

Медико-биологические проблемы жизнедеятельности

Научно-практический рецензируемый журнал

№ 2(24)

2020 г.

Учредитель

Государственное учреждение
«Республиканский научно-
практический центр
радиационной медицины
и экологии человека»

Журнал включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования диссертационных исследований по медицинской и биологической отраслям науки (31.12.2009, протокол 25/1)

Журнал зарегистрирован
Министерством информации
Республики Беларусь,
Свид. № 762 от 6.11.2009

Подписано в печать 30.09.20
Формат 60×90/8. Бумага мелованная.
Гарнитура «Times New Roman».
Печать цифровая. Тираж 150 экз.
Усл. печ. л. 16,25. Уч.-изд. л. 9,56.
Зак. 250.

Издатель ГУ «Республиканский
научно-практический центр
радиационной медицины и
экологии человека»
Свидетельство N 1/410 от 14.08.2014

Отпечатано в КУП
«Редакция газеты
«Гомельская праўда»
г. Гомель, ул. Полесская, 17а

ISSN 2074-2088

Главный редактор, председатель редакционной коллегии

А.В. Рожко (д.м.н., доцент)

Редакционная коллегия

В.С. Аверин (д.б.н., профессор, зам. гл. редактора), В.В. Аничкин (д.м.н., профессор), В.Н. Беляковский (д.м.н., профессор), Н.Г. Власова (д.б.н., профессор, научный редактор), А.В. Величко (к.м.н., доцент), И.В. Веялкин (к.б.н., доцент), А.В. Воропаева (к.м.н., доцент), Д.И. Гавриленко (к.м.н.), В.В. Евсеенко (к.п.с.н.), С.В. Зыблева (к.м.н., отв. секретарь), А.В. Жарикова (к.м.н.), С.А. Игумнов (д.м.н., профессор), И.Н. Коляда (к.м.н.), А.В. Коротаев (к.м.н., доцент), А.Н. Лызилов (д.м.н., профессор), А.В. Макарич (к.м.н., доцент), С.Б. Мельнов (д.б.н., профессор), Я.Л. Навменова (к.м.н., доцент), Э.А. Надыров (к.м.н., доцент), И.А. Новикова (д.м.н., профессор), Э.Н. Платошкин (к.м.н., доцент), Э.А. Повелица (к.м.н.), А.С. Подгорная (к.м.н.), Ю.И. Рожко (к.м.н., доцент), И.П. Ромашевская (к.м.н.), М.Г. Русаленко (к.м.н., доцент), А.П. Саливончик (к.б.н.), А.Е. Силин (к.б.н., доцент), А.Н. Стожаров (д.б.н., профессор), А.Н. Цуканов (к.м.н.), Н.И. Шевченко (к.б.н., доцент), Ю.И. Ярец (к.м.н., доцент)

Редакционный совет

Е.Л. Богдан (МЗ РБ, Минск), А.В. Аклеев (д.м.н., профессор, Челябинск), О.В. Алейникова (д.м.н., чл.-кор. НАН РБ, Минск), С.С. Алексанин (д.м.н., профессор, Санкт-Петербург), Д.А. Базыка (д.м.н., профессор, Киев), А.П. Бирюков (д.м.н., профессор, Москва), Л.А. Бокерия (д.м.н., академик РАН и РАМН, Москва), А.Ю. Бушманов (д.м.н., профессор, Москва), И.И. Дедов (д.м.н., академик РАМН, Москва), В.И. Жарко (Минск), М.П. Захарченко (д.м.н., профессор, Санкт-Петербург), Л.А. Ильин (д.м.н., академик РАМН, Москва), К.В. Котенко (д.м.н., профессор, Москва), В.Ю. Кравцов (д.б.н., профессор, Санкт-Петербург), Н.Г. Кручинский (д.м.н., Пинск), Т.В. Мохорт (д.м.н., профессор, Минск), Д.Л. Пиневиц (МЗ РБ, Минск), В.Ю. Рыбников (д.м.н., профессор, Санкт-Петербург), Н.Д. Тронько (д.м.н., профессор, Киев), А.Л. Усс (д.м.н., профессор, Минск), В.А. Филонюк (к.м.н., доцент, Минск), Р.А. Часнойть (к.э.н., Минск), В.Е. Шевчук (к.м.н., Минск), В.Д. Шило (Минск)

Технический редактор

С.Н. Никонович

Адрес редакции 246040 г. Гомель, ул. Ильича, д. 290,

ГУ «РНПЦ РМ и ЭЧ», редакция журнала
тел (0232) 38-95-00, факс (0232) 37-80-97
<http://www.mbp.rcrm.by> e-mail: mbp@rcrm.by

© Государственное учреждение
«Республиканский научно-практический центр
радиационной медицины и экологии человека», 2020

№ 2(24)

2020

Medical and Biological Problems of Life Activity

Scientific and Practical Journal

Founder

Republican Research Centre
for Radiation Medicine
and Human Ecology

Journal registration
by the Ministry of information
of Republic of Belarus

Certificate № 762 of 6.11.2009

© Republican Research Centre
for Radiation Medicine
and Human Ecology

ISSN 2074-2088

Обзоры и проблемные статьи

- А.В. Жарикова, Н.В. Лысенкова**
Пути повышения эффективности ведения пациентов с головными болями 5
- С.В. Зыблева, С.Л. Зыблев**
Иммунологические механизмы эффекторного звена системы иммунитета при аллотрансплантации 13
- М.Г. Русаленко, И.Г. Савастеева, С.В. Панкова, В.В. Сукристый**
Пищевое поведение и метаболические нарушения: что первостепенно 25

Медико-биологические проблемы

- Н.Г. Власова**
Концепция репрезентативного лица в системе радиационной защиты: от рекомендаций МКРЗ к практическому применению 33
- С.И. Сычик**
Оценка ингаляционных доз облучения населения и пожарных при лесных пожарах в зоне отчуждения, загрязненной в результате катастрофы на ЧАЭС 40
- В.В. Татчихин**
Факторы риска возникновения рака на слизистой оболочке полости рта 52
- Н.И. Тимохина, Н.Н. Веялкин, Э.А. Надыров, Ю.В. Дворник, Е.В. Цуканова, К.М. Фабушева**
Влияние однократного облучения на образование опухолей в легких мышей линии Af 59
- Д.А. Чечетин**
Адаптивное физическое воспитание детей с нарушением костно-мышечного взаимоотношения позвоночного столба 65

Клиническая медицина

- Ю.А. Волчек, Н.В. Карлович, Е.Г. Сазонова, Т.В. Мохорт**
Оценка распространенности гиперпролактинемии и параметров, ассоциированных с изменением уровня пролактина при хронической болезни почек 72

Reviews and problem articles

- A.V. Zharikova, N.V. Lysenkova**
Ways to increase efficiency of managing patients with headaches 5
- S. Zybleva, S. Zyblev**
The immunologic mechanism of the immune system effector am in the allotransplantation 13
- M.G. Rusalenko, I.G. Savasteeva, S.V. Pankova, V.V. Sukristy**
Dietary behavior and metabolic disorders: what is first 25

Medical-biological problems

- N. Vlasova**
The concept of a representative person in the radiation protection system: from the ICRP recommendations to practical application 33
- S.I. Sychik**
Inhalation dose assessment for public and firefighters in case of forest fires in the exclusion zone contaminated after the Chernobyl catastrophe 40
- V.V. Tatchihin**
Risk factors for oral cavity cancer 52
- N.I. Tsimokhina, N.N. Veyalkina, E.A. Nadyrov, Y.V. Dvornik, E.V. Tsukanova, K.M. Fabusheva**
Effect of single irradiation on the formation of tumors in the lungs of Af mouse 59
- D.A. Chechetin**
Adaptive physical education of children with disorders of the musculoskeletal relationship of the spine 65

Clinical medicine

- Y.A. Volchek, N.V. Karlovich, A.G. Sazonova, T.V. Mokhort**
The assessment of the prevalence of hyperprolactinemia and parameters associated with changes in the level of prolactin in chronic kidney disease 72

- А.Ю. Захарко, Н.П. Митьковская, Т.В. Статкевич, А.С. Подгорная, О.В. Мурашко**
Гипертензивные расстройства беременности и сердечно-сосудистые риски 82
- А.Yu. Zaharko, N.P. Mitkovskaya, T.V. Statkevich, A.S. Podgornaya, O.V. Murashko**
Hypertensive disorders in pregnant women and cardiovascular risks
- С.В. Зыблева, А.Е. Силин, О.А. Сердюкова, Е.С. Тихонова**
Клинико-иммунологические и генетические особенности пациентов с атопическим дерматитом 89
- S.V. Zybleva, A.E. Silin, O.A. Serdyukova, E.S. Tihonova**
Clinical, immunological and genetic characteristics in patients with atopic dermatitis
- Ж.М. Козич, В.Н. Мартинков, Ж.Н. Пугачева, М.Ю. Жандаров, Л.А. Смирнова**
Роль экспрессии CD95, CD56 и иммуногистохимического маркера CD138 в опухолевой прогрессии у пациентов с моноклональной гаммапатией неопределённого значения и солитарной плазмацитомой у жителей гомельского региона Беларуси 96
- Z.M. Kozich, V.N. Martinkov, Z.N. Pugacheva, M.Y. Zhandarov, L.A. Smirnova**
The role of CD95, CD56 expression, immunohistochemical marker CD138 in tumor progression in patients with monoclonal gammopathy of undetermined significance and solitary plasmacytoma in residents of the Gomel region, Belarus
- А.В. Коротаев, А.М. Пристром, Е.П. Науменко, Л.Е. Коротаева, С.Н. Кадол**
Биомаркеры фиброза и воспаления и их связь с патологическим ремоделированием миокарда левого желудочка 102
- A.V. Korotaev, A.M. Pristrom, E.P. Naumenko, L.E. Korotaeva, S.N. Kadol**
Biomarkers of fibrosis and inflammation and their relationship to pathological remodeling of the left ventricular myocardium
- А.А. Маркова, Н.Ю. Горбунова, Н.А. Поздеева**
Сравнительный анализ отдалённых результатов лечения пациентов с закрытоугольной глаукомой с плоской радужкой 110
- A.A. Markova, N.Y. Gorbunova, N.A. Pozdeyeva**
Comparative analysis of long-term results of treatment of patients with angle-closure glaucoma with plateau iris
- Ю.И. Ярец**
Матрикс бактериальной биопленки: цитотоксичность, влияние на пролиферативную активность и степень экспрессии поверхностных маркеров фибробластов 116
- Y. Yarets**
Bacterial biofilm matrix: cytotoxicity, effects on proliferative activity and the degree of expression of fibroblast surface markers

Обмен опытом**Experience exchange**

- К.Н. Бuzдалкин, Н.Г. Власова**
Проблемы оценки доз аварийного облучения оперативного персонала АЭС 125
- K.N. Buzdalkin, N.G. Vlasova**
Problems of emergency radiation doses estimation

ОЦЕНКА ИНГАЛЯЦИОННЫХ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ И ПОЖАРНЫХ ПРИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРАХ В ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ КАТАСТРОФЫ НА ЧАЭС

РУП «Научно-практический центр гигиены», г. Минск, Беларусь

В статье представлены результаты оценки ингаляционных доз облучения населения и пожарных в результате лесных пожаров на территории, загрязненной чернобыльскими радионуклидами. Для прогнозирования последствий пожаров выполнена ретроспективная оценка пожаров, произошедших на загрязненных после аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) территориях и в Полесском государственном радиационно-экологическом заповеднике (ПГРЭЗ). Расчёты выполнены с помощью программного продукта JRODOS. Исходными данными для расчётов являлись сведения о плотности загрязнения участков пожаров ^{137}Cs , полученные по карте загрязнения территории ПГРЭЗ, а также данным по загрязнению территории украинского сектора зоны отчуждения ЧАЭС. Выбраны наилучшие сценарии пожаров, произошедших в 2015 г. на территории зоны отчуждения Республики Беларусь и Украины, а также пожар, произошедший в апреле 2020 г. на Украине. В результате оценки было установлено, что дозы облучения жителей населенных пунктов (НП), ближайших к ПГРЭЗ и расположенных недалеко от границы с Украиной, в результате ингаляционного поступления ^{137}Cs составляют 0,4 мкЗв/сут, дозы облучения пожарных – 15 мкЗв/сут. Однако, несмотря на то, что дозы облучения не превышают критерии аварийного реагирования, оценка и учет доз облучения населения при таких лесных пожарах должны выполняться с целью оценки риска здоровью населения и информирования общественности.

Ключевые слова: радионуклид, ^{137}Cs , радиационная защита, зона отчуждения, лесной пожар, ингаляционная доза облучения, ПГРЭЗ, ЧАЭС

Введение

ПГРЭЗ создан на территории площадью 2,162 тыс. км² белорусского сектора 30-км зоны ЧАЭС и прилегающих к ней землях, откуда было отселено население. Наибольшие уровни загрязнения ^{137}Cs (более 7500 кБк/м² или 200 Ки/км²) имеют место в юго-восточной части заповедника в районе бывших населенных пунктов Крюки, Желибор, Михалевка, Кулажин (рисунок 1). Установлено, что плотность загрязнения почвы ^{137}Cs в зоне отчуждения на белорусско-украинской границе варьирует от 13 до 9200 кБк/м² (от 0,35 до 250 Ки/км²).

Изменение климата, а также характера землепользования на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на ЧАЭС, приводит к увеличению количества лесных пожаров как

на территории ПГРЭЗ, так и в зоне радиоактивного загрязнения сопредельных государств [1]. С 1993 по 2013 г. в чернобыльской зоне отчуждения (ЧЗО) произошло более 1250 природных пожаров различных видов, из них примерно 55% произошли на бывших сельскохозяйственных землях и около 33% – на лесных угодьях. С 1996 по 2015 гг. на белорусской части зоны отчуждения произошло 263 лесных пожара [2].

Лесные пожары, в отличие от луговых, являются наиболее опасными с радиологической точки зрения, так как способствуют большему выносу радиоактивных веществ и высотному переносу радиоактивного облака на дальние расстояния от места пожара. В процессе горения лесной материал теряет до 90% органической составляющей и радионуклиды концентри-

ПОЛЕСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ЗАПОВЕДНИК. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ЦЕЗИЕМ-137

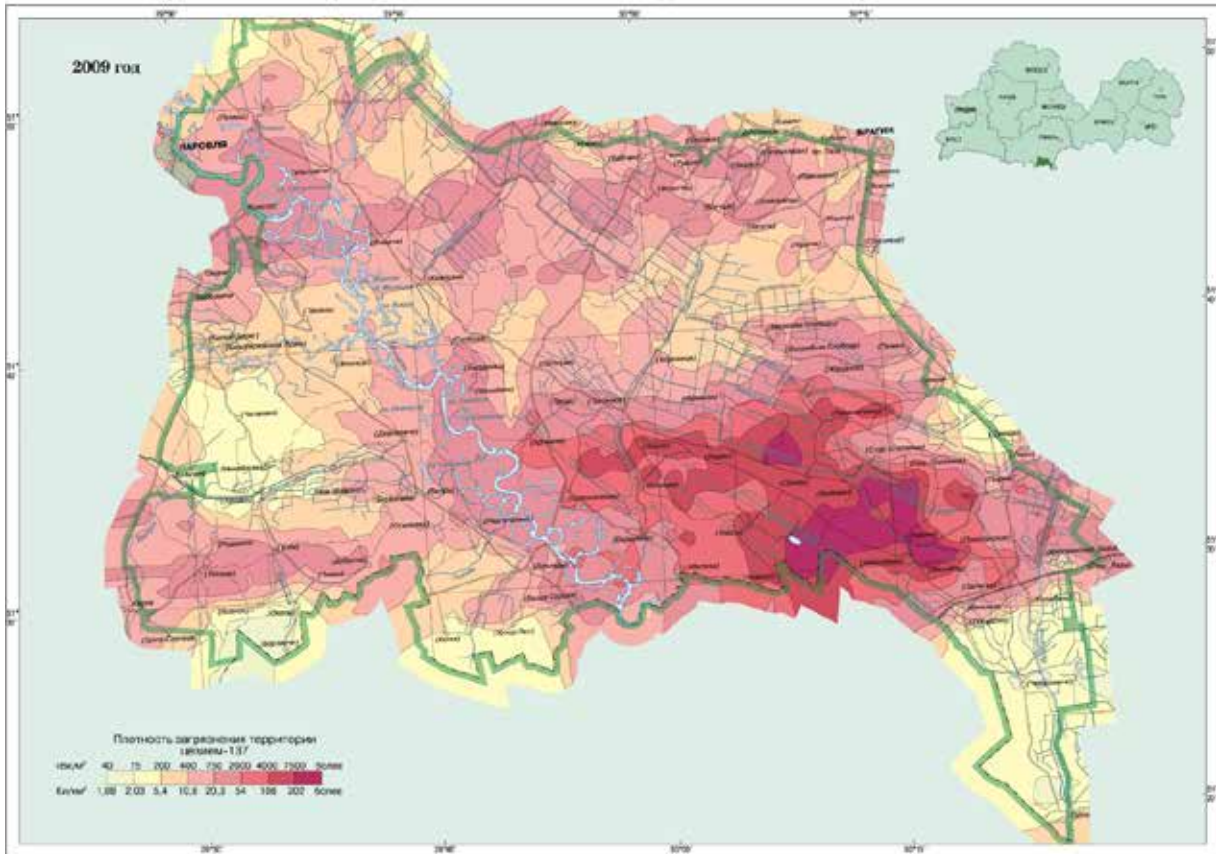


Рисунок 1 – Карта загрязнения территории ПГРЭЗ ¹³⁷Cs по состоянию на 01.01.2009 г.

руются в минеральной части продуктов сгорания и пепле. Результаты экспериментов показывают, что активность продуктов сгорания в значительной степени зависит от степени выгорания [3].

Результаты исследований, проведенных на белорусской территории зоны отчуждения, показали, что основной запас ¹³⁷Cs (41-76%) находится в верхнем 0-5 см слое почвы, а трансурановых радионуклидов (36-68%) – в 0-10 см слое. Вследствие пожаров происходит изменение профилей вертикального распределения радионуклидов в почвах. В местах прохождения лесных пожаров наблюдается восходящая миграция радионуклидов в почвах. При верховом лесном пожаре отмечается вынос радионуклидов в окружающую среду. Расчетные величины выноса в атмосферу для ¹³⁷Cs составляют 21%, для ⁹⁰Sr – 10,5%, для ²⁴¹Am – 7,3% [3].

При проведении работ по тушению пожаров персонал ЧЗО подвергается внешне-

му облучению от радионуклидов, содержащихся в верхнем слое почвы и лесной подстилке, древостое и других лесных компонентах, а также внутреннему облучению от ингаляционного поступления радиоактивных аэрозолей с вдыхаемым воздухом. При крупных пожарах в атмосферу выбрасывается большое количество загрязняющих веществ в виде газообразных и твердых продуктов сгорания, которые могут переноситься на значительные расстояния воздушными массами. Вдыхание людьми аэрозолей, образовавшихся во время пожаров, вызывает травмы и в некоторых случаях даже преждевременную смерть. Ежегодно во всем мире более 180 000 человек погибает от последствий ингаляционного влияния дыма от лесных пожаров [4].

Пожары на загрязненных радионуклидами территориях могут вносить вклад в облучение населения, проживающего в близлежащих населенных пунктах. Крупный пожар на загрязненной радионуклида-

ми территории произошел в апреле 2015 г на территории Лубянского лесничества Украины с плотностью загрязнения территории ^{137}Cs порядка 1040 Бк/км² [3]. В 2015 году в г. Гомеле и г. Мозырь отмечен рост среднегодовой активности радионуклида ^{137}Cs в воздухе в связи с пожарами, произошедшими на отселенной территории в Украине и на территории ПГРЭЗ [5]. Таким образом, оценка доз облучения населения и работников (спасателей, лесников и пр.), участвующих в ликвидации пожаров на территориях с высоким уровнем радиоактивного загрязнения ^{137}Cs , а также разработка методов прогнозирования последствий пожаров является на сегодняшний день крайне актуальной.

Математические модели являются важным инструментом оценки радиоактивного загрязнения атмосферы и подстилающей поверхности при аварийных выбросах (к которым можно отнести выбросы радионуклидов при пожарах на радиоактивно загрязненных территориях). Выбор адекватной модели атмосферного переноса, учитывающий особенности как источника выброса, так и территории распространения радиоактивности, имеет определяющее значение при оценке последствий таких пожаров.

Цель исследования – выполнить оценку ингаляционных доз облучения ^{137}Cs населения и лиц, участвующих в тушении пожаров на территории ЧЗО, загрязненной в результате катастрофы на ЧАЭС.

Материал и методы исследований

Для прогнозирования последствий пожаров на радиоактивно загрязненной после ЧАЭС территории были выбраны следующие сценарии:

сценарий № 1 – гипотетический пожар в ПГРЭЗ на участке с высокой плотностью загрязнения ^{137}Cs в районе бывшего НП Кулажин, ограниченный НП Масаны, Уласы, Чемков, Кулажин. Прогноз выполнен с учетом направления ветра в сторону ближайших НП: Брагин и Хойники;

сценарий № 2 – пожар, произошедший на территории зоны отчуждения Украины в августе 2015 г.,

сценарий № 3 – пожар, произошедший на территории зоны отчуждения Украины в апреле 2020 г.

Сценарий № 2 соответствует пожару, произошедшему в ЧЗО в Украине 8-11.08.2015 г. на «цезиевом конденсационном пятне» [6]. Сценарий № 3 соответствует наиболее крупному пожару, произошедшему в ЧЗО на территории Украины в районе Денисовического лесничества в 2020 г. Сценарии № 2 и 3 выбраны для сравнения результатов оценки последствий пожара по сценарию 1.

Оценка последствий пожаров выполнена с учетом выноса и переноса ^{137}Cs , так как данный радионуклид при пожарах переносится на более дальние расстояния. Объемная активность ^{137}Cs в воздухе и дозы облучения взрослого человека оценены при нахождении в зоне пожара (для лиц, участвующих в тушении пожаров) и в ближайших населенных пунктах, расположенных с наветренной стороны (для населения).

Оценка переноса радионуклидов при пожарах, концентраций радионуклидов в окружающей среде и доз облучения выполнена с использованием метода математического моделирования с помощью компьютерного кода JRODOS (Java-based Real Time On-line Decision Support System). Программный пакет JRODOS разработан Karlsruhe Institute of Technologies, Германия. JRODOS – это система поддержки принятия управленческих решений в случае аварийного сброса/выброса радиоактивных веществ в окружающую среду. Модуль JRODOS-Wildfire позволяет оценить перенос и осаждение радионуклидов с помощью модели переноса частиц Лагранжа (LASAT).

В программном пакете JRODOS количество радиоактивного материала, который ресуспендируется из почвы ветровым подъемом или другими процессами, зависит от таких факторов как условия осаждения радионуклидов (влажное/сухое осаждение),

размер и химические свойства радионуклидов, тип поверхности (растительность, почва), климатические условия и другие. Количественно процесс ресуспензии можно описать следующей формулой:

$$C_{air,r}(t) = A_{soil} \cdot K_R(t) \cdot e^{-\lambda_r \cdot t} \quad (1)$$

где $C_{air,r}(t)$ – концентрация радионуклида r в приземном воздухе, вследствие процесса ресуспензии, (Бк/м³);

A_{soil} – осаднение на почву, (Бк/м²);

$K_R(t)$ – коэффициент ресуспензии, (м⁻¹).

$$K_R(t) = R_1 \cdot e^{-R_2 \cdot t} + R_3 \quad (2)$$

где R_1 – коэффициент ресуспензии сразу после осаднения (м⁻¹);

R_2 – скорость экспоненциального уменьшения $K_R(t)$ после осаднения, (сут⁻¹);

R_3 – коэффициент ресуспензии в отдаленном периоде, (м⁻¹).

Доза внутреннего облучения, обусловленная ингаляцией радионуклидов D_{inh} , рассчитывается исходя из интегрированной во времени концентрации радионуклида в приземном слое воздуха по формуле:

$$D_{inh} = \bar{C}_{air} \cdot I_{inh} \cdot g_{inh} \quad (3)$$

Где: D_{inh} – доза внутреннего облучения от ингаляции, (Зв);

C_{air} – интегрированная во времени концентрация радионуклидов в воздухе (Бк×ч/м³);

I_{inh} – интенсивность дыхания, (м³/ч);

g_{inh} – ожидаемая эффективная доза на единицу ингаляционного поступления, (Зв/Бк).

Учитывается также ингаляция ресуспензированных радионуклидов.

Результаты исследований

Прогноз сценария № 1 выполнен при пожаре на участке с наибольшей плотностью загрязнения ¹³⁷Cs (более 7500 кБк/м²) в районе НП Кулажин и ограниченный НП Масаны, Уласы, Чемков, Кулажин (рисунок 2).

При прогнозировании использованы метеоданные по состоянию на 7 апреля 2020 г., площадь возгорания – 70 км², ветер юго-западный, скорость 2-3 м/с, продолжительность выброса ¹³⁷Cs – 24 часа.

В результате выполненных расчетов было установлено, что в непосредственной близости от пожара максимальная концентрация ¹³⁷Cs в воздухе, интегрированная во времени, составит 8,41×10⁶ Бк×с/м³. Радиоактивное облако достигнет городов Хойники и Брагин спустя 3 часа после начала пожара (рисунок 3).

Максимальные ингаляционные дозы облучения ¹³⁷Cs лиц, участвующих в пожароту-

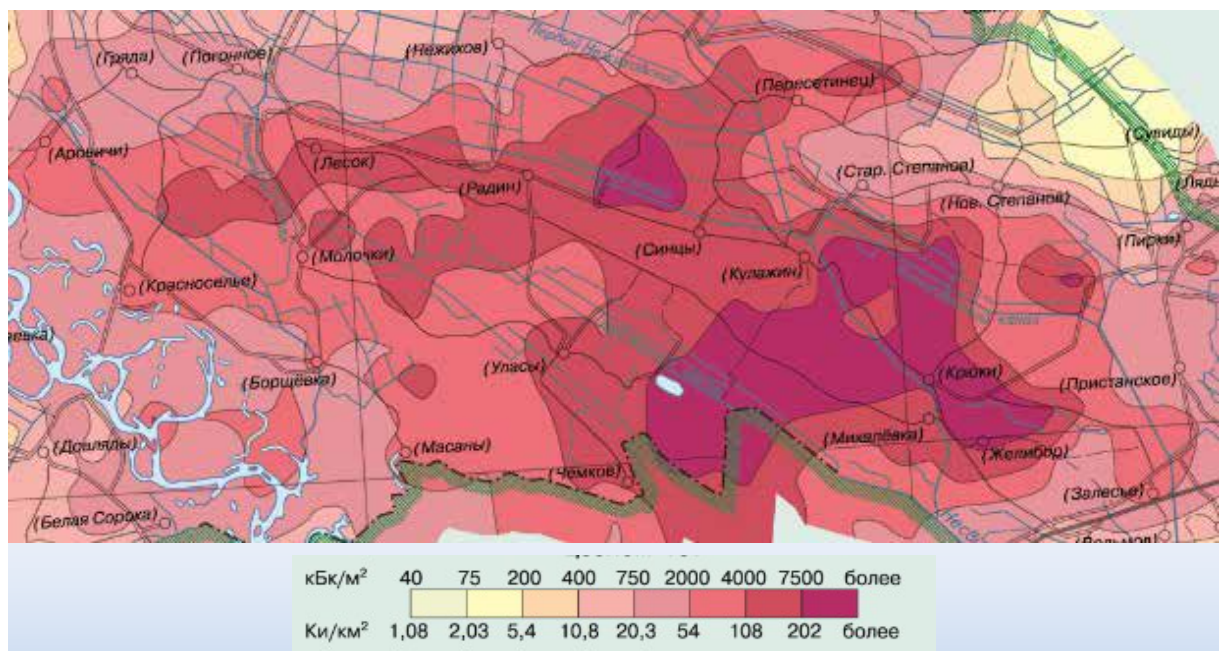


Рисунок 2 – Карта загрязнения территории ПГРЭЗ ¹³⁷Cs в районе бывшего НП Кулажин (по состоянию на 2009 г.)

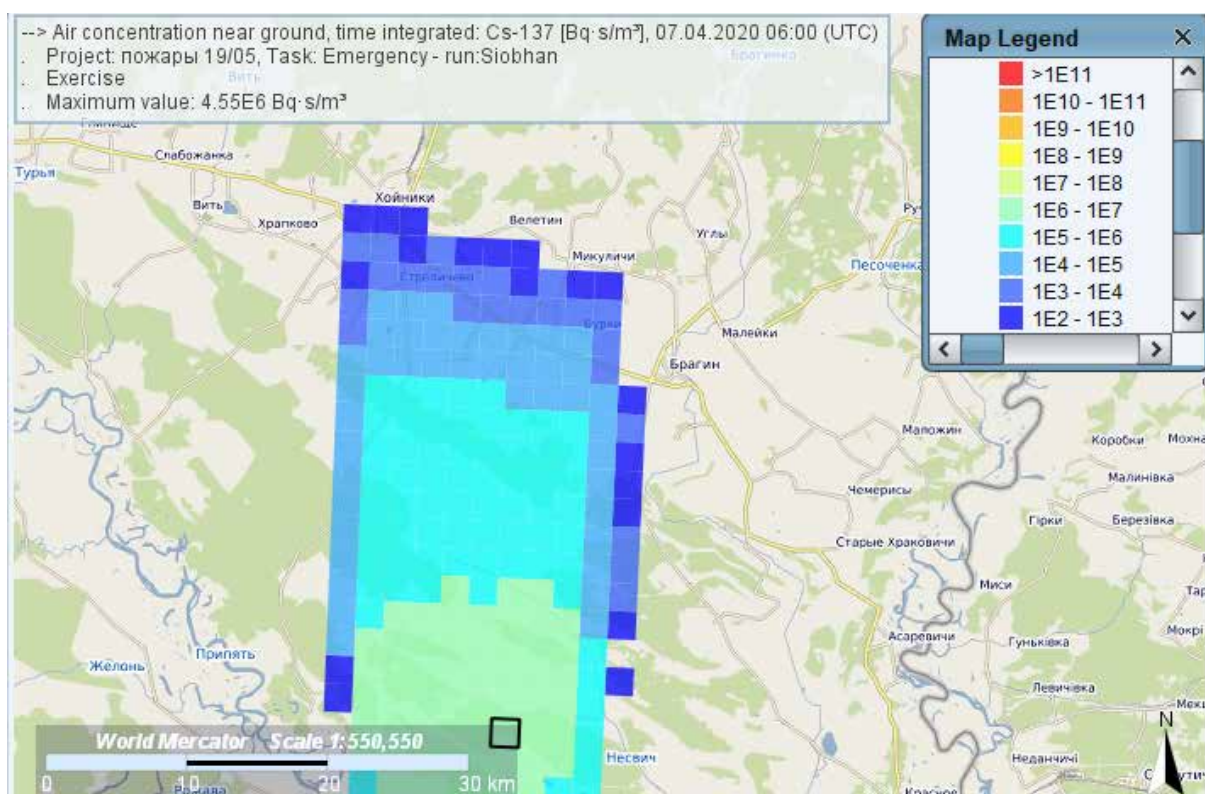


Рисунок 3 – Интегрированная во времени концентрация ^{137}Cs в воздухе, через 3 часа после начала пожара по сценарию № 1 (Беларусь, апрель 2020), Бк×с/м³

шении, при неиспользовании средств защиты органов дыхания могут составить 15 мкЗв.

Эффективная ингаляционная доза облучения ^{137}Cs населения за первые сутки после прихода облака в НП Брагин и Хойники составит 0,416 мкЗв и 0,0237 мкЗв соответственно (таблица 1, рисунки 4-5).

Прогноз сценария № 2 выполнен на основе лесного пожара, произошедшего 8 августа 2015 г. в Украине на приграничной с Республикой Беларусь территории, на участке с большой плотностью загрязнения ^{137}Cs . В сценарии № 2 рассмотрен только пожар, который произошел в августе 2015 г., пожар апреля 2015 не рассматривался. При прогнозировании использованы метеоданные по состоянию на 8 августа 2015 г., площадь возгорания – 50 км², пожар в зоне отчуждения на участке, ограниченном НП Усов и Красное (рисунок 6), ветер юго-западный, скорость 1-2 м/с, продолжительность выброса – 24 часа.

В результате выполненной оценки установлено, что максимальная концен-

Таблица 1 – Результаты расчета последствий лесного пожара для сценария № 1 (Беларусь, апрель 2020)

Параметр	Значение
Плотность загрязнения территории ^{137}Cs , Бк/м ²	4,0×10 ⁶
Максимальная концентрация ^{137}Cs в воздухе, в Бк/м ³	77
Интегрированная во времени максимальная концентрация ^{137}Cs в воздухе, Бк×с/м ³	8,41×10 ⁶
г.п. Брагин	
Интегрированная во времени концентрация ^{137}Cs в воздухе, Бк×с/м ³	2,7×10 ⁵
Концентрация в воздухе ^{137}Cs , Бк/м ³	3,13
Выпадения ^{137}Cs на почву, Бк/м ²	139
Ингаляционная доза облучения ^{137}Cs за первые 24 ч, мкЗв	0,416
г. Хойники	
Интегрированная во времени концентрация в воздухе ^{137}Cs , Бк×с/м ³	2,08×10 ⁴
Концентрация в воздухе ^{137}Cs , Бк/м ³	2,41×10 ⁻¹
Выпадения ^{137}Cs на почву, Бк/м ²	58
Ингаляционная доза облучения ^{137}Cs за первые 24 ч, мкЗв	0,0237

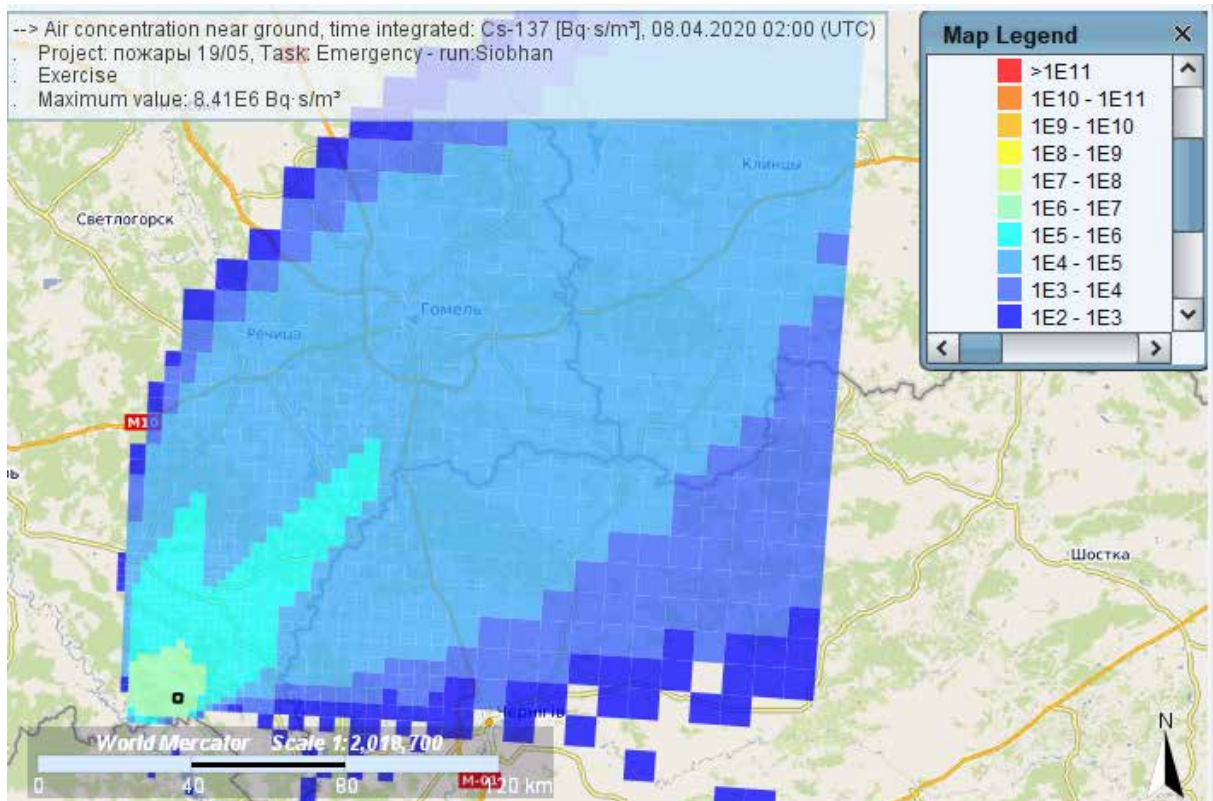


Рисунок 4 – Интегрированная во времени концентрация ¹³⁷Cs в воздухе, через 24 часа после начала пожара по сценарию № 1 (Беларусь, апрель 2020), Бк×с/м³

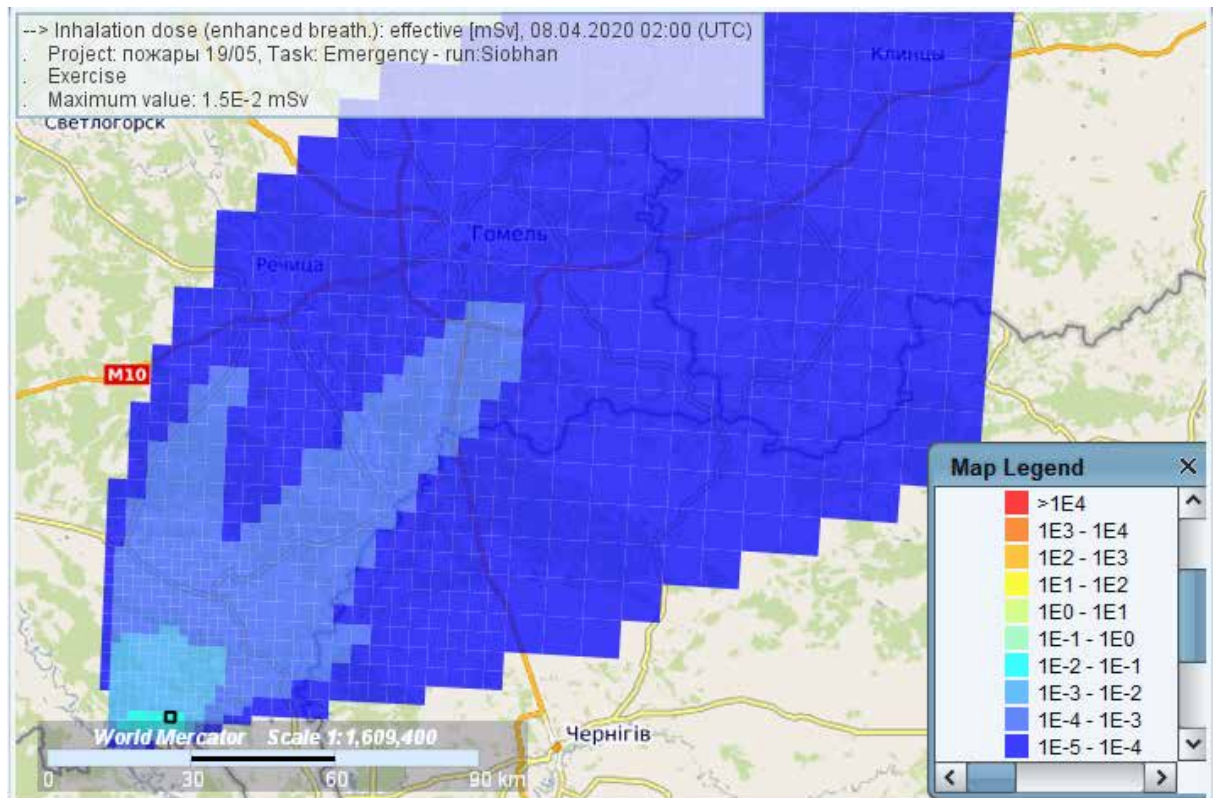


Рисунок 5 – Ингаляционная доза облучения ¹³⁷Cs населения за 24 ч после начала пожара по сценарию № 1 (Беларусь, апрель 2020), мЗв

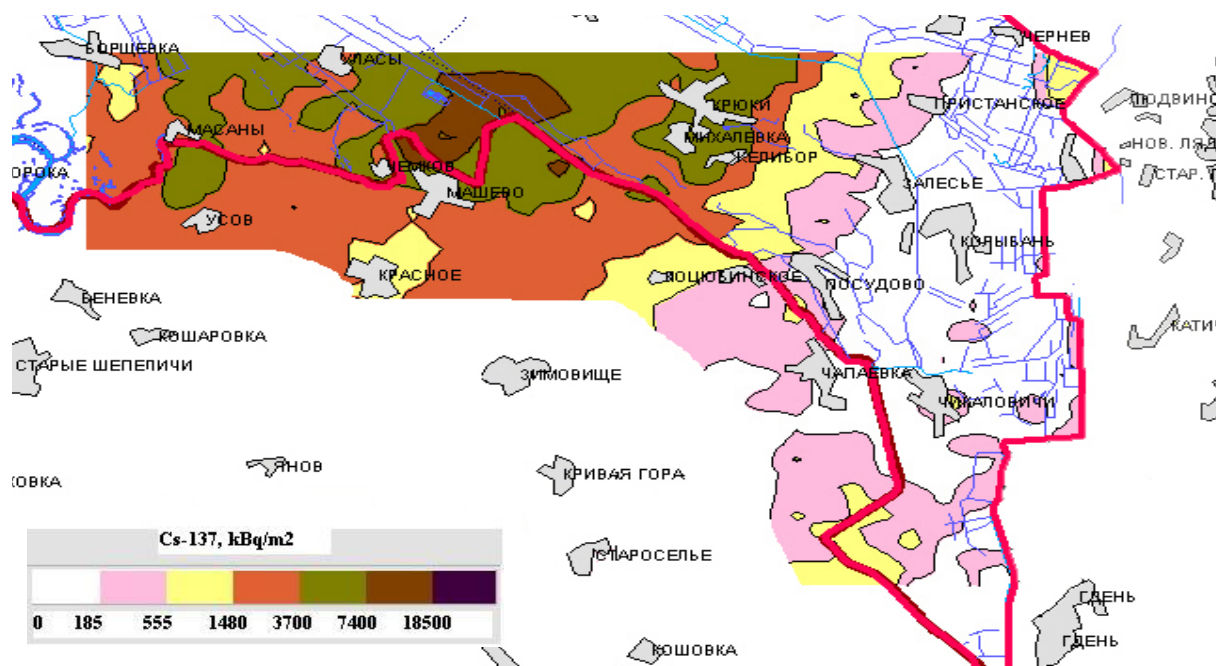


Рисунок 6 – Карта плотности загрязнения участка, на котором произошел пожар по сценарию №2 (загрязнение ^{137}Cs участка: граница РБ-Украина)

трация ^{137}Cs в воздухе, интегрированная во времени, составит $8,41 \times 10^6$ Бк \times с/м 3 . При нахождении человека в непосредственной близости от пожара (ликвидаторы, пожарные) максимальные ингаляционные дозы облучения могут составить 7,49 мкЗв.

Радиоактивное облако достигнет границы Республики Беларусь в первые часы после начала пожара, а спустя 11-12 часов достигнет г. Мозырь и г. Гомель. При этом максимальная концентрация ^{137}Cs в воздухе, интегрированная во времени спустя 11 часов, составит $1,75 \times 10^2$ Бк \times с/м 3 , а за первые сутки – $1,04 \times 10^4$ Бк \times с/м 3 (рисунок 7).

Результаты расчета последствий лесного пожара для сценария № 2 представлены в таблице 2.

Эффективная ингаляционная доза облучения ^{137}Cs населения за первые сутки после прихода облака в г. Мозырь и г. Гомель составит $2,02 \times 10^{-4}$ мкЗв и $2,9 \times 10^{-2}$ мкЗв соответственно (рисунок 8).

Для сравнения результатов прогнозирования, полученных для сценария №2, целесообразно привести результаты последствий лесных пожаров, произошедших в апреле 2015 года. По данным Республиканского центра по гидрометеорологии,

контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды (Белгидромет) вторичный перенос радиоактивных аэрозолей за пределы ЧЗО, образовавшихся в результате пожара 26-29.04.15 г., был крайне незначительный и не привел к статистически достоверному увеличению объемной активности ^{137}Cs в воздухе в пунктах наблюдения атмосферного воздуха в направлении распространения шлейфа выброса. В г. Мозырь объемная активность ^{137}Cs в воздухе в это время не превышала 10^{-5} Бк/м 3 , что было на порядок величины ниже расчетных консервативных оценок (9×10^{-4} Бк/м 3).

Максимальный уровень объемной активности ^{137}Cs в воздухе г. Мозырь ($1,5 \times 10^{-3}$ Бк/м 3) был зафиксирован Белгидромет только 11-12.08.15 г. (таблица 3) во время второго за 2015 год большого пожара 8-11.08.2015 г. на площади около 50 км 2 на «цезиевом конденсационном пятне» ЧЗО (сценарий № 2).

Дополнительная ожидаемая эффективная доза внутреннего облучения взрослого населения за счет ингаляции радиоактивных аэрозолей пожара в ЧЗО в апреле 2015 года была крайне незначительной и не превыша-



Таблица 2 – Результаты расчета последствий лесного пожара для сценария № 2 (Украина, август 2015 г.)

Параметр	Значение
Плотность загрязнения территории ¹³⁷ Cs, Бк/м ²	3,7×10 ⁶
Максимальная концентрация в воздухе ¹³⁷ Cs, Бк/м ³	9,49
Интегрированная во времени максимальная концентрация ¹³⁷ Cs в воздухе, Бк×с/м ³	1,1×10 ⁶
Ингаляционные дозы облучения в непосредственной близости от пожара, мкЗв	7,49
г. Гомель	
Интегрированная во времени концентрация ¹³⁷ Cs в воздухе, Бк×с/м ³	1,04×10 ⁴
Концентрация ¹³⁷ Cs в воздухе, Бк/м ³	1,20×10 ⁻¹
Выпадения ¹³⁷ Cs на почву, Бк/м ²	10,4
Ингаляционная доза облучения ¹³⁷ Cs за первые 24 ч, мкЗв	2,9×10 ⁻²
г. Мозырь	
Интегрированная во времени концентрация ¹³⁷ Cs в воздухе, Бк×с/м ³	1,75×10 ²
Концентрация ¹³⁷ Cs в воздухе, Бк/м ³	2,03×10 ⁻³
Выпадения ¹³⁷ Cs на почву, Бк/м ²	0,1
Ингаляционная доза облучения ¹³⁷ Cs за первые 24 ч, мкЗв	2,02×10 ⁻⁴

ла эффективных доз облучения за счет естественного природного облучения в обычных условиях в течение нескольких минут [3].

Прогноз сценария № 3 выполнен по состоянию на 7 апреля 2020 г., когда направление ветра было в сторону Республики Беларусь, в частности в направлении г. Брагин и г. Хойники. Площадь возгорания составила 110 км², выброс ¹³⁷Cs – 3,7×10⁵ Бк/м², продолжительность выброса 24 часа, ветер юго-западный, скорость 2-3 м/с.

Результаты расчета последствий лесного пожара для сценария № 3 представлены в таблице 4.

В результате выполненного прогноза на дату 07.04.2020 установлено, что максимальная концентрация ¹³⁷Cs в воздухе, интегрированная во времени, составит 1,1×10⁶ Бк×с/м³ (рисунок 9).

Максимальные ингаляционные дозы на месте возгорания составят для лиц, участвующих в пожаротушении и не использующих средств индивидуальной защиты органов дыхания, 1,95 мкЗв за первые 24 часа, хотя данная доза является незначительной по сравнению с действу-

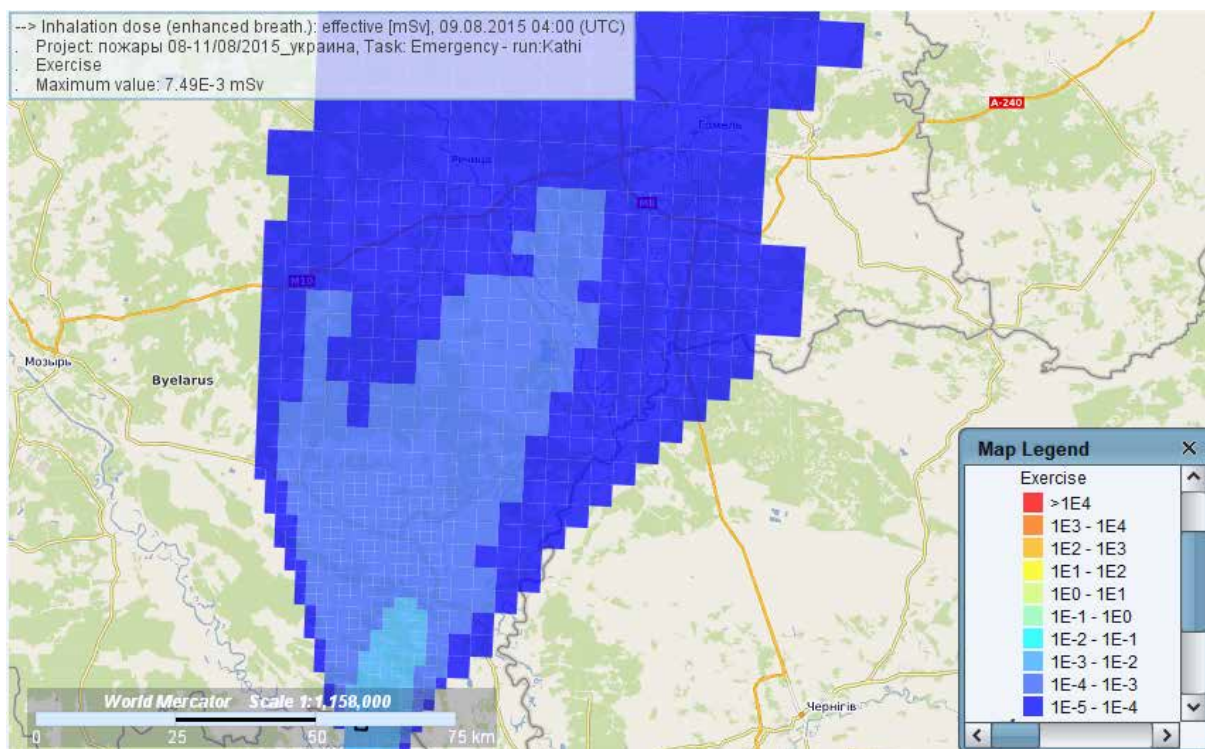


Рисунок 8 – Ингаляционная доза облучения ^{137}Cs населения за 24 ч после начала пожара по сценарию № 2 (Украина, август 2015 г.), мЗв

Таблица 3 – Средняя объемная активность ^{137}Cs в воздухе на пунктах мониторинга атмосферного воздуха в направлении распространения радиоактивных аэрозолей пожара в ЧЗО по данным Белгидромет

Пункт наблюдения	Период отбора проб	Средняя объемная активность ^{137}Cs в воздухе, Бк/м ³
г. Гомель (около 150 км на СВ от пожара)	1-31.03.15	$2,4 \times 10^{-5}$
	28-29.04.15	$7,3 \times 10^{-5}$
	29-30.04.15	$2,7 \times 10^{-5}$
г. Мозырь (около 90 км на ССЗ от пожара)	1-31.05.15	$3,6 \times 10^{-5}$
	1-31.03.15	$3,5 \times 10^{-5}$
	27-28.04.15	$3,0 \times 10^{-5}$
	28-29.04.15	$4,9 \times 10^{-5}$
	29-30.04.15	$1,1 \times 10^{-5}$
	1-31.05.15	$6,0 \times 10^{-5}$
	10-11.08.15	$1,9 \times 10^{-4}$
11-12.08.15	$1,5 \times 10^{-3}$	
12-13.08.15	$4,7 \times 10^{-4}$	

ными уровнями вмешательства по защите населения при радиационных авариях (100 мЗв). Однако при нахождении рядом с местом возгорания с наветренной стороны при рабочем времени 10 суток или 240 рабочих часов доза облучения может достиг-

Таблица 4 – Результаты расчета последствий лесного пожара для сценария № 3 (Украина, апрель 2020)

Параметры	Значения
Плотность загрязнения территории ^{137}Cs , Бк/м ²	$3,7 \times 10^5$
Максимальная концентрация в воздухе ^{137}Cs , Бк/м ³	9,08
Интегрированная во времени максимальная концентрация ^{137}Cs в воздухе, Бк×с/м ³	$1,1 \times 10^6$
г. Брагин	
Интегрированная во времени концентрация ^{137}Cs в воздухе, Бк×с/м ³	$3,14 \times 10^4$
Концентрация ^{137}Cs в воздухе, Бк/м ³	$3,63 \times 10^{-1}$
Выпадения ^{137}Cs на почву, Бк/м ²	17,7
Ингаляционная доза облучения ^{137}Cs за первые 24 ч, мкЗв	$5,62 \times 10^{-2}$
г. Хойники	
Интегрированная во времени концентрация ^{137}Cs в воздухе, Бк×с/м ³	$1,24 \times 10^4$
Концентрация ^{137}Cs в воздухе, Бк/м ³	$1,44 \times 10^{-1}$
Выпадения ^{137}Cs на почву, Бк/м ²	7,0
Ингаляционная доза облучения ^{137}Cs за первые 24 ч, мкЗв	$1,74 \times 10^{-2}$

нуть 19,5 мкЗв, что превысит критерий – уровень изъятия из-под контроля (10 мкЗв) и, соответственно, требует обеспечения

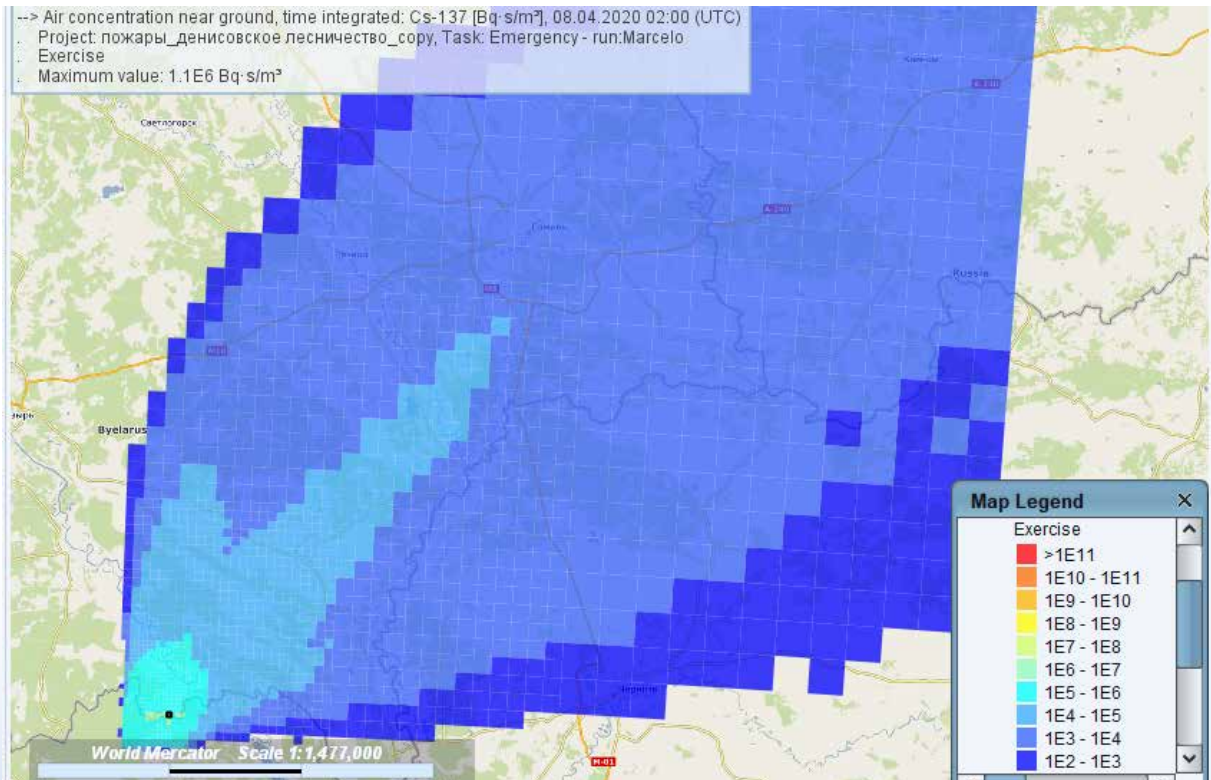


Рисунок 9 – Интегрированная во времени концентрация ^{137}Cs в воздухе, через 24 часа после начала пожара по сценарию №3 (Украина, апрель 2020), Бк·с/м³

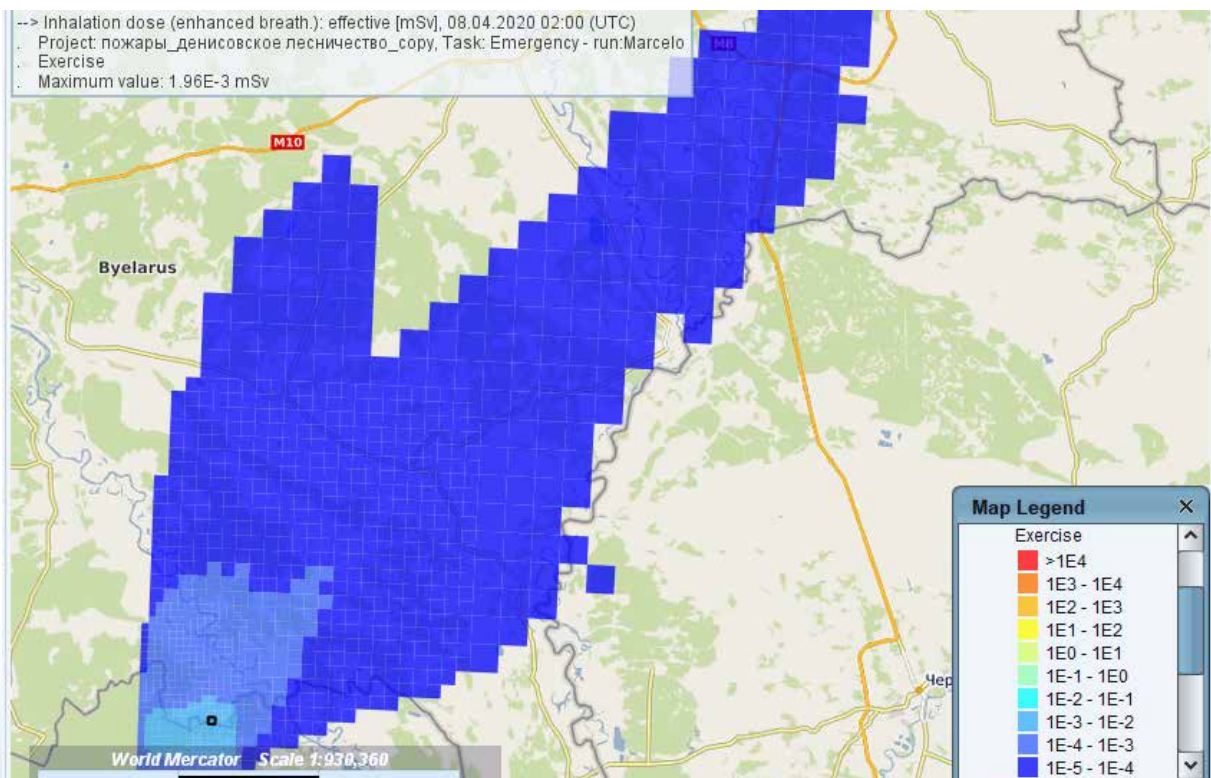


Рисунок 10 – Ингаляционная доза облучения ^{137}Cs населения за 24 ч после начала пожара по сценарию №3 (Украина, 07.04.2020), мЗв

радиационной защиты персонала, работающего в данной организации и выполняющего работы по пожаротушению, и надзора за организацией, в которой работает данный персонал.

Радиоактивное облако достигнет городов Брагин и Хойники спустя 13-14 часов от начала пожара. Ингаляционная доза облучения ^{137}Cs населения будет незначительной и составит за первые сутки в городах Брагин и Хойники $5,62 \times 10^{-2}$ мкЗв и $1,74 \times 10^{-2}$ мкЗв соответственно (рисунок 10).

Заключение

Программный код JRODOS может использоваться для прогнозирования последствий пожаров на территории Республики Беларусь, его доработка с учетом местных условий (карты, местный ландшафт, плотность загрязнения ПГРЭЗ) могут существенно улучшить прогнозирование последствий пожаров.

Сравнение расчетных концентраций ^{137}Cs в воздухе при переносе его за пределы ЧЗО и данных, полученных Белгидромет на пунктах наблюдения радиационного мониторинга атмосферного воздуха г. Мозырь, г. Гомель (таблицы 2-3), свидетельствуют о достаточно хорошей сопоставимости расчетных данных кода JRODOS и данных радиационного мониторинга.

Результаты выполненной оценки последствий для различных сценариев лесных пожаров, возникающих в зоне отчуждения на территории ПГРЭЗ Республики Беларусь и на приграничной территории зоны отчуждения Украины, показали, что дозы облучения населения в близлежащих населенных пунктах будут незначительными и составят от $2,02 \times 10^{-4}$ до $5,62 \times 10^{-2}$ мкЗв при всех оцененных сценариях. В отношении лиц, участвующих в тушении пожаров, без использования средств индивидуальной защиты органов дыхания дозы ингаляционного облучения ^{137}Cs могут составить порядка 15 мкЗв за первые 24 часа работы при пожаре на территории с плотностью загрязнения более 7500 кБк/м², что превышает критерий для применения меропри-

ятий по радиационной защите, в данном случае лиц, участвующих в тушении пожаров, и требует обеспечения госсаннадзора за обеспечением радиационной безопасности на предприятии.

Библиографический список

1. Передовая практика и рекомендации по тушению лесных пожаров в загрязненных районах с уделением особого внимания радиоактивному рельефу местности [Электронный ресурс]: доклад, подготовленный по заказу организации по безопасности и сотрудничеству в Европе (ОБСЕ) / Глобальный центр мониторинга пожаров (GFMC), Украинский институт сельскохозяйственной радиологии (UIAR), Национальный университет наук о жизни и окружающей среде Украины (NUBiP Украины), региональный Восточноевропейский Центр мониторинга пожаров (REEFMC), Зеленый Крест Швейцарии / J.G. Goldammer [et al.]. – Режим доступа: <https://gfmc.online/GlobalNetworks/SEEurope/ОБСЕ-GFMC-Report-Fire-Management-Contaminated-Terrain-2014-RUS.PDF>. – Дата доступа: 20.07.2020.
2. Potential threat to human health during forest fires in the Belarusian exclusion zone / A.A. Dvornik [et al.] // *Aerosol Science and Technology*. – 2018. – Vol. 52, №8. – P. 923-932.
3. Радиологические последствия пожара в чернобыльской зоне отчуждения в апреле 2015 года / В.А. Кашпаров [и др.] // *Радиационная биология. Радиоэкология*. – 2017. – Т. 57, №5. – С. 512-527.
4. Руководство для участников тушения лесных пожаров в белорусском и украинском секторах зоны отчуждения Чернобыльской АЭС. – Фрайбург; Гомель; Киев, 2016. – 70 с.
5. Радиационная обстановка на территориях сопредельных государств. 5.1. Республика Беларусь / М.Г. Герменчук [и др.] // *Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2015 году: ежегодник*. – Обнинск: НПО «Тайфун», 2016. – С. 286-291.

6. Resuspension and atmospheric transport of radionuclides due to wildfires near the Chernobyl Nuclear Power Plant in 2015: An impact assessment / N. Evangeliou [et al.] // Scientific Reports. – 2016. – Vol. 6. – Art. 26062.

S.I. Sychik

**INHALATION DOSE ASSESSMENT FOR PUBLIC AND FIREFIGHTERS
IN CASE OF FOREST FIRES IN THE EXCLUSION ZONE
CONTAMINATED AFTER THE CHERNOBYL CATASTROPHE**

The article presents the results of assessment of inhalation doses to public and firefighters as a result of forest fires at the territory contaminated with Chernobyl radionuclides. To predict the consequences of fires, a retrospective assessment of fires occurred in the territories contaminated after the accident at the Chernobyl nuclear power and in the Polesky State Radiation and Ecological Reserve (hereinafter – the PSRER). The worst case scenarios for the fires that occurred in 2015 in the exclusion zone of the Republic of Belarus and Ukraine, as well as the fire that occurred in April 2020 in Ukraine, were selected. As a result of the assessment, it was found that inhalation doses to public of the settlements that are closest to PSRER and close to the border with Ukraine are insignificant and about to 0.4 $\mu\text{Sv}/\text{day}$, which cannot be said about inhalation doses to firefighters - 15 $\mu\text{Sv}/\text{day}$. However, despite that the doses do not exceed the emergency response criteria, the assessment and accounting of doses to public during forest fires should be carried out in order to assess the risk to public health and to inform the public.

Key words: radionuclide, ^{137}Cs , radiation protection, exclusion zone, forest fire, inhalation dose, PSRER, ChNPP

Поступила 14.08.2020