

Оценка ослабления γ -излучения от радиоактивных осадков снежным покровом

В. В. ПАВЛОВ, И. Е. КОНСТАНТИНОВ, Г. А. ФЕДОРОВ

УДК 551.577.7

Известно, что снежный покров может вызвать значительные изменения мощности воздушной дозы, создаваемой радиоактивными загрязнениями почвы [1—3]. В данной работе рассчитано ослабление γ -излучения снежным покровом на основе средних многолетних данных гидрометеослужбы СССР об осадках и таянии снега в Московской и Мурманской областях. Для удобства расчета сделано предположение, что источники γ -квантов распределены в грунте по экспоненциальному закону, а в снегу равномерно, мощности дозы от этих источников определялись отдельно.

Мощность дозы γ -излучения на поверхности снега от источников, находящихся в грунте, с учетом ослабления в грунте и в снегу и многократного рассеяния в грунте, в снегу и в воздухе выразится формулой [4]:

$$D_1 = 0,72\gamma E_0 \sigma \sum_{n=1}^2 \{A_n [(-E_i(-\mu_B h_B(1+a_n))) -$$

$$-e^{kh_{\text{эфф}}}(-E_i(-\mu_B(1+a_n)h_B - kh_{\text{эфф}}))]\} \text{ рад/год}, \quad (1)$$

где γ — коэффициент поглощения энергии γ -квантов, см^{-1} ; E_0 — энергия γ -квантов, Мэв ; σ — поверхностная плотность радиоактивных загрязнений почвы, мкюри/см^2 ; μ_B — коэффициент ослабления γ -излучения в воде, см^{-1} ; h_B — толщина того слоя воды, который получился бы, если бы снег был растоплен, см ; k — постоянная в показателе экспоненты распределения источника в грунте, см^{-1} ; $h_{\text{эфф}}$ — эффективная толщина, равная $\frac{\mu_B h_B}{\mu_{\text{гр}}}$, где $\mu_{\text{гр}}$ — коэффициент ослабления излучения в грунте, см^{-1} ; E_i — интегрально-показательная функция; A_1, A_2, a_1, a_2 — коэффициенты дозового фактора накопления в виде суммы двух экспонент.

Для упрощения вида формулы (1) и (2) записаны для источника, излучающего моноэнергетические γ -кванты с выходом 1 квант/распад.

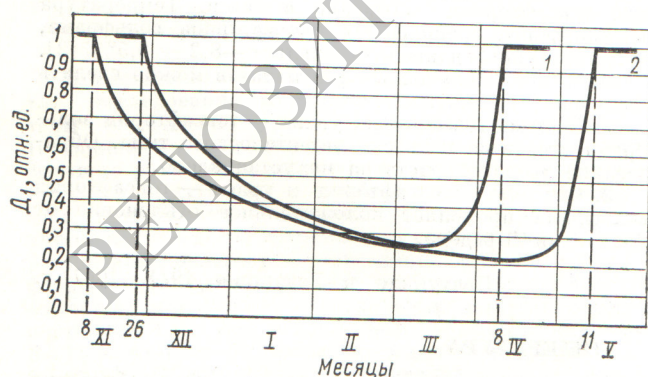


Рис. 1. Ослабление мощности дозы γ -излучения Cs^{137} , находящегося в грунте, в зависимости от времени для Московской (1) и Мурманской (2) областей.

На рис. 1 представлены результаты вычислений по формуле (1) для γ -квантов Cs^{137} и грунта средней плотности ($\rho = 1,7 \text{ г/см}^3$) при постоянной распределения источников в грунте $k = 2 \text{ см}^{-1}$ для различных моментов зимнего периода времени. Экспериментальное изучение распределения Cs^{137} в почвах в 1966 г. показало, что различие мощностей доз γ -излучения Cs^{137} , рассчитанных для экспоненциального распределения по глубине почвы с $k = 2 \text{ см}^{-1}$ и реального распределения, не превышает 5%. Как следует из графиков, наибольшее влияние на ослабление γ -излучения снежный покров оказывает в Московской области в начале марта (кратность ослабления достигает 4,0), а в Мурманской области — в начале апреля (кратность ослабления достигает 4,9). На рис. 2 показана кратность ослабления мощности дозы γ -излучения Cs^{137} в зависимости от мощности снежного покрова.

Если предположить, что в течение года количество Cs^{137} в грунте не изменяется, то, как показывают расчеты, снеговой покров уменьшает годовую дозу на 23 и 33% соответственно в Московской и Мурманской областях.

Мощность дозы γ -излучения на снежной поверхности от источников, которые находятся в снегу, вычисляется по формуле

$$D_2 = \frac{7,2 \cdot 10^9 \gamma E_0}{\mu_B} \times \sum_{n=1}^2 \left[\frac{A_n}{1+a_n} - \frac{A_n}{1+a_n} \Phi(\mu_B h_B(1+a_n)) \right] \text{ рад/год}, \quad (2)$$

которая учитывает ослабление в снегу и многократное рассеяние в снегу, грунте и воздухе. В этой формуле q — удельная активность такой воды, мкюри/см^3 ; Φ — функция Кинга.

Вычисления, проведенные для γ -квантов Cs^{137} по формуле (2) для различных моментов зимнего времени

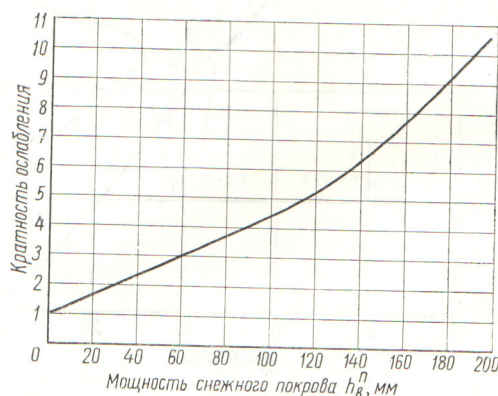


Рис. 2. Кратность ослабления мощности дозы γ -излучения Cs^{137} в зависимости от толщины снежного покрова.

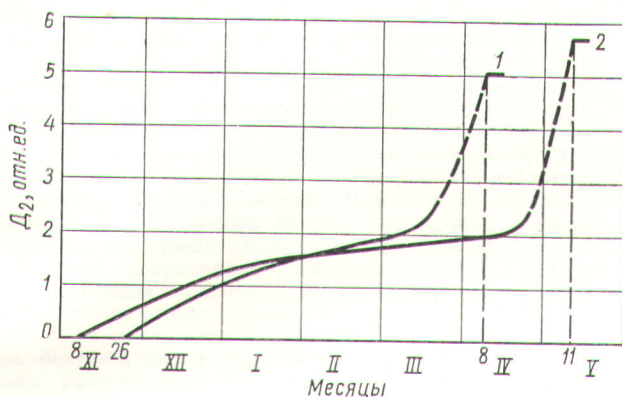


Рис. 3. Изменение мощности дозы γ -излучения Cs^{137} , равномерно распределенного в снегу, в зависимости от времени для Московской (1) и Мурманской (2) областей.

Масштабом по оси ординат служит величина $7,2 \cdot 10^8 \frac{q \gamma E_0}{\mu_B}$.

года, представлены на рис. 3. Следует заметить, что ординаты графиков рис. 3 в день схода устойчивого снежного покрова получены по формуле (1), так как в это время радиоактивные осадки из снега переходят в грунт. При этом принималось, что поверхностная плотность радиоактивных загрязнений равна $q h_{\text{в}}^{\text{п}}$ мкюри/см², где $h_{\text{в}}^{\text{п}}$ — полное количество осадков, выпавших за время существования устойчивого снежного покрова, см. Вместе с тем принимались экспоненциальное ($k = 2 \text{ см}^{-1}$) распределение Cs^{137} в почве и плотность грунта, равная $1,7 \text{ г/см}^3$.

Обычно за зимние месяцы выпадает сравнительно небольшое количество радиоактивных осадков, и их вкладом в мощность дозы γ -излучения можно пренебречь. Однако в период интенсивных тропосферных выпадений этот вклад может быть существенным.

Мощность дозы γ -излучения в зимние месяцы определяется простым сложением мощностей доз, рассчитанных по формулам (1) и (2). Для сравнения вкладов мощностей доз, обусловленных источниками в грунте и снегу, в суммарную мощность дозы и сопоставления эффектов необходимо знание величин поверхностной плотности σ радиоактивных загрязнений почвы перед появлением снежного покрова и величины удельной активности q талой воды, которые могут быть определены экспериментально. Очевидно, что в зависимости от уровня и характера выпадения радиоактивных осадков во времени мощность дозы может определяться только соотношением (1) или (2), особенно от γ -излучения короткоживущих продуктов деления. Изменение мощности дозы γ -излучения Cs^{137} в зимнее время года с учетом обоих эффектов для Московской области

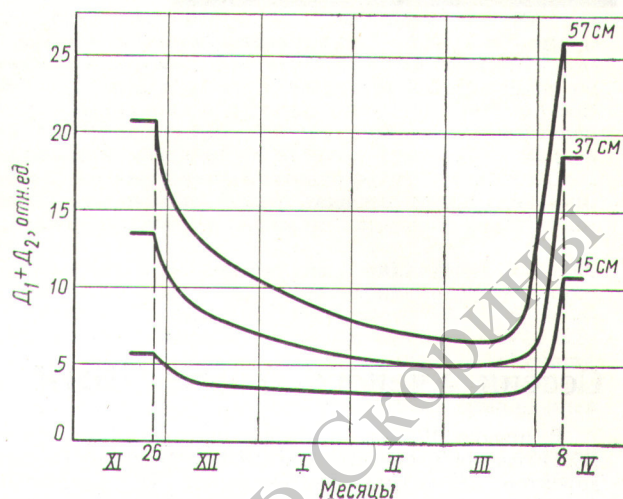


Рис. 4. Изменение мощности дозы γ -излучения Cs^{137} , находящегося в грунте и снегу, для Московской области.

Масштаб по оси ординат такой же, как на рис. 3. Цифры у кривых обозначают кумулятивное количество атмосферных осадков к 26 ноября.

показано на рис. 4. При расчете полагали, что: 1) удельная активность талой и дождевой воды q одинакова и постоянна в течение года, 2) радиоактивные аэрозоли выпадают только с дождем или снегом, 3) накопление радиоактивных веществ в почве до появления снежного покрова (в среднем до 26 ноября) происходило в течение 3; 6 и 12 месяцев, что соответствует количеству выпавших осадков до появления снежного покрова 15; 37 и 57 см для Московской области. Как видно из рис. 1, 3 и 4, преобладающим эффектом является ослабление излучения снежным покровом.

Поступило в Редакцию 6/VII 1967 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Report of the United Nations Scientific Committee of the Effects of Atomic Radiation. Suppl. No. 16 (A/5216), N.Y., 1962, p. 351.
2. B. Lindell. Health Phys., 2, 341 (1960).
3. K. Mahmoud. In book: «Selected Topics in Radiation Dosimetry». Vienna, IAEA, 1961, p. 85.
4. Г. А. Федоров, И. Е. Константинов, В. В. Павлов. Методика расчета и определения доз внешнего облучения от гамма-излучающих продуктов деления, выпавших в умеренном поясе северного полушария в 1962—1965 гг. М., Атомиздат, 1967.