выходные сигналы с фотоумножителя подавались на спектрометрический усилитель УИС-2 с прокалиброванным по осциллоскопу С1-8 аттенуатором. Время запираения входа усилителя схемой пропускания было выбрано больше длительности помехи от высоковольтного ключа и составляло 10 мксек. Величина задержки запуска высоковольтного ключа относительно времени срабатывания схемы пропускания составляла 4 мксек. Время задержки запуска осциллоскопа выбиралось из соображений удобства наблюдений и составляло около 30 мксек, при этом сигнал на световой диод подавался через 40 мксек от начала запираения фотоумножителя. Амплитуда выходных сигналов запертого фотоумножителя измерялась над уровнем шумов.

Зависимости ослабления коэффициента усиления ФЭУ от амплитуды запирающих импульсов при управлении по первому и третьему диодам для различных типов ФЭУ представлены на рис. 6 и 7 соответственно.

Всего было исследовано 10 фотоумножителей. Из них пять - ФЭУ-30; три - ФЭУ-13; а также M12FS60 и S12FS60, имеющие одинаковую диодную систему. На рисунках приведены типичные характеристики для каждого вида ФЭУ. Анализ кривых, приведенных на рис. 6, показывает, что наиболее высокой крутизной изменения коэффициента усиления при амплитуде блокирующих импульсов выше некоторой определенной для каждо-

го экземпляра ФЭУ с данным напряжением питания, при управлении по первому диноду, обладают ФЭУ с жалюзной и торовидной динодной системами. На них легко может быть

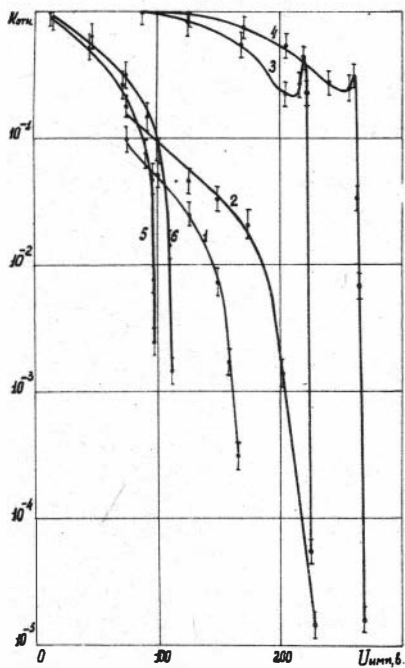


Рис.6 Кривые ослабления коэффициента усиления ФЭУ при блокировке по первому диноду. 1-ФЭУ M12FS60 (S12FS60) $U_{питания}$ 900 в; 2-ФЭУ M12FS60 (S12FS60) $U_{питания}$ 1100 в; 3-ФЭУ-30, $U_{питания}$ 1800 в; 4-ФЭУ-30, $U_{питания}$ 2200 в; 5-ФЭУ-13, $U_{питания}$ 1600 в; 6-ФЭУ-13, $U_{питания}$ 1800 в.

получено ослабление коэффициента усиления в $10^3 \div 10^5$ и более раз, вплоть до полного подавления сигнала на выходе при амплитудах блокирующих импульсов, не превышающих 300 в. Фотоумножители с коробчатymi динодами имеют не столь крутой спад коэффициента усиления, однако и на них может быть достигнуто ослабление выходного сигнала (см. рис. 6) в $10^4 \div 10^5$ раз при амплитуде блокирующих импульсов около 250 в. Как это следует из кривых 3 и 4 (рис. 6) обращает на себя внимание пик на зависимости хода коэффициента усиления от амплитуды блокирующего импульса для ФЭУ-30. Пик наблюдался при всех напряжениях питания для всех фотоумножителей данного типа. Относительная величина менялась от экземпляра к экземпляру в широких пределах. Наличие пика, по видимому, связано с электронной оптикой торовидной динодной системы.

Как видно из графиков рис. 7, управление коэффициентом усиления ФЭУ для всех трех типов динодных систем при блокировке по третьему диноду менее эффективно, чем уп-

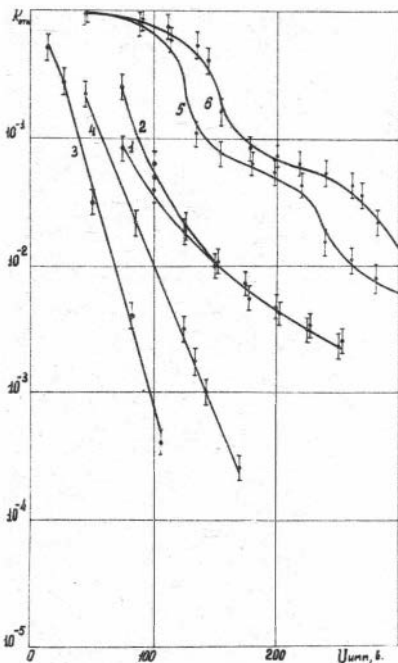


Рис.7 Кривые ослабления коэф-фициента усиления ФЭУ при блокировке по третьему диноду 1-ФЭУ M12FS60 (S12FS60) Uпитания 900в; 2-ФЭУ M12FS60 (S12FS60) Uпитания 1100 в; 3-ФЭУ-30, Uпитания 1800 в; 4-ФЭУ-30, Uпитания 2200 в; 5-ФЭУ-13, Uпитания 1600 в; 6-ФЭУ-13 Uпитания 1800 в.

ента усиления ФЭУ определяется практически фронтами запирающего импульса и составляет менее 2+3 мксек для всех, исследованных в работе фотоумножителей. В ходе работы нами были исследованы также спектрометрические возможности датчиков в режиме запираения. Сигналы с выхода датчиков регистрировались амплитудными анализаторами типа АИ-256 и АИ-100. источником света служил сцинтиллятор иодистого нат-

равление по первому диноду. Это, скорее всего, связано с тем, что при подаче запирающего импульса на первый динод, блокировка ФЭУ фактически происходит по трем промежуткам, а в случае подачи импульса на третий динод - только по одному.

Рис.7 показывает, что наиболее эффективна блокировка по третьему диноду для ФЭУ с торовидной системой. Наименее эффективно запираются в этом случае фотоумножители с жалюзной динодной системой. Болнообразный ход кривых ослабления коэф-фициента усиления последних (кривые 5,6, рис.7) по-видимому определяется электронно-оптическими свойствами жалюзных динодных систем. В ходе исследования были измерены временные характеристики датчиков, которые оценивались по фронту нарастания огибающей выходных сигналов от светового диода после окончания запирающего импульса. Установлено, что время восстановления коэф-фициента

рия, активированный таллием, возбуждаемый изотопом цезия-137 для исключения воздействия помехи, анализаторы работали в режиме внешнего управления (режим антисовпадений). Блок-схема реализации режима антисовпадений с использованием анализатора АИ-100 представлена на рис.8.

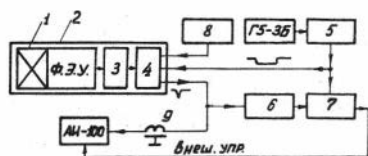


Рис.8 Блок-схема установки для определения спектрометрических свойств управляемых ФЭУ на анализаторе АИ-100. 1-кристалл $NaJ(Tl)$; 2-корпус датчика; 3-высоковольтный ключ; 4-двойной эмиттерный повторитель; 5-одновибратор; 6-интегральный дискриминатор; 7-схема пропускания; 8-блоки питания датчика; 9-линии задержки.

вольтовый ключ; 4-двойной эмиттерный повторитель; 5-одновибратор; 6-интегральный дискриминатор; 7-схема пропускания; 8-блоки питания датчика; 9-линии задержки.

Спектры, измеренные при управлении ФЭУ по первому и третьему диодам практически совпадали. Анализ спектров показал, что система обладает удовлетворительной линейностью. Разрешения пика полного поглощения для детектора на ФЭУ типа M12FS-60 составляло около 14%, а в отсутствие запирающих импульсов - около 12%. Таким образом ухудшения разрешения составляло для данных ФЭУ около 16%. Ухудшение разрешения для управляемых сцинтилляционных датчиков на ФЭУ-30 и ФЭУ-13 составляло около 15%. Разрешающая способность управляемых датчиков улучшалась при исключении влияния фронтов запирающих импульсов.

Один из аппаратурных спектров, полученный на датчике с множителем типа M12FS60 представлен на рис.9. Спектр снимался для управляющих импульсов длительностью 80 мксек; с амплитудой 250 в, при частоте следования - 100 гц.

В ходе экспериментов были проведены измерения на анализаторах без использования режима антисовпадений, исключая помехи. В этом случае на спектрах четко выделялся пик помехи, занимавший 1-2 канала. При управлении по первому диоду амплитуда импульсов помехи была значительно меньше, чем при управлении по третьему диоду для одной и той же амплитуды блокирующих импульсов. Амплитудное разрешение и линейность датчика при наличии в спектре пика импульсов помехи не ухудшались.

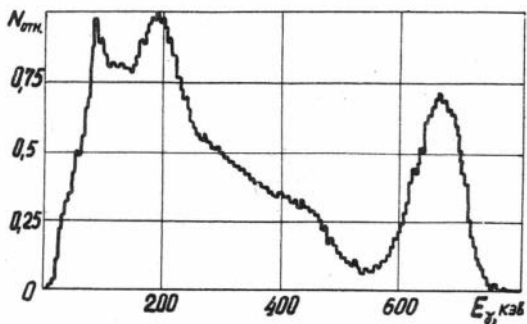


Рис.9 Спектр изотопа цезий-137, измеренный в режиме блокировки ФЭУ по первому диноду.

ИМПУЛЬСНОЕ ПИТАНИЕ В СЦИНТИЛЯЦИОННЫХ СЧЕТЧИКАХ

В качестве делителя с низким динамическим сопротивлением нами было использована цепочка кремниевых стабилитронов [2]. Подача напряжения на диоды фотоумножителей типа ФЭУ-49 осуществлялась с помощью импульсного высоковольтного ключа, собранного на транзисторах типа ПЭО7. Импульсы с выхода ФЭУ-49 подавались на анализатор типа АИ-256, либо на осциллоскоп С1-Е. Источником световых импульсов служил световой диод, питаемый в начале экспериментов генератором Г5-9 [2], а затем Г5-4Б.

В ходе экспериментов было установлено практически полное отсутствие импульсов на выходе ФЭУ при запертом высоковольтном ключе. Так, в случае отсутствия управляющих импульсов, сигналов на выходе ФЭУ не наблюдалось даже при освещении фотокатода дневным светом.

Время восстановления коэффициента усиления, измеренное без применения специальных мер менялось для нескольких экземпляров ФЭУ-49 в пределах $50 \div 300$ мксек. по полувысоте. Применение специальных мер, направленных на компенсацию низкой проводимости фотокатода позволяет сократить это время до 5 мксек и ниже.

Для оценки спектрометрических свойств датчика на ФЭУ-49 с импульсным питанием в отверстие в фольге устанавливался монокристалл иодистого натрия размером 30×70 мм. Разрешающая способность датчика по фотопику цезия-137 в этом случае составляла лучше 15%. Линейность удовлетворительна. Бо-

лее обстоятельно использование импульсного питания ФЭУ-49 изложено в [2].

Таким образом, с помощью относительно несложных схем управления удается изменять коэффициент усиления фотомножителя методом запираания по диодам в 10^4 - 10^5 и более раз в зависимости от амплитуды запирающих импульсов и типа диодной системы используемого ФЭУ. Время восстановления коэффициента усиления ФЭУ при этом практически определяется фронтами импульсов управления. При длительности этих импульсов порядка десятков-сотен микросекунд. Относительное ухудшение разрешающей способности в режиме управления составляло не более 16±17%. Линейность датчиков удовлетворительная. Без применения специальных мер подавления пик от помехи, появляющийся в момент импульса запираания, имеет ширину не более 1÷2 канала и существенно не искажает спектр. Амплитуда импульсов помехи в случае управления по первому диоду имеет наименьшую величину.

Исследование управления коэффициентом усиления ФЭУ путем подачи импульсного питания показало, что использование стабилитронов в качестве делителя с низким динамическим сопротивлением позволяет в случае применения определенных мер получать время восстановления коэффициента усиления ФЭУ-49 порядка единиц микросекунд, при этом, в отсутствие питающих импульсов коэффициент усиления ФЭУ практически равен нулю. Применение стабилитронов позволяет также существенно упростить схему генератора высоковольтных импульсов, используя в качестве него транзисторный ключ. Спектрометрические характеристики умножителя ФЭУ-49 при данном типе управления в значительной мере зависят от времени установления коэффициента усиления ФЭУ и в случае применения специальных средств, направленных на уменьшение этого времени, могут быть удовлетворительными.

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить признательность В.Я. Жаворонкову за ценные советы и консультации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волков А. Н., Клабуков А. М., Попов Ю. П. Запирание фотомножителей микросекундными импульсами. Приборы и техника

- эксперимента, 1960, № 2.
2. Гришков В.А., Казакевич Г.М., Филиппов Е.М. Сцинтилляционные датчики на ФЭУ-49 с импульсным питанием. Приборы и техника эксперимента, 1970, № 6.
 3. Клебанов Ю.Д., Лозина Л.А. Некоторые возможности исследования ФЭУ-36 в управляемом режиме. Приборы и техника эксперимента, 1967, № 2.
 4. Матвеев В.В., Соколов А.Д. Фотоумножители в сцинтилляционных счетчиках. М., Атомиздат, 1962.
 5. Сиротин Е.И. Измерение времени отпирания фотоумножителей. Приборы и техника эксперимента, 1963, № 4.
 6. Keller K.B. and Nefkens B.M.K. Photomultiplier gating system. Rev. of Scienc. Instrum. 1964, N 10.
 7. Poenaru D. and Jvanow E. Switching Circuit for Photomultiplier tubes. Rev. Roum. Phys. 1966, N 11.
 8. Roose U.I. Ein rückwirkungsfreier Dynodengate für Photomultiplier. Nucl. Instr. & Methods, 1965, v36, N2.

В. С. ГРИГОРЬЕВ, Г. М. КАЗАКЕВИЧ, В. Г. СЕРЯПИН

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЗНЫХ ПОЛЕЙ ВБЛИЗИ МИКРОТРОНА И ЗА ЗАЩИТОЙ ПРИ ЭНЕРГИИ УСКОРЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ 3,8 МЭВ

Наметившаяся тенденция к широкому использованию ускорителей заряженных частиц на относительно небольшие энергии для решения различных практических вопросов (исследование элементного состава вещества, интроскопия, радиационный синтез, использование их в качестве инжекторов и т.п.) требует серьезного рассмотрения вопросов, связанных с обеспечением радиационной безопасности при их эксплуатации, причем особенно детального рассмотрения заслуживают вопросы, связанные с созданием малогабаритных транспортальных установок с использованием ускорителей, поскольку в этом случае приходится сталкиваться с проблемами уменьшения габаритов и веса защиты.

Ряд работ, появившихся в последнее время, сообщающих об успешном использовании микротронов для определения бериллия и дейтерия, а также успехи, достигнутые в сфере создания ускорителей, позволяют полагать возможным созда-

ние транспортабельного комплекса для определения данных элементов с использованием малогабаритных микротронов. В связи с этим на первый план выдвигаются экспериментальные исследования пространственно-энергетического распределения проникающих излучений вблизи ускорителя, а также вопросы, связанные с разработкой и конструированием оптимальных вариантов защиты. Настоящая работа, проведенная совместно с В.А. Жаворонковым, посвящена решению этой задачи для микротрона при энергии ускоренных электронов 3,8 мэв.

РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА НА МИКРОТРОНЕ

Ускоритель размещен в специальном зале с эффективной толщиной бетонных ($\rho=3,6\text{г/см}^3$) защитных стен и пола $h=1\text{м}$, а в направлении выхода пучка - 1,2 м. Кроме того в этом же направлении имеется локальная защита из свинца размером 1000x800x50 мм.

Оперативный дозиметрический контроль на ускорителе осуществляется приборами УСИД-12, КАКТУС, КУРА, МРМ-2; - индивидуальный - фотодозиметрами ИФК-2, 3 М и ДК-0, 2.

Проверка надежности защиты при работе ускорителя в режиме $E=3,8$ мэв и токе пуска 4 мка, с помощью пленочных дозиметров и приборов КУРА и МРМ-2 показала, что защита была спроектирована в основном правильно. Превышение ПДУ для смежных помещений было обнаружено в точках 2-0,33 мр/час, 3-0,66 мр/час (см. рис. 1). Для достижения ПДУ в указанных направлениях на микротроне была установлена локальная защита. Мощности доз на внутренней поверхности защиты в точках 9-9 мр/сек, 10-6 мр/сек, 4-0,9 мр/сек. Мощность дозы на первом этаже непосредственно под залом микротрона не превышает 0,036 мкр/сек. Авторами были проведены дозиметрические измерения мощностей доз от радиотехнического комплекса и резонатора ускорителя в режиме холостого хода (при выключенном инжекторе).

Получены результаты: от резонатора - 15 мкр/сек на расстоянии - 20 см, от блока выпрямителей - 0,05 мкр/сек, от модулятора - 0,6 мкр/сек, от магнетрона - 1,9 мкр/сек.

Измерение проводились при закрытых защитных дверцах блоков на их поверхностях.

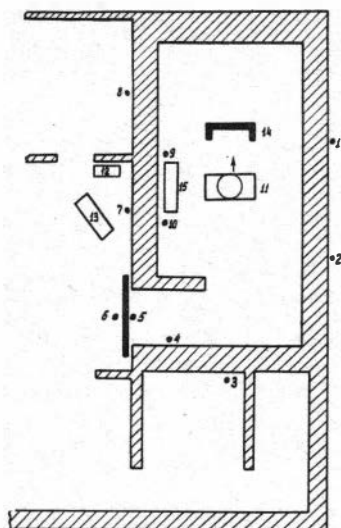


Рис.1 Схема расположения микроотрона и дозиметрических датчиков в ускорительном зале и смежных помещениях. 1÷10 датчики УСИД-12 11-микроотрон; 12-УСИД-12; 13-пульт микроотрона; 14-свинцовая защита в направлении пучка; 15-радиотехнический комплекс. Стрелкой указано направление выведенного пучка электронов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЗНЫХ ПОЛЕЙ ВБЛИЗИ МИКРОТРОНА

Известно, что в процессе ускорения электронов в микроотроне происходит их потеря на резонаторе, стенках камеры, выводном канале. В силу этого отдельные элементы ускорителя можно рассматривать как источники тормозного излучения с различными характеристиками. Нами экспериментально исследовалось распределение дозных полей и эффективных энергий тормозного излучения от элементов ускорителя аналогичного, описанному С.П.Капицей [1]. Общая схема экспериментов представлена на рис. 2.

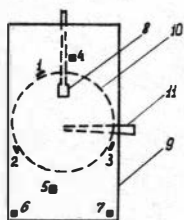


Рис.2 Схема эксперимента по определению дозных полей микроотрона. 1÷7- дозиметры; 8 - резонатор; 9-ярмо магнита; 10-камера ускорителя; 11-выводной канал.

При измерении дозных полей от камеры ускорителя на ярме магнита и различных точках вокруг камеры располагались дозиметры. Дозные характеристики излучений измерялись фотографическими и термолюминесцентными методами предложенными М.Эрлих [3] и К.М.Куделиным [2]. В фотодозиметрах использовались пленки типа ORWO и PM-5-1, а в термолюминесцентных - кристаллы фтористого лития размером $8 \times 8 \times 0,8 \text{ мм}^3$ (ТИД-2).

Спределение эффективного значения энергии тормозного излучения осуществлялось с помощью калиброванных фильтров

из свинца. Толщины фильтров для различных точек измерения выбирались различными с учетом возможных верхних значений энергий спектра тормозного излучения (толщина свинцового фильтра в точке 1, равна 15 мм, а в точках 2,3 - 20 мм). Дозиметры в точках 4,5,6,7 были расположены на ярме магнита, изготовленного из железа толщиной 100 мм, и не имели калиброванных фильтров. Все дозиметры защищались от рассеянного излучения свинцовым экраном толщиной 50 мм, площадь поперечного сечения которого превосходила в 5 раз площадь пленочного дозиметра и в 100 раз, площадь термолюминесцентного. Для исключения боковых облучений дозиметры помещались в паз - в экране глубиной 5 мм.

Экспонирование дозиметров осуществлялось в течение 3 мин. при токе выведенных электронов порядка 0,5 мка, измененного цилиндром Фарадея. Было проведено 6 серий измерений доз, причем в каждой серии дозиметры облучались одновременно.

Термолюминесцентные дозиметры обрабатывались сразу после окончания эксперимента во избежание потери запасенной светосуммы. Пленочные дозиметры типа *ORWO* и РМ-5-1 проявлялись одновременно с эталонными двумя партиями отдельно для каждого типа.

Результаты измерения нормированные на 1 мка выведенного тока в 1 мин. даны в табл. 1.

Таблица 1

Точки расположения дозиметров ^х	1	2	3	4	5	6	7
Мощность дозы (р/мин)	10±1	2,4±0,1	0,8±0,1	0,02	0,02	0,02	0,02
Эффективная энергия E (кэв)	590±20	520±20	1170±70	-	-	-	-

х) точки расположения дозиметров согласно рис. 2.

Как видно из данных, приведенных в табл. 1, дозные характеристики изменяются **существенным** образом от точки к точке. Максимальная мощность дозы наблюдается в точке 1, расположенной на смотровом окне, сделанном из оргстекла, толщиной 10 мм, которое находится напротив выводного канала

ускорителя.

Малая разница в эффективных энергиях в точках 1 и 2 говорит о том, что спектр тормозного излучения примерно одинаков и, в основном, формируется электронами, потерянными на начальном этапе ускорения на стенках резонатора, а уменьшение мощности дозы в точке 1, объясняется поглощением тормозного излучения стенкой латунной камеры ускорителя. Дозные характеристики в точке 3 объясняются следующим образом: существенно большая эффективная энергия свидетельствует о том, что вклад в мощность дозы, в основном, дают электроны, ускоренные до конечной энергии и потерянные на выводном канале ускорителя, а малая мощность дозы говорит о высокой эффективности вывода пучка ускоренных электронов, которая составляет более 90%. Мощности дозы в точках 4, 5, 6, 7 — практически совпадают и, ввиду их малости, эффективные энергии оценить не представилось возможным. Малый уровень излучения в этих точках, объясняется значительной экранировкой ярмом магнита.

ВЫВОДЫ

При эксплуатации микротрона кроме основной радиационной опасности от выведенного пучка электронов и его тормозного излучения необходимо учитывать достаточно интенсивное и высокоэнергетичное излучение от камеры, а также, низкоэнергетичное излучение от радиотехнического комплекса. Учет последнего особенно необходим при работах связанных с наладкой модулятора.

Полученные в работе результаты могут быть использованы при конструировании оптимальной защиты для малогабаритных и транспортабельных ускорителей данного типа.

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность В.С.Смирнову за постоянный интерес к работе и ценные консультации.

Основные результаты данной работы доложены на международном совещании по дозиметрам и физике защиты на ускорителях заряженных частиц, проведенном в Объединенном институте ядерных исследований в г.Дубна, в октябре 1969 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Капица С.П. Микротрон и область его применения. Атомная

энергия. 1965, 18.

2. Куделин К. М., Булгаков В. Б., Лебедев А. А. Термолюминесцентный дозиметрический прибор. Приборы и техника эксперимента, 1968, № 1.

3. Эрлих М. Использование пленочных дозиметров для индивидуального контроля, Магата, Вена, 1962, № 8.

О. Н. БРЕЖНЕВ, Г. М. КАЗАКЕВИЧ, В. А. ПОНОМАРЧУК, Е. М. ФИЛИПОВ,
С. Т. ШЕСТЕЛЬ

РАЗРАБОТКА И ЗАПУСК ТРЕХСАНТИМЕТРОВОГО МИКРОТРОНА ДЛЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ

В практике ядерно-геофизических исследований для изучения природных объектов все шире начинают применяться источники жесткого гамма-излучения. С помощью таких излучателей в настоящее время ведется определение в породах бериллия фотонейтронным методом [5, 6, 7], для чего применяются препараты сурьмы-124 [$T=60$ дней, $E_{\gamma}=1,71$ (45,7%), 2,1 мэв (99%)]. Как видно, применяемый препарат является короткоживущим изотопом, поэтому при работе с ним установка постоянно следует "дозарядить" радиоактивными веществами, что сопряжено с дополнительным облучением обслуживающего персонала. Создание автоматических зарядно-разрядных устройств для полевых работ является не простой задачей. Таким образом, из этого явно видны недостатки методики измерений, основанных на использовании изотопных препаратов, в связи с чем в последнее время внимание исследователей все больше уделяется использованию электронных ускорителей (бетатронов и микротронов) в качестве источников мощного гамма-излучения [2, 3, 7]. Однако бетатроны могут применяться лишь для решения ограниченного круга задач. В основном это обусловлено трудностью получения с их помощью достаточно интенсивных потоков излучения. Поэтому в последнее время в ядерно-геофизических исследованиях все большие области применения находят микротроны [4]. Однако существующие микротроны являются весьма

громоздкими установками, магнитная система которых весит 0,6-1,5т. Для решения же целого ряда геофизических задач необходимы портативные установки, которые при необходимости можно было бы перевозить к местам анализа проб в полевых условиях. Подобные установки необходимы и для других отраслей науки и техники. В этом направлении в настоящее время работают различные коллективы ученых. Так, в Томске для промышленных целей разработаны малогабаритные бетатроны [1]. С помощью этих установок электроны можно ускорять до энергии 3-6 Мэв и получить средние токи 0,01 мка. В США [8,9] был создан ряд малогабаритных микротронов, позволяющий ускорять электроны до 1,3±0,0 Мэв и получать средние токи ~0,01 мка.

Однако для решения ядерно-геофизических задач необходимы аналогичные установки с более высоким выходом излучения. В связи с этим в Институте геологии и геофизики СО АН СССР в 1969 г. были начаты исследования по созданию малогабаритного ускорителя, пригодного для ядерной геофизики.

Основным требованием, предъявляемым к такому типу ускорителя является простота конструкции, компактность, простота изготовления и наладки, высокая надежность и удобство обслуживания. Энергия пучка такого ускорителя, применяемого для определения бериллия, должна быть порядка 2±0,3 Мэв. Ток пучка определяется в основном пороговой чувствительностью измерительной аппаратуры, **однако** слишком большой ток пучка требует достаточно громоздкой защиты, что накладывает определенные ограничения на мобильность аппаратуры. Сравнение ускорителей существующих типов; удовлетворяющих вышеупомянутым требованиям показывает, что наиболее перспективным является микротрон с рабочей длиной волны около 3см. Использование трехсантиметрового диапазона позволяет существенно уменьшить размеры установок за счет уменьшения размеров магнита и узлов волноводного тракта, что в свою очередь вызывает снижение веса ускорителя. В то же время дальнейшее уменьшение рабочей длины волны связано с рядом трудностей возникающих при создании резонатора и при выборе узлов волноводного тракта и магнетронов достаточной мощности.

В ходе разработки микротрона для определения бериллия в образцах была проведена серия исследований на 10 см сильноточном микротроне Института физики полупроводников СО АН СССР [3], позволивших оценить требуемый ток и выбрать режимы регистрирующей аппаратуры для пороговой чувствительности порядка кларковой. На основании указанных исследований для определения бериллия в пробах были выбраны основные параметры микротрона: энергия - 2 ± 3 мэв; средний ток пучка - $0,5 \pm 1$ мка. В соответствии с этим были сконструированы и отлажены узлы микротрона, допускающие выбор оптимальной конструкции автомобильного варианта.

МОДУЛЯТОР

Для работы с магнитронами различных типов был создан лабораторный вариант модулятора, допускающий оперативное варьирование параметров. Модулятор питается через стабилизатор $ST-2000$ от однофазной сети с частотой 50 гц, потребляемая мощность около $1,2 \pm 1,3$ квт. Схема модулятора представлена на рис. 1.

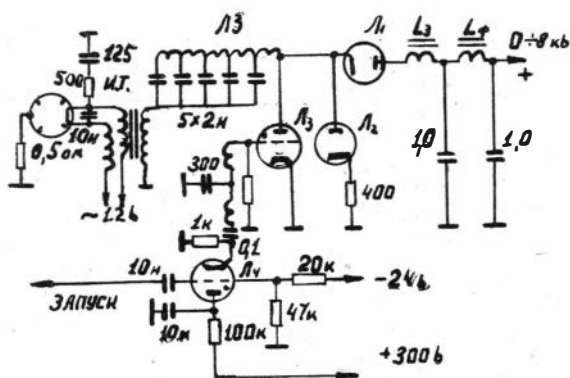


Рис. 1 Принципиальная схема модулятора микротрона. Цепи блокировок и измерительные цепи на схеме не указаны.

В качестве формирующего элемента в модуляторе используется пятизвенная искусственная линия

(Л3) коммутируемая тиратроном ТГ1-325/16 (Л3) через импульсный трансформатор (И.Т.) на магнетрон. Для коррекции формы импульса и устойчивой работы магнетрона применена RC цепочка. Для повышения КПД модулятора в нем применен резонансный заряд линии через дроссель (L3) и кенотрон

В1-0,1/40 (Л1), что позволяет варьировать частоту следования импульсов в широких пределах. Для защиты линии от перенапря-

нений при искрении магнетрона в модуляторе используется диод Л2 (В1-0,1/40). Выпрямитель модулятора собран на полупроводниковых диодах типа Д1005Б и включает в себя "П"-образный фильтр. Высокое напряжение регулируется и может быть стабилизировано с помощью стандартного магнитного усилителя. Мощность по цепям управления и смещения магнитного усилителя составляет около 5вт. Влияние переходных процессов, возникающих в магнитном усилителе при включении блока высокого напряжения, устраняется выбором режима включения управляющих напряжений.

В качестве подмодулятора используется схема на тиратроне ТГИ1-3/1 (Л4). Подобная схема обладает простотой, компактностью и надежностью в работе. Управление и контроль работы модулятора производится с пульта стоечного типа, на который выводятся ток и напряжения высоковольтного выпрямителя, средний и импульсный ток магнетрона.

Запуск модулятора осуществляется от стандартного генератора типа МГИ-2. Частота следования импульсов до 1500 гц. Амплитуда тока импульса на активной нагрузке 770 ом до 30а, длительностью импульса на полувисоте - 1,0 мксек, длительность фронтов 0,15 мксек. Номинальный режим работы модулятора со скважностью 1000.

МАГНИТ, КАМЕРА И ВАКУУМНАЯ СИСТЕМА МИКРОТРОНА

Магнитная система микротрона состоит из магнита Ш-образного типа, изготовленного из стали СТ-10. Полюса магнита шлифованы и служат крышками вакуумной камеры. Межполюсный зазор - 40 мм. Диаметр полюсов - 210 мм. Смотки магнита расположены на полюсах и намотаны медным проводом диаметром 3 мм. Применение Ш-образного сердечника только увеличивает габариты магнита, однако облегчает доступ к камере, что важно при наладочных и экспериментальных работах, а также улучшает теплообмен. Магнит питается от стабилизатора тока с коэффициентом стабилизации около 1000. Регулировка тока в стабилизаторе производится с помощью управляемого дросселя.

Магнитные измерения при рабочих полях производились с помощью прибора ИМИ-2 и показали однородность поля лучше 10^{-3} в рабочей области без применения шимм и

корректирующих обмоток. Полный вес магнита составляет около 100 кг.

Камера микротрона представляет собой медное кольцо со стенками 10 мм. В камере может устанавливаться дистанционно-перемещаемая мишень из различных материалов. Для визуальной индикации пучка используется окно из органического стекла. Камера и окно в лабораторном варианте ускорителя уплотнялись с помощью резиновых прокладок, ввод механизма передвижения мишени осуществлялся с помощью вильсоновского уплотнения.

В лабораторном варианте ускорителя камера откачивалась обычным вакуумным постом дифференциальной откачки, состоящим из форвакуумных насосов RV-15 и PBN-20 и диффузионного насоса ЦВЛ-100. Пары масла вымораживались азотными ловушками. При проведении пусконаладочных и экспериментальных работ, связанных со вскрытием камеры, использование системы дифференциальной откачки значительно ускорило достижение рабочего вакуума. Рабочий вакуум в камере составлял около $(2 \pm 3) \cdot 10^{-6}$ торр и достигался примерно за 20 минут при разогревом диффузионном насосе.

В дальнейшем, для перевозного варианта ускорителя предполагается использование камеры с безмасляной откачкой.

ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ СИСТЕМА МИКРОТРОНА

Высокочастотная система микротрона, представленная на рис. 2, состоит из дистанционно перестраиваемого магнетрона 3 см. диапазона с мощностью СВЧ колебаний около 200 квт в импульсе, фазовращателя, ферритового циркулятора, двух водяных нагрузок, направленного ответвителя, к которому могут подсоединяться различные приборы для отладки тракта, волноводного окна и резонатора, охлаждаемого водой. Для наблюдения импульса тока магнетрона, волноводный тракт имеет гальванический разрыв в дроссельном фланце. Для ввода максимальной мощности в резонатор, к выходному импульсу модулятора и к КСВ_н волноводного тракта, который тщательно юстировался, предъявлялись весьма жесткие требования. Так паразитная модуляция импульса анодного тока магнетрона составляла около $\pm 1,5\%$ от основной амплитуды КСВ_н волноводного тракта, измеренного в рабочем диапазоне

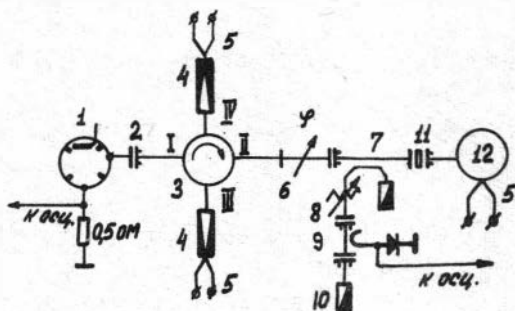


Рис.2 Схема волноводного тракта микротрона. 1-магнетрон, 2-гальванический разрыв, 3-ферритовый циркулятор, 4-водяные нагрузки, 5-датчики температуры; 6-фазовращатель; 7-направленный ответ-

витель, 8-аттенуатор, 9-детекторная секция, 10-согласованная нагрузка, 11-вакуумное волноводное окно, 12-резонатор.

частоту со входа составляло около 1,05. В качестве волноводного вакуумного окна был использован доработанный выводной фланец магнетрона. КСВ_н такого окна составляет около 1,03 для рабочего диапазона частот. Для увеличения электрической прочности волноводного тракта и улучшения охлаждения ферритового циркулятора и вакуумного окна, в тракт подавался азот под давлением 0,7 атм.

Потери СВЧ мощности в волноводном тракте от магнетрона до резонатора составляют не более 15±20квт. Введение в тракт направленного ответвителя позволяет значительно упростить настройку магнетрона, а также контролировать режим работы резонатора. Дополнительный контроль настройки магнетрона производился по балансу мощностей, измеряемых калориметрами.

Пробные включения микротрона, осуществленные в конце 1969г., показали работоспособность всех его узлов и систем. Был реализован режим с автоэлектронной эмиссией со стенок резонатора. После дополнительной юстировки резонатора пучок был проведен по 7 орбитам. Индикация пучка велась с помощью мишени покрытой сернистым цинком. Измеренный цилиндром Фарадея ток на 3 орбите составлял около 0,5 ма в импульсе. Режим соответствует $\Omega = 0,55$. На основе полученных результатов в настоящее время в лаборатории ядерной геофизики ведутся работы по выбору оптимальной конструкции

резонатора с термокатодом.

В заключении авторы выражают искреннюю благодарность за полезные советы и участие в дискуссиях Б.Г.Серяпину, а также сотрудникам лаборатории ядерной геофизики В.Я. Жаворонкову и А.Ф.Федулову за помощь в работе.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Ананьев Л.М. и др. Малогабаритные бетатроны и их применение в дефектоскопии. Дефектоскопия, 1968, № 5.
2. Берзин А.К. Фотоядерные методы анализа горных пород. Докторская диссертация, М., ВНИИЯГГ, 1969.
3. Казакевич Г.М. О поисках бериллия с помощью электронного ускорителя. В сб. "Проблемы геологии и петрографии и методы геохимических и геофизических исследований", г. Новосибирск, Наука (ротапринт), 1969.
4. Капица С.П., Мелехин В.Н. Микротроны, М., Наука, 1969.
5. Поляков Б.И. и др. Лабораторная установка для количественных определений кларковых концентраций бериллия. В сб. "Вопросы рудной геофизики", вып. 5 (радиометрия), Л., Недра, 1965.
6. Сенько А.К. и др. Временное руководство по фотонейтронному методу, определения бериллия в рудных порошковых пробах, М. Госгеолтехиздат, 1963.
7. Филиппов Е.М. Прикладная ядерная геофизика. М., изд-во АН СССР, 1962.
8. Kaiser H.F. Mikrotrons (Electron Cyclotrons) for X and K Band operation. Journal of the Franklin Institute. 1954, v. 254, N2, pp. 89-108.
9. Kaiser H.F. and Mayes W.T. General Purpose X-Band Laboratory Microtron with Facilities for Electron Extraction. Rev. sci. Instrum. 1955, v. 26, p. 565

В. С. ИВАНОВ

ВЫЧИТАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИМПУЛЬСНЫХ СЛУЧАЙНЫХ ПОТОКОВ

В практике радиометрических измерений часто приходится сталкиваться с необходимостью измерять разность интенсивностей двух случайных импульсных потоков. Это, например, необходимо при непрерывной работе в условиях изменяющейся интенсивности полезного сигнала и фонового

излучения [2].

Для получения разности интенсивностей импульсных случайных потоков можно использовать аналоговый и цифровой принцип вычитания. Однако аналоговые схемы чувствительны к различным нестабильностям: изменениям напряжения, температуры, параметров импульсов и т.д. Кроме того аналоговые схемы имеют небольшой динамический диапазон. Устройством, позволяющим реализовать подобный алгоритм в цифровом виде является реверсивный счетчик. Но в реверсивном счетчике при последовательном выводе числа среднестатистическое значение разности двух случайных потоков получается уменьшенным в 2^n раз (n — количество разрядов реверсивного счетчика), а следовательно, статистическая погрешность увеличится в 2^n раз. При параллельном выводе числа у реверсивных счетчиков отсутствуют эти недостатки, но тогда требуется сложная система индикации.

Цифровое вычитающее устройство, блок-схема которого приведена на рис. 1, имеет последовательный вывод числа, но кроме того, в нем отсутствует деление среднестатистического значения разностной интенсивности, а следовательно, и увеличение статистической ошибки измерения. Вычитание в данной схеме происходит в оперативной памяти, функций которой выполняет реверсивный счетчик 1.

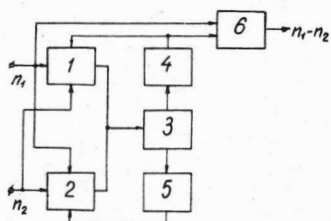


Рис. 1 Блок-схема вычитающего устройства: 1-ключ 1; 2-ключ 2; 3-оперативная память; 4-дешифратор нулевых состояний; 5-дешифратор единичных состояний; 6-ключ 3.

Схема работает следующим образом: два импульсных потока поступают на входы ключей 1 и 2 соответственно. Ключ 1 закрыт при нулевом состоянии всех разрядов реверсивного счетчика и открыт при всех других его состояниях. Ключ 2 закрыт при единичном состоянии всех разрядов реверсивного счетчика и открыт при всех других его состояниях. Ключ 3 открыт при нулевом состоянии всех разрядов реверсивного счетчика и закрыт при всех других его состояниях. Индикация состояний реверсивного счетчика осуществ-

ляется с помощью двух дешифраторов: дешифратора нулевых состояний и дешифратора единичных состояний. Импульсы потока n_1 , поступающие на вход реверсивного счетчика через ключ 1, переводят его в режим вычитания. При установлении во всех разрядах счетчика нулевого состояния ключ 1 закрывается, блокируя тем самым возможность перехода реверсивного счетчика из состояния 000...0 в состояние 111...1. Ключ 3 при нулевых состояниях разрядов реверсивного счетчика открывается и импульсы потока n_1 проходят на выход схемы. Поток n_2 , поступающий на вход счетчика через ключ 2, переводит его в режим сложения. При полном заполнении памяти ключ 2 закрывается и импульсы потока n_2 не поступают на вход реверсивного счетчика, то есть последующий импульс потока n_2 не считывает записанного числа. Таким образом, число импульсов потока n_1 необходимых для возвращения памяти в нулевое состояние равно числу импульсов потока n_2 , записанных в памяти. Для устранения одновременного поступления на вход реверсивного счетчика импульсов потоков n_1 и n_2 осуществлена взаимная блокировка ключей 1 и 2.

Функциональная схема разностного устройства приведена на рис. 2. Ключи 1, 2 и 3 выполнены на схемах совпадения. Они являются схемы $И_1$, $И_2$ и $И_3$ соответственно. Для взаимной блокировки ключей 1 и 2 импульсы потоков n_1 и n_2 инвертируются схемами $И_1$ и $И_2$ соответственно и подаются на входы схем совпадения $И_1$ и $И_2$.

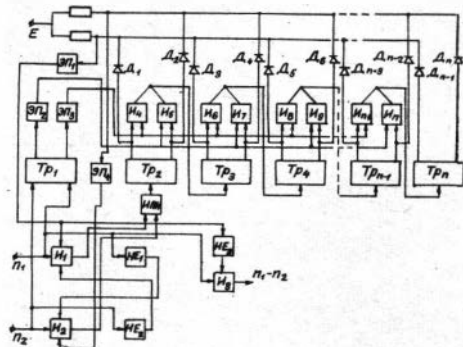


Рис. 2 Функциональная схема вычитающего устройства.

С выходов схем $И_1$ и $И_2$ импульсы через схему $И_3$ поступают на вход реверсивного счетчика. Реверсивный счетчик выполнен на триггерах $Тр_2 \div Тр_n$ и схемах совпадения $И_3 \div И_n$. Для управления режимом сложения и вычитания реверсивного счетчика служит триггер $Тр_1$ с разделенными входами. Импульсы с выхода

триггера Tr_1 через эмиттерные повторители ЭП₂ и ЭП₃ поступают на входы схем совпадения реверсивного счетчика. Дешифратор нулевых состояний выполнен на диодах $D_1+D_3+D_5+\dots+D_{n-1}$, а дешифратор единичных состояний на диодах $D_2+D_4+D_6+\dots+D_n$. С дешифратора нулевых состояний сигнал через эмиттерный повторитель ЭП₁ поступает на вход схемы совпадений И₁ и на инвертор И₂, с выхода которого сигнал поступает на схему совпадений И₃. С дешифратора единичных состояний через эмиттерный повторитель ЭП₄ сигнал поступает на вход схемы совпадений И₂. Емкость оперативной памяти вычитателя определяется ошибкой измерения и отношением интенсивностей измеряемых потоков.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Горн Л. С., Хазанов Е. И. Регистраторы интенсивности излучений. Атомиздат, 1965 г.
2. Матвеев В. Б., Хазанов Е. И. Приборы для измерения ионизирующих излучений. Атомиздат, 1967 г.

С С Д Е Р Ж А Н И Е

Г. Б. Варварин, Л. И. Орлов, Е. М. Филиппов. О возможностях комплекса плотностного и импульсных нейтронных методов для определения плотности, пористости и насыщенности коллекторов.	3
Г. Б. Варварин, Ю. П. Колмогоров, Г. А. Кузнецов, В. А. Синкевич, Е. М. Филиппов. Аппаратура для двухлучевого гамма-гамма-каротажа плотности.	9
Г. Б. Варварин, Г. А. Кузнецов, Е. М. Филиппов. Вопросы методики определения плотности и пористости горных пород при помощи двухлучевых плотномеров.	50
С. М. Асрян, Г. Б. Варварин, Е. М. Филиппов. Изучение пространственно-углевого распределения рассеянного гамма-излучения на плоской поверхности горной породы.	95
Г. Б. Варварин, Ю. П. Колмогоров, А. С. Толкачева, С. Д. Фейгенберг. Применение универсального гамма-гамма-плотнера УГПН-1 для измерения плотностей горных пород.	107
Г. Б. Варварин, Г. А. Кузнецов, Е. М. Филиппов. Приспособления для извлечения глубинных приборов из скважин при ликвидации аварии.	118
Б. С. Вахтин, В. С. Иванов, А. В. Новоселов, Е. И. Тетерин, Е. М. Филиппов. Применение радиационно-резонансных детекторов для определения бора в скважинах.	122
Е. С. Вахтин, Е. М. Филиппов. Нейтронно-резонансные установки для определения некоторых элементов	129
Б. С. Вахтин, Е. М. Филиппов. Применение активационных детекторов резонансных нейтронов для раздельного определения бора и лития.	142
Б. С. Вахтин, Е. М. Филиппов, А. П. Бортникова. Определение бора и кадмия с использованием аппаратуры на газоразрядных счетчиках и промежуточного поглотителя тепловых нейтронов.	148
В. Г. Русяев. Анализ нефти на основные элементы ядерными методами.	151

Т. Н.Бланкова, Е. Н.Бочкарев, В.Я.Жаворонков. Нейтронный активационный анализ микроэлементов нефтей с полупроводниковой гамма-спектрометрией.	160
Т. Н.Бланкова, Е. Н.Бочкарев, В.Я.Жаворонков, Л.А.Чернякова, М.Э.Юсупов. Возможности нейтронного активационного анализа пластовых жидкостей для выявления в нефтяных свехажинах пластов обводненных от закачки.	176
Т. Н.Бланкова, М.Г.Нагаев, И.М.Амерханов. Некоторые результаты применения нейтронного активационного анализа с полупроводниковой спектрометрией для изучения нефтей Татарии.	181
Т. Н.Бланкова, В.С.Эшешмирский, В. Н.Крымова. Применение метода нейтронного активационного анализа с полупроводниковой спектрометрией для диагностики сингенетичности нефтей.	191
Е. Н.Бочкарев, Э. Н.Гильберг, В.Я.Жаворонков. К вопросу о нейтронно-активационном определении золота в рудах и горных породах.	196
Е. Н.Бочкарев, В.Я.Жаворонков, А. А.Куликов. Применение нейтронного-активационного анализа для расчленения докембрийских отложений юго-восточной части Алданского щита.	202
Г.М.Казакевич, Е.М.Филиппов, С.Т.Шестель. Характеристики сцинтилляционных датчиков с импульсным управлением.	207
В.С.Григорьев, Г.М.Казакевич, В.Г.Серяпин. Исследование дозных полей вблизи микротрона и за защитой при энергии ускоренных электронов 3,8 мэв.	217
О. Н.Ережнев, Г.М.Казакевич, В.А.Пономарчук, Е.М.Филиппов, С.Т.Шестель. Разработка и запуск трехсантиметрового микротрона для геофизических целей.	222
Б.С.Иванов. Вычитающее устройство для импульсных случайных потоков.	228

Технический редактор Л.А. Панива

Подписано к печати 18.ш. 1971 г. МН03529
Бумага 60x84/16. Неч.л. 14,75+2 вкл. Уч.-изд.л.13,95
Тираж 500. Заказ 132. Цена 97 коп.

Институт геологии и геофизики СО АН СССР
Новосибирск, 90. Ротапринт.