DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-4-17-30
УДК: 546.798.23:546.36:614.876(476.2)

# $^{241}$Am и $^{137}$Cs на территории Хойникского района Беларуси: оценка радиоэкологической обстановки на современном этапе ситуации существующего облучения

**Е.К. Нилова[1], В.Н. Бортновский[2], С.А. Тагай[3], Н.В. Дударева[3], А.Н. Никитин[3]**

[1] Центр по ядерной и радиационной безопасности, Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, Минск, Беларусь
[2] Гомельский государственный медицинский университет, Гомель, Беларусь
[3] Институт радиобиологии, Национальная академия наук Беларуси, Гомель, Беларусь

*В статье представлены результаты исследований Хойникского сегмента из цикла работ по оценке современных уровней содержания $^{241}$Am и $^{137}$Cs в почве и продуктах питания местного производства, а также доз внутреннего облучения населения территории Гомельской области Беларуси, прилегающей к зоне отселения Чернобыльской АЭС. Целью исследований данной работы являлась консервативная оценка ожидаемой годовой дозы внутреннего облучения от $^{241}$Am и $^{137}$Cs, поступающих в организм с вдыхаемым воздухом и продуктами питания, для жителей 96 подворий в 30 населенных пунктах частного сектора Хойникского района Гомельской области. Приведены результаты измерений современных уровней содержания $^{241}$Am и $^{137}$Cs в почве и продуктах питания, произведенных на частных подворьях данного региона. Определение $^{241}$Am в продуктах выполнялось радиохимическим методом с использованием селективных экстракционно-хроматографических смол и альфа-спектрометрического измерения. Определение $^{241}$Am в почве и $^{137}$Cs в почве и продуктах выполнялось гамма-спектрометрическим методом. Значение плотности современного загрязнения почвы $^{241}$Am на территории обследованных пунктов Хойникского района не превышает 4 кБк/м$^2$, при этом плотность загрязнения $^{137}$Cs на 1–2 числовых порядка величины выше и варьирует в диапазоне от 30 до 500 кБк/м$^2$. Удельная активность почвы $^{241}$Am не превышает 10 Бк/кг в большинстве населенных пунктов, за исключением 3 пунктов, где содержание $^{241}$Am в почве составляет от 14,1 до 16,1 Бк/кг. Диапазон МАЭД на территории подворий находится в пределах от 0,05 до 0,38 мкЗв/ч, среднее значение 0,15 мкЗв/ч. Превышений установленных нормативных требований по содержанию $^{137}$Cs в картофеле, овощах (включая корнеплоды) и зерне – 80, 100 и 90 Бк/кг соответственно – не установлено. Содержание $^{241}$Am в основных компонентах рациона, производимых в частном секторе Хойникского района, варьирует от единиц до десятков мБк/кг, что на 3 порядка величины ниже удельной активности $^{137}$Cs. В структуре ожидаемой дозы внутреннего облучения населения от $^{241}$Am преобладает ингаляционная составляющая (0,006–0,038 мЗв/год), которая более чем на порядок величины превышает дозу облучения от поступления данного радиоизотопа пероральным путем. При выполнении полевых работ на приусадебных участках наблюдаемые уровни содержания $^{241}$Am в почве могут обусловить 85–98% дозы внутреннего облучения жителей за счет ингаляционного поступления суммы $^{241}$Am и $^{137}$Cs. В 6 из 30 обследованных пунктов максимальная ожидаемая доза внутреннего облучения от $^{137}$Cs для жителей превышает 1 мЗв/год. В то же время ожидаемая доза внутреннего облучения от $^{241}$Am не превышает 0,04 мЗв/год. Формирование дозы внутреннего облучения населения Хойникского района преимущественно обусловлено поступлением $^{137}$Cs пероральным путем.*

**Ключевые слова:** *$^{241}$Am, $^{137}$Cs, плотность загрязнения почвы, удельная активность, население, продукты питания, ингаляционное поступление, доза внутреннего облучения.*

## Введение

Состав и динамика аварийного выброса радиоактивных веществ, выброшенных в окружающую среду в результате взрыва на 4-м энергоблоке Чернобыльской АЭС, а также особенности метеорологических условий в период 26 апреля – 10 мая 1986 г. обусловили сложный характер загрязнения. Долговременному радиоактивному загрязнению подверглись территории двух десятков европейских государств площадью более 200 тысяч км$^2$, из них около 140 тысяч км$^2$ пришлось на территории Беларуси, России и Украины [1]. Законодательством ряда стран в качестве критерия для отнесения террито-

**Тагай Светлана Алексеевна**
Институт радиобиологии
**Адрес для переписки:** 246000, Гомель, ул. Федюнинского, д. 16; E-mail: lanabuz@tut.by

рии к зоне радиоактивного загрязнения установлено значение величины плотности загрязнения $^{137}Cs$ – 1 Ки/км$^2$ (37 кБк/м$^2$), что приблизительно в десять раз выше значений таковой величины, обусловленных глобальными радиоактивными выпадениями от испытаний ядерного оружия. Загрязнение территории Беларуси $^{137}Cs$ «чернобыльского» происхождения составило 23% общей площади страны, Украины – 7%, России – 1,5% территории ее европейской части. Около 35% выпадений радиоцезия на европейском континенте приходится на территорию Беларуси, поэтому последствия Чернобыля для Республики Беларусь были определены как национальное экологическое бедствие [2, 3].

В эколого-медицинском плане чернобыльская катастрофа с полным основанием признана исключительно тяжелой для жителей села и агропромышленного комплекса. На загрязненных радионуклидами территориях агропромышленное производство являлось важнейшим сегментом экономики, а основным контингентом населения в зоне аварии являлись сельские жители («сельский» тип питания) [4]. В этой связи в ситуации аварийного облучения сельскохозяйственная продукция, загрязненная техногенными радионуклидами, была одним из ведущих, а в некоторых случаях доминирующим источником облучения населения.

На территории Республики Беларусь радиоактивному загрязнению $^{137}Cs$ в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС подверглось более 1,8 млн га (или 21%) сельскохозяйственных земель. Из них 265 тыс. га (около 15%) были выведены из хозяйственного оборота в 1986 г. Перечень населенных пунктов, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения, пересматривается и корректируется, согласно законодательству, один раз в 5 лет в зависимости от значений параметров, характеризующих радиационную обстановку. Так, на 01.01.2020 г. площадь территории радиоактивного загрязнения Беларуси $^{137}Cs$ вследствие его радиоактивного распада уменьшилась в 1,7 раза и составила 13,4% общей площади республики. Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 08.02.2021 г. № 75 утверждена новая редакция Перечня населенных пунктов и объектов, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения. По состоянию на начало 2021 г. в зонах загрязнения располагается 2022 населенных пункта (н.п.), в которых проживает около 1 млн человек. С учетом удельного веса загрязненных территорий, коллективной дозы облучения и потерь сельскохозяйственных земель в результате радиоактивного загрязнения к наиболее пострадавшим отнесен 21 район республики, из них 13 районов в Гомельской области [https://chernobyl.mchs.gov.by/novosti/339812/].

Наибольшими уровнями радиоактивного загрязнения, в том числе изотопами трансурановых элементов (ТУЭ) – $^{238,239,240,241}Pu$ и $^{241}Am$, характеризуется территория южных районов Гомельской области Республики Беларусь – Брагинского, Хойникского и Наровлянского, непосредственно прилегающих к зоне отселения ЧАЭС [5].

Согласно оценкам доклада Генассамблеи Научного комитета ООН по действию атомной радиации, максимальная общая активность $^{241}Am$ в окружающей среде ожидается к 2058 г. и будет составлять 0,077 ПБк, что в 2 раза превысит количество $^{238}Pu$, $^{239}Pu$ и $^{240}Pu$, вместе взятых, в это же время [6].

Учитывая вышеизложенное, на данный период в ситуации существующего облучения, принимая во внимание увеличение $^{241}Am$ посредством естественного распада $^{241}Pu$ ($T_{1/2}$ = 14,3 лет), важным является уточнение содержания данного радиоизотопа при сопоставлении с $^{137}Cs$ в почве и продуктах питания, а также последующая оценка вклада каждого из радионуклидов в дозы облучения населения, проживающего на территории радиоактивного загрязнения. В первой части выполненного цикла работ [7, 8] приведены результаты исследований указанных характеристик в населенных пунктах Брагинского района Гомельской области Беларуси, прилегающих к землям отселения ЧАЭС. Оценке данных параметров в н.п. Хойникского района посвящена настоящая статья.

**Цель исследования** – выполнить оценку доз внутреннего облучения $^{241}Am$ и $^{137}Cs$ жителей населенных пунктов на территории Хойникского района Гомельской области Беларуси.

### Задачи исследования

1. Провести сравнительный анализ уровней содержания $^{241}Am$ и $^{137}Cs$ в почве и продуктах питания местного производства на территории Хойникского района.

2. Оценить вклад $^{241}Am$ и $^{137}Cs$ в дозы внутреннего облучения населения, проживающего на территории частного сектора Хойникского района.

### Материалы и методы

На территории 96 частных подворий в 30 населенных пунктах Хойникского района Гомельской области Беларуси в 2018 г. был проведен отбор проб почвы и продуктов питания местного производства (табл. 1–3). Отбор почвенных образцов выполнялся с применением методов и средств [9], описанных в работах [7, 8], и сопровождал-

*Таблица 1*

**Содержание $^{241}Am$ в почве подворий населенных пунктов Хойникского района Гомельской области, обследованных в 2018 г.**

*[Table 1*

**$^{241}Am$ content in the soil of the farmsteads of the Khoiniki district villages surveyed in the Gomel region in 2018]**

| № | Населенный пункт [Village] | Количество проб (n) [Number of samples] | $^{241}Am$ | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $A_{сред}$ [$A_{aver}$] | | $A_{мин}$ [$A_{min}$] | | $A_{макс}$ [$A_{max}$] | | Расстояние до ЧАЭС, км [Distance to the Chernobyl NPP, km] |
| | | | Бк/кг [Bq/kg] | кБк/м$^2$ [kBq/m$^2$] | Бк/кг [Bq/kg] | кБк/м$^2$ [kBq/m$^2$] | Бк/кг [Bq/kg] | кБк/м$^2$ [kBq/m$^2$] | |
| 1 | Гречихино [Grechikhino] | 3 | 4,7 | 0,9 | 3,1 | 0,7 | 6,3 | 1,2 | 65 |

*Продолжение таблицы 1*

| № | Населенный пункт [Village] | Количество проб (n) [Number of samples] | $^{241}$Am | | | | | | Расстояние до ЧАЭС, км [Distance to the Chernobyl NPP, km] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $A_{сред}$ [$A_{aver}$] | | $A_{мин}$ [$A_{min}$] | | $A_{макс}$ [$A_{max}$] | | |
| | | | Бк/кг [Bq/kg] | кБк/м$^2$ [kBq/m$^2$] | Бк/кг [Bq/kg] | кБк/м$^2$ [kBq/m$^2$] | Бк/кг [Bq/kg] | кБк/м$^2$ [kBq/m$^2$] | |
| 4 | Моклище [Moklishche] | 1 | 3,1 | 0,7 | | | | | 73 |
| 5 | Рабец [Rabets] | 3 | 5,0 | 1,1 | 2,4 | 0,5 | 6,4 | 1,5 | 64 |
| 6 | Слобожанка [Slobozhanka] | 5 | 6,0 | 1,4 | 4,7 | 1,0 | 7,3 | 1,7 | 64 |
| 7 | Храпково [Khrapkovo] | 5 | 3,7 | 0,9 | 2,3 | 0,6 | 7,3 | 1,4 | 56 |
| 8 | Дубровица [Dubrovitsa] | 3 | 2,0 | 0,5 | 1,8 | 0,4 | 2,6 | 0,7 | 74 |
| 9 | Велетин [Veletin] | 3 | 1,6 | 0,4 | 1,0 | 0,2 | 2,3 | 0,7 | 54 |
| 10 | Звеняцкое [Zvenyatskoe] | 3 | 4,4 | 1,0 | 3,0 | 0,6 | 7,2 | 1,9 | 49 |
| 11 | Корчевое [Korchevoe] | 3 | 1,8 | 0,5 | 1,4 | 0,4 | 2,7 | 0,7 | 59 |
| 12 | Листвин [Listvin Listvin] | 4 | 3,3 | 0,6 | 1,6 | 0,3 | 5,0 | 0,8 | 52 |
| 13 | Мархлевск [Markhlevsk] | 3 | 3,8 | 0,7 | <1,8 | <0,4 | 3,9 | 0,8 | 53 |
| 14 | Петраш [Petrash] | 1 | 4,6 | 0,9 | | | | | 50 |
| 15 | Поселичи [Poselichi] | 4 | 2,9 | 0,5 | <1,4 | <0,3 | 4,8 | 0,9 | 53 |
| 16 | Пудаков [Pudakov] | 3 | 3,3 | 0,9 | 1,3 | 0,3 | 6,8 | 1,8 | 53 |
| 17 | Высокое [Vysokoye] | 2 | 3,7 | 0,8 | 3,6 | 0,7 | 3,8 | 0,9 | 49 |
| 18 | Губаревичи [Gubarevichi] | 2 | 4,7 | 1,1 | 4,5 | 1,0 | 4,9 | 1,1 | 49 |
| 19 | Ивановка [Ivanovka] | 2 | 14,7 | 3,6 | 14,2 | 3,3 | 15,2 | 4,0 | 48 |
| 20 | Рудаков [Rudakov] | 2 | 3,0 | 0,7 | 1,9 | 0,4 | 4,0 | 0,9 | 47 |
| 21 | Стреличево [Strelichevo] | 7 | 3,7 | 0,9 | 1,3 | 0,3 | 6,3 | 1,5 | 50 |
| 22 | Дворище [Dvoryshche] | 5 | 5,2 | 1,2 | 2,3 | 0,7 | 7,0 | 1,5 | 53 |
| 23 | Новоселки [Novoselki] | 5 | 7,6 | 2,1 | 1,7 | 0,5 | 14,1 | 4,0 | 50 |
| 24 | Пикулиха [Piculiha] | 1 | 7,7 | 2,0 | | | | | 50 |
| 25 | Судково [Sudkovo] | 4 | 5,7 | 1,3 | 3,8 | 0,9 | 9,0 | 1,7 | 56 |
| 26 | Тульговичи Tulgovichi [] | 2 | 4,2 | 1,0 | 2,8 | 0,6 | 5,5 | 1,2 | 53 |
| 27 | Вить [Vit] | 5 | 8,0 | 1,7 | 2,7 | 0,7 | 16,1 | 2,9 | 60 |
| 28 | Езапов [Ezapov] | 3 | 4,9 | 1,2 | 3,2 | 0,8 | 6,9 | 1,4 | 55 |

*Окончание таблицы 1*

| № | Населенный пункт [Village] | Количество проб (n) [Number of samples] | $^{241}$Am | | | | | | Расстояние до ЧАЭС, км [Distance to the Chernobyl NPP, km] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $A_{сред}$ [$A_{aver}$] | | $A_{мин}$ [$A_{min}$] | | $A_{макс}$ [$A_{max}$] | | |
| | | | Бк/кг [Bq/kg] | кБк/м$^2$ [kBq/m$^2$] | Бк/кг [Bq/kg] | кБк/м$^2$ [kBq/m$^2$] | Бк/кг [Bq/kg] | кБк/м$^2$ [kBq/m$^2$] | |
| 29 | Борисовщина [Borisovshchina] | 5 | 5,2 | 1,4 | 3,0 | 0,8 | 8,3 | 1,9 | 58 |
| 30 | Поташня [Potashnya] | 2 | 4,0 | 1,0 | 3,5 | 0,9 | 4,5 | 1,1 | 60 |

*Таблица 2*

**Содержание $^{137}$Cs в почве и мощность амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) на подворьях населенных пунктов Хойникского района Гомельской области, обследованных в 2018 г.**

*[Table 2*

**$^{137}$Cs content in the soil and ambient dose equivalent rate (ADER) in farmsteads of the Khoiniki district villages surveyed in the Gomel region in 2018]**

| № | Населенный пункт [Village] | Количество проб (n) [Number of samples] | МАЭД [ADER] | | | $^{137}$Cs | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | сред [aver] | мин [min] | макс [max] | $A_{сред}$ [$A_{aver}$] | | $A_{мин}$ [$A_{min}$] | | $A_{макс}$ [$A_{max}$] | |
| | | | мкЗв/ч [μSv/h] | | | Бк/кг Bq/kg | кБк/м$^2$ kBq/m$^2$ | Бк/кг Bq/kg | кБк/м$^2$ kBq/m$^2$ | Бк/кг Bq/kg | кБк/м$^2$ kBq/m$^2$ |
| 1 | Гречихино [Grechikhino] | 3 | 0,09 | 0,08 | 0,10 | 273 | 53 | 142 | 31 | 316 | 59 |
| 2 | Дуброва [Dubrova] | 3 | 0,11 | 0,10 | 0,12 | 390 | 88 | 307 | 70 | 483 | 102 |
| 3 | Кореневка [Korenevka] | 2 | 0,09 | 0,08 | 0,09 | 281 | 60 | 271 | 61 | 290 | 59 |
| 4 | Моклище [Moklishche] | 1 | 0,07 | | | 243 | 56 | | | | |
| 5 | Рабец [Rabets] | 3 | 0,11 | 0,10 | 0,13 | 434 | 95 | 249 | 48 | 570 | 131 |
| 6 | Слобожанка [Slobozhanka] | 5 | 0,09 | 0,08 | 0,10 | 332 | 76 | 286 | 60 | 376 | 88 |
| 7 | Храпково [Khrapkovo] | 5 | 0,11 | 0,08 | 0,13 | 434 | 104 | 272 | 71 | 665 | 128 |
| 8 | Дубровица [Dubrovitsa] | 3 | 0,11 | 0,10 | 0,12 | 400 | 90 | 148 | 34 | 578 | 111 |
| 9 | Велетин [Veletin] | 3 | 0,10 | 0,08 | 0,13 | 368 | 95 | 198 | 56 | 590 | 140 |
| 10 | Звеняцкое [Zvenyatskoe] | 3 | 0,18 | 0,17 | 0,18 | 851 | 188 | 820 | 170 | 899 | 179 |
| 11 | Корчевое [Korchevoe] | 3 | 0,06 | 0,05 | 0,06 | 187 | 48 | 156 | 43 | 211 | 52 |
| 12 | Листвин [Listvin Listvin] | 4 | 0,34 | 0,29 | 0,38 | 2044 | 392 | 1696 | 350 | 2565 | 434 |
| 13 | Мархлевск [Markhlevsk] | 3 | 0,26 | 0,25 | 0,36 | 1945 | 394 | 1521 | 344 | 2316 | 464 |
| 14 | Петраш [Petrash] | 1 | 0,34 | | | 2077 | 390 | | | | |
| 15 | Поселичи [Poselichi] | 4 | 0,17 | 0,15 | 0,21 | 997 | 209 | 825 | 193 | 1212 | 239 |
| 16 | Пудаков [Pudakov] | 3 | 0,22 | 0,17 | 0,28 | 1344 | 352 | 905 | 215 | 1858 | 498 |
| 17 | Высокое [Vysokoye] | 2 | 0,16 | 0,15 | 0,16 | 778 | 170 | 758 | 176 | 798 | 164 |

*Окончание таблицы 2*

| № | Населенный пункт [Village] | Количество проб (n) [Number of samples] | МАЭД [ADER] | | | $^{137}$Cs | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | сред [aver] | мин [min] | макс [max] | $A_{сред}$ [$A_{aver}$] | | $A_{мин}$ [$A_{min}$] | | $A_{макс}$ [$A_{max}$] | |
| | | | мкЗв/ч [μSv/h] | | | Бк/кг Bq/kg | кБк/м$^2$ kBq/m$^2$ | Бк/кг Bq/kg | кБк/м$^2$ kBq/m$^2$ | Бк/кг Bq/kg | кБк/м$^2$ kBq/m$^2$ |
| 18 | Губаревичи [Gubarevichi] | 2 | 0,16 | 0,14 | 0,15 | 821 | 187 | 804 | 186 | 837 | 187 |
| 19 | Ивановка [Ivanovka] | 2 | 0,24 | 0,23 | 0,24 | 1537 | 378 | 1405 | 322 | 1669 | 434 |
| 20 | Рудаков [Rudakov] | 2 | 0,17 | 0,16 | 0,18 | 748 | 169 | 727 | 171 | 768 | 166 |
| 21 | Стреличево [Strelichevo] | 7 | 0,16 | 0,10 | 0,17 | 695 | 169 | 415 | 94 | 1051 | 270 |
| 22 | Дворище [Dvoryshche] | 5 | 0,16 | 0,13 | 0,2 | 794 | 199 | 696 | 160 | 1065 | 268 |
| 23 | Новоселки [Novoselki] | 5 | 0,18 | 0,13 | 0,25 | 978 | 260 | 489 | 134 | 1316 | 374 |
| 24 | Пикулиха [Piculiha] | 1 | 0,17 | | | 669 | 171 | | | | |
| 25 | Судково [Sudkovo] | 4 | 0,11 | 0,10 | 0,13 | 475 | 106 | 369 | 86 | 742 | 142 |
| 26 | Тульговичи [Tulgovichi] | 2 | 0,29 | 0,28 | 0,29 | 1901 | 403 | 2006 | 426 | 1796 | 381 |
| 27 | Вить [Vit] | 5 | 0,10 | 0,10 | 0,11 | 484 | 103 | 284 | 73 | 894 | 158 |
| 28 | Езапов [Ezapov] | 3 | 0,12 | 0,11 | 0,12 | 513 | 128 | 405 | 102 | 598 | 123 |
| 29 | Борисовщина [Borisovshchina] | 5 | 0,12 | 0,10 | 0,12 | 497 | 135 | 343 | 93 | 620 | 143 |
| 30 | Поташня [Potashnya] | 2 | 0,10 | 0,10 | 0,11 | 310 | 78 | 226 | 54 | 394 | 101 |

*Таблица 3*

**Содержание $^{241}$Am и $^{137}$Cs в продуктах питания с частных подворий Хойникского района Гомельской области**

*[Table 3*

**$^{241}$Am and $^{137}$Cs contents in food products from private farmsteads of the Khoiniki district of the Gomel region]**

| Населенный пункт [Village] | Продукт [foodstuffs] | $^{137}$Cs* | $^{241}$Am* | $^{137}$Cs КН** | $^{241}$Am КН** |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Бк/кг [Bq/kg] | мБк/кг [mBq/kg] | [$^{137}$Cs $F_v$] | [$^{241}$Am $F_v$] |
| Вить [Vit] | Картофель [Potatoes] | <1,0 | 1,3±0,3 | <0,0103 | 0,0007 |
| | Морковь [Carrot] | 2,4±0,3 | 5,6±1,1 | 0,0329 | 0,0041 |
| | Свекла [Beet] | 1,4±0,6 | 7,3±1,3 | 0,0192 | 0,0054 |
| | Листовой салат [Leaf salad] | 2,2±0,8 | 8,1±2,0 | 0,0694 | 0,0147 |
| | Перо лука [Onion feather] | 1,5±1,0 | 7,6±1,7 | 0,0473 | 0,0138 |

*Окончание таблицы 3*

| Населенный пункт [Village] | Продукт [foodstuffs] | $^{137}$Cs* Бк/кг [Bq/kg] | $^{241}$Am* мБк/кг [mBq/kg] | $^{137}$Cs КН** [$^{137}$Cs $F_v$] | $^{241}$Am КН** [$^{241}$Am $F_v$] |
|---|---|---|---|---|---|
| Стреличево [Strelichevo] | Картофель [Potatoes] | 2,8±0,8 | 1,5±0,3 | 0,0192 | 0,0012 |
| | Морковь [Carrot] | 2,8±0,9 | 2,1±0,6 | 0,0256 | 0,0022 |
| | Свекла [Beet] | 2,0±0,6 | 56,8±7,8 | 0,0183 | 0,0601 |
| | Листовой салат [Leaf salad] | 1,3±0,7 | 1,8±0,4 | 0,0285 | 0,0069 |
| | Перо лука [Onion feather] | 1,2±1,1 | 1,7±0,4 | 0,0263 | 0,0065 |
| Тульговичи [Tulgovichi] | Картофель [Potatoes] | 11,2±1,8 | 2,2±0,5 | 0,0279 | 0,0020 |
| | Морковь [Carrot] | 14,9±2,2 | 5,1±1,0 | 0,0495 | 0,0062 |
| | Свекла [Beet] | 2,7±0,8 | 5,8±1,1 | 0,0090 | 0,0070 |
| | Листовой салат [Leaf salad] | 1,9±1,0 | 3,5±0,7 | 0,0106 | 0,0125 |
| | Перо лука [Onion feather] | 1,7±1,0 | 2,8±0,8 | 0,0095 | 0,0100 |
| Звеняцкое [Zvenyatskoe] | Картофель [Potatoes] | 1,5±0,5 | 1,6±0,4 | 0,0090 | 0,0011 |
| Ивановка [Ivanovka] | Перо лука [Onion feather] | 2,2±0,6 | 5,9±1,2 | 0,0157 | 0,0042 |
| Новоселки [Novoselki] | Зерно пшеницы [Wheat grain] | 10,2±1,3 | 7,9±1,6 | 0,0094 | 0,0009 |

*Удельная активность радионуклидов в продуктах определена на натуральную массу (сырой вес). [The activity concentration of radionuclides in the products is determined on the wet weight].

** Коэффициент накопления или концентрационное отношение (КН). Отношение активности радионуклида в единице сухого веса растений Бк·кг$^{-1}$ к активности в сухой почве Бк·кг$^{-1}$. Безразмерный параметр [Transfer factor or Concentration ratio ($F_v$). The ratio of the activity concentration of radionuclide in the plant (Bq kg$^{-1}$ dry weight) to that in the soil (Bq kg$^{-1}$ dry weight). Dimensionless].

ся измерением мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения (МАЭД) на высоте 1 м от поверхности почвы. На каждом участке выполняли 5 измерений по методу конверта до статистической неопределенности не выше 20%.

Содержание $^{241}$Am ($E_\gamma$=59,6 кэВ) и $^{137}$Cs ($E_\gamma$=661,6 кэВ) в почве определяли методом гамма-спектрометрии с использованием полупроводникового детектора расширенного энергетического диапазона [7, 8]. Для определения удельной активности $^{241}$Am по пику полного поглощения 59,6 кэВ считалась приемлемой погрешность не выше 30% (95% вероятность).

Пробы продуктов питания местного производства отбирались на 6 частных подворьях, характеризующихся наибольшими значениями удельных активностей радионуклидов в почве. Продукты отбирались в количестве 1 кг каждого компонента основного рациона питания жителей населенных пунктов [10]: картофель, листовая зелень (салат, петрушка, лук), корнеплоды (свекла, морковь). Описание процедуры подготовки образцов продуктов питания для последующих аналитических измерений приведено в предыдущих работах данного цикла исследований [7, 8].

Определение удельной активности $^{137}$Cs в пробах продуктов питания выполнялось гамма-спектрометрическим методом; неопределенность измерений по пику полного поглощения 661 кэВ не превышала 30% (95% вероятность). Определение удельной активности $^{241}$Am в пробах продуктов выполнялось методом комплексной радиохимической очистки с последующим альфа-спектрометрическим анализом. Алгоритм радиохимической процедуры включал очистку $^{241}$Am с использованием индикатора выхода $^{243}$Am и селективных смол TRU-TEVA-Spec Resin, минимально детектируемая активность (МДА) $^{241}$Am зависела от зольного остатка пробы и не превышала 0,001 Бк /пробу [7].

Порядок проведения оценки вклада $^{241}$Am и $^{137}$Cs в дозы внутреннего облучения населения представлен в работе [8] с использованием фактических данных об уровнях современного загрязнения данными радиоизотопами почвы и продуктов питания.

### Результаты и обсуждение

Удельная активность (на воздушно-сухую массу) и плотность загрязнения $^{241}$Am и $^{137}$Cs в почве представлены в таблицах 1 и 2 соответственно. Дополнительно в таблице 1 указано расстояние до ЧАЭС, а в таблице 2 приведен диапазон МАЭД. Расположение обследованных н.п. относительно ЧАЭС и границ зоны отчуждения (Полесский государственный радиационно-экологический заповедник) представлено на рисунке. В таблицах 1 и 2 и на рисунке сохранены порядковые номера населенных пунктов.

В результате исследований установлено, что плотность современного загрязнения почвы $^{241}$Am на территории обследованных н.п. Хойникского района Гомельской области Беларуси не превышает 4 кБк/м$^2$, при этом плотность загрязнения $^{137}$Cs на 1–2 числовых порядка величины выше и варьирует в диапазоне от 30 кБк/м$^2$ до 500 кБк/м$^2$. Удельная активность почвы $^{241}$Am (см. табл. 1) не превышала 10 Бк/кг в большинстве из 30 обследованных пунктов, за исключением 3 н.п. – Ивановка (15,2 Бк/кг), Новоселки (14,1 Бк/кг) и Вить (16,1 Бк/кг).

Значения МАЭД на частных подворьях Хойникского района (см. табл. 2) находились в пределах от 0,05 до 0,38 мкЗв/ч при среднем значении 0,15 мкЗв/ч. Как и в Брагинском районе, между МАЭД и плотностью загрязнения $^{137}$Cs (см. табл. 2) наблюдается достаточно сильная линейная взаимосвязь, коэффициент корреляции составляет 0,87 [8]. Данный факт свидетельствует об определяющей роли радиоактивного $^{137}$Cs в формировании мощности дозы внешнего гамма-излучения на частных подворьях Хойникского района. ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева также проводились обследования н.п. Брянской области на приграничных территориях радиоактивного загрязнения России и Беларуси [11]. Исследования в России были выполнены на территории 57 частных подворий в 19 н.п., расположенных в Гордеевском, Злынковском, Клинцовском, Красногорском и Новозыбковском районах Брянской области. Полученные значения МАЭД находились в диапазоне от 90 до 357 нЗв/ч при средней величине 169 нЗв/ч, что сопоставимо с вышеприведенным диапазоном МАЭД для Хойникского района. Дополнительно в работе российских исследователей было выполнено

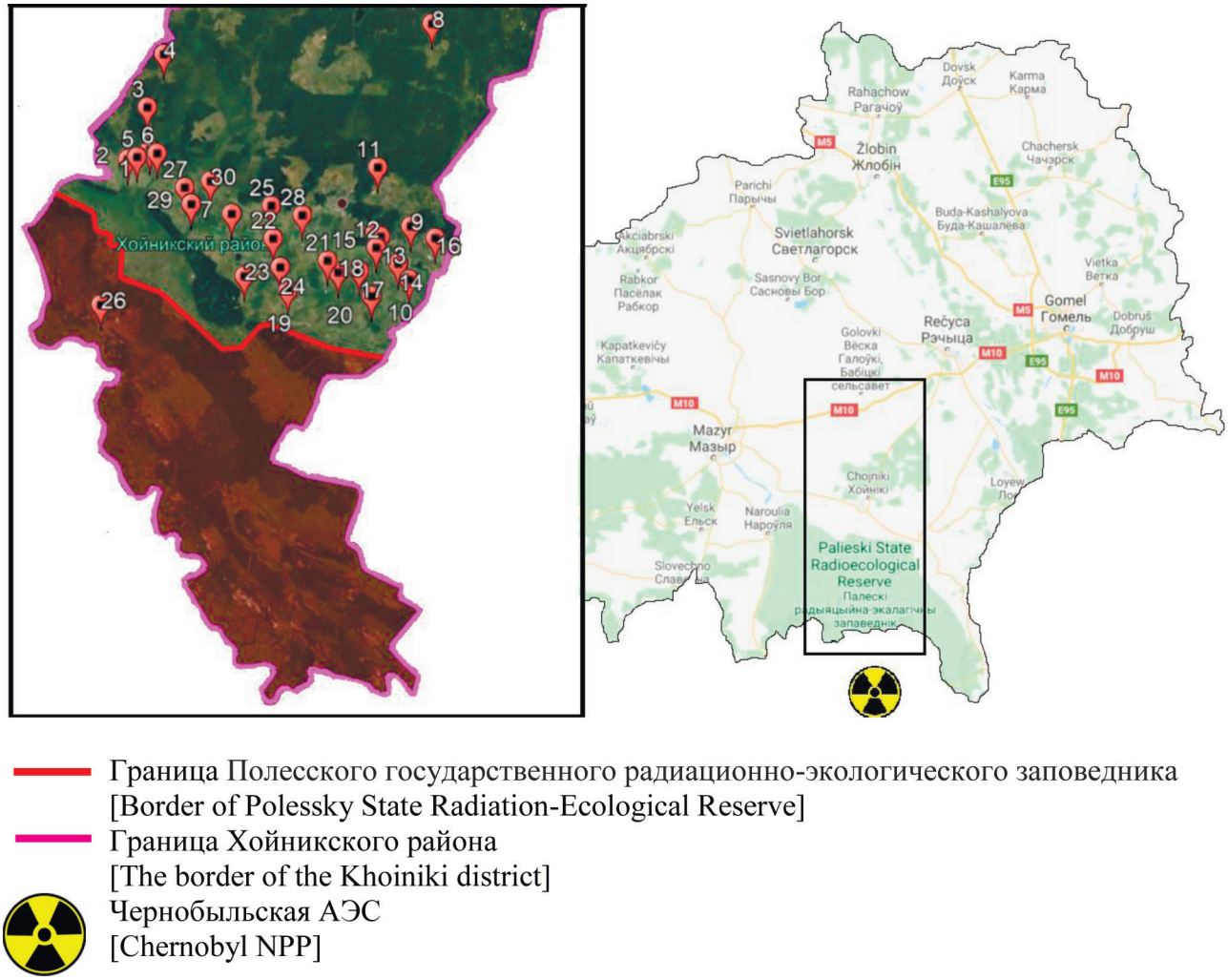


**Рис.** Расположение населенных пунктов Хойникского района Гомельской области относительно зоны отселения (Полесский государственный радиационно-экологический заповедник) и ЧАЭС
**[Fig.** Position of the Khoiniki area settlements (the Gomel region) relative to the resettlement zone (Polessky State Radiation and Ecology Reserve) and the Chernobyl NPP]

раздельное определение значений МАЭД от природных радионуклидов ($^{40}$K, $^{226}$Ra, $^{232}$Th) и от техногенного $^{137}$Cs в соответствии с методом, изложенным в [13]. В результате было установлено, что значения МАЭД от естественных радионуклидов на приграничной с Беларусью территории Брянской области варьировали от 18 до 53 нЗв/ч (средняя = 38 нЗв/ч). Принимая во внимание, что тип почвы приграничных районов Беларуси и России имеет схожие характеристики – преобладают дерново-подзолистые песчаные и супесчаные почвы, можно предположить аналогичный вклад от естественных радионуклидов в МАЭД на подворьях и Хойникского района Гомельской области Беларуси. В целом, уровни МАЭД, установленные в Хойникском районе в современный период, подтверждают доминирование чернобыльской компоненты в суммарной мощности дозы гамма-излучения на частных подворьях. При этом внешнее облучение $^{241}$Am, обусловленное низкоэнергетическими $\gamma$-квантами ($E_\gamma$=59,6 кэВ), нивелируется на фоне значительно более высокой (на 2–4 порядка величины) активности $^{137}$Cs ($E_\gamma$=661 кэВ). В работе [13] была определена также динамика уменьшения мощности дозы гамма-излучения в типичных локациях сельской местности Брянской области России для отдаленного периода после Чернобыльской аварии. Выполненная оценка скорости снижения мощности дозы гамма-излучения от $^{137}$Cs показала, что доза внешнего облучения сельского населения от чернобыльского загрязнения будет снижаться примерно на 4% в год, учитывая радиоактивный распад $^{137}$Cs (2,3% в год).

На приусадебных участках в 6 н.п. Хойникского района были отобраны продукты питания для установления содержания в них $^{241}$Am, а также $^{137}$Cs (см. табл. 3). В н.п. Тульговичи до аварии на ЧАЭС было 300 дворов, где проживало около 2000 человек. Сейчас в деревне расположилось местное Тульговичское лесничество, на территории деревни постоянно проживает только 1 человек – Шаменок А.М., трудовая деятельность которого связана с лесничеством, он имеет свое подворье и выращивает продукты для собственного потребления. Деревня Тульговичи (см. рис.) находится в границах Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ). Пункты Вить и Стреличево (агрогородок) характеризуются наибольшей численностью населения в Хойникском районе, в каждом из них проживает несколько сотен жителей, при этом в районе отсутствуют н.п. (за исключением города Хойники) с населением более 1000. Всего в первые годы после катастрофы вынужденно покинули свои дома более 20 000 жителей района.

Содержание $^{241}$Am в сельскохозяйственных культурах не регламентируется нормативными документами в Республике Беларусь, однако анализ возможного поступления данного радиоизотопа в организм человека с продуктами питания характеризуется высокой степенью значимости с точки зрения радиационной защиты населения на современном этапе ситуации существующего облучения.

Данные таблицы 3 свидетельствуют, что, как и в Брагинском районе [8], уровни содержания $^{241}$Am во всех пробах продуктов питания, отобранных на территории Хойникского района, на 3 порядка величины ниже по сравнению со значением удельной активности $^{137}$Cs. Из литературных источников известно, что листовая поверхность зеленых культур является носителем как поверхностного, так и корневого загрязнения [14–17], а в корне- и клубнеплодах основное содержание $^{241}$Am может концентрироваться в кожуре этих культур [18, 19]. Отмечалось также, что культурные растения могут накапливать в 10–100 раз больше радионуклидов, чем дикорастущие, поскольку выполнение сельскохозяйственных операций по возделыванию культур сопровождается более интенсивным пылеобразованием и дополнительным поступлением радионуклидов на листовую поверхность растений [5].

Принимая во внимание требования нормативных правовых актов Республики Беларусь, устанавливающих нормативы по содержанию $^{137}$Cs в пищевых продуктах и сельскохозяйственном сырье (РДУ-99) (предельное содержание $^{137}$Cs в картофеле, овощах (включая корнеплоды) и зерне принято равным 80, 100 и 90 Бк/кг соответственно), во всех пробах продуктов питания, произведенных на территории частного сектора Хойникского района (см. табл. 3), не зафиксированы значения удельной активности данного радионуклида, превышающие нормативные уровни.

Для количественной оценки биологической доступности радионуклидов принято использовать различные параметры, из которых наиболее распространены: коэффициент накопления (КН) – концентрационные отношения удельной активности радионуклидов в растительном продукте к удельной активности в почве (в международных публикациях принят безразмерный аналог $F_v$ – concentration ratio) [20, 21] либо коэффициент перехода (КП) – отношение удельной активности радионуклидов в растениях к плотности загрязнения почвы на единицу площади. В таблице 3 представлены КН $^{137}$Cs и $^{241}$Am для каждой группы растительных продуктов местного производства Хойникского района. Значения КН находятся в пределах одного порядка величины:

– по $^{137}$Cs клубнеплоды (картофель) – 0,009–0,028, корнеплоды (свекла, морковь) – 0,009–0,050, зеленные листовые культуры (салат, перо лука) – 0,010–0,069;

– по $^{241}$Am картофель – 0,0007–0,0020, корнеплоды – 0,0024–0,0601, зеленные листовые культуры – 0,0042–0,0147.

КН $^{137}$Cs в большинстве продуктов на порядок величины превышают КН $^{241}$Am для соответствующей группы. Сравнение полученных параметров перехода с данными международного справочника МАГАТЭ IAEA-TRS-472 [20] показывает, что значения указанных характеристик попадают в диапазон справочных данных, который варьирует в пределах нескольких порядков величины. Применение уточненных параметров перехода радионуклидов для продуктов местного производства на территории загрязненных районов Гомельской области позволит снизить неопределенность для последующих расчетов доз внутреннего облучения, формируемых данным радионуклидом.

Результаты оценки вклада $^{241}$Am и $^{137}$Cs в дозы внутреннего облучения населения, выполненной в соответствии с рекомендациями [22–24], представлены в таблице 4. Для оценки ингаляционного пути поступления контролируемых радионуклидов были использованы установленные ранее коэффициенты ресуспензии [25, 26], характеризующие влияние сельскохозяйственных операций при выполнении населением полевых работ на загрязнение приземного слоя атмосферного воздуха радионуклидами.

*Таблица 4*

**Оценка максимальной ожидаемой эффективной дозы внутреннего облучения от $^{241}$Am и $^{137}$Cs для подворий, Хойникского района Гомельской области, мЗв/год**

*[Table 4*

**Assessment of the maximum expected effective internal dose from $^{241}$Am and $^{137}$Cs at farmsteads of the Khoiniki district of the Gomel region, mSv/ year]**

| № | Населенный пункт [Village] | $^{137}$Cs | | | $^{241}$Am | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | пищевая цепочка [food chain] | ингаляция [inhalation] | сумма [total] | пищевая цепочка [food chain] | ингаляция [inhalation] | сумма [total] |
| 1 | Гречихино [Grechikhino] | 0,22 | 0,0003 | 0,220 | 0,0004 | 0,011 | 0,011 |
| 2 | Дуброва [Dubrova] | 0,29 | 0,0004 | 0,290 | 0,0004 | 0,014 | 0,014 |
| 3 | Кореневка [Korenevka] | 0,18 | 0,0002 | 0,180 | 0,0003 | 0,008 | 0,008 |
| 4 | Моклище [Moklishche] | 0,15 | 0,0002 | 0,150 | 0,0002 | 0,007 | 0,007 |
| 5 | Рабец [Rabets] | 0,35 | 0,0005 | 0,351 | 0,0004 | 0,014 | 0,014 |
| 6 | Слобожанка [Slobozhanka] | 0,23 | 0,0003 | 0,230 | 0,0005 | 0,017 | 0,018 |
| 7 | Храпково [Khrapkovo] | 0,39 | 0,0005 | 0,391 | 0,0005 | 0,013 | 0,014 |
| 8 | Дубровица [Dubrovitsa] | 0,35 | 0,0004 | 0,350 | 0,0002 | 0,007 | 0,007 |
| 9 | Велетин [Veletin] | 0,34 | 0,0005 | 0,341 | 0,0002 | 0,008 | 0,008 |
| 10 | Звеняцкое [Zvenyatskoe] | 0,52 | 0,0008 | 0,521 | 0,0005 | 0,019 | 0,020 |
| 11 | Корчевое [Korchevoe] | 0,13 | 0,0002 | 0,130 | 0,0002 | 0,006 | 0,006 |
| 12 | Листвин [Listvin Listvin] | 1,50 | 0,0016 | 1,502 | 0,0003 | 0,009 | 0,009 |
| 13 | Мархлевск [Markhlevsk] | 1,40 | 0,0016 | 1,402 | 0,0003 | 0,009 | 0,009 |
| 14 | Петраш [Petrash] | 1,20 | 0,0014 | 1,201 | 0,0003 | 0,009 | 0,009 |
| 15 | Поселичи [Poselichi] | 0,65 | 0,0009 | 0,651 | 0,0003 | 0,010 | 0,010 |
| 16 | Пудаков [Pudakov] | 1,10 | 0,0018 | 1,102 | 0,0004 | 0,017 | 0,017 |
| 17 | Высокое [Vysokoye] | 0,48 | 0,0006 | 0,481 | 0,0003 | 0,009 | 0,009 |
| 18 | Губаревичи [Gubarevichi] | 0,50 | 0,0007 | 0,501 | 0,0003 | 0,011 | 0,011 |
| 19 | Ивановка [Ivanovka] | 1,00 | 0,0011 | 1,001 | 0,0009 | 0,030 | 0,031 |

*Окончание таблицы 4*

| № | Населенный пункт [Village] | $^{137}Cs$ | | | $^{241}Am$ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | пищевая цепочка [food chain] | ингаляция [inhalation] | сумма [total] | пищевая цепочка [food chain] | ингаляция [inhalation] | сумма [total] |
| 20 | Рудаков [Rudakov] | 0,46 | 0,0006 | 0,461 | 0,0003 | 0,009 | 0,009 |
| 21 | Стреличево [Strelichevo] | 0,62 | 0,0010 | 0,621 | 0,0004 | 0,014 | 0,014 |
| 22 | Дворище [Dvoryshche] | 0,65 | 0,0010 | 0,651 | 0,0005 | 0,015 | 0,016 |
| 23 | Новоселки [Novoselki] | 0,81 | 0,0013 | 0,811 | 0,0009 | 0,038 | 0,039 |
| 24 | Пикулиха [Piculiha] | 0,40 | 0,0006 | 0,401 | 0,0005 | 0,020 | 0,021 |
| 25 | Судково [Sudkovo] | 0,44 | 0,0005 | 0,441 | 0,0006 | 0,016 | 0,017 |
| 26 | Тульговичи [Tulgovichi] | 1,20 | 0,0015 | 1,202 | 0,0004 | 0,012 | 0,012 |
| 27 | Вить [Vit] | 0,52 | 0,0006 | 0,521 | 0,0010 | 0,026 | 0,027 |
| 28 | Езапов [Ezapov] | 0,35 | 0,0006 | 0,351 | 0,0004 | 0,013 | 0,013 |
| 29 | Борисовщина [Borisovshchina] | 0,36 | 0,0006 | 0,361 | 0,0005 | 0,018 | 0,019 |
| 30 | Поташня [Potashnya] | 0,23 | 0,0004 | 0,230 | 0,0003 | 0,010 | 0,010 |

Оценка доз внутреннего облучения жителей н.п. Хойникского района Гомельской области Беларуси (см. табл. 4) при производстве и потреблении продуктов питания на личном подворье свидетельствует, что максимальные эффективные дозы от ингаляционного поступления $^{241}Am$ варьируют в пределах 0,006–0,038 мЗв/год и на 1–2 порядка величины превышают дозы от ингаляционного поступления $^{137}Cs$ (0,0002–0,0018 мЗв/год).

Для всех обследованных н.п. Хойникского района в структуре ожидаемой дозы внутреннего облучения населения от $^{241}Am$ преобладает ингаляционная составляющая, которая более чем на порядок величины превышает дозу облучения от поступления этого радионуклида пероральным путем. Ожидаемая доза внутреннего облучения населения Хойникского, как и Брагинского [8], района от $^{137}Cs$, в основном, образуется пероральным путем, а ингаляционная составляющая в годовой дозе внутреннего облучения жителей от данного радионуклида не превышает 0,2%. В 6 из 30 обследованных н.п. – Листвин, Петраш, Мархлевск, Пудаков, Ивановка, Тульговичи ожидаемая доза внутреннего облучения от $^{137}Cs$ для жителей превышает 1 мЗв/год. В то же время максимальная доза внутреннего облучения от $^{241}Am$ не превышает 0,04 мЗв/год (см. табл. 4).

Полученные результаты показали, что структура дозы внутреннего облучения за счет поступления $^{241}Am$ существенно отличается от структуры дозы за счет поступления $^{137}Cs$. Наблюдаемые уровни содержания $^{241}Am$ в почве обследованных н.п. Хойникского района могут обусловить 85–98% ожидаемой дозы внутреннего облучения жителей за счет ингаляционного поступления суммы радионуклидов $^{241}Am$ и $^{137}Cs$ при выполнении полевых работ на приусадебных участках. Ограничение полевых работ на пересохшей почве в сухой период, которые сопровождаются большим пылеобразованием и попаданием радионуклидов в зону дыхания работающих, является дополнительным резервом для сокращения поступления радиоизотопов в организм жителей ингаляционным путем. Как и в соседнем Брагинском районе, в Хойникском районе на современном этапе ситуации существующего облучения доминирует пероральный путь поступления $^{137}Cs$, который может обусловить 93–99% ожидаемой

суммарной дозы внутреннего облучения жителей района. Наблюдаемые же уровни присутствия $^{241}$Am в продуктах питания местного производства, которые население района получает на своих приусадебных участках, могут привнести не более 0,3% в дозу внутреннего облучения от поступления суммы радионуклидов $^{241}$Am и $^{137}$Cs пероральным путем. Надлежащее соблюдение гигиенических требований (промыв зеленных культур и очистка от кожуры корне- и клубнеплодов) может также сократить нежелательное поступление альфа-излучающего $^{241}$Am в рацион жителей по пищевой цепочке.

## Заключение

В работе приведены результаты исследований по оценке радиоэкологической обстановки на современном этапе ситуации существующего облучения на приусадебных участках 30 населенных пунктов Хойникского района Гомельской области Беларуси. Установлено, что значение плотности современного загрязнения почвы $^{241}$Am на территории обследованных пунктов Хойникского района не превышает 4 кБк/м$^2$, при этом плотность загрязнения $^{137}$Cs на 1–2 числовых порядка величины выше и варьирует в диапазоне от 30 до 500 кБк/м$^2$. Диапазон МАЭД на территории подворий находится в пределах от 0,05 до 0,38 мкЗв/ч, среднее значение 0,15 мкЗв/ч.

Содержание $^{241}$Am в основных компонентах рациона, производимых в частном секторе Хойникского района, варьирует от единиц до десятков мБк/кг, что на 3 порядка величины ниже удельной активности $^{137}$Cs. При этом удельная активность $^{137}$Cs во всех продуктах питания соответствует требованиям нормативных правовых актов по содержанию радионуклидов в пищевых продуктах и сельскохозяйственном сырье (РДУ-99).

В структуре ожидаемой дозы внутреннего облучения населения от $^{241}$Am преобладает ингаляционная составляющая (0,006–0,038 мЗв/год), которая более чем на порядок величины превышает дозу облучения от поступления данного радиоизотопа пероральным путем. При выполнении полевых работ на приусадебных участках наблюдаемые уровни содержания $^{241}$Am в почве могут обусловить 85–98% дозы внутреннего облучения жителей за счет ингаляционного поступления суммы $^{241}$Am и $^{137}$Cs.

Формирование дозы внутреннего облучения населения Хойникского района преимущественно обусловлено поступлением $^{137}$Cs пероральным путем – в 6 из 30 обследованных пунктов максимальная ожидаемая доза внутреннего облучения от $^{137}$Cs для жителей превышает 1 мЗв/год; в то же время доза внутреннего облучения от $^{241}$Am не превышает 0,04 мЗв/год.

## Благодарность

*Авторы выражают благодарность научным сотрудникам ГНУ «Институт радиобиологии НАН Беларуси» Л.В. Жуковой, Т.В. Ласько, М.В. Фирсаковой, В.А. Касьянчику за участие в выполнении работ на этапах проведения измерений содержания радионуклидов в образцах, их отбора и подготовки к анализу.*

*Авторы благодарны рецензентам за конструктивные замечания и предложения, которые позволили существенно улучшить качество статьи.*

## Литература

1. Онищенко Г.Г., Попова А.Ю., Романович И.К. Радиологические последствия и уроки радиационных аварий на Чернобыльской АЭС и АЭС «Фукусима-1» // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 1. С. 6-16. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-1-6-16
2. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА Россия-Беларусь). Под ред. Ю.А. Израэля и И.М. Богдевича. Москва-Минск: Фонд «Инфосфера»; НИА-Природа, 2009. 140 с.
3. 35 лет после чернобыльской катастрофы: итоги и перспективы преодоления ее последствий: национальный доклад Республики Беларусь. Департамент по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь. Минск: ИВЦ Минфина, 2020. 152 с. ISBN 978-985-880-104-5.
4. Алексахин Р.М., Санжарова Н.И., Фесенко С.В. Радиоэкология и авария на Чернобыльской АЭС // Атомная энергия. 2006. Т.100, № 4. С. 267-276.
5. Конопля Е.Ф., Кудряшов В.П., Миронов В.П. Радиация и Чернобыль: Трансурановые элементы на территории Беларуси. Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2007. 128 с.
6. UNSCEAR 2008. Effects of Ionizing Radiation. Volume II: Report to the General Assembly, Scientific Annexes C, D and E. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. New York: United Nations, 2011. 219 p.
7. Нилова Е.К., Бортновский В.Н., Тагай С.А., и др. $^{241}$Am на территориях, прилегающих к белорусскому сектору зоны отселения Чернобыльской АЭС: загрязнение почв, продуктов питания и оценка доз внутреннего облучения населения // Радиационная гигиена. 2019. Т. 12, № 2 (спецвыпуск). С. 75-82. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12s-75-82.
8. Нилова Е.К., Бортновский В.Н., Тагай С.А., Дударева Н.В., и др. Оценка современных уровней $^{241}$Am и $^{137}$Cs в почве, продуктах питания, доз внутреннего облучения жителей населенных пунктов, прилегающих к зоне отселения Чернобыльской АЭС (на примере Брагинского района Гомельской области Беларуси) // Радиационная гигиена. 2020. Т. 13, № 3. С. 25–37. DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-3-25-37.
9. Булавик И.М., Переволоцкий А.Н., Дударева Н.В., Тагай С.А. Патент № 3793 Респ. Беларусь, МПК G01N1/04. Пробоотборник для послойного извлечения образцов грунта: пат. на полезную модель; опубл. 30.08.07 // Афіцыйны бюл. Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2007. № 4(57). С. 231-232.
10. Потребление основных продуктов питания в домашних хозяйствах. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. URL: https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/solialnaya-sfera/uroven-zhizni-naseleniya/dokhody-i-potreblenie-domashnikh-khozyaystv/operativnye-dannye / potreblenie-osnovnykh-produktov-pitaniya-v-domashnikh-khozyaystvakh / (Дата обращения: 30.06.2021).
11. Рамзаев В.П., Барковский А.Н., Братилова А.А. Оценка вклада природной и техногенной компоненты в мощность амбиентного эквивалента дозы на огородах в населенных пунктах Брянской области // Радиационно-гигиенические последствия и уроки аварии на Чернобыльской АЭС и АЭС «Фукусима-1»: Сб. мат. межд. науч.- практ. конф. СПб, 2021. С. 174-175.
12. Ramzaev V., Barkovsky A., Bernhardsson C., Mattsson S. Calibration and testing of a portable NaI(Tl) gamma-ray spectrometer-dosimeter for evaluation of terrestrial radionuclides and $^{137}$Cs contributions to ambient dose equivalent rate outdoors // Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2017. Vol. 10, No. 1. P. 18–29.

13. Рамзаев В.П., Барковский А.Н. Динамика уменьшения мощности дозы гамма-излучения в воздухе в сельских населенных пунктах Брянской области России в отдаленном периоде после Чернобыльской аварии // Радиационная гигиена. 2020. Т. 13, № 1. С. 38–46. DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-1-38-46
14. Павлоцкая Ф.И., Поспелов Ю.И., Мясоедов Б.Ф., и др. Поведение трансплутониевых элементов в окружающей среде // Радиохимия. 1991. № 5. С. 112–119.
15. Аверин В.С., Подоляк А.Г., Тагай С.А., и др. Америций и плутоний в агроэкосистемах. Чернобыльская катастрофа 1986 года. РНИУП «Институт радиологии», 2014. 176 с.
16. Romney E.M., Wallace A., Schulz R.K., et al. Plant uptake of 237Np, 239,240Pu, 241Am, and 244Cm from soils representing major food production areas of the United States // Soil Science. 1981. Vol. 132, No. 1. P. 40-59. DOI: 10.1097/00010694-198107000-00007
17. Bunzl K., Kracke W. Soil to plant transfer of 239 + 240Pu, 238Pu, 241Am, 137Cs and 90Sr from global fallout in flour and bran from wheat, rye, barley and oats, as obtained by field measurements // Science of the Total Environment. 1987. Vol. 63, No. C. P. 111-124. DOI: doi.org/10.1016/0048-9697(87)90040-4.
18. Апплби Л.Дж., и др. Пути миграции искусственных радионуклидов в окружающей среде. Радиоэкология после Чернобыля; пер. с англ., под ред. Уорнера Ф. и Харрисона Р. М.: Мир, 1999. 512 с.
19. Popplewell D.S., Ham G.J., Johnson T.E., et al. The uptake of plutonium-238, 239, 240, americium-241, strontium-90 and caesium-137 into potatoes // Science of the Total Environment. 1984. Vol. 38. P. 173-181.
20. International Atomic Energy Agency (IAEA) Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments/Technical Reports Series. TRS-472.Vienna: IAEA; 2010. 208 p.
21. International Atomic Energy Agency (IAEA) Quantification of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments for Radiological Assessments / IAEA-TECDOC-1616.Vienna: IAEA; 2009. 307 p.
22. International Atomic Energy Agency (IAEA) Radiation protection and safety of radiation sources: international basic safety standards: general safety requirements. Interim edition. Vienna: IAEA; 2011. 303 p.
23. International Atomic Energy Agency (IAEA) IAEA-TECDOC-1162. Generic procedures for assessment and response during a radiological emergency: updating IAEA-TECDOC-1162. Vienna: IAEA; 2000. 194 p.
24. International Atomic Energy Agency (IAEA) Safety Standards for protecting people and environment. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. General Safety Requirements. Part 3 No GSR Part 3. Vienna: IAEA; 2014. 436 p.
25. Подоляк А.Г., Тагай С.А., Аверин В.С., и др. Дозы облучения работников при проведении сельскохозяйственных операций на загрязнённой радионуклидами ($^{137}$Cs, $^{241}$Am и $^{238,239+240}$Pu) территории // Радиация и риск. 2014. Т. 23, № 2. С.85-93.
26. Podolyak A., Tagai S., Nilova E., Averin V. Assessment of committed doses received by agricultural workers in grain harvesting operations in the areas of radioactive contamination // Radioprotection. 2017. Vol. 52, No. 1. P. 37-43.

Поступила: 11.08.2021 г.

**Нилова Екатерина Константиновна** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Центра по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, Минск, Беларусь

**Бортновский Владимир Николаевич** – кандидат медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой общей гигиены, экологии и радиационной медицины Гомельского государственного медицинского университета, Гомель, Беларусь

**Тагай Светлана Алексеевна** – научный сотрудник Института радиобиологии Национальной академии наук Беларуси. **Адрес для переписки:** 246000, Беларусь, Гомель, ул. Федюнинского, д. 16; E-mail: lanabuz@tut.by

**Дударева Наталья Владимировна** – научный сотрудник Института радиобиологии Национальной академии наук Беларуси, Гомель, Беларусь

**Никитин Александр Николаевич** – кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель директора по научной работе Института радиобиологии Национальной академии наук Беларуси, Гомель, Беларусь

**Для цитирования: Нилова Е.К., Бортновский В.Н., Тагай С.А., Дударева Н.В., Никитин А.Н. $^{241}$Am и $^{137}$Cs на территории Хойникского района Беларуси: оценка радиоэкологической обстановки на современном этапе ситуации существующего облучения // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 4. С. 17-30. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-4-17-30**

# $^{241}$Am and $^{137}$Cs in the Khoiniki district of Belarus: updated radiological assessment of the local existing exposure situation

**Ekaterina K. Nilova [1], Vladimir N. Bortnovsky [2], Svetlana A. Tagai [3], Natalia V. Dudareva [3], Alexander N. Nikitin [3]**

[1] Center for Nuclear and Radiation Safety of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus

[2] Gomel State Medical University, Gomel, Belarus

[3] Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Belarus

*The results covered in this paper relate to the "Khoiniki" research sub-unit of a larger-scale sequence of studies focused on the local assessments of the present-day $^{241}$Am and $^{137}$Cs concentrations in the soils and locally produced foods, with the estimation of the public internal radiation doses in the residential areas of the Gomel region of the Republic of Belarus most closely adjacent to the ChNPP resettlement zone. The objective was to make a conservative estimate of a committed annual dose of internal exposure from $^{241}$Am and $^{137}$Cs received by the villagers of 96 farmsteads in 30 settlements of the private sector of Khoiniki countryside through both, inhalation and consumption of local foodstuffs. The results obtained in this study include an update of the existing contamination levels of $^{241}$Am and $^{137}$Cs present in the local soils and foods grown or produced in private backyards and households. $^{241}$Am in food samples was determined by alpha-spectroscopy radiochemical analysis with the use of selective extraction-chromatographic resins. Gamma-spectrometry techniques were used to measure $^{241}$Am in soil samples and $^{137}$Cs in soil and food samples. Based on our findings, the present-day deposition density of $^{241}$Am in the soils does not exceed 4 kBq/m$^2$, while the values of $^{137}$Cs contamination are by one to two orders of magnitude higher than that of $^{241}$Am and vary between 30 and 500 kBq/m$^2$. Generally, the values of activity concentration of $^{241}$Am detected in local soils are well within 10 Bq/kg in the majority of inspected villages, with the exception of three sites where higher levels of $^{241}$Am contamination is soils were detected ranging from 14 to 16 Bq/kg. The ambient dose rates in the countryside range from 0.05 to 0.38 μSv/hour, with the average of 0.15 μSv/hour. No cases of $^{137}$Cs contamination above the established reference levels of 80, 100 and 90 Bq/kg have been found in the local food samples of, respectively, potatoes, vegetables (incl. roots and tubers) and grains. The content of $^{241}$Am in the staple foods produced in the area varies from single digits to tenths of mBq/kg, which is less by three orders of magnitude than $^{137}$Cs activities concentrationd found in the same staples. Of the two pathways contributing to the local committed internal exposure from $^{241}$Am, the dominant one is through inhalation (0.006–0.038 mSv/year) prevailing over the consumption pathway of this same radioisotope by at least one order of magnitude. At the time of gardening and other household field works, the existing levels of $^{241}$Am contamination in soils are estimated to produce from 85 to 98% of the internal radiation dose received by individuals from inhaling the total of $^{241}$Am and $^{137}$Cs. The maximum committed annual doses of internal exposure from $^{137}$Cs are estimated to be above 1 mSv/year in 6 out of 30 villages engaged in our study. At the same time, the estimated internal radiation dose due to $^{241}$Am does not surpass 0.04 mSv/year. The $^{137}$Cs major contribution to the internal exposure of villages in the Khoiniki countryside is through food consumption.*

**Key words:** *$^{241}$Am, $^{137}$Cs, deposition density, specific activity, population, foodstuffs, inhalation, internal exposure.*

## References

1. Onischenko GG, Popova AYu, Romanovich IK. Radiological consequences and lessons of the Chernobyl NPP and "Fukushima-1" NPP radiation accidents. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021;14(1): 6-16. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-1-6-16.
2. Atlas of current and future effects of the Chernobyl accident on affected parts of the Russian Federation and Belarus (ACFE Russia-Belarus). Eds.: Israel YuA, Bogdevich IM. Moscow-Minsk: Foundation «Infosfera», NIA Priroda; 2009. 140 p. (In Russian).
3. 35 years after the Chernobyl disaster: results and prospects of overcoming its consequences: national report of the Republic of Belarus. Department for elimination of consequences of the Chernobyl disaster of the Ministry of emergency situations of the Republic of Belarus. Minsk: IVC Minfina; 2020. 152 p. (In Russian).
4. Aleksakhin RM, Sanzharova NI, Fesenko SV. Radioecology and the accident at the Chernobyl nuclear power plant. *Atomnaya energiya = Atomic. Energy*. 2006;100(4): 267-276. (In Russian).
5. Konoplya EF, Kudryashov VP, Mironov VP. Radiation and Chernobyl: Transuranic elements on the Belarus territory, Gomel: RNIUP «Institute Radiologii»; 2007. 128 p. (In Russian).
6. UNSCEAR 2008. Effects of Ionizing Radiation. Volume II: Report to the General Assembly, Scientific Annexes C, D and E. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. New York: United Nations; 2011. 219 p.
7. Nilova EK, Bortnovsky EV, Tagai SA, Dudareva NV, Zhukova LV. $^{241}$Am on the territories adjacent to the Belarusian sector of the Chernobyl NPP resettlement zone: soil contamination, foodstuffs and population internal dose assessment. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*.

**Svetlana A. Tagai**
Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus
**Address for correspondence:** Fedyuninsky Str., 4, 246007, Gomel, Republic of Belarus; E-mail: lanabuz@tut.by

2019;12 (2 (special issue)): 75-82. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426x-2019-12-2s-75-82.

8. Nilova EK, Bortnovsky VN, Tagai SA, Dudareva NV, Nikitin AN. Assessment of the current levels of $^{241}$Am and $^{137}$Cs in soils and foodstuff, as well as of public internal exposure to ionizing radiation in populated areas adjacent to the Chernobyl NPP exclusion zone (case study: the Bragin district of the Gomel region, Belarus). *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2020;13(3): 25-37. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-3-25-37.
9. Bulavik IM, Perevolotskiy AN, Dudareva NV, Tagai SA. Inventors; Institute of Radiology, assignee. Republic of Belarus patent BY 3793; 2007. P. 231-232. (In Russian).
10. Food consumption in households. National statistical Committee of the Republic of Belarus. Available from: https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/solialnaya-sfera/uroven-zhizni-naseleniya/dokhody-i-potreblenie-domashnikh-khozyaystv/operativnye-dannye/potreblenie-osnovnykh-produktov-pitaniya-v-domashnikh-khozyaystvakh. [Accessed 30 June 2021] (In Russian).
11. Ramzaev VP, Barkovsky AN, Bratilova AA. Evaluation of the contribution of natural and technogenic components to the capacity of the ambient dose equivalent in vegetable gardens in the settlements of the Bryansk region. Radiation-hygienic consequences and lessons of the accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant and the Fukushima-1 nuclear power Plant: Proceedings of the international scientific-practical conference. St-Petersburg; 2021. P. 174-175 (In Russian).
12. Ramzaev V, Barkovsky A, Bernhardsson C, Mattsson S. Calibration and testing of a portable NaI(Tl) gamma-ray spectrometer-dosimeter for evaluation of terrestrial radionuclides and $^{137}$Cs contributions to ambient dose equivalent rate outdoors. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2017;10(1): 18–29.
13. Ramzaev VP, Barkovsky AN. Dynamics of decrease of the gamma dose rate in air in rural settlements of the Bryansk region (Russia) in the remote period after the Chernobyl accident. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2020;13(1): 38-46. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-1-38-46.
14. Pavlotskaya FI, Pospelov YuI, Myasoyedov BF, Kuznetsov YuV, Legin VK. The behavior of transplutonium elements in the environment. *Radiokhimiya = Radiochemistry*. 1991;5: 112–119. (In Russian).
15. Averin VS, Podolyak AG, Tagai SA, Kukhtevich AB, Buzdalkin KN, Tsarenok AA, et al. Americium and plutonium in agroecosystems. 1986 Chernobyl disaster. Gomel: RNIUP «Institute Radiologii»; 2014. 176 p. (In Russian).
16. Romney EM, Wallace A, Schulz RK, et al. Plant uptake of $^{237}$Np, $^{239,240}$Pu, $^{241}$Am, and $^{244}$Cm from soils representing major food production areas of the United States. *Soil Science*. 1981; 132(1): 40-59. DOI: 10.1097/00010694-198107000-00007
17. Bunzl K, Kracke W. Soil to plant transfer of 239 + 240Pu, 238Pu, 241Am, 137Cs and 90Sr from global fallout in flour and bran from wheat, rye, barley and oats, as obtained by field measurements. *Science of the Total Environment*. 1987;63(C): 111-124. DOI: doi.org/10.1016/0048-9697 (87)90040-4.
18. Applbi LDzh, et al. Ways of migration of artificial radionuclides in the environment. Radioecology after Chernobyl. Ed. by Warner F, Harrison RM. Moscow: «Mir»; 1999. 512 p. (In Russian).
19. Popplewell DS, Ham GJ, Johnson TE, Stather JW, Sumner SA. The uptake of plutonium-238, 239, 240, americium-241, strontium-90 and caesium-137 into potatoes. *Science of the Total Environment*. 1984;38: 173-181.
20. International Atomic Energy Agency (IAEA) Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments/Technical Reports Series. TRS-472.Vienna: IAEA; 2010. 208 p.
21. International Atomic Energy Agency (IAEA) Quantification of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments for Radiological Assessments / IAEA-TECDOC-1616.Vienna: IAEA; 2009. 307 p.
22. International Atomic Energy Agency (IAEA) Radiation protection and safety of radiation sources: international basic safety standards: general safety requirements. Interim edition. Vienna: IAEA; 2011. 303 p.
23. International Atomic Energy Agency (IAEA) IAEA-TECDOC-1162. Generic procedures for assessment and response during a radiological emergency: updating IAEA-TECDOC-1162. Vienna: IAEA; 2000. 194 p.
24. International Atomic Energy Agency (IAEA) Safety Standards for protecting people and environment. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. General Safety Requirements. Part 3 No GSR Part 3. Vienna: IAEA; 2014. 436 p.
25. Podolyak AG, Tagai SA, Averin VS, Buzdalkin KN, Nilova EK. Radiation doses received by the workers involved in agricultural operations on the territories contaminated by radionuclides ($^{137}$Cs, $^{241}$Am and $^{238,239+240}$Pu). *Radiatsiya i risk = Radiation and risk.* 2014;23(2): 85-93. (In Russian).
26. Podolyak A, Tagai S, Nilova E, Averin V. Assessment of committed doses received by agricultural workers in grain harvesting operations in the areas of radioactive contamination. *Radioprotection*. 2017; 52(1): 37-43.

Received: August 11, 2021

**Ekaterina K. Nilova** – Ph. D. (Biology), Senior Researcher. Center for Nuclear and Radiation Safety of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

**Vladimir N. Bortnovsky** – Ph. D. (Medicine), Associate Professor, Head of the Department of General Hygiene, Ecology and Radiation Medicine. Gomel State Medical University, Gomel, Republic of Belarus

**For correspondence: Svetlana A. Tagai** – Researcher. Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus (Fedyuninsky Str., 4, 246007, Gomel, Republic of Belarus; E-mail: lanabuz@tut.by)

**Natalia V. Dudareva** – Researcher. Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Republic of Belarus

**Alexander N. Nikitin** – Ph. D. (Agriculture), Deputy Director for Science. Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Republic of Belarus

**For citation: Nilova E.K., Bortnovsky V.N., Tagai S.A., Dudareva N.V., Nikitin A.N. $^{241}$Am and $^{137}$Cs in the Khoiniki district of Belarus: updated radiological assessment of the local existing exposure situation. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021. Vol. 14, No. 4. P. 17-30. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-4-17-30**