

Modeling of radiation impact to agricultural plants from beta and gamma radiation caused by radioactive fallout in a water-soluble form

Perevolotsky A.¹, Spiridonov S.², Perevolotskaya T.³

Моделирование радиационного воздействия на сельскохозяйственные растения от бета- и гамма-излучения при радиоактивных выпадениях в водорастворимой форме

Переволоцкий А. Н.¹, Спиридонов С. И.², Переволоцкая Т. В.³

¹Переволоцкий Александр Николаевич / Perevolotsky Aleksander - доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник;

²Спиридонов Сергей Иннокентьевич / Spiridonov Sergey - доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией;

³Переволоцкая Татьяна Витальевна / Perevolotskaya Tatiana - кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник, лаборатория математического моделирования,

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии,
г. Обнинск, Калужская область

Аннотация: разработана динамическая модель оценки доз β - и γ -излучения при аварийных выпадениях. Показан определяющий вклад в формирование суммарной дозы от облучения радионуклидов, осевших на поверхность растения.

Abstract: the dynamic model for assessment of β - and γ -radiation doses in case of emergency radioactive fallout has been developed. A decisive contribution to the formation of total radiation dose from radionuclides deposited on the plant surface is shown.

Ключевые слова: дозиметрическая модель, бета-излучение, гамма-излучение, радиоактивные выпадения.

Keywords: dosimeter model, beta-radiation, gamma-radiation, radioactivity fallout.

Исследования радиационных эффектов на сельскохозяйственные растения сталкиваются со сложностью количественной оценки воздействия от ионизирующего излучения на ранних этапах после радиоактивных выпадений [1, 2]. Необходимость проведения подобных исследований диктуется и дальнейшим развитием ядерных технологий, что определяет необходимость оперативной оценки доз облучения при штатных и аварийных ситуациях на предприятиях ядерного топливного цикла. Цель исследований – разработать дозиметрическую модель оценки доз внешнего облучения при радиоактивных выпадениях.

Материалы и методы

В основу модели были положены следующие предположения: радиоактивные выпадения в водорастворимой форме могут произойти в любой момент вегетационного периода, удержание радионуклидов растениями зависит от их биомассы, распределение выпадений в фитомассе равномерно в течение времени прогнозирования дозы. Водорастворимая форма выпадений характеризуется большей удерживающей способностью по сравнению с твердыми частицами. Динамика фитомассы растений смоделирована по литературным данным [1]. Рассмотрены четыре пути облучения растений от каждого из β - и γ -излучателей.

Мощность поглощенной дозы β -излучения от радионуклидов на поверхности растений представлена в виде блочной модели [1]:

$$P_{\text{вн}}^{\beta} = P_{\beta}^{\infty} \times \left\{ c^2 \times \alpha \left[\frac{v \times h}{c} \left(2 + \ln \frac{c}{v \times h} \right) + e^{\left(1 - \frac{v \times h}{c} \right)} - 3 \right] + 1 - \alpha \times e^{(1-v \times h)} \right\}, \quad (1)$$

где P_{β}^{∞} – доза внутри объема, заполненного радиоактивным веществом, Гр/с; h – толщина блока, в котором определяется мощность дозы, м; v – эффективный коэффициент поглощения, 1/м; c , α – коэффициенты. Формулы для нахождения коэффициентов, а также P_{β}^{∞} и v приведены в [3].

Мощность поглощенной дозы β -излучения от поверхности почвы [3], Гр/с:

$$P_0^{\beta} = 8 \cdot 10^{-11} \cdot v \cdot \bar{E}_{\beta} \cdot \alpha \cdot \sigma \cdot \left[c \cdot \left\{ 1 + \ln \left(\frac{c}{v \cdot h} \right) - e^{(1-v \cdot h/c)} \right\} + e^{(1-v \cdot h)} \right], \quad (2)$$

где, \bar{E}_{β} – средняя энергия β -излучения радионуклида, МэВ; σ – плотность загрязнения почвы радионуклидов, Бк/м²; остальные обозначения приведены в предыдущей формуле.

При сопоставимой степени ослабления γ -излучения в различных средах мощность поглощенной дозы (Гр/с) на высоте Δh (м) от растительности с равномерно распределенной объемной активностью γ -излучателя q_v^0 (Бк/м³) по высоте h можно представить в следующем виде [4]:

$$D_0^{\gamma} = \frac{2\pi \times \Gamma \times \rho_s \times q_v^0}{\mu_s \times \rho_0} \left\{ 2 \times \left(\frac{A}{1 + \alpha_1} + \frac{1 - A}{1 + \alpha_2} \right) - E_2^* \left[\mu_s \times \frac{\rho_0}{\rho_s} (h - \Delta h) \right] - E_2^* \left[\mu_s \times \frac{\rho_0}{\rho_s} \times \Delta h \right] \right\} \quad (3)$$

Обозначения всех коэффициентов формулы подробно описаны в [4].

Величина мощности дозы γ -излучения на высоте Δh (м) от бесконечного тонкого источника (почвы) объемной активностью q_v^1 (Бк/м³), Гр/с:

$$D_1^{\gamma} = \frac{2\pi \times \Gamma \times \rho_s \times q_v^1}{\mu_s \times \rho_1} \left\{ E_2^* \left(\frac{\mu_s}{\rho_s} (\rho_0 \times \Delta h) \right) - E_2^* \left(\frac{\mu_s}{\rho_s} (\rho_0 \times \Delta h + \rho_1 \times h_1) \right) \right\} \quad (4)$$

Обозначения всех коэффициентов формулы подробно описаны в [4].

Мощность дозы выражали в мкГр/сут для более удобного восприятия данной величины.

Предполагалось, что активность радионуклидов в растительности убывает экспоненциально с периодом полуочистения 10 сут. для трансурановых и редкоземельных радиоизотопов, 20 сут. – для щелочных и щелочноземельных, 30 сут. – для мигрирующих в анионной форме [1].

Модельные расчеты были выполнены для посевов озимой ржи на стадии всходов. Моделируемая активность радиоактивных выпадений составила: по ^{137}Cs – 37 кБк/м², ^{134}Cs – 18 кБк/м², ^{131}I – 111 кБк/м², $^{132}\text{I}+^{132}\text{Te}$ – 250 кБк/м². Время и величины выпадений примерно соответствовали условиям во время аварии на Чернобыльской АЭС для западных районов Российской Федерации.

Результаты и обсуждение

Результаты модельных расчетов приведены на рисунке. Как следует из представленных данных, наиболее высокая суммарная мощность поглощенной дозы наблюдается в первые сутки после радиоактивных выпадений, достигая 800 мкГр/сут. При этом наибольший вклад в мощность поглощенной дозы (до 90%) вносило β -излучение. В течение первых трех суток мощность дозы снижается почти на порядок в связи с быстрым распадом $^{132}\text{I}+^{132}\text{Te}$.

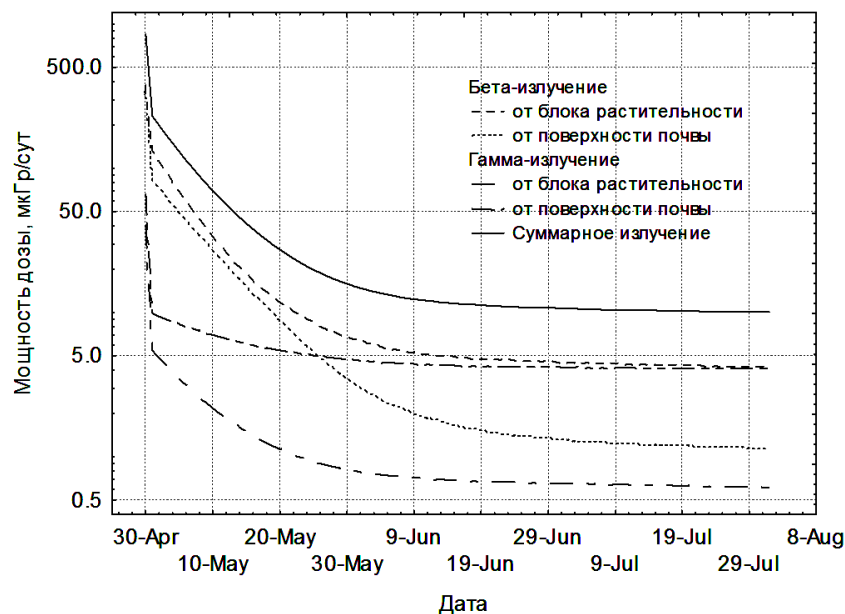


Рис. 1. Динамика мощности поглощенной дозы для озимой ржи при радиоактивных выпадениях на стадии всходов

Следующий этап характеризуется радиоактивным распадом ^{131}I . С начала мая до середины июня суммарная мощность поглощенной дозы снижается с ~200 мкГр/сут до ~12 мкГр/сут. Практически исчез вклад в суммарную дозу от γ -излучения блока растительности и β -излучения от поверхности почвы. Быстрое снижение вклада от последнего источника объясняется интенсивным ростом растений и поэтому β -частицы, имеющие малый пробег, не достигают высоты точек роста.

С середины июня и до уборки суммарная мощность поглощенной дозы характеризуется медленными изменениями (с 12 до 10 мкГр/сут).

Таким образом, динамика мощности поглощенной дозы сельскохозяйственных растений определяется вкладом в изотопном составе выпадений радионуклидов с различным периодом полураспада: преобладание короткоживущих изотопов определяет быстрое снижение мощности дозы. β -излучение может определить до 90% мощности дозы в первые сутки после радиоактивных выпадений и сформировать наиболее значимую для радиационных эффектов суммарную дозу.

Литература

1. Пристер Б. С. Проблемы сельскохозяйственной радиобиологии и радиэкологии при загрязнении окружающей среды молодой смесью продуктов ядерного деления / Чернобыль (Киев. обл.): Ин-т проблем безопасности АЭС, 2008. 320 с.
2. Анненков Б. Н., Егоров А. В., Ильязов Р. Г. Радиационные аварии и ликвидация их последствий в агрофосфере / Под ред. Б. Н. Анненкова. Казань: ФЭН Академии наук РТ, 2004. 408 с.
3. Радиационная дозиметрия // Под ред. Дж. Хайна и Г. Браунелла, пер. с англ., М.:Иностранная литература, 1958. 758 с.
4. Спиридонов С. И., Фесенко С. В., Гераськин С. А. / Радиационная биология. Радиэкология, 2008. Т. 48. № 4. С. 443-449.