

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОСТУПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ В ЗОНЕ НАБЛЮДЕНИЯ ГОМЕЛЬСКОЙ, ВИТЕБСКОЙ И ГРОДНЕНСКОЙ ОБЛАСТЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Журавков В.В.

к.б.н., доцент Международного государственного экологического
института имени А.Д.Сахарова, Белорусского государственного
университета, Республика Беларусь, г.Минск, zhvl@mail.ru

Аннотация: в статье предоставлены результаты полученные в рамках выполнения задания «Оценить дозовые нагрузки и эффекты ионизирующих излучений в сочетании со стрессом различной природы на биоту в зоне хронического радиационного воздействия», ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда», подпрограмма 3 «Радиация и биологические системы» на 2021-2025 год.

Ключевые слова: радиационный мониторинг, загрязнение основных компонентов биогеоценоза.

MODELING OF THE PROCESSES OF RADIONUCLIDES ENTRANCE INTO THE ENVIRONMENT IN THE SURVEILLANCE ZONE OF GOMEL, VITEBSK AND GRODNENSK REGIONS OF THE REPUBLIC OF BELARUS

Zhuravkov V.

Ph. D., associate Professor, International Sakharov Environmental Institute of
BSU, Belarus, Minsk, zhvl@mail.ru

Abstract: the article presents the results obtained in the framework of the assignment "Assess the dose loads and effects of ionizing radiation in combination with stress of various natures on the biota in the zone of chronic radiation exposure" 2021-2025 year.

Key words: radiation monitoring, contamination of the main components of biogeocenosis.

Радионуклидный состав и уровни радиоактивного загрязнения компонентов экосистемы Беларуси на разных временных этапах после выброса радионуклидов в окружающую среду во многом определяют приоритеты в прикладных радиоэкологических и радиобиологических исследованиях и задачах радиационной защиты населения [1]. В данной работе обобщены результаты многолетних экспериментальных наблюдений динамики радионуклидного состава и уровней радиоактивного загрязнения приземного воздуха и почвы в результате

испытания ядерного оружия и после аварийного выброса ЧАЭС. В динамике загрязнения территории Республики Беларусь радионуклидами, выброшенными во внешнюю среду вследствие аварии на ЧАЭС можно выделить следующие этапы (рис. 1): I. Активная стадия аварии; II. Стабилизация радиационной обстановки; III. Цезиево-стронциевый этап; IV. Актинидный этап.

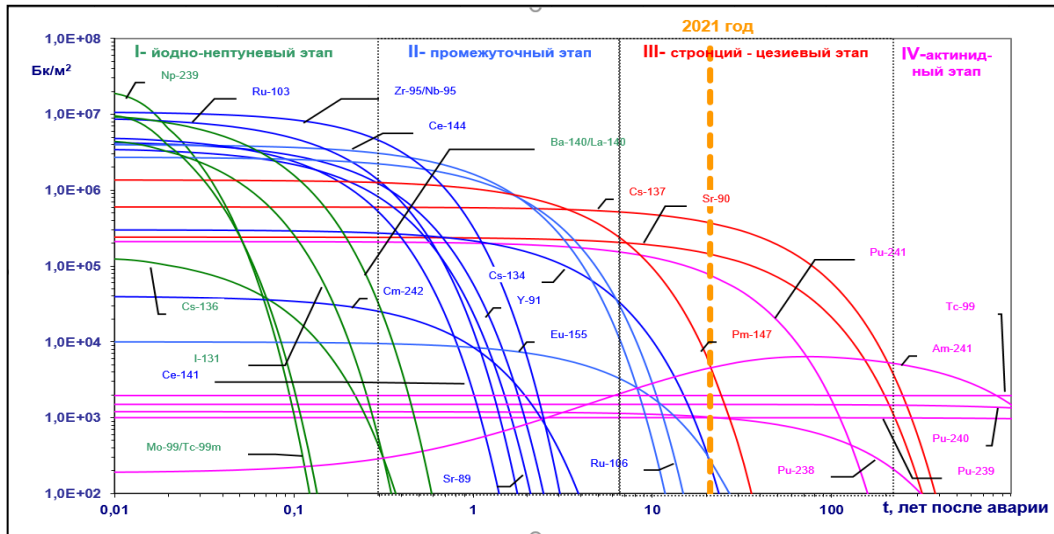


Рис. 1. Динамика радиоактивного загрязнения почвы на реперной площадке Масаны на основе экспериментальных данных

I. Активная стадия аварии: на основании аналитического обзора многочисленных опубликованных экспериментальных и расчетных данных была восстановлена динамика развития радиационной обстановки на активной стадии аварии для Гомельской области (рис. 2).

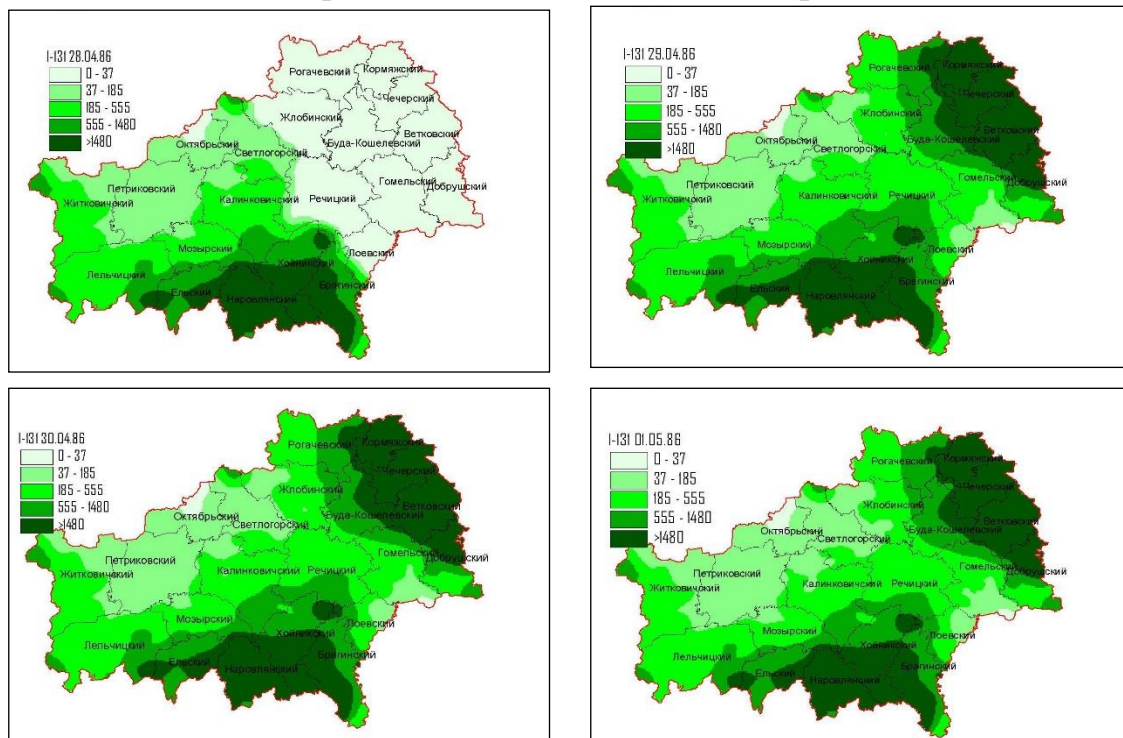
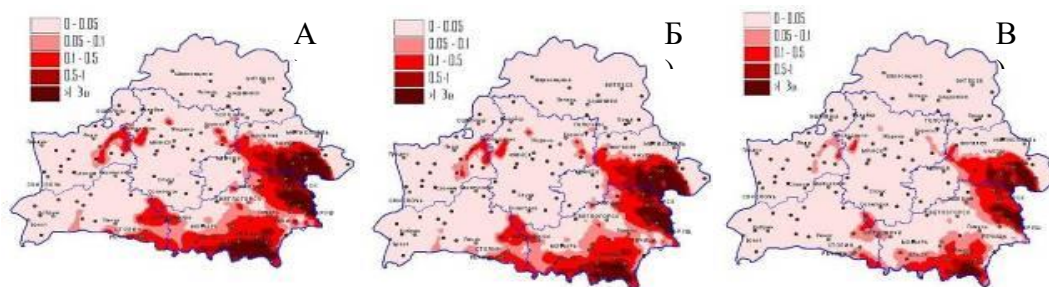


Рис. 2. Динамика загрязнения поверхности территории Гомельской области I-131, кБк/м²

Используя данные реконструкции радиационной обстановки были оценены средние групповые дозы облучения щитовидной железы для



жителей Республики Беларусь. На рисунке 3 приводятся карты средних групповых доз (дети, подростки, взрослые) с 26 апреля по 5 мая 1986 г.

Рис. 4. Средняя групповая доза: А) – дети до 5 лет на момент аварии, Б) – подростки от 5 до 17 лет на момент аварии, В) – взрослые от 17 лет

II. Стабилизация радиационной обстановки и III. Цезиево-стронциевый этап: второй и третий этапы характеризуются тем, что за счет естественного радиоактивного распада в сотни и тысячи раз снизилось радиоактивное загрязнение радионуклидами с периодом полураспада около года. Началась заметная деструкция топливных частиц и повышенная миграция ⁹⁰Sr [2]. Радиационная обстановка на этом этапе в основном обусловлена радионуклидами ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr. Значительно возрастает миграция ⁹⁰Sr в почве и по пищевой цепочке в результате деструкции топливных частиц, что наиболее характерно для западного следа, где уран находился в первичных выпадениях в неокисленной форме. По мере деструкции топливных частиц стронций попадает в почвенные растворы, после чего мигрирует вглубь почвы, проявляя все присущие ему как химическому элементу свойства. Это подтверждается увеличением коэффициента фракционирования стронция к урану с глубиной. Происходит заметное накопление ²⁴¹Am за счет распада ²⁴¹Pu.

IV. Актинидный этап: за счет естественного распада и частично в результате вертикальной и горизонтальной миграции в сотни раз снизилось загрязнение ²⁴¹Pu, ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr. Загрязнение в основном определяется актинидами ^{239,240}Pu и ²⁴¹Am, причем загрязнение ²⁴¹Am превышает загрязнение ^{239,240}Pu.

Чернобыльская катастрофа привела к очень неравномерному загрязнению поверхностного слоя почвы Беларуси трансурановыми элементами. Содержание ²³⁹⁺²⁴⁰Pu «чернобыльского» происхождения изменялось от $1,1 \pm 10^5$ Бк/м² для территорий, расположенных вблизи ЧАЭС до средних глобальных уровней на севере Республики Беларусь. Опасные уровни загрязнения располагаются локально в радиоактивных пятнах ближнего следа. Наблюдается постоянный рост содержания ²⁴¹Am во всех компонентах экосистемы Беларуси в результате распада ²⁴¹Pu.

На основе экспериментальных и расчетных данных были построены карты загрязнения почвы «чернобыльским» ураном, которые позволяют оценить уровни загрязнения и общий запас топливных частиц (ТЧ) на активной стадии аварии и на сегодняшний день (рисунок 1, 5, 6).

При построении карт использовались следующие положения:

1. Представление данных с помощью точек, окрашенных в соответствии с уровнем загрязнения в местах измерений, показывает изученность территории, однако, скрывает пространственную непрерывность поля загрязнения.
2. Когда изучаемая переменная непрерывна по своей природе, можно реконструировать эту непрерывность. Это можно сделать с помощью методов интерполяции.
3. В работе использовались ГИС ArcView 10.6.1 и Quantum GIS.
4. В процессе построения карт загрязнения территории РБ «облученным» ураном использовались данные по поверхностному загрязнению почвы южных районов Гомельской области [3]. Содержание U-238 рассчитывалось по содержанию Pu-239, 240 и Pu-238 с использованием изотопных отношений $^{238}\text{U}/^{239,240}\text{Pu}$ и $^{238}\text{U}/^{238}\text{Pu}$ для ТЧ (численно равны соответственно 0,00095 и 0,00206) при величине среднего выгорания по активной зоне аварийного 4-го блока 11,4 МВт·сут/кгU [3]. На рисунке 5 отображена плотность загрязнения ($\text{Бк}/\text{м}^2$) загрязненной территории ураном-238.



Рис. 5. Загрязнение южных районов Гомельской области ураном-238, $\text{Бк}/\text{м}^2$

Кроме того, были построены карты, отображающие концентрацию топливных частиц на загрязненной территории на 1986 и на 2018 гг. (рис. 6).

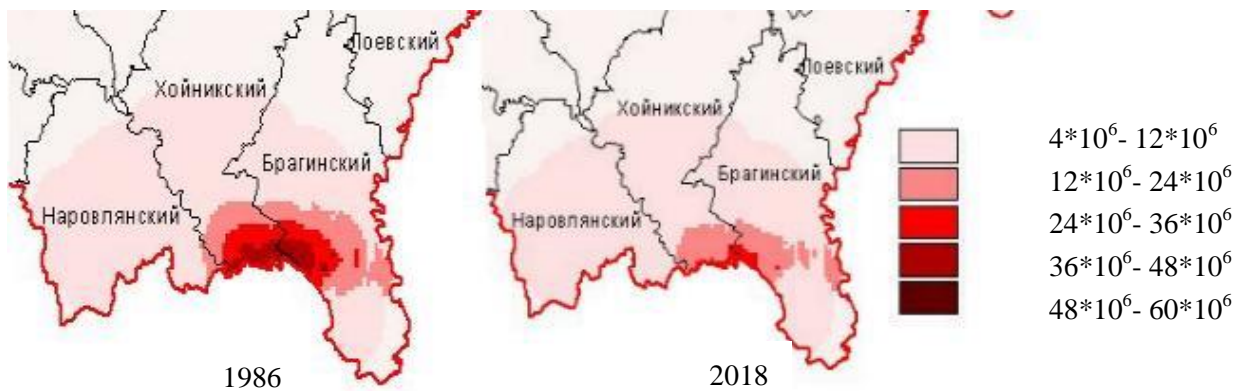


Рис. 6. Концентрация ТЧ на загрязненных территориях на 1986 и 2018 гг.

Под действием различных активных компонентов почвенного комплекса, процессов радиационного старения и окисления четырехвалентного урана происходит деструкция ТЧ. В результате этих процессов увеличивается доля радионуклидов в подвижной форме, что делает их биологически доступными для растений и следовательно, более опасным для человека.

Процесс деструкции ТЧ можно описать уравнением кинетики реакции первого порядка

$$\frac{N_{\tau}}{N_0} = \exp(-kt),$$

где N_0 – число топливных частиц на загрязненной территории в 1986 году; N_{τ} – число топливных частиц на загрязненной территории в 2018 году; k – постоянная скорости деструкции ТЧ (с^{-1} , или год^{-1}) [3].

Таким образом, в момент прохождения радиоактивного облака (первый этап) основной вклад в загрязнение территории Беларуси определяли изотопы ^{131}I , ^{132}I (^{132}Te) (вклад которых в мощность экспозиционной дозы составлял до 70 %). Вклад других короткоживущих изотопов в мощность экспозиционной дозы составлял около 30%, из них наиболее дозообразующими являлись: ^{103}Ru (8 %), $^{95}\text{Zr} - ^{95}\text{Nb}$ (6 %), $^{140}\text{Ba} - ^{140}\text{La}$ (4 %), ^{239}Np (5 %) и ^{99}Mo (3 %).

Радиационная обстановка на втором и третьем этапах в основном обусловлена радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr . Значительно возрастает миграция ^{90}Sr в почве и по пищевой цепочке в результате деструкции топливных частиц, что наиболее характерно для западного следа выпадений, где уран находился в первичных выпадениях в неокисленной форме.

На актинидном этапе загрязнение в основном определяется $^{239,240}\text{Pu}$ и ^{241}Am , причем загрязнение ^{241}Am превышает загрязнение $^{239, 240}\text{Pu}$. Наблюдается постоянный рост содержания ^{241}Am во всех компонентах экосистемы Республики Беларусь в результате естественного распада ^{241}Pu .

Список использованных источников:

1. Конопля Е.Ф. Радиация и Чернобыль: Короткоживущие радионуклиды на территории Беларуси / Е.Ф. Конопля, В.П. Миронов, В.В. Журавков. – Минск: Беларус. наука, 2008. – 198 с.
2. Zhuravkov, V.V. B.A. Tonkonogov, S.V. Pribylev The use of modern GIS technologies in the reconstruction of technogenic uranium contamination of the territories of the southern districts of the Gomel region // Zhuravkov V.V., Tonkonogov B.A., Pribylev S.V. // XVI International Scientific and Technical Conference «Science, Education, Production in Solving Environmental Problems» Ecology-2020. June 02, 2020 Ufa, Russia. p. 37–41.
3. Zhuravkov, V.V. Reconstruction of the radiation situation in the Republic of Belarus using gis-technologies // XXI International scientific-practical conference «Actual problems of ecology and nature management» April 25-27, 2020 RUDN Moscow. – Moscow, 2020. P. 78 – 84.