

# РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ АКТИВНОСТИ $^{131}\text{I}$ В ТРАВЯНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ РАЗНЫХ ВИДОВ В ГОД АВАРИИ НА ЧАЭС

О.К. Власов\*, И.А. Звонова\*\*, П. Краевский\*\*\*, Н.В. Щукина\*,  
С.Ю. Чекин\*, К.А. Туманов\*

\* МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал «НМИЦ радиологии» Минздрава России  
249035, Калужская обл., г. Обнинск, ул. Королева, 4

\*\* ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева  
197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, 8

\*\*\* Центральная лаборатория радиологической защиты (CLOR)  
Варшава, Польша



Выполнены расчеты динамики сырой биомассы травяной растительности кормовых и продовольственных культур в Мазовии в год аварии на ЧАЭС. Исследованы зависимости плотностей выпадений  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{131}\text{I}$  на почву и травяную растительность от осадков и плотности биомассы на время основных выпадений. Описывается метод пересчета инструментальных данных о динамике активности радионуклидов в растительности одного вида к растительности других видов. Приводятся результаты такого пересчета от газонной травы к продовольственной и кормовой травяной растительности других типов. Описан метод корректировки динамики транспорта радионуклидов по элементам пищевой цепочки (трава пастбищ, зелень - молоко - организм человека) путем последовательной нормировки расчетных данных в каждом последующем элементе на среднее значение отношения инструментальных данных к расчетным данным в предыдущем элементе. Предложенные методы предназначены для создания базы взаимно согласованных расчетных и реконструированных инструментальных данных: активность  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{131}\text{I}$  в атмосфере – осадки – плотность выпадения  $^{137}\text{Cs}$  на местность – удельная активность  $^{131}\text{I}$  в растительности. Создание такой базы радиологических данных обеспечит увеличение достоверности оценок динамики удельных активностей  $^{131}\text{I}$  в молоке, в организме жителей и, в конечном счете, при оценках доз внутреннего облучения щитовидной железы.

**Ключевые слова:** агрорадиологическая модель, авария на ЧАЭС, проект МАГАТЭ EMRAS, «Варшавский» сценарий, инструментальные, расчетные данные, взаимосогласованная база, атмосфера, осадки, выпадения  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{131}\text{I}$  в растительности.

## ВВЕДЕНИЕ

Работа посвящена исследованиям динамики транспорта радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{131}\text{I}$  по трофической цепочке атмосфера - почва - растительность - организм молочных

© О.К. Власов, И.А. Звонова, П. Краевский, Н.В. Щукина, С.Ю. Чекин, К.А. Туманов, 2020  
106

коров - молоко - организм человека после аварии на ЧАЭС. Авторами в [1] описана технология и создание взаимосогласованной базы входных данных расчетной модели для регионов Мазовии и Богемии. В набор базы этих данных для территориальных регионов исследования входили средние за период основных выпадений или временные зависимости удельных объемных активностей  $^{137}\text{Cs}$  в атмосфере, осадки в период выпадений и плотности выпадения  $^{137}\text{Cs}$ . Для взаимного согласования этого набора данных использовались модели однородного и неоднородного облака.

Для создания таких баз в [1] использовались материалы «Пражского» и «Варшавского» сценариев проекта МАГАТЭ EMRAS [2 – 5]. Основной вывод, сделанный в [1], заключался в том, что использование взаимосогласованных данных об осадках в период основных выпадений, удельных объемных активностей  $^{137}\text{Cs}$  в атмосфере и плотностей его выпадения должно привести к существенному уменьшению неопределенностей транспорта  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{131}\text{I}$  по пищевой цепочке и, как следствие, к более точной реконструкции доз внутреннего облучения населения загрязненных территорий. Это утверждение было проверено в [6], посвященной верификации радиэкологической модели на инструментальных данных динамики активностей  $^{131}\text{I}$  в траве в Богемии и Мазовии. Ввиду специфики места отбора проб травы на радиометрию в Мазовии на территории метеостанции Warszawa Obserw Astr были проведены дополнительные исследования по выявлению ее типа – однолетней или многолетней газонной травы. По результатам анализа было установлено, что динамика расчетных данных для многолетней газонной травы лучше согласуется с данными измерений, чем для однолетней газонной травы.

Конечной целью создания имитационных радиэкологических моделей является проведение оценок и исследование закономерностей формирования доз внутреннего облучения населения после радиационных аварий с выбросом радиоактивных продуктов в окружающую среду. При использовании имитационных моделей наиболее оптимальным способом повышения достоверности таких оценок является последовательная нормировка расчетных данных активностей радионуклидов в данном элементе пищевой цепочки на величину среднего отношения инструментальных данных к расчетным данным в предыдущем элементе.

Например, невязки расчетных и инструментальных данных по загрязнению кормовой и продовольственной растительности  $^{131}\text{I}$  и  $^{137}\text{Cs}$  можно использовать сначала для корректировки результатов расчетов динамики их удельных активностей в молоке за счет поступления радионуклидов в организм молочных коров с зеленым кормом. На следующем этапе аналогичные невязки для продовольственной растительности и молока можно использовать при корректировке расчетных данных активностей радионуклидов в организме жителей за счет пищевого пути поступления в организм. Проведение такой коррекции последовательно по всем элементам пищевой цепочки должно привести к существенному уменьшению неопределенностей оценок доз внутреннего облучения населения в загрязненных регионах.

Наиболее приемлемым вариантом таких последовательных корректировок является величина невязок в районе максимальных значений инструментальных данных. В качестве обоснования для такого выбора является прямо пропорциональная зависимость между максимальными значениями активностей радионуклидов во всех последовательных элементах пищевой цепочки атмосфера - растительность - молоко - организм человека.

В «Варшавском» сценарии имеются инструментальные данные удельных активностей  $^{131}\text{I}$  в газонной траве и молоке. Инструментальных данных для кормовой растительности молочных коров в сценарии нет, что делает невозможным выполнять такую же нормировку для молока.

Работа посвящена созданию метода пересчета фактических инструментальных данных удельных активностей радионуклидов в растительности одного вида, полученных в одном месте измерений, к реконструированным инструментальным данным растительности других видов в других местах, в частности, от данных радиометрии травы на территории метеостанции в г. Варшаве к данным для травы пастбищ в местах радиометрии молока в молочных районах Мазовии.

Цель исследования – разработка и реализация метода пересчета инструментальных данных динамики активности радионуклидов в травяной растительности одного вида, полученных в одном месте, к активности радионуклидов в растительности других видов в местах с различными плотностями выпадения  $^{137}\text{Cs}$  и осадками в период выпадений; разработка метода последовательного взаимного согласования расчетных и инструментальных данных о динамике транспорта радионуклидов по элементам пищевой цепочки атмосфера - выпадения - кормовая и продовольственная растительность - молоко - организм человека.

### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Анализ инструментальных данных о параметрах радиационной обстановки в центральной части Мазовии в год аварии на ЧАЭС и радиоэкологическое моделирование динамики активности  $^{131}\text{I}$  в травяной растительности разных видов проводится с использованием агроэкологического блока имитационной радиоэкологической модели [7]. Блок представляет собой систему линейных дифференциальных уравнений, описывающих в режиме реального времени динамику выпадений радионуклидов  $^{131}\text{I}$  и  $^{137}\text{Cs}$  из атмосферы на землю и растительность, динамику удельных активностей травяной, дикорастущей и культурной растительности кормовых и продовольственных сельскохозяйственных культур с учетом роста их биомасс. Динамика биомасс рассчитывается по данным о погодных условиях в год аварии. Входная информация модели состоит из следующего набора динамических параметров: удельные объемные активности и формы нахождения радионуклидов в атмосфере, среднесуточные температуры воздуха с начала вегетационного периода, осадки в период и после радиоактивных выпадений, урожайности сельскохозяйственных культур в год аварии. Набор этих данных вместе с данными о плотностях выпадения  $^{137}\text{Cs}$  в населенных пунктах (НП) представлены в большей или меньшей степени в сценариях проекта EMRAS [2 – 4].

### **РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

В «Варшавском» сценарии имеются инструментальные данные удельных активностей  $^{131}\text{I}$  только в газонной траве на территории метеостанции Warszawa Obserw Astr в г. Варшаве.

Инструментальные данные удельной активности  $^{131}\text{I}$  в этой траве имеют аномальный выброс на девятые сутки и второй пик активности – на 16-е сутки после аварии. Более детальный анализ показал наличие двух серий инструментальных данных с практически одинаковыми скоростями их экспоненциального уменьшения (рис. 1).

Отметим, что временные зависимости каждой серии и всего набора инструментальных данных имеют экспоненциальный вид. Эта особенность учитывалась нами при их сопоставлении с расчетными данными.

Данных измерений динамики активностей  $^{131}\text{I}$  в продовольственной и кормовой растительности в «Варшавском» сценарии нет. Однако с использованием имитационной модели [1] можно выполнить пересчет фактических инструментальных данных для газонной травы на метеостанции Warszawa Obserw Astr к реконструированным инструментальным данным для растительности других видов в других НП, где проводилась радиометрия молока.

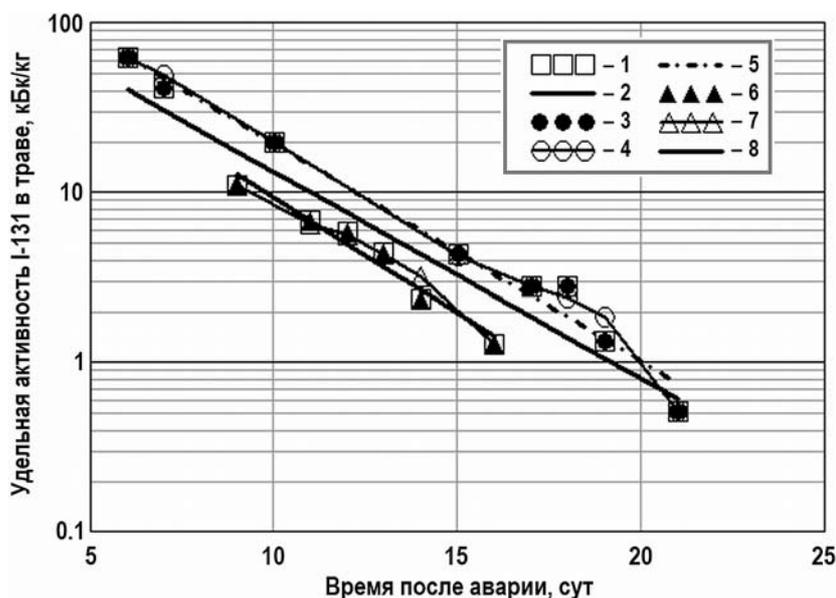


Рис. 1. Инструментальные данные удельной активности  $^{131}\text{I}$  в газонной траве на метеостанции Warszawa Obserw Astr: 1 – все данные; 2 – экспоненциальная интерполяция; 3 – серия 1; 4 – интерполяция 1; 5 – экспоненциальная регрессия 1; 6 – серия 2; 7 – интерполяция 2; 8 – экспоненциальная интерполяция 2

В нашем случае пересчет проводился для травы культурных пастбищ – основного источника поступления активности радионуклидов с рационом молочных коров Мазовии в период и после их перевода на летний рацион. Такой пересчет можно выполнить по следующим соотношениям: прямой пересчет – пересчет от инструментальных данных измерений газонной травы  $Q^{M1}_{grass}$  к данным «измерений» для растительности других типов  $Q^M_{gr}$ :

$$Q^{M1}_{gr}(R^{met}_{kr}, q^{atm}_{kr}, M_{gr}, t_m) = Q^M_{grass}(t_m) \cdot Q^C_{gr}(R^{met}_{kr}, q^{atm}_{kr}, M_{gr}, t_m) / Q^C_{grass}(R^{met}_{or}, q^{atm}_{or}, M_{grass}, t_m), \quad (1)$$

где  $Q^C$ ,  $Q^M$ ,  $Q^{M1}$  – соответственно расчетные, прямые и реконструированные инструментальные данные удельных активностей растительности, кБк/кг;  $R^{met}_0(t)$ ,  $q^{atm}_0(t)$ ,  $M_{grass}(t)$  – соответственно интенсивность осадков в период выпадений (мм/сут), удельная активность радионуклидов в атмосфере (кБк/м<sup>3</sup>), плотность сырой биомассы травы (кг/м<sup>2</sup>) все для места измерения НП<sub>0</sub>;  $R^{met}_{kr}$ ,  $q^{atm}_{kr}$ ,  $M_{gr}$  – аналогично все для места пересчета НП<sub>к</sub> и растительности;  $t_m$  – время измерений, сутки.

Пересчет по модели неоднородного облака:

$$Q^{M2}_{gr}(R^{met}_{kr}, q^{atm}_{kr}, M_{gr}, t_m) = Q^{M1}_{gr}(R^{met}_{kr}, q^{atm}_{or}, M_{gr}, t_m) \cdot q^{atm}_k / q^{atm}_{or}, \quad (2)$$

где  $q^{atm}_k$  – параметры атмосферы в НП<sub>к</sub>;  $q^{atm}_0$  – параметры атмосферы в НП<sub>0</sub>. Отношение  $q^{atm}_k / q^{atm}_0$  можно представить в виде

$$q^{atm}_k / q^{atm}_0 = [\sigma^{rec}_{Cs}(R_k) / \sigma^{dep}_{Cs,k}] / [\sigma^{rec}_{Cs}(R_0) / \sigma^{dep}_{Cs,0}], \quad (3)$$

где  $\sigma^{dep}_{Cs,0}$  и  $\sigma^{dep}_{Cs,k}$  – фактические плотности выпадения  $^{137}\text{Cs}$  в населенных пунктах НП<sub>0</sub> и НП<sub>к</sub>;  $\sigma^{rec}_{Cs}(R_0)$  и  $\sigma^{rec}_{Cs}(R_k)$  – плотности выпадения  $^{137}\text{Cs}$  в НП<sub>0</sub> и НП<sub>к</sub>, реконструированные по модели прямого расчета, кБк/м<sup>2</sup>.

Пересчет по модели однородного облака от эффективных осадков  $R^{eff}_0$  с параметрами атмосферы  $q^{atm}_0$  в НП<sub>0</sub> к эффективному осадку  $R^{eff}_k$  с параметрами атмосферы  $q^{atm}_k$  в НП<sub>к</sub> выполняется по соотношению

$$Q^{M3}_{gr}(R^{eff}_{kr}, q^{atm}_{kr}, M_{gr}, t_m) = Q^M_{grass}(t_m) \cdot Q^C_{gr}(R^{eff}_{kr}, q^{atm}_{kr}, M_{gr}, t_m) / Q^C_{grass}(R^{eff}_0, q^{atm}_0, M_{grass}, t_m). \quad (4)$$

Расчеты динамики плотности биомассы растительности разных видов, в частности, корма молочных коров (пастбищной травы, сеяной однолетней травы на зеленый корм), растительного компонента человека (однолетней и многолетней зелени) проводились по модели [1] с использованием данных «Варшавского» сценария о годовом ходе среднесуточных температур воздуха, метеоданных об осадках и урожайностях этих культур в год аварии на ЧАЭС. Пример расчетов приведен на рис. 2.

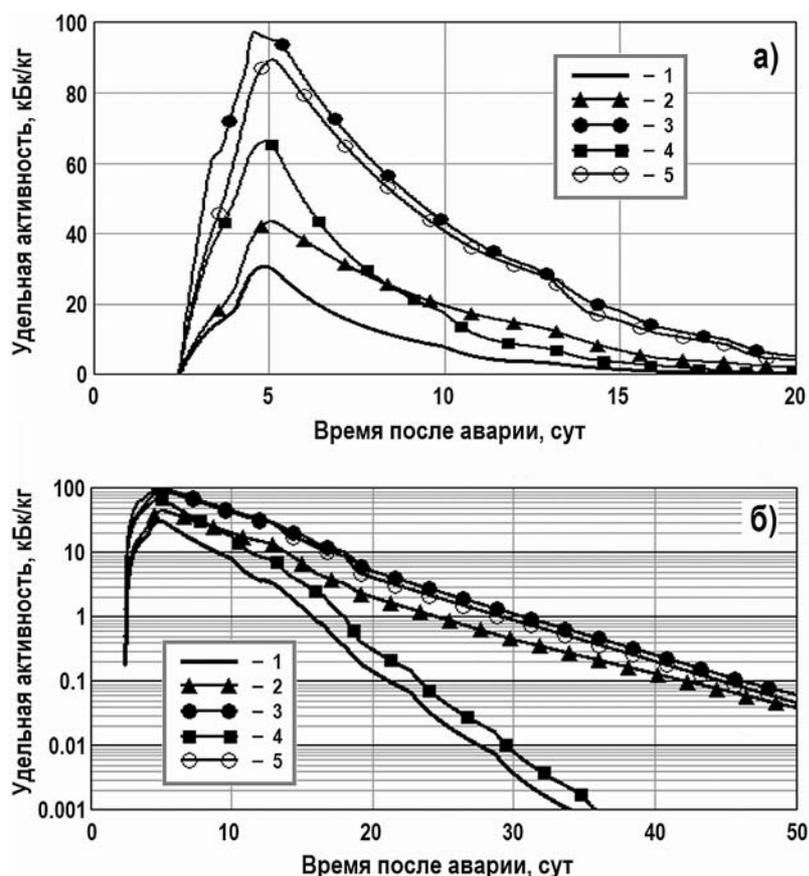


Рис. 2. Динамика удельной активности <sup>131</sup>I в травяной растительности (а) и расчетные данные удельной активности <sup>131</sup>I в атмосфере (б): 1 – многолетняя газонная трава, Warsaw Obserw Astr\*; 2 – однолетняя зелень, Warsaw Obserw Astr\*; 3 – многолетняя зелень, Przaszynski\*\*; 4 – многолетняя газонная трава, County Ostrolecki\*\*; 5 – трава культурных пастбищ, County Ostroleka\*\* (\* – прямые данные; \*\* – данные с пересчетом по минимальным плотностям выпадения <sup>137</sup>Cs в молочном районе)

Данные о суммах эффективных биологических температур фаз развития растительности и времени их наступления приведены в табл. 1. В расчетах принималось, что одномоментное скашивание сеяной однолетней травы на зеленый корм происходило после ее созревания, газонной травы – при ее биомассе 1 кг/м<sup>2</sup>, употребление человеком в пищу однолетней и многолетней зелени – по завершении фазы набора их биомасс. Биомасса оставшейся после скашивания травы принималась равной 0,2 кг/м<sup>2</sup>.

Результаты такой реконструкции инструментальных данных для разных видов травяной растительности в населенном пункте Brinow bis (максимальные в молочном районе Warsaw Area плотность выпадения <sup>137</sup>Cs 22,7 кБк/м<sup>2</sup> и осадки 7,3 мм в пе-

риод основных выпадений) от многолетней газонной травы на метеостанции Obserw Astr с осадками 0,8 мм и плотностью выпадения  $^{137}\text{Cs}$  3,3 кБк/м<sup>2</sup> по модели прямого расчета приведены на рис. 3, а динамика сырой биомассы растительности перечисленных выше видов травяной растительности – на рис. 4. На рисунке 3 также приведены

- прямые инструментальные данные удельной активности  $^{131}\text{I}$  в пробах травы;
- аппроксимация инструментальных данных экспоненциальной зависимостью;
- расчетные данные активности  $^{131}\text{I}$  в скашиваемой многолетней газонной траве, приходящиеся на времена измерений.

Таблица 1

**Суммы эффективных биологических температур фаз развития травяной кормовой и продовольственной растительности и времена их наступления**

| Фаза развития, сут           | Сумма эффективных температур, °С [7] | Время до и после аварии, сут | Сумма эффективных температур, °С [7] | Время до и после аварии, сут |
|------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| Сеяные травы на зеленый корм |                                      | Однолетняя зелень            |                                      |                              |
| Посев                        | 0                                    | –46                          | 0                                    | –33                          |
| Всходы                       | 70                                   | 0                            | 80                                   | 0                            |
| Набор массы                  | 570                                  | 0 – 46                       | 330                                  | 0 – 25                       |
| Созревание*                  | 670                                  | 46 – 52                      | 480                                  | 25 – 40                      |
| Первый укос                  | 670                                  | 52                           |                                      |                              |
| Набор массы                  | 970                                  | 52 – 80                      |                                      |                              |
| Созревание*                  | 1070                                 | 80 – 91                      |                                      |                              |
| Второй укос                  | 1070                                 | 91                           |                                      |                              |
| Конец вегетации              | 1730                                 | 318                          |                                      |                              |
| Однолетняя газонная трава    |                                      | Многолетняя газонная трава   |                                      |                              |
| Посев                        | 0                                    | –33                          |                                      |                              |
| Всходы, начало вегетации     | 80                                   | 0                            | 0                                    | –39                          |
| Набор массы                  | 330                                  | 0 – 158                      | 600                                  | 48                           |
| Конец вегетации              | 1700                                 | 158                          | 1690                                 | 155                          |
| * – без набора биомассы      |                                      |                              |                                      |                              |

По данным расчетов плотность сырой биомассы травы культурных пастбищ на 26 апреля 1986 г. составила 0,55 кг/м<sup>2</sup>, что практически совпадает с данными «Варшавского» сценария, в котором отмечается, что в 1986 г. в Мазовии была теплая весна с температурой около 20 °С. Она ускорила рост растительности, особенно пастбищной травы, плотность сырой биомассы которой в конце апреля достигла величины около 0,4 кг/м<sup>2</sup>.

Расчетные зависимости удельной активности  $^{131}\text{I}$  в травяной растительности от ее сырой биомассы и осадков за период выпадений, полученные с учетом прямых инструментальных данных динамики активности и форм существования  $^{131}\text{I}$  в атмосфере по данным «Варшавского» сценария, приведены на рис. 5, 6.

Расчетные данные на рис. 5, 6 показывают, что удельная активность  $^{131}\text{I}$  в траве убывает с ростом ее биомассы, причем тем быстрее, чем больше осадки, и увеличивается с ростом осадков, причем тем быстрее, чем меньше плотность ее биомассы травы. Аналогичный вид имеют и данные о зависимости максимальных значений реконструированных инструментальных данных активностей  $^{131}\text{I}$  в травяной растительности разных видов от их биомассы на время начала выпадений, полученные по данным зависимостей удельной активности  $^{131}\text{I}$  (см. рис. 1 – 4) и приведенные в табл. 2.

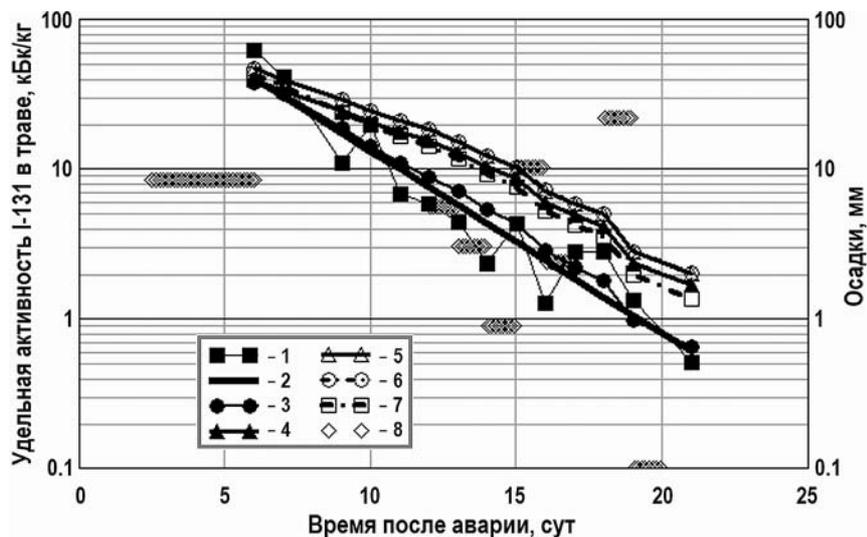


Рис. 3. Динамика реконструированных инструментальных данных об удельной активности  $^{131}\text{I}$  в ареале населенного пункта Wpnow bis молочного района Warsaw: 1 – инструментальные данные; 2 – экспоненциальная интерполяция; 3 – многолетняя газонная трава, прямой расчёт; 4 – трава культурных пастбищ, реконструкция; 5 – однолетняя зелень, реконструкция; 6 – многолетняя зелень, реконструкция; 7 – сеяная однолетняя трава на зелёный корм, реконструкция; 8 – осадки

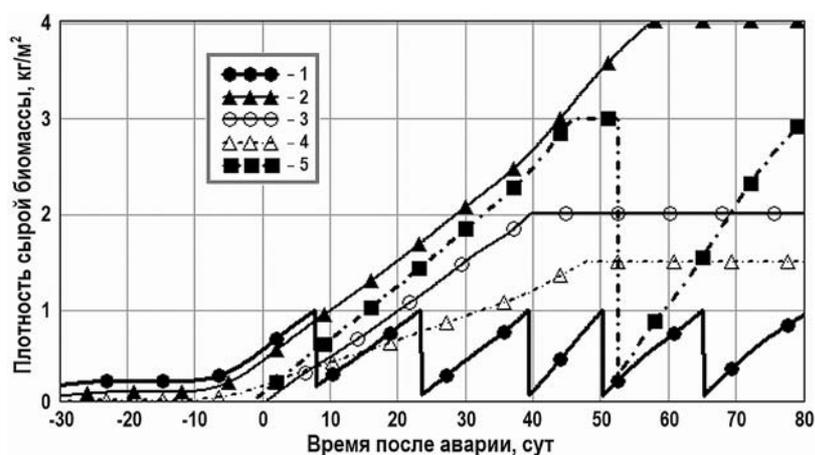


Рис. 4. Рост сырой биомассы в Мазовии: 1 – многолетняя газонная трава; 2 – трава культурных пастбищ; 3 – однолетняя зелень; 4 – многолетняя зелень; 5 – сеяная однолетняя трава на зелёный корм

Таблица 2

**Зависимость максимальных величин реконструированных инструментальных данных активностей  $^{131}\text{I}$  в травяной растительности разных видов от их биомассы на время начала выпадений**

| Тип травы                  | Биомасса на время начала выпадений, $\text{кг}/\text{м}^2$ | Максимум активности, $\text{кБк}/\text{кг}$ / ( $\text{кБк}/\text{м}^3$ ) |                     |
|----------------------------|--|---|---------------------|
|                            |  | за время измерений  | абсолютные величины |
| Многолетняя зелень         | 0,21   | 46,68   | 53,88               |
| Однолетняя зелень          | 0,26   | 46,57   | 53,73               |
| Трава на зелёный корм      | 0,39   | 42,99   | 52,70               |
| Трава пастбищ              | 0,72   | 39,06   | 44,91               |
| Многолетняя газонная трава | 0,83   | 37,35   | 46,43               |

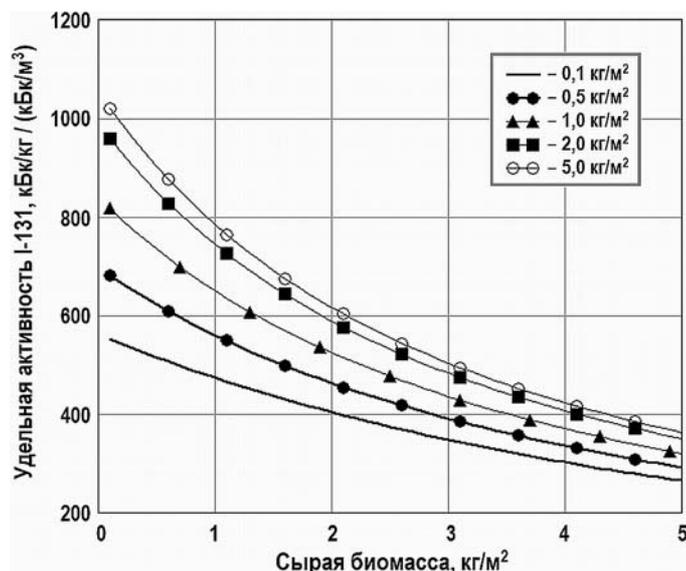


Рис. 5. Зависимость удельной активности  $^{131}\text{I}$  в травяной растительности от ее сырой биомассы, нормированная на единичную удельную объемную активность  $^{131}\text{I}$  в атмосфере

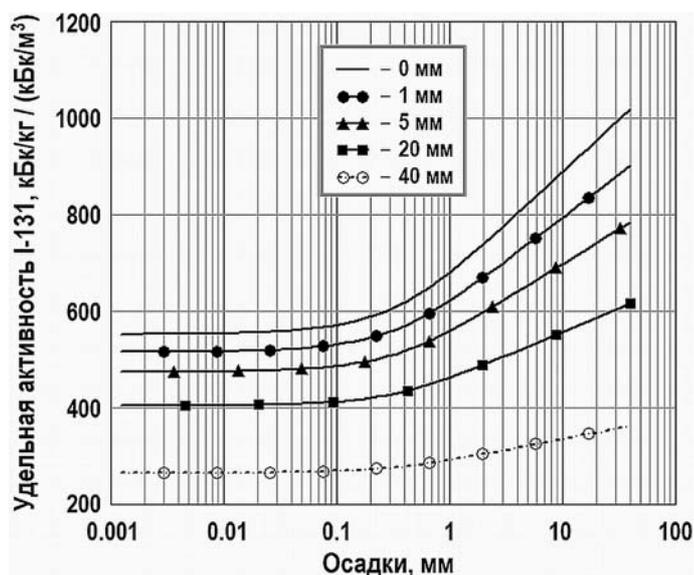


Рис. 6. Зависимость удельной активности  $^{131}\text{I}$  в травяной растительности от осадков в период основных выпадений (2,4 – 4,6 сут после аварии), нормированная на единичную удельную объемную активность  $^{131}\text{I}$  в атмосфере

Результаты расчетов показывают, что скашивание газонной травы приводило к увеличению скорости нарастания ее чистой биомассы. За счет этого скорость уменьшения ее активности была существенно больше, чем у травы пастбищ, причем она увеличивалась с ростом частоты укосов. Активность растительности без укосов убывала со временем только за счет радиоактивного распада  $^{131}\text{I}$ , ветра, осадков после окончания выпадений и естественного прироста чистой биомассы.

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Предложен и реализован метод пересчета фактических инструментальных данных удельной активности радионуклидов в растительности одного вида к реконструированным инструментальным данным для растительности других видов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный и реализованный метод пересчета инструментальных данных активностей радионуклидов в травяной растительности одного вида к растительности кормовых и продовольственных культур других видов может быть использован для корректировки динамики поступления радионуклидов в организм человека с растительным компонентом его рациона, активностей радионуклидов в молоке и далее по цепочке поступления их в организм человека с молочным компонентом.

Статистические параметры отношений расчетных данных на время измерений ко всей серии инструментальных данных могут быть использованы для оценок неопределенностей радиоэкологической модели в целом.

## Литература

1. Власов О.К., Краевский П., Бартускова М., Малатова И., Щукина Н.В., Чекин С.Ю., Туманов К.А., Звонова И.А. Создание и верификация взаимосогласованной базы входной информации имитационной модели транспорта радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{131}\text{I}$  по пищевой цепочке на инструментальных радиоэкологических данных (по материалам «Пражского» и «Варшавского» сценариев проекта МАГАТЭ EMRAS). // Радиация и риск. – 2019. – Т. 28. – № 3. – С. 5-23. DOI: <https://doi.org/0131-3878-2019-28-3-5-23>.
2. Environmental Modeling for Radiation Safety (EMRAS): a summary report of the results of the EMRAS programme (2003–2007). IAEA-TECDOC-1678. – Vienna: IAEA, 2012. – 60 p.
3. Krajewski P., Ammann M., Bartuskova M., Duffa C., Filistovic V., Homma T., Kanyar B., Malatova I., Nedveckaite T., Simon S., Vlasov O., Webbe-Wood D., Zvonova I. Validation of environmental transfer models and assessment of the effectiveness of countermeasures using data on  $^{131}\text{I}$  releases from Chernobyl. // Appl. Radiat. Isot. – 2008. – Vol. 66. – No. 11. – PP. 1730-1735. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2007.11.022>.
4. Bartuskova M., Malatova I., Berkovsky V., Krajewski P., Ammann M., Filistovic V., Homma T., Horyna J., Kanyar B., Nedveckaite T., Vlasov O., Zvonova I. Radioecological assessments of the Iodine working group of IAEA's EMRAS programme: Presentation of input data and analysis of results of the Prague scenario. // Radioprotection. – 2009. – Vol. 44. – No. 5. – PP. 295-300. DOI: <https://doi.org/10.1051/radiopro/20095057>.
5. Zvonova I., Krajewski P., Berkovsky V., Ammann M., Duffa C., Filistovic V., Homma T., Kanyar B., Nedveckaite T., Simon S.L., Vlasov O., Webbe-Wood D. Validation of  $^{131}\text{I}$  ecological transfer models and thyroid dose assessments using Chernobyl fallout data from the Plavsk district, Russia. // J. Environ. Radioact. – 2010. – Vol. 101. – No. 1. – PP. 8-15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2009.08.005>.
6. Власов О.К., Краевский П., Звонова И.А., Бартускова М., Малатова И., Щукина Н.В., Чекин С.Ю., Туманов К.А. Верификация радиоэкологической модели на инструментальных данных удельной активности  $^{131}\text{I}$  в траве в Мазовии и Богемии после аварии на ЧАЭС (по материалам «Пражского» и «Варшавского» сценариев проекта МАГАТЭ EMRAS). // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12. – № 4. – С. 6-17. DOI: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-4-6-17>.
7. Власов О.К. Радиоэкологическая модель транспорта радионуклидов йода и цезия по пищевым цепочкам после радиационных аварий с выбросом в атмосферу для исследований закономерностей формирования доз внутреннего облучения населения. Часть 1. Описание, постановка и свойства агроклиматического блока модели. // Радиация и риск. – 2013. – Т. 22. – № 2. – С. 16-34.

Поступила в редакцию 09.09.2020 г.

## Авторы

**Власов Олег Константинович**, заведующий лабораторией, д-р техн. наук  
E-mail: [voleg2003@yahoo.com](mailto:voleg2003@yahoo.com), [vlasov@nrer.ru](mailto:vlasov@nrer.ru)

**Звонова Ирина Александровна**, главный научный сотрудник, д-р техн. наук  
E-mail: [iz\\_zv@bk.ru](mailto:iz_zv@bk.ru)

Краевский Павел, директор, профессор  
E-mail: krajewski@clor.waw.pl

Щукина Наталия Владиленовна, старший научный сотрудник  
E-mail: shchukina@nrer.ru

Чекин Сергей Юрьевич, заведующий лабораторией  
E-mail: chekin@nrer.ru

Туманов Константин Александрович, заведующий лабораторией, канд. биол. Наук  
E-mail: tumanov@nrer.ru

UDC 546.15 (438+437):621.039.586(477.41)

## **RADIOECOLOGICAL SIMULATION OF THE $^{131}\text{I}$ ACTIVITY DYNAMICS IN DIFFERENT TYPES OF GRASS VEGETATION IN THE CHERNOBYL ACCIDENT YEAR**

Vlasov O.K. \*, Zvonova I.A. \*\*, Krajewski P. \*\*\*, Schukina N.V. \*, Chekin S.Yu. \*, Tumanov K.A. \*

\* A. Tsyb Medical Radiation Research Center  
4 Koroleva Str., 249035 Obninsk, Kaluga Reg., Russia

\*\* P. Ramzaev Research Institute of Radiation Hygiene  
8 Mira Str., 197101 Saint-Petersburg, Russia

\*\*\* Central Laboratory for Radiological Protection (CLOR)  
Warsaw, Poland

### ABSTRACT

The dynamics of the grass fodder and food crop crude biomass in Mazovia in the year of the Chernobyl disaster has been calculated. Densities of the  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{131}\text{I}$  fallout on soil and grass have been studied as a function of rainfall and biomass density as of the time most of the fallout took place. A method is described to convert the instrumental data for the radionuclide activity dynamics in vegetation of one type to vegetation of other types. The results of such data conversion from lawn grass to other types of food and fodder grass vegetation are presented. A method is described for adjusting the dynamics of the radionuclide transport through the food chain components (pasture grass, green meat – milk – human body) by normalizing successively the estimated data in every next component for the average value of the instrumental data ratio to the estimated data in the previous component. The proposed methods are intended to form a mutually consistent base of estimated and reconstructed instrumental data:  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{131}\text{I}$  activity in the atmosphere – rainfall –  $^{137}\text{Cs}$  fallout density on terrain – specific activity of  $^{131}\text{I}$  in vegetation. Such radioecological database will provide for a longer reliability of the estimated  $^{131}\text{I}$  specific activity dynamics in milk and in human body and, in the long run, in estimating the thyroid internal exposure doses.

**Key words:** agro-radioecological model, Chernobyl accident, IAEA's EMRAS project, 'Warsaw' scenario, instrumental data, estimated data, mutually consistent database, atmosphere, rainfall,  $^{137}\text{Cs}$  fallout,  $^{131}\text{I}$  in vegetation.

REFERENCES

1. Vlasov O. K., Krajewski P., Bartuskova M., Malatova I., Shchukina N. V., Chekin S. Yu., Tumanov K. A., Zvonova I. A. The creation and verification of a mutually agreed database of input information of the simulation model of transport of radionuclides  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{131}\text{I}$  along the food chain on instrumental radioecological data (based on the materials of the «Prague» and «Warsaw» scenarios of the IAEA EMRAS project). *Radiatsiya i Risk*. 2019, v. 28, no. 3, pp. 5-23; DOI: <https://doi.org/0131-3878-2019-28-3-5-23> (in Russian).
2. Environmental Modelling for Radiation Safety (EMRAS): a summary report of the results of the EMRAS programme (2003–2007). IAEA-TECDOC-1678. Vienna. IAEA, 2012. 60 p.
3. Krajewski P., Ammann M., Bartuskova M., Duffa C., Filistovic V., Homma T., Kanyar B., Malatova I., Nedveckaite T., Simon S., Vlasov O., Webbe-Wood D., Zvonova I. Validation of environmental transfer models and assessment of the effectiveness of countermeasures using data on  $^{131}\text{I}$  releases from Chernobyl. *Appl. Radiat. Isot.* 2008, v. 66, no. 11, pp. 1730-1735; DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2007.11.022>.
4. Bartuskova M., Malatova I., Berkovskyy V., Krajewski P., Ammann M., Filistovic V., Homma T., Horyna J., Kanyar B., Nedveckaite T., Vlasov O., Zvonova I. Radioecological assessments of the Iodine working group of IAEA's EMRAS programme: Presentation of input data and analysis of results of the Prague scenario. *Radioprotection*. 2009, v. 44, no. 5, pp. 295-300. DOI: <https://doi.org/10.1051/radiopro/20095057>.
5. Zvonova I., Krajewski P., Berkovsky V., Ammann M., Duffa C., Filistovic V., Homma T., Kanyar B., Nedveckaite T., Simon S. L., Vlasov O., Webbe-Wood D. Validation of  $^{131}\text{I}$  ecological transfer models and thyroid dose assessments using Chernobyl fallout data from the Plavsk district, Russia. *J. Environ. Radioact.* 2010, v. 101, no. 1, pp. 8-15; DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2009.08.005>.
6. Vlasov O. K., Krajewski P., Zvonova I. A., Malatova I., Bartuskova M., Schukina N. V., Chekin S. Yu., Tumanov K. A. Verification of radioecological models to the instrumental data of the specific activity  $^{131}\text{I}$  in a grass in Mazovia and Bohemia after the Chernobyl accident (from «Prague» and «Warsaw» scenarios of the IAEA project EMRAS). *Radiacionnaya Gigiena*. 2019, v. 12, no. 4, pp. 6-17; DOI: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-4-6-17> (in Russian).
7. Vlasov O. K. Radioecological model for transport of radioiodine and radiocesium in the food chains after radiological accidents and discharge of radioactive substances to atmosphere for study of mechanism of formation of internal radiation doses to population. Part 1. Description, formulation and properties of agroclimatic model. *Radiatsiya i Risk*. 2013, v. 22, no. 2, pp. 16-34 (in Russian).

**Authors**

Vlasov Oleg Konstantinovich, Head of Laboratory, Dr. Sci. (Engineering)

E-mail: [voleg2003@yahoo.com](mailto:voleg2003@yahoo.com); [vlasov@nrer.ru](mailto:vlasov@nrer.ru)

Zvonova Irina Aleksandrovna, Chief Researcher, Dr. Sci. (Engineering)

E-mail: [iz\\_zv@bk.ru](mailto:iz_zv@bk.ru)

Krajewski Pavel, Director, Professor

E-mail: [krajewski@clor.waw.pl](mailto:krajewski@clor.waw.pl)

Shchukina Nataliya Vladilenovna, Senior Researcher

E-mail: [shchukina@nrer.ru](mailto:shchukina@nrer.ru)

Chekin Sergey Yurievich, Head of Laboratory

E-mail: [chekin@nrer.ru](mailto:chekin@nrer.ru)

Tumanov Konstantin Aleksandrovich, Head of Laboratory, Cand. Sci. (Biology)

E-mail: [tumanov@nrer.ru](mailto:tumanov@nrer.ru)