

Значения величины A и относительного светового выхода

Тип сцинтиллятора	Коэффициент A		Относительный световой выход	
	1 см	2 см	1 см	2 см
Комбинированный Дисперсный	5,0	4,75	1,2	1,25
	3,0	3,0	1,0	1,0

вительности от отношения веса основы к весу компенсатора $P_{\text{осн}}/P_{\text{ком}}$ (при расчете учитывались зависимость $G_{\text{ком}}$ и $G_{\text{осн}}$ от энергии и обмен энергий между компенсатором и основой). Видно, что расчетные и экспериментальные значения изменения чувствительности для дисперсных и комбинированных сцинтилляторов хорошо согласуются.

В заключение необходимо отметить, что для воздушно-эквивалентных сцинтилляторов, как комбинированных, так и дисперсных, в которых в качестве компенсатора используется $\text{ZnS}(\text{Ag})$, а основы — сцинтиллирующая пластмасса на основе полистирола, изменение чувствительности для энергий выше 30 кэв практически одина-

ково. Для энергий ниже 30 кэв изменение чувствительности комбинированных сцинтилляторов существенно меньше дисперсных: в диапазоне 14—125 кэв — на 75% для толщин 1 и 2 см, в диапазоне 20—1250 — на 55 и 65% для толщин 1 и 2 см соответственно.

Поступило в Редакцию 24/X 1968 г.
В окончательной редакции 4/I 1970 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. E. Belcher, J. Geilinger. Brit. J. Radiology, 30, 103 (1957).
2. М. И. Арсаев, Н. Е. Судимова. «Приборы и техника эксперимента», № 4, 59 (1963).
3. R. Kempe. Kernenergie, Н. 10, 553 (1963).
4. М. И. Арсаев, В. А. Красников, Б. Г. Маргулис. «Атомная энергия», 27, 336 (1969).
5. М. И. Арсаев. В сб. «Ядерное приборостроение», № 8, М., Атомиздат, 1968.
6. М. И. Арсаев, В. А. Красников, Б. Г. Маргулис. Монокристаллы, сцинтилляторы и органические люминофоры. Вып. 5, ч. 2, Харьков, 1970, стр. 112.

Исследование возможностей каротажа нефтяных скважин с использованием $\text{Ge}(\text{Li})$ -гамма-детектора и Po — Be -источника нейтронов

Л. И. ГОВОР, А. М. ДЕМИДОВ, В. А. ИВАНОВ

УДК 550.835:553.9

В настоящей работе описываются возможности проведения нейтронорадиационного каротажа нефтяных геологических скважин $\text{Ge}(\text{Li})$ — гамма-детектором и Po — Be -нейтронным источником.

Исследования проводились с моделью нефтяной скважины, близкой к реальным условиям. Используемая модель пласта схематично изображена на рис. 1. Размеры бака 9, в котором она размещалась, составляли $800 \times 800 \times 700$ мм. Стальная обсадная труба 4 имела внутренний диаметр 150 мм, толщину стенок 10 мм, а цементное кольцо 7, окружающее трубу, было толщиной ~ 35 мм.

Бак поочередно заполняли пресной водой, трансформаторным маслом, сухим песком 8 (пористость 40%), насыщенным пресной водой или маслом.

Внутри стальной трубы размещали $\text{Ge}(\text{Li})$ -гамма-детектор 1 с чувствительным объемом $2,5 \text{ см}^3$ и Po — Be -источник 5 активностью $2-3 \cdot 10^7$ нейтр/сек. Детектор экранировали от нейтронного и γ -излучения Po — Be -источника свинцовым блоком 2 длиной 150 мм и диаметром 60 мм, а также слоем Li^6F в 4 мм или защитой из карбида бора (B_4C) 3 и свинца 2. Расстояние между детектором и источником составляло ~ 200 мм. Для учета влияния замедлителя, находящегося в скважине (нефть или вода), в последней размещали парафиновый цилиндр 6, форма которого соответствовала эксцентричному расположению каротажного прибора в скважине. Первые эксперименты были проведены с размещением детектора и источника в стальной трубе диаметром 125 мм и толщиной стенок 10 мм (имитация стенок скважинного прибора). В дальнейшем дополнительная труба была удалена и исследовали случай

использования алюминиевых сплавов или циркония для оболочки скважинного снаряда.

Электронная аппаратура состояла из предусилителя, основного усилителя с дискриминатором и 110-канального амплитудного анализатора и обеспечивала в течение эксперимента разрешение 9—18 кэв в области энергий $E_\gamma = 1,8 \div 8 \text{ Мэв}$. Определение энергий γ -линий производилось генератором точной амплитуды с погрешностью менее $\pm 5 \div 7 \text{ кэв}$.

Определение нефте- и водонасыщенности пластов, пористости породы и установление водо-нефтяного контакта связаны с элементарным анализом основных составляющих пласта. В рассматриваемом случае песчаника это кремний, кислород, углерод и водород (в известняках — кальций вместо кремния) [1—3].

Такие элементы, как кремний, кальций и водород, хорошо обнаруживаются по γ -излучению радиационного захвата тепловых нейтронов [1]. Характерными линиями для них являются 4,936 Мэв Si^{29} , 6,420 Мэв Ca^{41} и 2,223 Мэв D^2 . В то же время кислород и углерод имеют очень малые сечения захвата тепловых нейтронов и практически не обнаруживаются. Однако у кислорода (O^{16}) и углерода (C^{12}) первые возбужденные уровни лежат очень высоко, что создает благоприятные возможности для их обнаружения по γ -излучению от неупругого рассеяния быстрых нейтронов. Характерными γ -линиями здесь являются 6,131 Мэв для O^{16} и 4,443 Мэв для C^{12} .

Особенность γ -излучения, сопровождающего рассеяние быстрых нейтронов, — уширение γ -линий, когда время жизни уровня меньше времени замедления ядра отдачи. Наблюдаемая величина уширения γ -линии за-

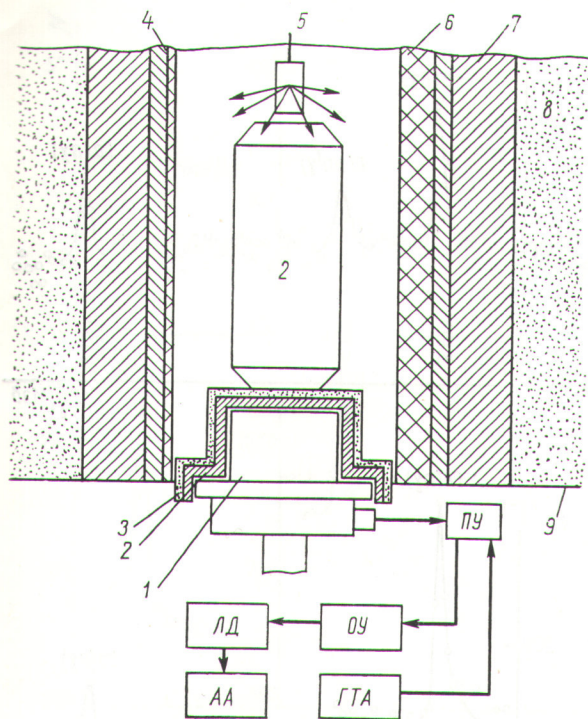


Рис. 1. Общая схема экспериментов:

ПУ — предварительный усилитель; ОУ — основной усилитель; ЛД — линейный дискриминатор; АА — амплитудный анализатор; ГТА — генератор точной амплитуды.

висит от угла между направлением пучка падающих нейтронов и направлением наблюдения γ -квантов, а также от энергии нейтронов ($\sim \sqrt{E_n}$) и массы ядра отдачи ($\sim 1/m$). Время жизни уровня 4,433 Мэв в C^{12} составляет $4,6 \cdot 10^{-14}$ сек, что меньше времени замедления ядра отдачи. Если угол наблюдения близок к 90° , то уширение минимально и должно составлять 50—60 кэв для нейтронов Ро — Ве-источника. Экспериментально найденная ширина γ -линии 4,43 Мэв (для случая чисто графитовой кладки) оказалась равной 50 кэв.

Большая ширина γ -линии 4,43 Мэв от C^{12} резко снижает чувствительность нейтронорадиационного метода определения содержания углерода в породе, так как собственное разрешение германиевого детектора при этой энергии в описываемом случае составляло 10—12 кэв. Однако величина доплеровского уширения γ -линии C^{12} в 4—5 раз меньше полуширины пика, получаемого на спектрометре с кристаллом NaI(Tl). Доплеровское уширение γ -линий 6,131 Мэв от O^{16} ($nn'\gamma$), а также 1,78 Мэв от Si^{28} ($nn'\gamma$) значительно меньше.

Предварительные эксперименты с Ge(Li) — гамма-детектором и Ро — Ве-источником были проведены в условиях, менее жестких, чем описанные выше: скважина сухая, без цементного кольца, толщина стенок стальной обсадной трубы 5 мм. В полученных спектрах были хорошо выделены характерные линии от радиационного захвата тепловых нейтронов ядрами H^1 , Si^{28} , Fe^{56} и от неупругого рассеяния быстрых нейтронов на ядрах Si^{28} , O^{16} , C^{12} . Некоторые результа-

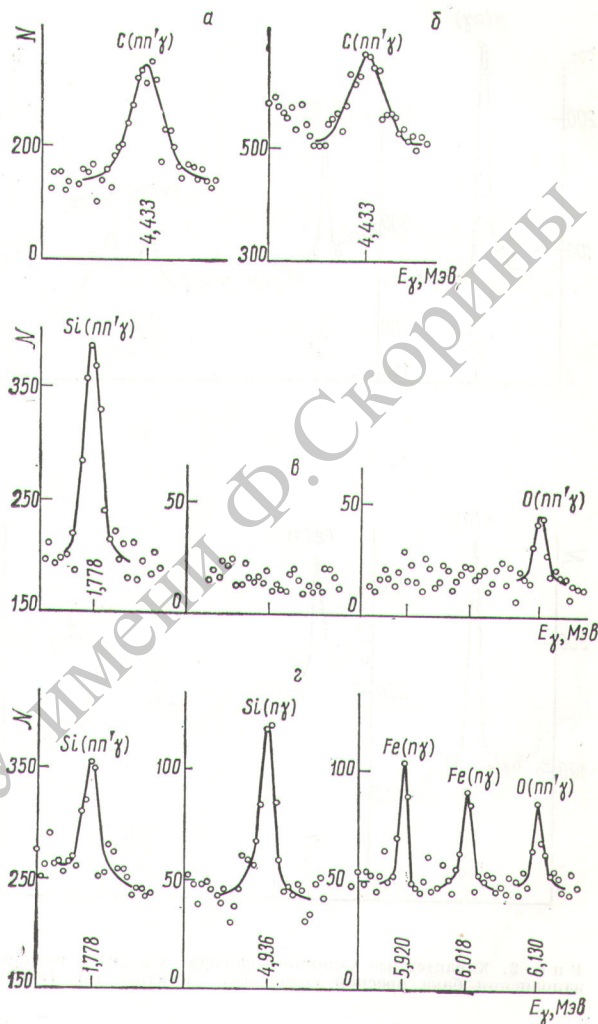


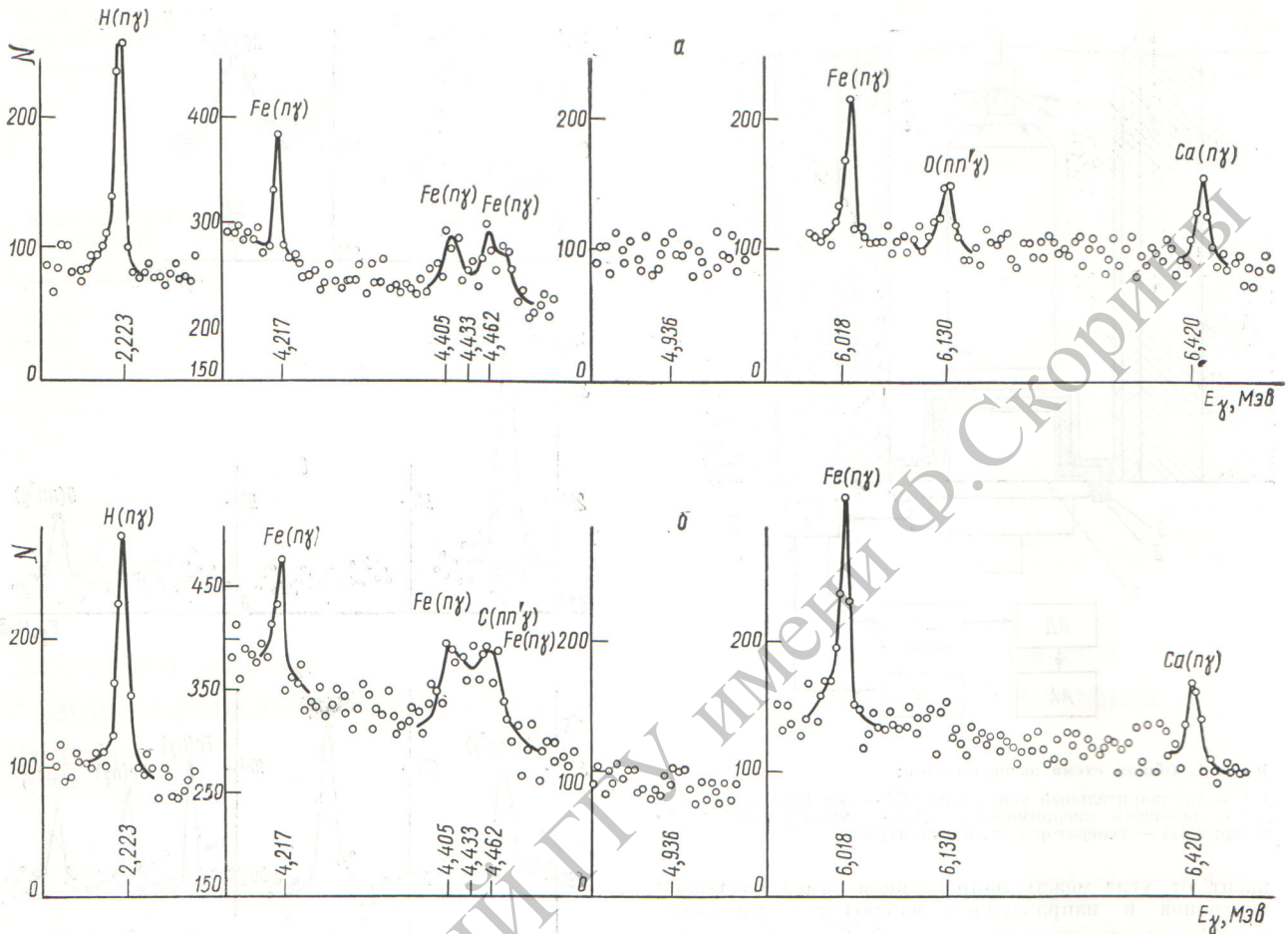
Рис. 2. Характерные γ -линии в γ -спектрах на модели сухой скважины с легкой обсадной колонной (N — количество импульсов):

а — линия углерода, измеренная на кладке из парафиновых блоков; б — линия углерода в спектре песка с нефтью; в — линии кислорода и кремния в γ -спектре сухого песка (видно, что γ -линии от радиационного захвата нейтронов в железе и кремнии отсутствуют); г — те же линии в спектре песка с маслом.

ты этих опытов представлены на рис. 2*. Дополнительно показана γ -линия C^{12} , полученная при окружении детектора и источника парафином.

Особенность γ -спектров, получаемых на сухой скважине без цементного кольца, — полное отсутствие γ -линий радиационного захвата тепловых нейтронов в песке. При водо- или нефтенасыщенном пласте проявляются линии от радиационного захвата (от неупругого рассеяния нейтронов γ -линии имеются в обоих случаях). Таким образом, для сухой скважины без цементного кольца величина концентрации водорода в породе может быть найдена из соотношения интенсивностей

* В спектрах везде приводятся пики с вылетом двух аннигиляционных квантов, кроме линий 1,78 Мэв от Si^{28} ($nn'\gamma$) и 2,223 Мэв от $H(n, \gamma) D$, для которых даны пики полного поглощения.



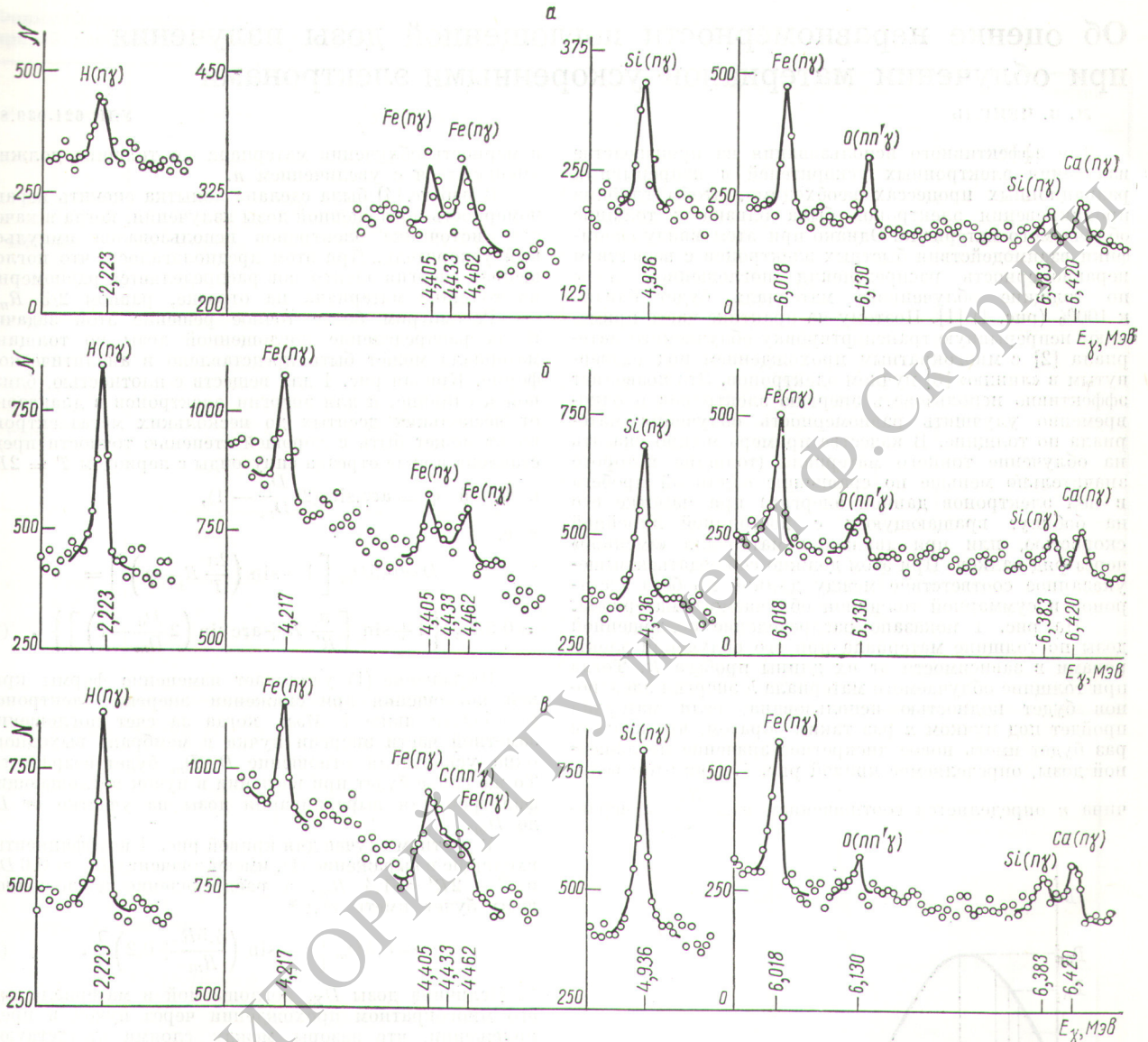
Р и с. 3. Характерные γ -линии водорода углерода кислорода кальция и железа в γ -спектрах на модели реальной скважины при заполнении бака пресной водой (а) нефтью (б) (видно, что характерная γ -линия кремния с энергией 4,936 Мэв отсутствует).

линий 4,936 Мэв от $\text{Si}^{29}(\text{n}\gamma)$ и 1,78 Мэв от $\text{Si}^{28}(\text{nn}'\gamma)$. Вид замедлителя (нефть или вода), в частности граница водо-нефтяного контакта, устанавливаются по наличию в спектре характерной γ -линии углерода (вклад линий 4,405 Мэв и 4,462 Мэв от $\text{Fe}^{56}(\text{n}\gamma)$ в пик от $\text{C}^{12}(\text{nn}'\gamma)$ на рис. 2, б ~ 20%).

При экспериментах на модели реальной скважины необходимо отметить, что в спектрах наблюдаются те же характерные γ -линии, однако условия для проведения анализа содержания элементов ухудшаются.

На рис. 3 и 4 дано сравнение участков γ -спектров, полученных для сухого песка, песка, насыщенного пресной водой и маслом, а также для случая наполнения бака водой и маслом без песка. Наличие в цементном кольце (65% CaO , 15% H_2O , 20% SiO_2) и в скважине ядер водорода приводит к тому, что уже в спектре, полученном с сухим песком, присутствуют γ -линии радиационного захвата тепловых нейтронов ядрами водорода, кремния и железа. Однако интенсивность этих линий в случае насыщения песка водой или маслом значительно больше, чем в случае сухого песка (для γ -линии водорода 2,223 Мэв вдвое), что позволяет делать заключения о концентрации водорода в окружающей породе.

Несомненный интерес представляет пик от неупругого рассеяния быстрых нейтронов на кислороде. Этот пик четко выделяется во всех случаях, за исключением опыта с баком, наполненным маслом без песка. Интенсивность пика 6,131 Мэв от O^{16} меняется в зависимости от состава породы в соответствии с содержанием кислорода в ней, а также из-за изменения распределения потока быстрых нейтронов в пласте. Особое внимание в экспериментах было уделено пику 4,43 Мэв, являющемуся наиболее надежным индикатором наличия нефти. Наблюдаемые на рис. 3 и 4 пики с E_γ , равными 4,217; 4,405 и 4,462 Мэв, принадлежат железу, а 4,420 Мэв — Ca^{41} . Для случаев рис. 3, б и 4, в на фоне перечисленных выше γ -линий обнаруживается широкая линия, принадлежащая C^{12} . Вклад пиков от γ -квантов радиационного захвата тепловых нейтронов в железе может быть учтен достаточно точно по интенсивности линии железа 4,217 Мэв. За величину, характеризующую содержание нефти в породе, может быть принято отношение интенсивностей γ -линий с энергиями ~ 4,4 Мэв к интенсивности характерной γ -линии Fe^{57} , например с $E_\gamma = 4,217$ Мэв. При заполнении бака водой эта величина оказалась равной $3,35 \pm 0,54$, при заполнении нефтью — $4,65 \pm 0,65$.



Р и с. 4. Характерные γ -линии водорода, углерода, кислорода, кремния, кальция и железа в γ -спектрах на модели реальной скважины при заполнении бака сухим песком (а) песком с водой (б), песком с нефтью (в).

При работе с объемными образцами отношение высот пиков к pedestalу значительно ухудшается из-за большого фона рассеянных γ -квантов. Наибольшую помеху здесь создают γ -кванты от радиационного захвата тепловых нейтронов в Fe^{56} . В связи с этим интересно использование импульсного нейтронного генератора, так как появляется возможность проводить раздельную во времени регистрацию γ -квантов радиационного захвата тепловых нейтронов и неупругого рассеяния быстрых нейтронов.

В заключение благодарим Ю. С. Шимелевича и Н. В. Попова за полезные консультации в ходе постановки и проведения экспериментов.

Поступило в Редакцию 18/VI 1969 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. М. Демидов, Л. И. Говор, В. А. Иванов. Программа и тезисы докладов XIX ежегодного совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Часть I. Ереван, «Наука», 1969.
2. Сб. «Проблемы ядерной геофизики», М., «Недра», 1964.
3. Сб. «Портативные генераторы нейтронов в ядерной геофизике». М., Госатомиздат, 1962.