

Влияние неровностей почвы на γ -поле над местностью, загрязненной радиоактивными выпадениями

Ю. А. Израэль

Описаны результаты модельных экспериментов по определению влияния неровностей почвы на γ -поле над местностью, загрязненной радиоактивными выпадениями. На основании выполненных экспериментов и расчетов получены значения коэффициентов, учитывающих влияние микрорельефа на местность с различной поверхностью (целинный травянистый участок, сухая степь, пашня).

Неровности земной поверхности (микрорельеф) с небольшими вертикальными размерами (5—20 см) оказывают существенное экранирующее влияние на γ -излучение радиоактивных выпадений на малых высотах над почвой.

Известно [1, 2], что в результате радиоактивных выпадений продуктов ядерных взрывов происходит поверхностное радиоактивное загрязнение местности. Изучение γ -поля над земной поверхностью, загрязненной радиоактивными изотопами, необходимо как для определения радиационной опасности [2], так и для оценки поверхностной концентрации загрязнения [2, 3].

Вопрос о влиянии неровностей земной поверхности на γ -поле радиоактивных выпадений затрагивался в работах [4, 5], специально этому вопросу посвящены работы [6, 7].

При расчете мощности дозы в открытом поле в работе [3] рекомендуется (без каких-либо обоснований) умножать величину мощности дозы для идеальной поверхности на 0,7. В работе [4] неровности почвы моделируются концентрическими выступами, поперечные сечения которых представляют собой треугольники с высотой, равной их основанию. В результате расчета показано, что для высоты 1 м от поверхности земли величины поправочных коэффициентов, учитывающих экранирование такими выступами (при размере их оснований 0—10 см), значительно изменяются — от 1 до 4,34. Так как в работе не указано, какому виду микрорельефа соответствует то или иное значение поправочного коэффициента, эти коэффициенты нельзя использовать на практике.

В работе [6] нами описан способ количественного учета влияния микрорельефа на мощность дозы над поверхностным источником γ -излуче-

ния. Для этого определялась функция $\psi(\beta)$, учитывающая влияние микрорельефа на γ -излучение (прямое и рассеянное) элементарной площадки dS , где β — угол между поверхностью земли и направлением от dS к точке измерения. Для малых высот ψ практически является функцией только β и не зависит от высоты точки наблюдения h и расстояния до излучающей площадки. В работе [6] на основании подробного изучения микрорельефа, расчетов и модельных экспериментов определены значения функции $\psi(\beta)$ для различных видов микрорельефа (ровной травянистой площадки, сухой степи, пашни и т. п.). Поправочные коэффициенты $\eta(h)$ для высоты h найдены путем интегрирования мощности дозы от отдельных площадок dS по всей плоскости с учетом функции $\psi(\beta)$ и последующего сравнения полученного результата с мощностью дозы от идеальной плоскости. Эти коэффициенты учитывают влияние микрорельефа на мощность дозы от поверхностного загрязнения местности в целом.

В работе [7], описывающей аналогичный метод, введена поправочная функция $F_T(\cos \theta)$ (где $\theta = \frac{\pi}{2} - \beta$), учитывающая влияние микрорельефа. Однако в этой работе не дано каких-либо характеристик микрорельефа и численных значений величины $F_T(\cos \theta)$. Для упрощения интегрирования мощности дозы от элементарных площадок (с учетом влияния микрорельефа) по всей плоскости в работе [7] предложено использовать угловое распределение мощности дозы $l(h, \cos \theta)$ над плоским изотропным источником, приведенное для различных высот в работе [8]. Возможность применения для расчетов функции $l(h, \cos \theta)$, в которую входит рассеянное (по всем направлениям) излучение, в сочетании с $F_T(\cos \theta)$ в работе [7] объясняется тем, что на малой высоте h вклад рассеянного излучения в мощность дозы невелик. Так, для h , равной 1 м, этот вклад не превышает 20%.

Если при расчете влияния микрорельефа использовать функцию $\psi(\beta)$ из работы [6], то величина $\eta(h)$, которая является поправоч-

ным коэффициентом, учитывающим влияние неровностей земли на мощность дозы γ -излучения от поверхности в целом, выразится формулой

$$\eta(h) = \frac{\int_{-1}^{+1} l(h, \cos \theta) \psi'(\cos \theta) d(\cos \theta)}{\int_{-1}^{+1} l(h, \cos \theta) d(\cos \theta)}, \quad (1)$$

где функция $\psi'(\cos \theta)$ получена из $\psi(\beta)$. Аналогичный поправочный коэффициент $\xi(h)$ для интенсивности нерассеянного излучения определяется по формуле

$$\xi(h) = \frac{\int_{-1}^{+1} q(h, \cos \theta) \delta'(\cos \theta) d(\cos \theta)}{\int_{-1}^{+1} q(h, \cos \theta) d(\cos \theta)}, \quad (2)$$

где $\delta'(\cos \theta)$ получена из функции $\delta(\beta)$, взятой из работы [6], а

$$q(h, \cos \theta) = \frac{1}{2} \sec \theta e^{-\mu h \sec \theta}. \quad (3)$$

На рис. 1 показана зависимость $\eta(h)$, рассчитанная по формуле (1) при $0,1 \leq h \leq 10$ м

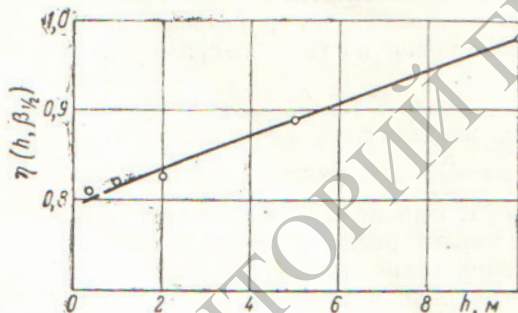


Рис. 1. Зависимость поправочного коэффициента η от высоты измерений для ровной целинной травянистой площадки ($\beta_{1/2} = 1^\circ$).

для целинной ровной площадки. На рис. 2 приведена зависимость коэффициента η от вида микрорельефа (на высоте 1 м), характерного значения угла «половинного затенения» $\beta_{1/2}$, т. е. угла, при наблюдении под которым выступами микрорельефа экранируется половина поверхности данного участка. Величина $\beta_{1/2}$ для любого участка может быть определена методом, описанным в работе [6]. Значения $\beta_{1/2}$ для наиболее распространенных видов микрорельефа приведены в таблице. Величины η

Значения $\beta_{1/2}$ и Δh для наиболее распространенных форм микрорельефа

Вид микрорельефа	$\beta_{1/2}$, градусы	Δh , м
Очень ровный целинный травянистый участок (луг, поляна)	1	3,5
Очень ровный участок сухой степи	~2	5,5
Сухая степь	3	8,8
Пашня	5	12,0

рассчитывались для γ -квантов с энергией $E_\gamma = 1,25$ Мэв и для значений $\beta_{1/2}$, отмеченных на рис. 2 точками. Отличие величин $\eta(h)$ при $E_\gamma = 0,7$ Мэв от приведенных на рисунках не существенно; так, при $h = 1$ м и целинной ровной площадке оно не превышает 5%.

Для экспериментального определения величины η мы провели модельные опыты, предварительные результаты которых были изложены в работе [6]; в этой же работе подробно описаны условия эксперимента.

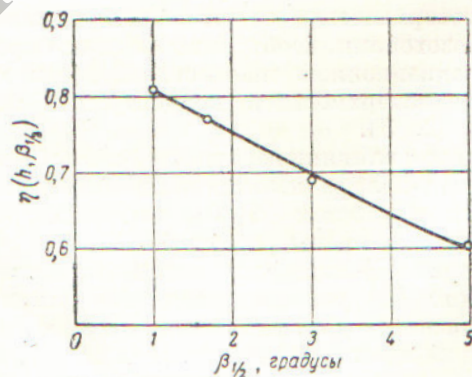


Рис. 2. Зависимость поправочного коэффициента η от вида микрорельефа при $h = 1$ м.

Для моделирования поверхностного загрязнения местности использовалось 49 точечных источников Co^{60} ($E_\gamma = 1,25$ Мэв), которые располагались на поверхности ровного целинного травянистого участка последовательно по дуге на различных расстояниях от точки измерения. Мощность дозы измерялась рентгенометром, датчик которого состоял из органического кристалла стильбена толщиной 15 мм в сочетании с фотоумножителем. В связи с тем, что эффективные атомные номера стильбена и антрацена практически совпадают, можно считать, что

такой рентгенометр имеет малый ход с жесткостью [9]. Чувствительность детектора практически не зависела от направления излучения.

Измерения проводились на высоте 0,3—10 м и расстояниях R (по поверхности земли) до 100 м.

Чтобы избежать влияния микрорельефа, во второй серии измерений источники γ -излучения поднимались на деревянных подставках на высоту 10—15 см. Полученные результаты принимались за характерные для идеально ровной поверхности. При этом не учитывалось слабое влияние микрорельефа на мощность дозы, которое он мог оказать на рассеянное γ -излучение. Относительная средняя квадратичная ошибка определения мощности дозы составляла при $R < 50$ м не более 10—15%, при $50 \leq R \leq 100$ м — до 25—35%.

На рис. 3 показаны результаты обеих серий измерений на разных высотах h в виде зависимостей $\frac{RP_0(R)}{P_0(R=0)}$ от R . Первая серия измерений (с учетом микрорельефа) показана пунктиром, вторая — сплошной кривой. Из рисунка видно, что при одинаковых значениях R расхождение значений при наличии микрорельефа и в его отсутствие увеличивается с уменьшением высоты h . При $h=10$ м влияние микрорельефа практически уже не сказывается на величине $P_0(R)$. Поэтому результаты измерений на высоте 10 м на рисунке не приведены.

На рис. 1 точками показаны значения $\eta_0(h)$, вычисленные по формуле

$$\eta_0(h) = \frac{\int_0^{100\text{ м}} RP_0^{\text{мкр}}(h, R) dR}{\int_0^{100\text{ м}} RP_0(h, R) dR}, \quad (4)$$

где $P_0^{\text{мкр}}(h, R)$ и $P_0(h, R)$ — мощность дозы, определенная из эксперимента в точках (h, R) при наличии микрорельефа и в его отсутствие соответственно. При использовании формулы (4) применялись значения $\frac{RP_0(h, R)}{P_0(R=0)}$, приведенные на рис. 3.

Из рис. 1 видно хорошее согласие расчетных данных и результатов, полученных из модельных опытов.

Для приближенных расчетов мощности дозы над поверхностным источником с учетом неровностей почвы можно использовать формулы для мощности дозы над идеально ровной загрязненной поверхностью, но при этом к высоте измерений добавлять некоторую эффективную

добавку Δh :

$$P^{\text{мкр}}(h) = P(h + \Delta h). \quad (5)$$

В таблице приведены значения Δh для наиболее распространенных форм микрорельефа.

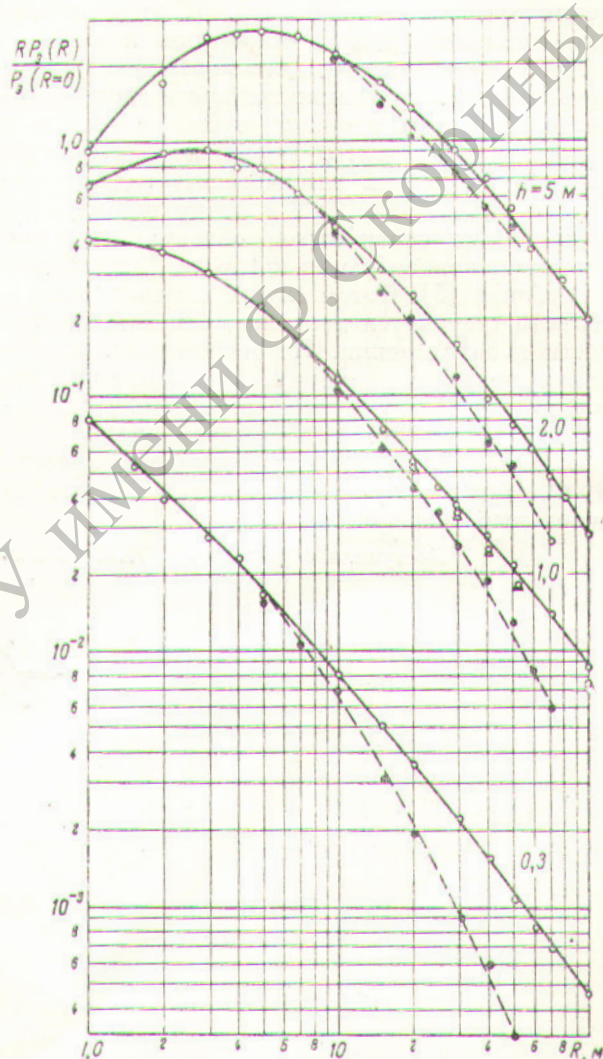


Рис. 3. Зависимость величины $\frac{RP_0(R)}{P_0(R=0)}$ от расстояния R :

○ — измерения в отсутствие микрорельефа; ● — измерения при наличии микрорельефа; △ — данные из работы [10] в отсутствие микрорельефа.

Следует отметить, что в работе [7] приводятся значения $\eta(h=1 \text{ м})$ от 0,8 до 0,5, а Δh — до 12 м, в работе [11] Δh оценивается в 0,3 см грунта, что эквивалентно 3,5 м воздуха.

Для приближенных расчетов мощности дозы можно пользоваться также формулой для плоского направленного источника, т. е. при наличии микрорельефа концентрацию загрязнения местности $\sigma^{МКР}$ можно принять равной $\sigma \cos^n \beta$, где σ — поверхностная концентрация загрязнения идеальной плоскости. В этом случае для целинной ровной площадки $n \approx 0,2$.

Необходимо отметить, что поверхностное радиоактивное загрязнение местности после выпадения продуктов ядерных взрывов существует относительно недолго. Постепенно (в течение нескольких недель или месяцев) радиоактивные изотопы проникают в почву на глубину в несколько сантиметров, образуя объемный источник, концентрация которого уменьшается с глубиной [5]. В этом случае влияние микрорельефа становится меньшим, чем для поверхностного загрязнения. При равномерном загрязнении почвы на глубину, превышающую несколько пробегов γ -квантов, влияние микрорельефа практически отсутствует [6].

В заключение автор выражает благодарность А. Ф. Некозыреву за помощь при проведении модельных экспериментов.

Поступила в Редакцию 27/XII 1963 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. О. И. Лейпунский. Гамма-излучение атомного взрыва. М., Атомиздат, 1959.
2. Ю. А. Израэль. «Изв. АН СССР. Сер. геофиз.», № 7 (1964).
3. Р. М. Коган. Сборник работ по некоторым вопросам дозиметрии и радиометрии ионизирующих излучений. Под ред. Ю. В. Сивинцева. М., Госатомиздат, 1960, стр. 36.
4. W. Kellogg, R. Rapp, S. Greenfield. J. Meteorol., 14, 1 (1957).
5. Радиоактивные загрязнения внешней среды. Под ред. В. П. Шведова, С. И. Широкова. М., Госатомиздат, 1962.
6. Ю. А. Израэль. «Изв. АН СССР. Сер. геофиз.», № 5, 818 (1963).
7. C. Eisenhower. Health Phys., 9, 503 (1963).
8. L. Spencer. Structure Shielding against Fallout Radiation from Nuclear Weapons. Nat. Bur. Standards Monogr. 42, U. S. Gov. Print. Off, 1962.
9. Радиационная дозиметрия. Под ред. Дж. Хайна, Г. Браунелла. М., Изд-во иностр. лит., 1958.
10. О. И. Лейпунский, В. Н. Сахаров. «Атомная энергия», 6, 585 (1959).
11. K. Mather, R. Johnson, E. Tompoc. Health Phys., 8, 245 (1962).



РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ