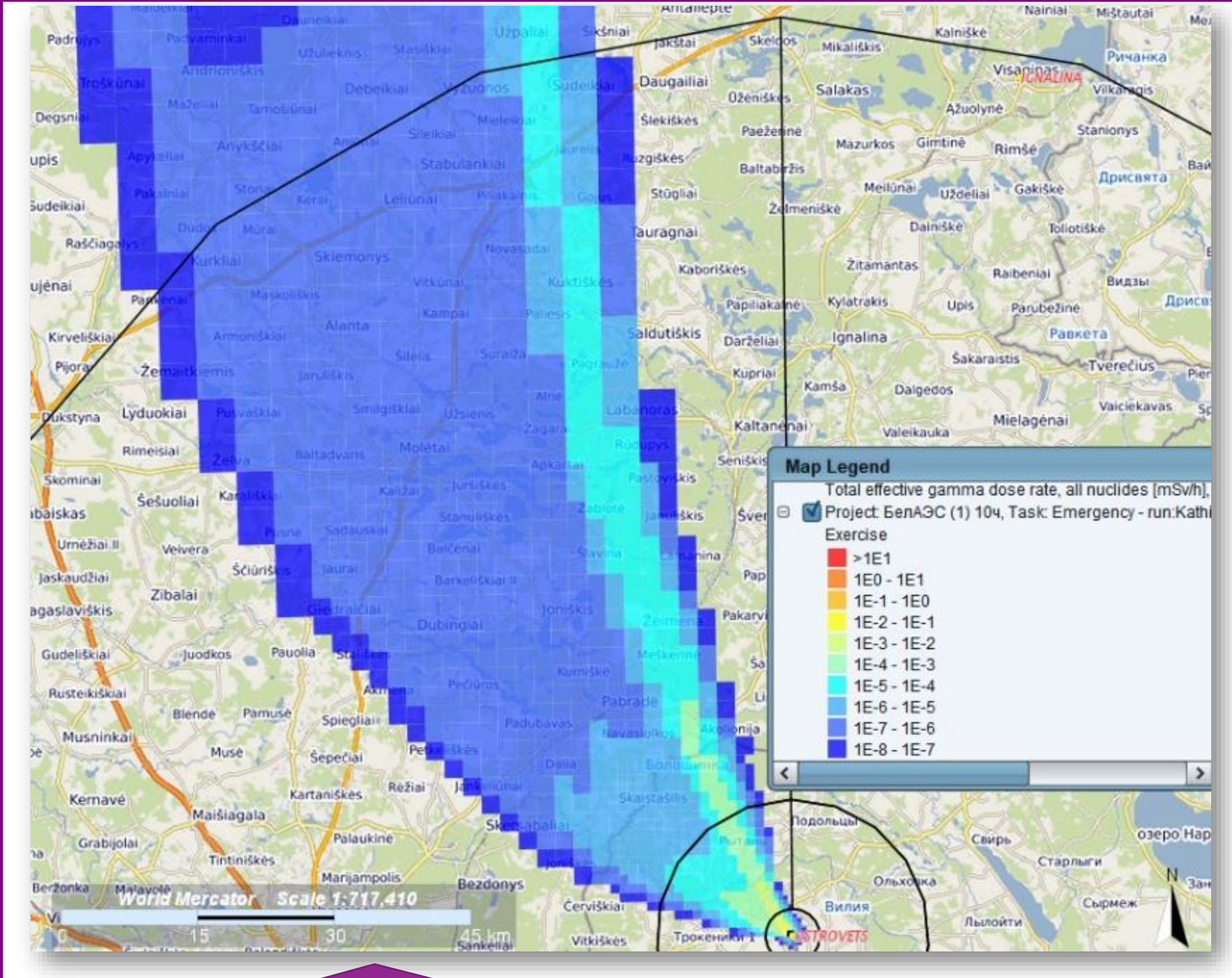




# НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ГИГИЕНЫ



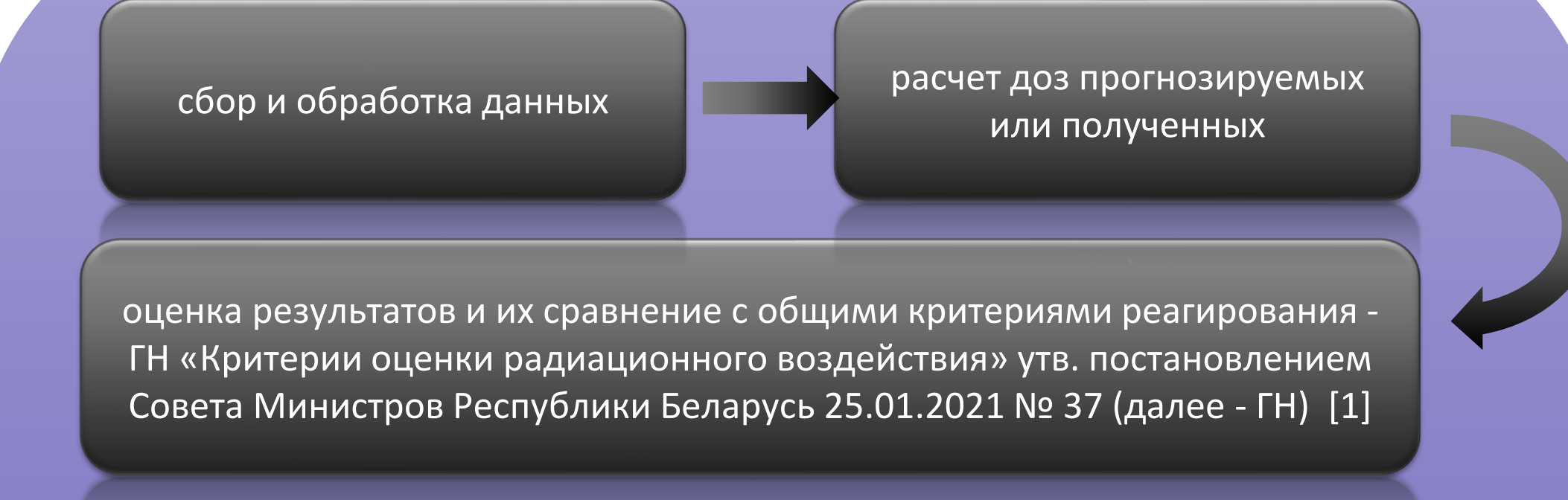
Пример расчета мощности дозы гамма-излучения при гипотетической запроектной аварии на Белорусской АЭС с помощью программного пакета JRODOS (Java-based Realtime Online Decision Support System), мЗв/ч

Оценка доз облучения населения в случае радиационной аварии на АЭС может быть выполнена мануальным методом с использованием методов и формул, а также с использованием программных кодов и методов, предназначенных для оценки доз облучения населения и рекомендованных международными организациями (Научный комитет ООН по действию атомной радиации, Международная комиссия по радиологической защите, МАГАТЭ). Например, рекомендуется использовать программные коды JRODOS, RASCAL, InterRas.

В случае аварии облучение человека может быть внешним или внутренним. При этом пути облучения могут быть разными. Внешнее облучение может быть обусловлено прямым излучением от источника, от содержащихся в воздухе радионуклидов (иммерсия или облучение от шлейфа), от радионуклидов, выпавших на землю или осевших на одежду или кожу человека. Внутреннее облучение может быть, во-первых, результатом попадания радиоактивного материала через дыхательные пути непосредственно из шлейфа или ресuspendированного материала с загрязненных поверхностей, во-вторых, результатом перорального поступления загрязненных продуктов питания и воды, и, в-третьих, результатом попадания радионуклидов внутрь организма через открытые раны.

## Оценка прогнозируемых доз облучения населения

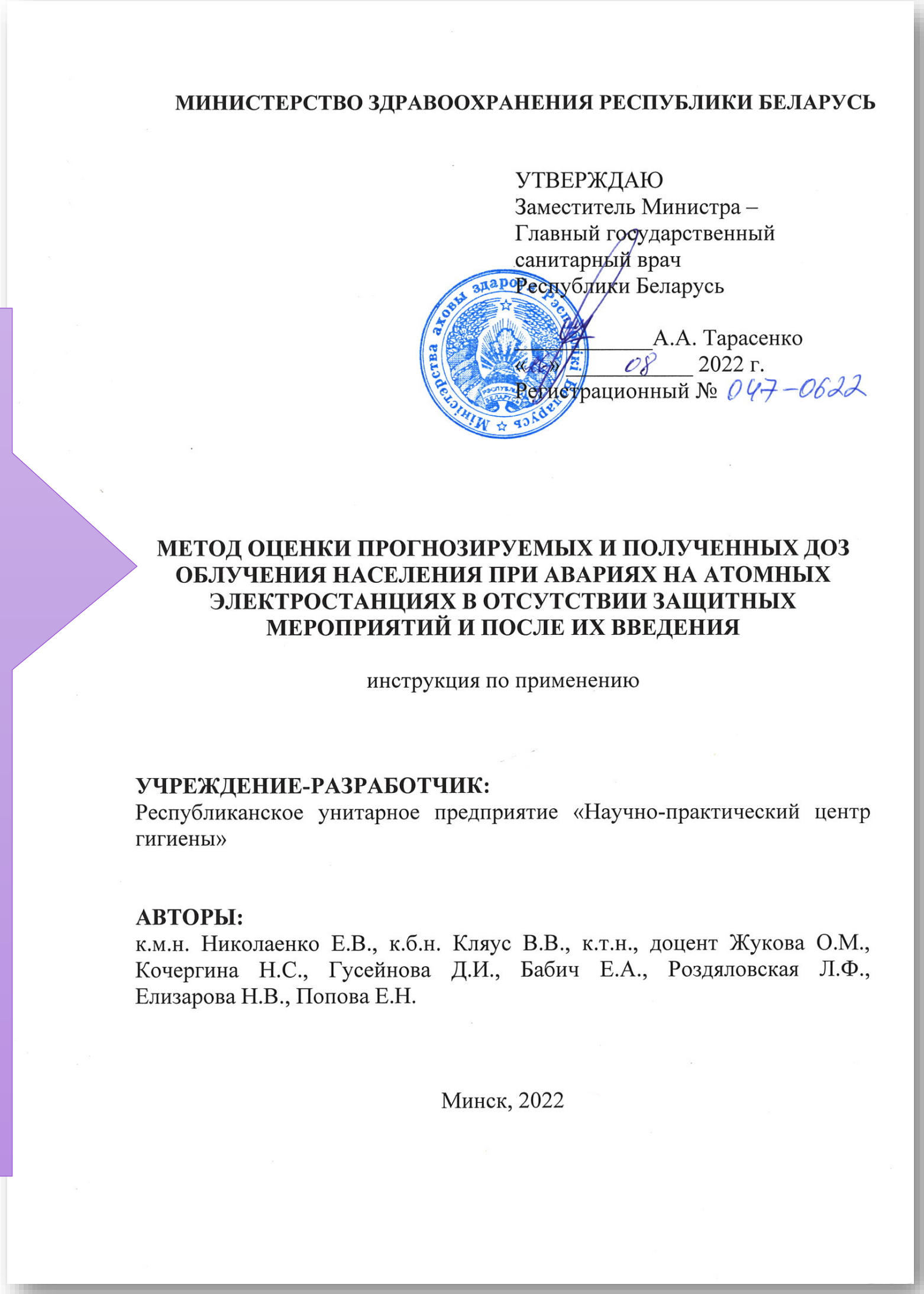
### Алгоритм оценки прогнозируемых доз облучения населения при авариях на АЭС



Оценка детерминированных эффектов выполняется на соответствие критериям установленными в Таблице 27 ГН [1], в соответствии с приложением 1 к Инструкции:

- средняя ОБЭ-взвешенная поглощенная доза от внешнего облучения во внутренних тканях или органах за время облучения менее 10 часов;
  - средняя ОБЭ-взвешенная поглощенная доза внутреннего облучения в результате острого поступления за 30 дней.
- Оценка стохастических эффектов в соответствии с критериями, установленными в Таблице 28 ГН [1]:
- общая эффективная доза – 100 мЗв;
  - эквивалентная доза облучения щитовидной железы – 50 мЗв.

Для мануального расчета организациями госнадзора прогнозируемых и полученных доз облучения населения, специалистами республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр гигиены», в рамках выполнения задания 05.02 «Разработать методические основы прогнозирования и оценки доз облучения населения Республики Беларусь при авариях на атомных электростанциях» подпрограммы «Безопасность среды обитания человека» ГНТП «Научно-техническое обеспечение качества и доступности медицинских услуг», 2021-2025 годы, была разработана Инструкция по применению «Метод оценки прогнозируемых и полученных доз облучения населения при авариях на атомных электростанциях в отсутствие защитных мероприятий и после их введения» (далее - Инструкция).



Осуществляется после прохождения радиоактивного облака, как только аварийная ситуация стабилизирована.

## Оценка полученных доз облучения населения

**Без учета защитных мер**

Для оценки доз облучения необходимы следующие **вводные данные**:

- тип облучения (внешнее/внутреннее);
- результаты аварийного радиационного мониторинга (далее – АРМ);
- хронология событий.

**Действия для сбора и оценки имеющейся прямой дозиметрической информации**

- 1 сбор прямых показаний дозиметров (радиометров)
- 2 сбор показателей доз индивидуальных дозиметров, таких как плеченные нагрудные дозиметры или термолуминесцентные дозиметры (ТЛД)
- 3 в случае превышения предела общей эффективной дозы, сбор показателей формулы крови и цитогенетический анализа
- 4 сбор результатов СИЧ-дозиметрии
- 5 сбор других релевантных дозиметрических данных

**С учетом защитных мер**

После расчёта эффективной дозы облучения от выпадений по одному из трех уравнений при необходимости значение необходимо откорректировать, делая поправку на экранирование и частичную защищенность по следующей формуле.

$$E_{GS}^{po} = E_{GS} \times [SF \times OF + (1 - OF)],$$

где  $E_{GS}^{po}$  – эффективная доза облучения от выпадений за данный период с учетом экранирования и частичной защищенности, мЗв;  
 SF – коэффициент экранирования по данным измерений во время нахождения в защищенном месте или взятый на основании данных, полученных на основании результатов предыдущих исследований (приложение 8 к Инструкции);  
 OF – коэффициент защищенности, это часть времени, к которой применим коэффициент SF, то есть, часть времени, проведенная в помещении; предполагается, что в остальное время экранирование отсутствует; по умолчанию применяется значение, равное 0,6 (согласно «Generic Procedures for Assessment and Response during a Radiological Emergency. IAEA-TECDOC-1162», МАГАТЭ, Вена, 2002).

$$E_t = E_{ext} + E_{inh} + E_{ing}$$

Формула оценки общей эффективной дозы облучения с учетом всех основных путей облучения

где  $E_t$  – общая эффективная доза, мЗв;  
 $E_{ext}$  – эффективная доза от внешнего облучения, мЗв;  
 $E_{inh}$  – ожидаемая эффективная доза от ингаляции, мЗв;  
 $E_{ing}$  – ожидаемая эффективная доза от перорального поступления, мЗв.

### Апробация метода

Радионуклид	<sup>137</sup> Cs	<sup>131</sup> I
Выброс в окружающую среду, Бк	$6,90 \times 10^{12}$	$3,60 \times 10^{13}$
Средняя концентрация в воздухе, кБк/м <sup>3</sup>	$1,47 \times 10^{-2}$	$6,07 \times 10^{-2}$
Средняя концентрация выпадений на, кБк/м <sup>2</sup>	1,21	$1,47 \times 10^1$

Продукты	<sup>137</sup> Cs	<sup>131</sup> I
Листовые овощи	$9,67 \times 10^{-1}$	$1,53 \times 10^1$
Мясо и мясные продукты	$1,50 \times 10^{-3}$	$1,28 \times 10^{-5}$
Молоко и молочные продукты	$5,12 \times 10^{-1}$	1,88

В результате выполненных расчетов, доза облучения от радионуклидов в облаке (за счет иммерсии в загрязненном воздухе) равна:  
 $E_{CS} = T_e \times \sum_{i=1}^n \bar{C}_{a,i} \times CF_{9,i} = 24 \times (1,47 \times 10^{-2} \times 1,3 \times 10^{-4} + 6,07 \times 10^{-2} \times 8,1 \times 10^{-5}) = 1,63 \times 10^{-4}$  мЗв  
 Доза облучения от выпадений равна:  
 $E_{GS} = \sum_{i=1}^n \bar{C}_{g,i} \times CF_{4,i} = 1,21 \times 9,9 \times 10^{-4} + 1,47 \times 10^1 \times 2,5 \times 10^{-4} = 4,87 \times 10^{-3}$  мЗв  
 Эффективная доза от выпадений с поправкой на экранирование будет равна:  
 $E_{GS}^{po} = E_{GS} \times [SF \times OF + (1 - OF)] = 4,87 \times 10^{-3} \times (0,2 \times 0,6 + 0,4) = 2,07 \times 10^{-3}$  мЗв  
 Ингаляционная доза облучения составит:  
 $E_{inh} = \sum_{i=1}^n \bar{C}_{a,i} \times CF_{2,i} \times T_e = 24 \times (1,47 \times 10^{-2} \times 3,62 \times 10^{-2} + 6,07 \times 10^{-2} \times 6,81 \times 10^{-3}) = 2,25 \times 10^{-2}$  мЗв  
 Доза от поступления радионуклидов с пищевыми продуктами составит:  
 для листовых овощей:  
 $E_{ing,f} = \sum_{i=1}^n (C_{f,i} \times U_{f,i} \times D_{f,i} \times CF_{5,i}) \times \text{PRF}_i = (9,67 \times 10^{-1} \times 0,19 \times 1 \times 1,3 \times 10^{-2} + 1,53 \times 10^1 \times 0,19 \times 1 \times 2,2 \times 10^{-2}) \times 1 = 6,6 \times 10^{-2}$  мЗв  
 для мяса и мясных продуктов:  
 $E_{ing,f} = \sum_{i=1}^n (C_{f,i} \times U_{f,i} \times D_{f,i} \times CF_{5,i}) \times \text{PRF}_i = (1,50 \times 10^{-3} \times 1 \times 1 \times 1,3 \times 10^{-2} + 1,28 \times 10^{-5} \times 1 \times 1 \times 2,2 \times 10^{-2}) \times 1 = 2,83 \times 10^{-5}$  мЗв  
 для молока и молочных продуктов:  
 $E_{ing,f} = \sum_{i=1}^n (C_{f,i} \times U_{f,i} \times D_{f,i} \times CF_{5,i}) \times \text{PRF}_i = (5,12 \times 10^{-1} \times 0,28 \times 1 \times 1,3 \times 10^{-2} + 1,88 \times 0,28 \times 1 \times 2,2 \times 10^{-2}) \times 1 = 1,98 \times 10^{-1}$  мЗв  
**Общая эффективная доза с учетом всех основных путей облучения  $E_t$  составит  $2,89 \times 10^{-3}$  мЗв или 0,3 мЗв, что не превышает критерий для укрытия и эвакуации 100 мЗв.**  
 Ожидаемая эквивалентная доза облучения щитовидной железы будет равна:  
 $H_{thy} = \sum_{i=1}^n C_{a,i} \times CF_{1,i} \times T_e = 24 \times 6,07 \times 10^{-2} \times 2,0 \times 10^{-2} = 2,91 \times 10^{-2}$  мЗв,  
 что не превышает критерий для проведения блокирования щитовидной железы 50 мЗв.

### ВЫВОДЫ

- 1) применение разработанного метода позволяет выполнить оценку прогнозируемых и полученных доз облучения населения при авариях на атомных электростанциях в отсутствие защитных мероприятий и после их введения для определения необходимости введения защитных мероприятий на загрязненных территориях и их эффективности;
- 2) Метод может быть использован в работе врачей-гигиенистов учреждений, осуществляющих государственный санитарный надзор, государственного предприятия «Белорусская АЭС», а также для других организаций, занимающихся вопросами оценки последствий ядерных и радиологических аварий на атомных электростанциях.
- 3) область применения инструкции – обеспечение готовности и реагирования Министерства здравоохранения Республики Беларусь на ядерные и радиологические аварийные ситуации на атомных электростанциях.

Переписка: zav\_radsafety@rspch.by

- СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**
1. Критерии оценки радиационного воздействия : [Электронный ресурс] гигиен. норматив: утв. Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 25.01.2021 г. № 37 (в редакции постановления Совета Министров Республики Беларусь от 29 ноября 2022 г. № 829) // КонсультантПлюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. Центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2022.
  2. Assessing Dose of a Representative Person for the Purpose of Radiation Protection of the Public and Optimisation of Protection : Boarding the Process. ICRP Publication 101 / International Commission on Radiological Protection. – Oxford ; New York : Pergamon Press, 2006. – 104 p.

