

УДК 004.942

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ ПРОГНОЗА ПОГОДЫ WRF ПРИ  
МОДЕЛИРОВАНИИ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА БЕЛАЭС**

ШАМЫНА А.Ю., ЛАБОХА А.К.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
(Минск, Республика Беларусь)*

**Аннотация.** Рассмотрена целесообразность использования модели численного прогноза погоды WRF как источника метеоданных при моделировании переноса радиоактивных веществ в атмосфере, кратко описаны технические детали WRF. В качестве опорного аварийного сценария выбран сценарий максимальной проектной аварии, гипотетически произошедшей на БелАЭС 12 UTC 21.03.2021. Проведены 4 численных эксперимента в СППР JRODOS с метеоданными GFS и WRF, а также моделями атмосферной диффузии RIMPUFF и LASAT. Дана оценка потенциального загрязнения подстилающей поверхности I-131 от 5 до 100 км от БелАЭС.

**Ключевые слова:** радиоактивное загрязнение, БелАЭС, численный прогноз погоды, СППР.

**USING THE NUMERICAL WRF WEATHER FORECAST MODEL IN SIMULATION OF  
EMERGENCY SITUATIONS AT BELNPP**

ARTSIOM.Y.SHAMYNA, ALEXANDR.K.LABOKHA

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics  
(Minsk, Republic of Belarus)*

**Abstract.** The expediency of using the numerical weather forecast model WRF as a source of meteorological data in modeling the transport of radioactive substances in the atmosphere is considered, the technical details of the WRF are briefly described. As a reference emergency scenario, the scenario of the maximum design basis accident hypothetically occurred at the BelNPP 12 UTC on 03/21/2021 was chosen. Four numerical experiments were carried out in the JRODOS DSS with the GFS and WRF meteorological data, as well as the RIMPUFF and LASAT atmospheric diffusion models. An assessment of the potential contamination of the underlying surface of I-131 from 5 to 100 km from BelNPP is given.

**Keywords:** nuclear pollution, BelNPP, NWP, DSP, WRF, JRODOS.

**Введение**

Оперативные оценки во время аварии, прогнозирование её развития и возможного ущерба являются неотъемлемой частью аварийного реагирования на любую чрезвычайную ситуацию с радиологическими последствиями. В настоящее время существует большое количество систем поддержки принятия решений (СППР), которые позволяют оценить прогнозируемую радиационную обстановку на различных стадиях развития аварийной ситуации. Однако результат их работы напрямую зависит от качества входных параметров: характеристик выброса, погодных условий, параметров рельефа и т.д.

В настоящей работе рассматривается возможность применения данных численной прогнозной модели погоды *Weather Research and Forecasting (WRF)* [1] в качестве исходных для краткосрочного аварийного прогноза, рассчитанных на основе метеоданных *Global Forecast System (GFS)* [2], которые поставляются национальной метеорологической службой США. Данные WRF отличаются от исходных GFS более высоким пространственным и временным разрешением, что достигается благодаря численному решению негидростатических уравнений и использованию вложенных расчетных сеток с учетом локальных особенностей местности. Данные GFS используются для инициализации начальных значений и задания граничных условий WRF.

Для прогнозирования переноса радиоактивных веществ в результате радиационной аварии, а также ожидаемых дозовых нагрузок в данной работе используется СППР JRODOS [3] с моделями атмосферной диффузии RIMPUFF [4] и LASAT [5]. В качестве базового аварийного сценария был выбран сценарий максимальной проектной аварии (МПА), описанный в отчете об оценке воздействия на окружающую среду Белорусской АЭС [6].

### Подготовка модели WRF для проведения эксперимента

Прогнозная модель *WRF* поставляется в виде открытого исходного кода, написанным преимущественно на языке программирования *Fortran*. Такой подход позволяет гибко настраивать модель на уровне исходного кода с учетом используемой платформы и решаемых задач. Однако в таком случае для запуска модели необходимо ее предварительно скомпилировать. Кроме компилятора необходима установка требуемых библиотек, что несколько затрудняет использование модели для неопытных пользователей. Для упрощения разворачивания окружения *WRF* на различных платформах предлагается использовать контейнеризатор приложений *Docker*. Эксплуатация *WRF* предполагается на ОС *Linux*.

В настоящей работе используется версия *WRF* 4.1.5, исходный код которой был взят с репозитория *GitHub* [7]. Запуск модели требует предварительной подготовки данных. Для этих целей используется система предварительной обработки *WRF Pre-Processing System (WPS)*, состоящая из трех модулей. Аналогично *WRF*, *WPS* компилируется из исходного кода. Версия *WPS* совпадает с версией *WRF*. Для автоматизации последовательного запуска модулей *WPS* и последующего запуска *WRF* был написан скрипт.

### Описание проведения численного эксперимента

Для проверки гипотезы о возможности и целесообразности использования *WRF* в настоящей работе предлагается рассмотреть сценарий МПА на БелАЭС для нескольких наборов данных: *GFS* и построенной на его основе *WRF*. Также предполагается рассмотреть моделирование выбранного аварийного сценария с использованием нескольких моделей атмосферной диффузии: *RIMPUFF* и *LASAT*.

Данные о погоде были выбраны за 21.03.2021 г. Для указанной даты были загружены наборы прогнозных метеоданных *GFS* с файлового хранилища *NCAR (National Center for Atmospheric research)* в формате *GRIB2*. Набор данных содержит множество значений метеопараметров с привязкой к пространственной сетке для различных изобарических высот. Длительность прогноза составляет 48 часов с шагом в 3 часа. Пространственное разрешение сетки данных составляет  $0.5^\circ$  (для широт Беларуси размер ячейки составляет  $\sim 54$  км в северном направлении и  $\sim 30$  км в восточном).

Затем загруженные данные использовались как исходные для запуска *WRF*. Пространственное разрешение полученных данных составило  $\sim 5$  км, а временное – 1 час. На рис. 1 представлена картографическая визуализация температуры воздуха на высоте 2 м за 06 UTC 21.03.2021 в радиусе 100 км от БелАЭС из двух наборов данных – *GFS* и *WRF*.

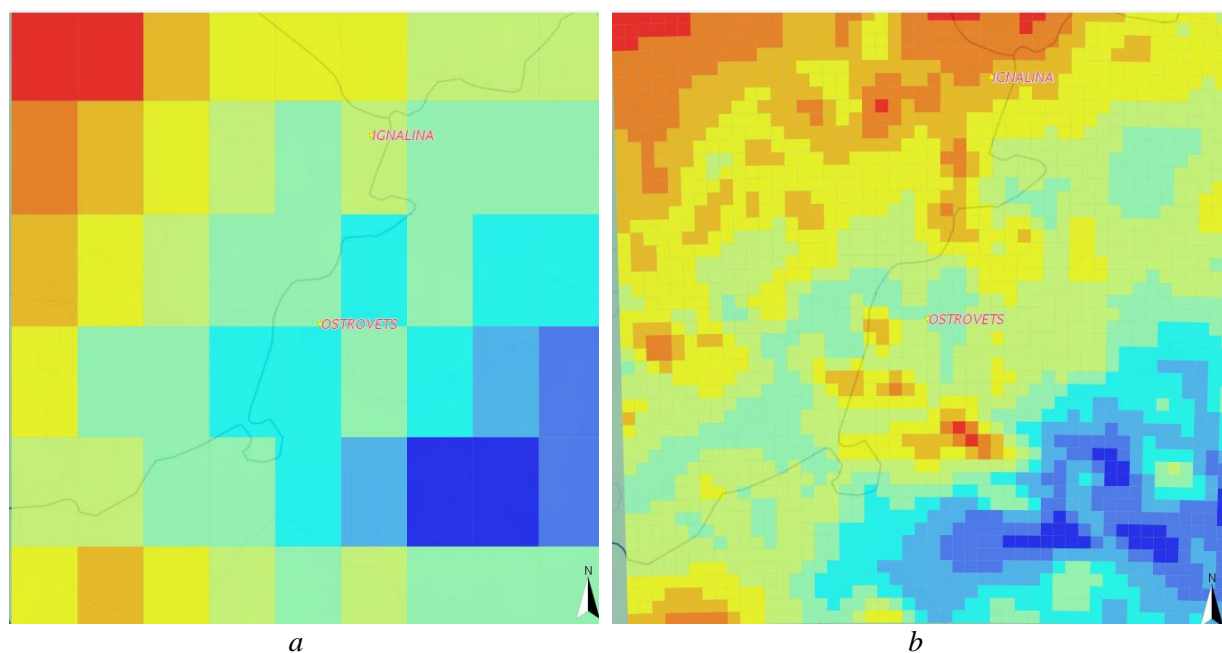


Рис. 1. Температура воздуха на высоте 2 м за 06 UTC 21.03.2021: a – *GFS*; b – *WRF*

Аварийный сценарий МПА предполагает выход большого количества радиоактивных веществ (РВ) в атмосферу за 1 час. Основные характеристики аварийного выброса представлены в таблице 1.

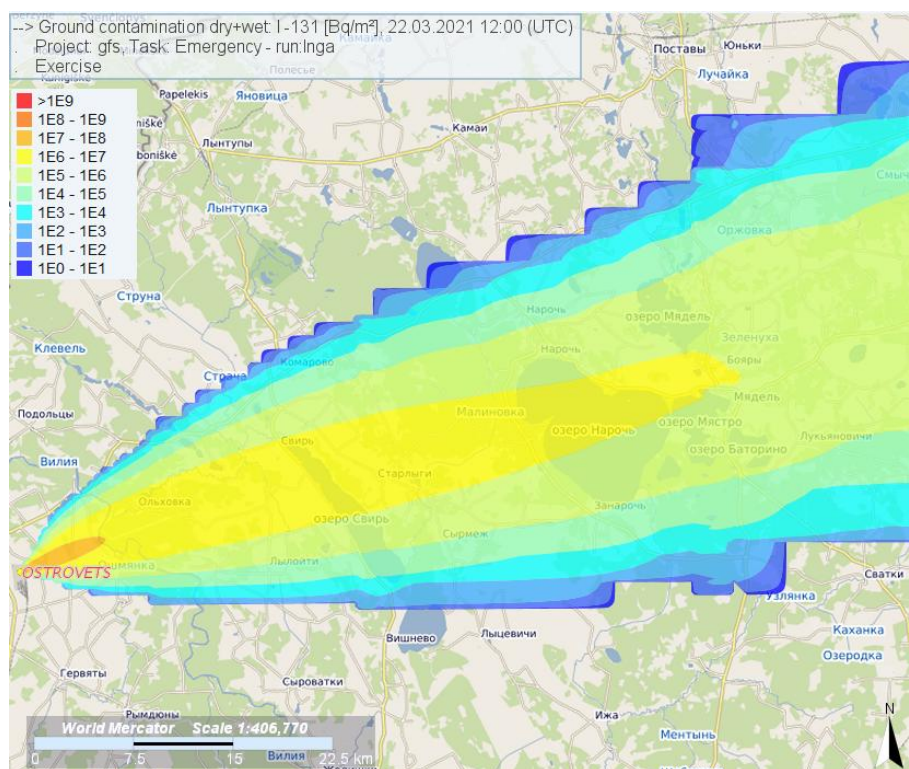
**Таблица 1.** Характеристики выброса РВ максимальной проектной аварии

Наименование	Значение
Период моделирования	24 часа
Продолжительность выброса	1 час
Динамика верхней и нижней границы выброса	21-25 м
Эффективный диаметр источника	3 м
Скорость выхода	1,8 м/с
Перегрев	30 °С
Активность $I_{131}$ , Бк	3,1+E15
Активность $Cs_{137}$ , Бк	3,5+E14

Предполагается, что инцидент произошел в 12.00 UTC 21.03.2021. С учетом вышесказанного, а также параметров выброса были заданы исходные параметры моделирования в созданном проекте *JRODOS*. Для моделирования использовалась цепочка моделей «*EmergencyLite*», которая кроме моделей переноса РВ и оценки доз облучения включает модели по загрязнению продуктов питания и принятию контрмер.

Было выполнено 4 численных эксперимента, которые отличались между собой моделями атмосферной диффузии и используемыми наборами метеоданных. Рассмотрены модель атмосферной диффузии *RIMPUFF* с наборами метеоданных *GFS* и *WRF*, а также *LASAT* с наборами *GFS* и *WRF*.

Полученные результаты загрязнения подстилающей поверхности изотопом  $I_{131}$  через 24 часа (22.03.2021 12 UTC) после гипотетического инцидента представлены на рисунках ниже (рис. 2, 3, 4, 5).



**Рис. 2.** Загрязнение подстилающей поверхности изотопом  $I_{131}$  на 22.03.2021 12 UTC, полученное с использованием *GFS* и *RIMPUFF*, Бк/м<sup>2</sup>

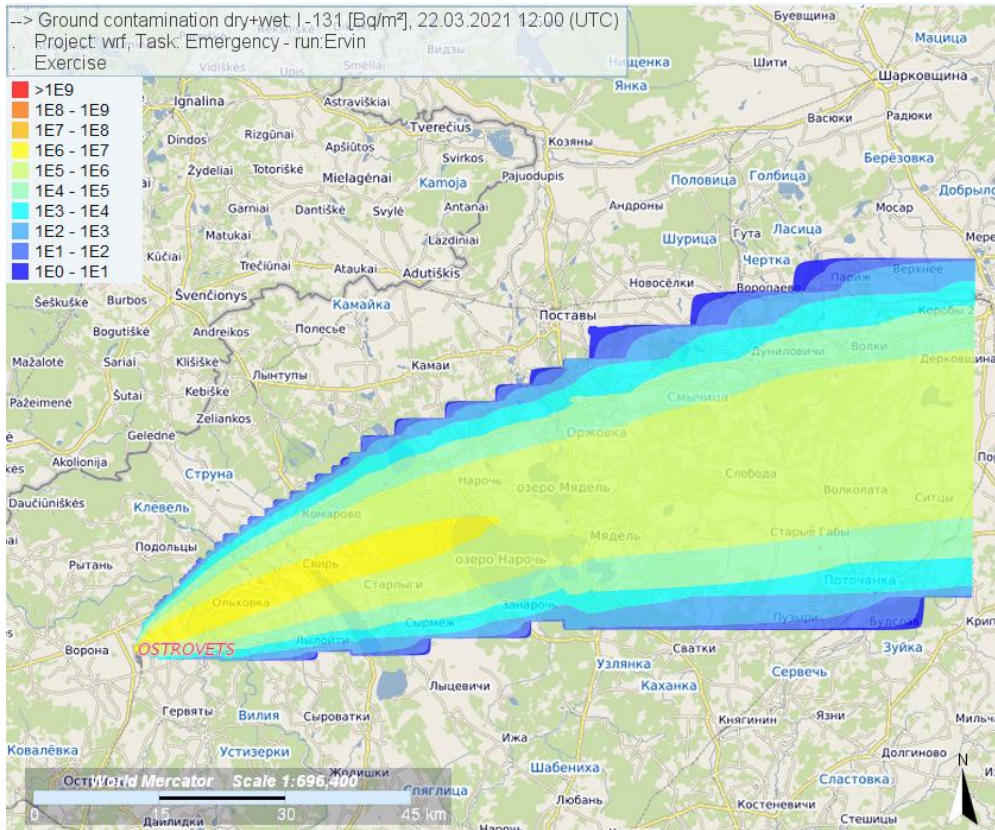


Рис. 3. Загрязнение подстилающей поверхности изотопом  $I_{131}$  на 22.03.2021 12 UTC, полученное с использованием WRF и RIMPUFF, Бк/м<sup>2</sup>

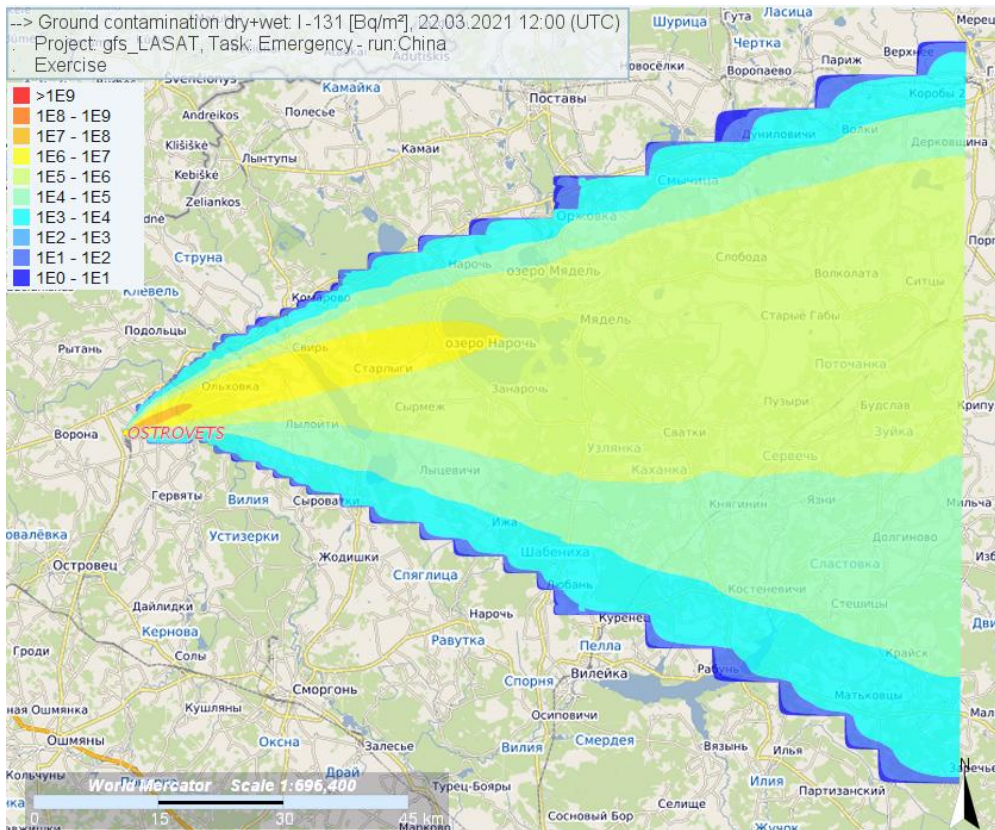


Рис. 4. Загрязнение подстилающей поверхности изотопом  $I_{131}$  на 22.03.2021 12 UTC, полученное с использованием GFS и LASAT, Бк/м<sup>2</sup>

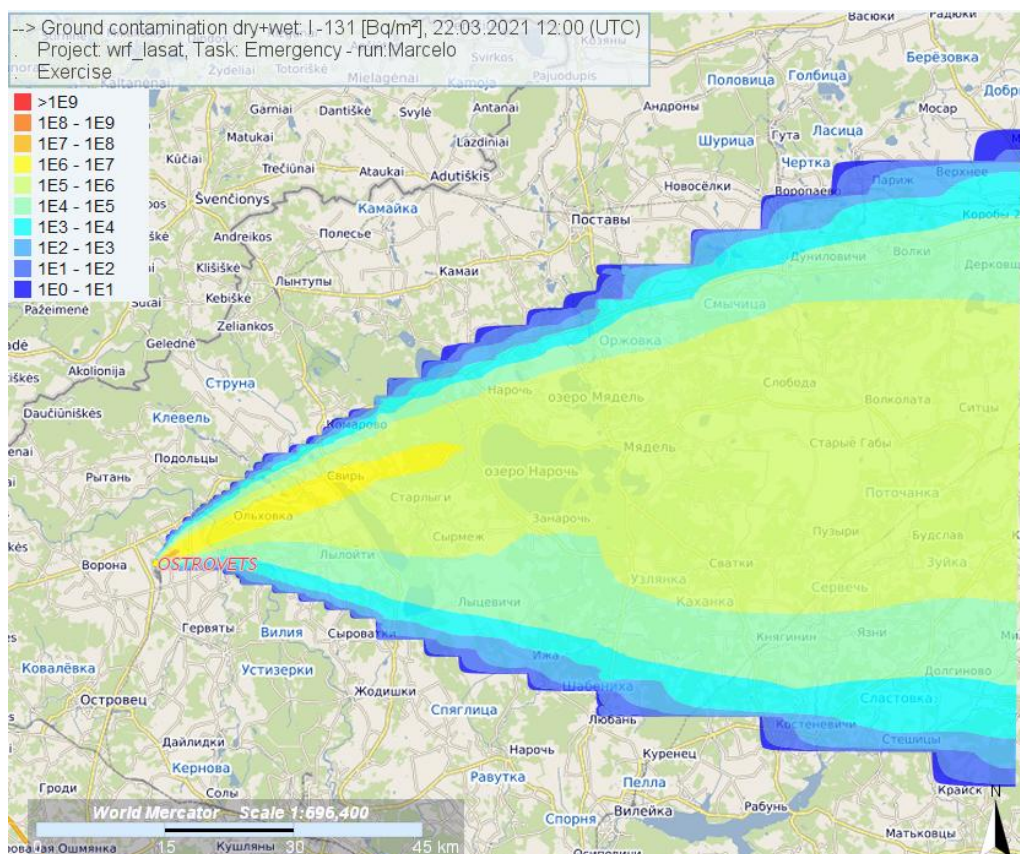


Рис. 5. Загрязнение подстилающей поверхности изотопом I<sub>131</sub> на 22.03.2021 12 UTC, полученное с использованием WRF и LASAT, Бк/м<sup>2</sup>

На рис. 6 представлены максимальные значения загрязнения подстилающей поверхности I-131 на расстоянии от 5 до 100 км от БелАЭС, полученные в результате проведенных численных экспериментов.

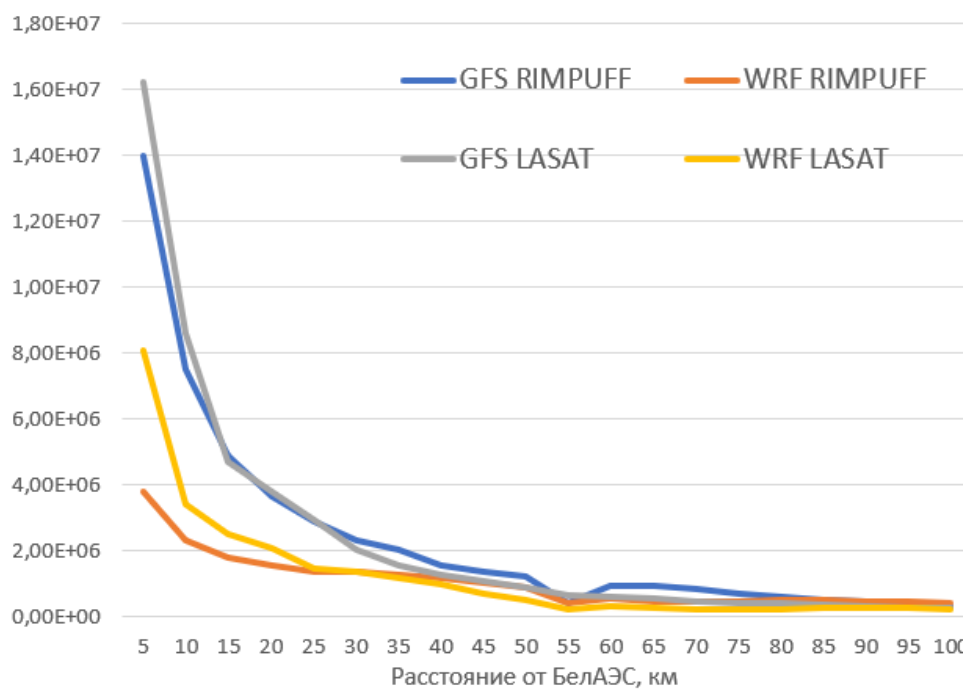


Рис. 6. Максимальные значения плотности загрязнения подстилающей поверхности I-131, Бк/м<sup>2</sup>

### Заключение

Полученные результаты свидетельствуют о возможности использования метеоданных модели *WRF* в контексте моделирования аварийной ситуации с выбросом РВ в атмосферу. Созданные в результате ее работы метеоданные более высокого пространственного и временного разрешения по сравнению с исходными данными *GFS* позволяют, вероятно, более точно оценить перенос РВ в результате аварийного инцидента. Особенно перспективной выглядит возможность подключения модуля ассимиляции данных наблюдений, использование которого также потенциально может увеличить качество и точность прогноза.

Однако использование *WRF* требует определенных навыков, а также дополнительного времени для расчета, что может негативно сказаться на скорости принятия защитных мер в случае возникновения аварийной ситуации. Поэтому целесообразность использования данных *WRF* требует дополнительных исследований.

### Список литературы

1. Weather Research and Forecasting Model | MMM: Mesoscale & Microscale Meteorology Laboratory [Электронный ресурс]. – 2021 – Режим доступа: <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model> – Дата доступа: 23.03.2021
2. Global Forecast System| National Centers for Environmental Information [Электронный ресурс]. – 2021 – Режим доступа: <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/globalforecast-system-gfs> – Дата доступа: 23.03.2021
3. JRodOS: An off-site emergency management system for nuclear accidents, <https://resy5.iket.kit.edu/JRODOS/> – [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://resy5.iket.kit.edu/JRODOS/> – Дата доступа: 24.03.2021
4. Rodos, & Thykier-Nielsen, S & Deme, Sandor & Mikkelsen, Torben. (1999). Description of the atmospheric dispersion module RIMPUFF.
5. LASAT – A computer program for the calculation of pollutant dispersion in the atmosphere Janicke Consulting Environmental Physics [Электронный ресурс]. – 2021 – Режим доступа: <https://www.janicke.de/en/lasat.html> – Дата доступа: 24.03.2021
6. Validation of Investments in the Nuclear Power Plant Construction in the Republic Of Belarus. Book 11. Environmental Impact Assessment. Part 8. EIA Report. Part 8.3. NPP Environmental Impact Assessment", 2010, [online] Available: <http://www.belaes.by/images/Part8.3.pdf>
7. WRF-ARW Modeling System | The official repository for the Weather Research and Forecasting (WRF) model [Электронный ресурс]. – 2021 – Режим доступа: <https://github.com/wrf-model/WRF> – Дата доступа: 24.03.2021