

3. Y. Miyake. Proceedings of the International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy. United Nations. V. 13, N. Y., 1956, p. 384.
4. Y. Miyake. Ninth Pacific Science Congress of the Pacific Science Association, abstracts of papers. Published by the Organizing Committee. Bangkok, Thailand (1957).
5. Y. Miyake, Y. Sugiura. Papers Meteorol. and Geophys., 6, 33 (1955).
6. Y. Miyake, Y. Sugiura, K. Kameda. Papers Meteorol. and Geophys., 6, 90 (1955).
7. Y. Miyake, K. Saruhashi. J. Marine Res., 17, 383 (1958).
8. H. Miyoshi, S. Hori, S. Yoshida. Rec. Oceanogr. Works Japan, 2, 30 (1955).
9. N. Yamagata. Nature, 184, 1813 (1959).
10. Л. С. Каминский. Обработка клинических и лабораторных данных. М., Медгиз, 1959, стр. 118.
11. Н. Н. Алфимов, П. Н. Ягвой, Ю. П. Алексеев. «Мед. радиология», № 2, 79 (1962).

УДК 539.122.083:631.42

Массовые коэффициенты поглощения γ -излучения в грунтах и погрешности при измерении γ -методом

Ф. С. Завельский

В настоящее время для определения физических свойств грунтов довольно широко применяются γ -методы, например для определения плотности грунтов и наблюдения динамики их влажности [1—5]. Так как в грунтах обычно встречаются легкие элементы с порядковым номером 2—30, для которых величина отношения атомного номера Z к атомному весу A почти постоянна:

$$\left(\frac{Z}{A}\right)_{2-30} \approx 0,49 \div 0,50,$$

то и принято, считать что значение массового коэффициента поглощения излучения в грунте μ для данной энергии в различных грунтах должно быть приблизительно одинаковым [2,5]. Кроме того, можно полагать, что вследствие усреднения, связанного с многокомпонентностью состава скелета грунтов, эти различия еще более сглаживаются.

Однако при малых энергиях испускаемых фотонов, когда в основном имеет место фотоэлектрическое взаимодействие γ -квантов с веществом, наблюдается резкая зависимость величины μ от состава грунта. В области средних энергий в основном имеет место комптоновское взаимодействие. Однако и в этом случае наблюдается зависимость μ от состава грунта, причем для различных грунтов значения μ могут отличаться на величину, которой в ряде случаев уже нельзя пренебрегать [6, 7, 10].

Таким образом, для обоснования использования γ -методов при определении физических свойств различных грунтов, повышения точности измерений и уточнения области применения этих методов целесообразно использовать зависимость величины μ от химического состава скелета грунта. С этой целью были выполнены расчеты μ при разных энергиях первичных фотонов для грунтов, взятых из различных географических районов земного шара.

При расчетах использовались литературные данные по химическому составу грунтов, в том числе для глин [8] и песков [9].

Полученные значения для 73 различных грунтов были разбиты на группы по типам грунтов (глинистые, песчаные) и подгруппы по относительному содержанию тяжелых примесей (рис. 1). При построении графиков количество грунтов в каждой подгруппе принималось

за 100%. Зависимость величины μ от относительного содержания в грунте примеси окиси и закиси железа при различной энергии первичных фотонов представлена на рис. 2.

Из анализа вычисленных значений μ можно сделать следующие выводы о погрешности измерений и области применения различных методов, основанных на использовании γ -излучения.

1. При средней энергии испускаемых γ -квантов ($E \approx 0,5 \div 1,25 \text{ МэВ}$) значения μ для глинистых грунтов с содержанием окиси и закиси железа до 5% в 95 случаях из 100 различаются между собой не более чем на 0,2%. Такое же различие наблюдается и для песчаных грунтов. Величины μ для глинистых и песчаных грунтов различаются между собой не более чем на 0,5—0,7%. Различие μ грунтов и воды составляет около 10—11%.

Таким образом, если при определении плотности грунта калибровка делается на грунте одного типа, а ее результаты распространяются на грунты другого типа, то только по этой причине ошибка определения плотности может достигнуть 0,5—0,7%. Как показано в работе [4], для условий геометрии узкого пучка лучей объемный вес скелета грунта q_c выражается в виде

$$q_c = \frac{\ln \frac{I_0}{I_1}}{\mu_c l} - \frac{\mu_v}{\mu_c} q_v,$$

где I_0 и I_1 — интенсивность γ -излучения в точке наблюдения при отсутствии и наличии поглотителя соответственно; μ_c и μ_v — массовый коэффициент поглощения в скелете грунта и воде; q_c — объемный вес скелета грунта; q_v — объемная влажность грунта; l — толщина просвечиваемого слоя грунта.

Отношение μ_v/μ_c для излучения от источника Co^{60} и большинства грунтов равно 1,11, причем величина отношения как для узкого, так и для широкого пучка лучей приблизительно одинакова. При объемной влажности грунта, равной 30%, фактивное завышение плотности составляет 0,033 г/см³, что при плотности грунта 1,7 г/см³ дает ошибку, равную 2% от измеряемой величины. Таким образом, если при определении плотности γ -методом калибровка производится на сухом грунте, а измерения проводятся на влажном, то только

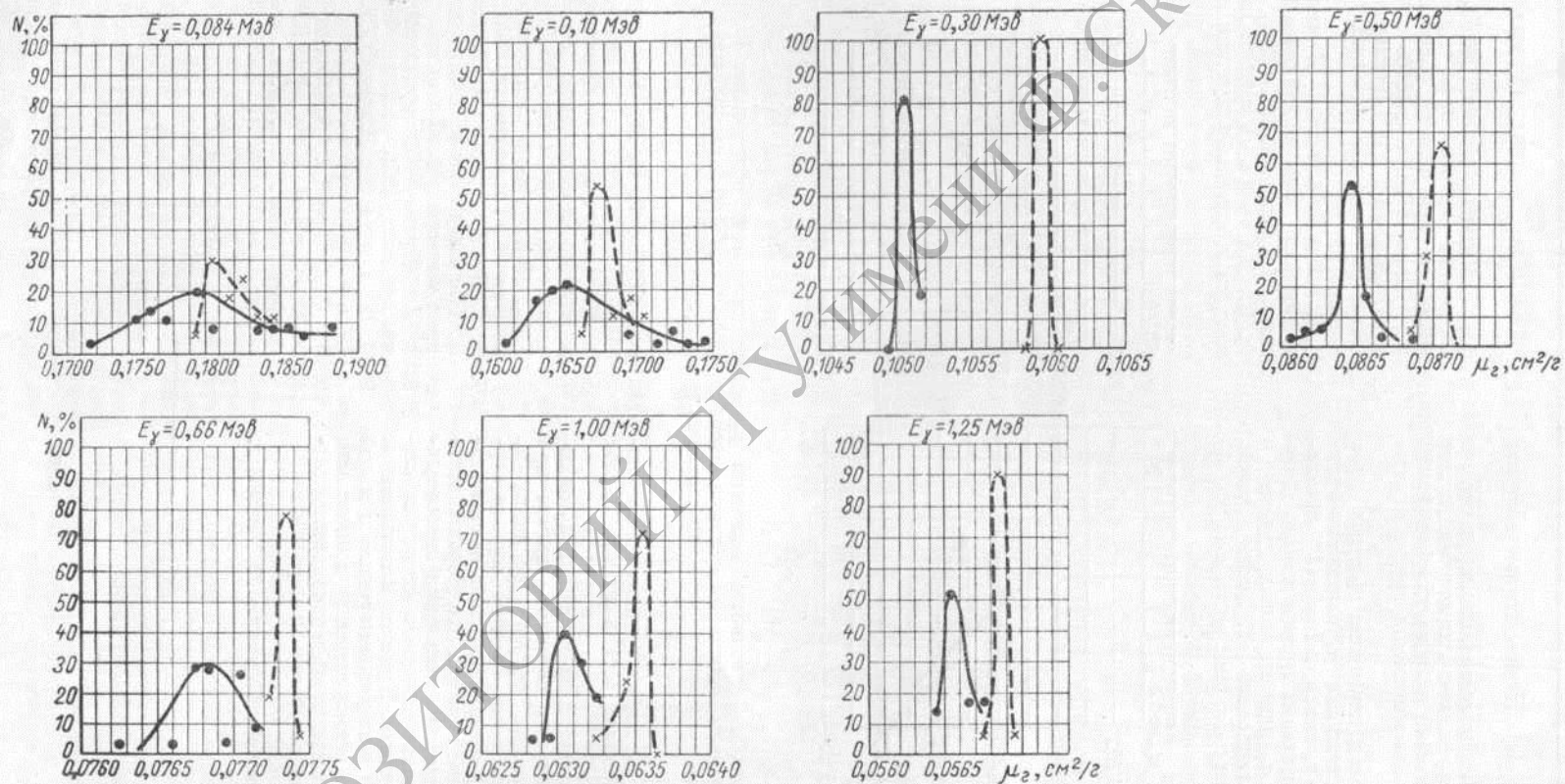


Рис. 1. Распределение массовых коэффициентов поглощения μ_γ γ -излучения в грунте при различных энергиях излучения: — — — для песчаных грунтов; — — — для глинистых грунтов (N — число случаев, %).

по этой причине ошибка определения плотности грунта может достигать 2%.

Если при наблюдениях динамики влажности грунта объемный вес скелета грунта и его химический состав не изменяются, то по степени ослабления γ -излучения средней энергии изменение влажности грунта определяется однозначно.

2. При малой энергии первичных фотонов ($E = 0,084 \div 0,100$ Мэв) значения μ_r глинистых грунтов с содержанием окиси и закиси железа до 5% примерно такие же, как для песчаных грунтов и воды. Однако разброс значений μ_r для отдельных грунтов в 95 случаях из 100 составляет около 2%. Таким образом, если калибровка делается на одном грунте, а ее резуль-

ЛИТЕРАТУРА

1. М. П. Воларович, Н. В. Чураев. Исследование свойств торфа и протекающих в нем процессов при помощи радиоактивных изотопов. М., Изд-во АН СССР, 1960.
2. А. И. Данилин. Применение ядерных излучений в гидрометеорологии. Л., Гидрометеоиздат, 1957.
3. В. А. Емельянов. Гамма-лучи и нейтроны в полевых почвенно-мелиоративных исследованиях. М., Госатомиздат, 1962.
4. Ф. С. Завельский. В кн. «Радиоактивные изотопы и ядерные излучения в народном хозяй-

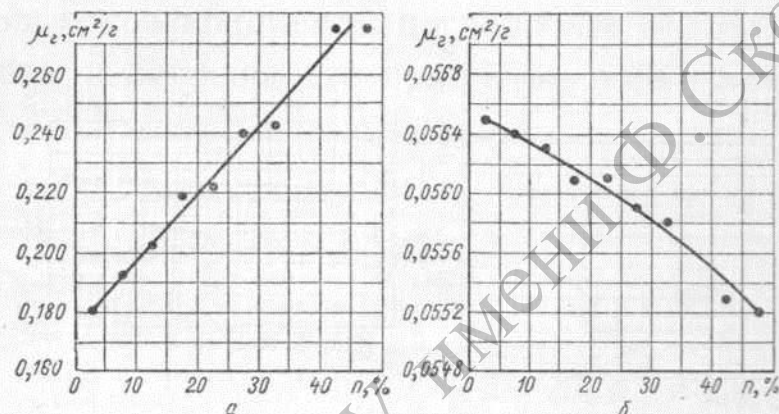


Рис. 2. Зависимость величины μ_r от относительного содержания n окиси и закиси железа при энергии 0,084 и 1,25 Мэв (на рисунке соответственно а и б).

таты распространяются на любые грунты, то погрешность определения объемного веса влажного грунта может достигать 2%.

3. Имеется резкая зависимость величины μ_r от содержания в породе тяжелых металлов, причем при малых энергиях первичных фотонов величина μ_r прямо пропорциональна, а при средней энергии первичных фотонов обратно пропорциональна относительному содержанию тяжелой примеси. Это обстоятельство является физической основой определения относительного содержания тяжелых металлов в породе по степени ослабления γ -излучения. При этом использование метода двух источников γ -излучения средней и малой энергий [11] открывает дополнительные возможности для повышения точности измерений и устранения влияния размеров образцов на результаты измерений.

Поступило в Редакцию 19/III 1963 г.

стве СССР». Т. II. М., Гостоптехиздат, 1961, стр. 145.

5. И. И. Черкасов. Тезисы докладов на совещании по исследованию строительных свойств грунта. М., МИСИ им. В. В. Куйбышева, 1958.
6. В. И. Баранов и др. Справочник по радиометрии. М., Госгеолгиздат, 1957.
7. О. И. Лейпунский, Б. В. Новожилов, В. Н. Сахаров. Распределение гамма-квантов в веществе. М., Физматгиз, 1960.
8. Р. Е. Грим. Минералогия глин. М., Изд-во иностр. лит., 1956.
9. П. И. Фадеев. Пески СССР. М., Изд-во МГУ, 1959.
10. D. Charrell. Nucleonics, 14, No. 1 (1956).
11. Ф. С. Завельский, Н. А. Огильви. «Информ. бюл. Всес. н.-и. ин-та гидрогеологии и инженерной геологии», № 2 (8), 63 (1958).