

силикатов урана типа урсилита, кальцита, глинистого минерала типа аллофана, почти нелюминесцирующего кальций-магниевого карбоната урана типа раббитита.

Состав и строение этих корочек. Переслаивание урановых и неурановых минералов (кальцит, урсилит, аллофан, раббитит), образование «разбавленных» урановых минералов (не уранофан, но урсилит, не шварцит, но раббитит) указывает на щелочной или слабощелочной характер растворов и относительно небольшие количества выносимого урана, т. е. на условия, наиболее характерные для формирования зон окисления почти бессульфидных урановых месторождений.

Однако в ряде выходов прослеживаются совершенно иные минеральные ассоциации. Тонкие гидроокисно-силикатные прожилки связаны со скоплениями или корочками рыхлых гидроокислов железа, в десятки раз превышающими по мощности гидроокисно-силикатные прожилки. Иногда гидроокислы железа располагаются по урановым минералам, обволакивая их тонкой лимонитовой рубашкой, напоминающей железную шляпу.

Как можно видеть из краткой характеристики первичного состава руд, на месторождении особенно широко развиты анкеритовые жилы второй стадии минерализации, причем содержание железа в анкерите достигает 7%. Известно, что железосодержащие карбонаты очень интенсивно преобразуются в зоне окисления. В работе [3] показано, что карбонатные минералы, заключающие железо, при наличии свободного кислорода совершенно неустойчивы. Продуктом их окисления в обычных водно-воздушных условиях является лимонит. Сидеритовые, анкеритовые и другие руды в зоне окисления образуют настоящие железные шляпы, с трудом отличимые иногда от шляп, происшедших из сульфидного материала.

Сопоставление поверхностных выходов описываемого месторождения с глубинными выработками пока-

зывает, что аномальные минеральные ассоциации зоны окисления возникают в тех интервалах, где смолково-кальцитовые прожилки рассекают анкеритовые жилы второй стадии. Если пересечение осуществляется под углом, близким к прямому, то аномальные интервалы очень непротяжены. Если же пересечение происходит под небольшим углом, то участки с аномальными минеральными ассоциациями с небольшими перерывами могут прослеживаться на протяжении нескольких метров.

Правильное определение типа зоны окисления в подобных случаях может оказать существенную помощь для выбора наиболее рационального способа разведки месторождения. В урано-сульфидных месторождениях с лимонитовым типом зоны окисления промышленные руды, как правило, сосредоточены ниже уровня грунтовых вод. В бессульфидных урановых месторождениях, даже с аномальными лимонитовыми выходами, промышленные рудные тела могут сохраняться и выше этого уровня.

Поступило в Редакцию 2/VI 1975 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власов Б. П., Левин В. Н. В сб.: Геология и вопросы генезиса эндогенных урановых месторождений. М., «Наука», 1968, с. 235.
2. Грицаенко Г. С. и др. В кн.: Вторая международная конференция по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1958). Т. 3. М., Атомиздат, 1959, с. 69.
3. Смирнов С. С. Зона окисления сульфидных месторождений. М., Изд-во АН СССР, 1951, с. 72.

УДК 550.835

Эффективные коэффициенты ослабления гамма-излучения радиоактивных руд

Новиков Г. Ф., Синицын А. Я., Козында Ю. О.

Эффективный массовый коэффициент ослабления γ -излучения μ/ρ (ρ — плотность руды или породы) является основным параметром при расчете γ -полей, регистрируемых радиометрической аппаратурой [1]. Значения μ/ρ достаточно широко изучены только для интегрального γ -спектра урановой и ториевой руд [2]. Развитие спектрометрических исследований природных сред потребовало установить величины μ/ρ для участков дифференциального γ -спектра, используемых при радиометрических измерениях концентраций U (Ra), Th и K в породах и рудах.

Нами экспериментально определены значения μ/ρ (см. таблицу) для стандартных энергетических окон сцинтилляционного гамма-спектрометра [3] путем сравнения наблюдаемых в 2π -геометрии кривых насыщения скоростей счета импульсов N/N_∞ и кривых, рассчитанных по известной формуле [1]

$$\frac{N}{N_\infty} = 1 - E_2(x),$$

где $E_2(x) = e^{-x} + xE_1(x) = e^{-x} - x \int_x^\infty e^{-t} t^{-1} dt$ — та-

булированная экспоненциально-интегральная функция (функция Кинга) от аргумента $x = \frac{\mu}{\rho} (H\rho)$; N_∞ — скорость счета над бесконечным полупространством; H — толщина излучающего горизонтального слоя, насыщенного по простиранию.

Измерения выполнены на моделях урановой, ториевой и калиевой руд размерами $100 \times 200 \times 200$ г/см² со сцинтиллятором CsI(Na) удлиненной формы [4] диаметром 30 и длиной 70 мм в экране из железа толщиной 2,5 мм. Относительная погрешность измерения скоростей счета не превышала 1%.

Экспериментальные кривые насыщения приведены на рис. 1 для энергетических интервалов 1,05—1,35 и 2,05—2,65 МэВ. Ближе к ним располагаются кривые для других интервалов, указанных в таблице. Для

Эффективные массовые коэффициенты ослабления γ -излучения в горных породах и радиоактивных рудах ($Z = 13 \div 15$) для разных излучателей

Энергетический интервал γ -спектра, МэВ	μ/ρ , см ² /г		
	U (Ra)	Th	K
1,05—1,35	0,034	0,032	—
1,00—1,60	0,034	0,032	—
1,35—1,55	0,034	0,032	0,050
1,65—1,85	0,036	0,033	—
2,05—2,65	0,035	0,036	—
2,40—2,80	—	0,037	—

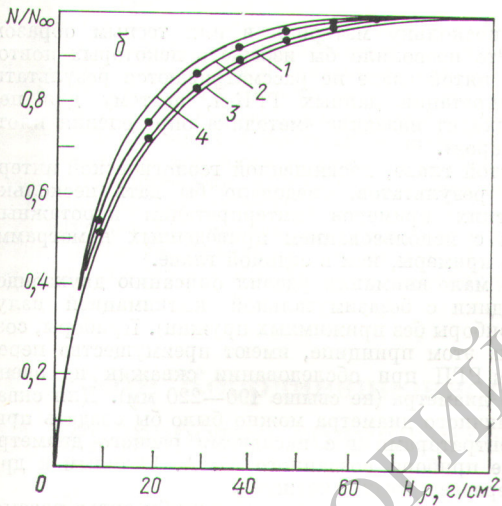
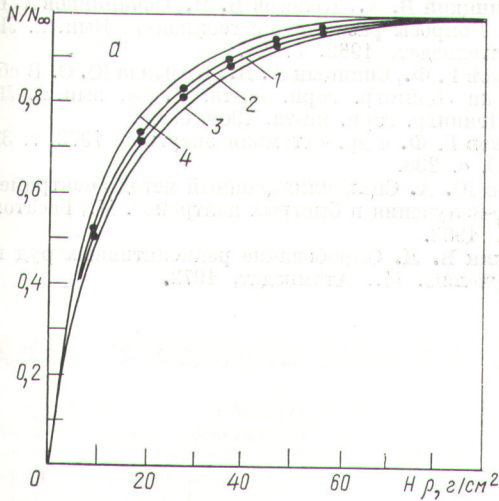


Рис. 1. Графики насыщения γ -излучения для урановой (а) и ториевой (б) руд:

1 и 2 — эксперимент при $K = 1,05-1,35$ и $2,05-2,65$ МэВ; 3 и 4 — расчет при $\mu/\rho = 0,030$ и $0,040$ см²/г соответственно

излучения U(Ra) и Th насыщение практически наступает при толщине слоя 75—80 г/см².

Обращает на себя внимание более крутая форма кривой насыщения и более высокое значение μ/ρ в энергетическом интервале 2,05—2,65 МэВ по сравнению с интервалом 1,05—1,35 МэВ. Причина в том, что эффективный коэффициент отражает ослабление прямого и рассеянного излучений в излучающей среде и в скитилляторе [5]. В области γ -линий с максимальными энергиями эффективные коэффициенты μ/ρ близки к полным коэффициентам μ_0/ρ ослабления первичного излучения. Для средних областей спектра значения μ/ρ снижаются за счет влияния рассеянного излучения, связанного с γ -квантами более высоких энергий.

Зависимость эффективных коэффициентов μ/ρ от эффективного атомного номера $Z_{эф}$ среды для точечных источников Ra и Th изучена в геометрии широкого

пучка. В качестве барьерных фильтров использованы пластины Al, Fe, Cu, Cd и Pb толщиной от 10 до 40 г/см². Измерения скоростей счета импульсов выполнены в участках γ -спектра 1,00—1,60 и 2,05—2,65 МэВ с относительной статистической погрешностью не более 1%. Эффективные коэффициенты μ/ρ вычислены из экспоненциального закона ослабления излучения. Значения μ/ρ (рис. 2) остаются практически постоянными для диапазона Z от 13 до 50. В области Z от 51 до 82 коэффициент μ/ρ возрастает на 10 и 25% для излучения Ra и Th соответственно. Как и в излучающем слое, коэффициент μ/ρ для энергетического участка 2,05—2,65 МэВ оказывается примерно на 10% выше, чем для интервала 1,00—1,60 МэВ.

Сопоставление экспериментальных величин μ/ρ излучающих (см. таблицу) и поглощающих (см. рис. 2) сред показывает удовлетворительную сходимость результатов для γ -спектра для Th и несколько худшую для Ra, особенно для энергетического интервала 2,05—2,65 МэВ, где скорости счета импульсов малы и соизмеримы с фоном.

Концентрация U и Th в радиоактивных рудах редко превышает 1,0—1,5%. Расчеты показывают, что увеличение концентрации U или Th до 1,5% в рудной основе с $Z_{эф}$ от 13 до 27 для исследованных энергетических интервалов γ -спектра приводит к возрастанию μ/ρ только на 3%. Поэтому с точностью, достаточной для спектрометрических определений U(Ra), Th и K, можно считать, что значения μ/ρ остаются постоянными во всем реальном диапазоне изменения $Z_{эф}$ пород и радиоактивных руд. Для приближенных расчетов γ -полей при энергиях 1—3 МэВ можно использовать среднее значение μ/ρ , которое оказывается близким к μ/ρ

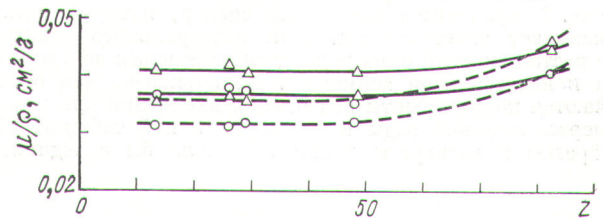


Рис. 2. Графики зависимости μ/ρ от Z поглощающей среды, полученные экспериментально в геометрии широкого пучка для γ -излучения Ra (—) и Th (---) в интервалах γ -спектра 1,00—1,60 (○) и 2,05—2,65 МэВ (△)

интегрального γ -спектра U(Ra) и Th при регистрации излучения газонаполненными счетчиками или сцинтилляционными детекторами с энергетическим порогом около 0,2 МэВ [2,6].

Поступило в Редакцию 24/III 1975 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горшков Г. В. Гамма-излучение радиоактивных тел и элементы расчета защиты от излучения. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1959.

2. Золотницкий В. А., Колесов Б. М., Овчинников А. К. В сб.: Вопросы разведочной геофизики. Вып. 2. Л., Гостехиздат, 1962, с. 24.
3. Новиков Г. Ф., Силицын А. Я., Козында Ю. О. В сб.: Записки Ленингр. горн. ин-та. Т. 56, вып. 2. Л., изд. Ленингр. горн. ин-та, 1969, с. 98.
4. Новиков Г. Ф. и др. «Атомная энергия», 1972, т. 32, вып. 3, с. 238.
5. Егоров Ю. А. Сцинтилляционный метод спектрометрии, γ -излучения и быстрых нейтронов. М., Госатомиздат, 1963.
6. Шапкин В. Л. Опробование радиоактивных руд по γ -излучению. М., Атомиздат, 1972.

Рецензии

Гулин Ю. А. Гамма-гамма-метод исследования нефтяных скважин. М., «Недра», 1975, 160 с., 1 р. 02 к.

Плотностной гамма-гамма-каротаж (ГГК-п) наряду с нейтронными методами ННК и НГК широко применяется в нефтепромысловой геофизике. Рецензируемая книга — первая книга по нефтепромысловой геофизике.

Она состоит из предисловия, девяти глав, заключения и списка литературы.

В рецензируемой книге описаны различные методики эталонирования приборов, определения мощностей пластов и их плотности. В ней приводятся много конкретных расчетных и экспериментальных результатов, описывающих зависимость регистрируемых скоростей счета от различных параметров приборов и скважинных условий измерений.

По книге можно сделать ряд замечаний. Автор использует труднопроизносимое слово «плотностномер» вместо плотномер для определения плотности пород. Для модификации ГГК-м, введенной Ю. А. Гулиным, в ядерно-геофизической литературе укоренилось обозначение ГГК-с вне зависимости от энергии применяемого источника. Методика, основанная на регистрации излучения, проникающего через изучаемую среду, получила название абсорбционной или основанной на поглощении и обозначается ГМ-п (гамма-метод, основанный на первичном излучении). Этот метод не является разновидностью ГГМ для рассматриваемых автором условий измерений.

В книге есть и редакционные погрешности. Так, на рис. 5 приводится пороговый спектр, который автор называет интегральным. Для интегрального спектра с ростом энергии кривые должны стремиться не к нулю, а к интегральной асимптоте. Не объяснено чем отличаются коэффициенты ослабления излучения для неминерализованной воды в столбцах 3 и 5 таблицы 23. Третью и четвертую главы следовало бы объединить

в одну, поскольку материал в них тесным образом связан. Это позволило бы избежать некоторых повторений. В пятой главе не рассматриваются результаты по интерпретации данных ГГК-п, поэтому для нее более подходит название «методика определения плотностей пород».

В шестой главе, посвященной геологической интерпретации результатов, следовало бы дать несколько практических примеров интерпретации каротажных диаграмм с использованием приведенных номограмм, т. е. дать примеры, как в седьмой главе.

Автор мало внимания уделил описанию двухзондовой методики с безимпульсной коллимацией излучения (приборы без прижимных пружин). Приборы, созданные на этом принципе, имеют преимущество перед прибором РГП при обследовании скважин не очень большого диаметра (не выше 190—220 мм). Для скважин различного диаметра можно было бы создать прибор с центраторами и с насадками разного диаметра наподобие прибора, созданного Ю. А. Гулиным и др., для углеразведочных скважин).

Книга значительно выиграла, если бы автор рассмотрел (например, по зарубежным результатам) возможности использования счетно-решающих систем, осуществляющих автоматическую обработку данных и обеспечивающих запись на каротажных диаграммах непосредственно изучаемого параметра (плотности или пористости). Приведенные замечания не являются принципиальными.

В целом книга оставляет хорошее впечатление, в ней приведен разнообразный и интересный материал, полученный с участием автора на основе математического моделирования и экспериментов. Книга будет полезной для практиков и исследователей соответствующих специальностей.

ФИЛИПОВ Е. М