DOI: 10.21870/0131-3878-2021-30-1-147-156

УДК 614.876(470.3)

Определение группы повышенного радиационного риска среди российских участников ликвидации последствий чернобыльской аварии

Чекин С.Ю., Кашеев В.В., Максютлов М.А., Меньяло А.Н., Корело А.М.,
Ловачёв С.С., Кашеева П.В.

МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, Обнинск

Одной из основных целей организации и ведения Национального радиационно-эпидемиологического регистра (НРЭР) является использование результатов наблюдения за состоянием здоровья зарегистрированных в НРЭР облучённых граждан для оказания им адресной медицинской помощи. При оптимизации ресурсов, затрачиваемых на минимизацию радиологических последствий аварии на Чернобыльской АЭС для здоровья облучённых лиц, актуальной задачей является выделение групп лиц с наибольшими радиационными рисками для оказания им первоочередной медицинской помощи. Радиационный риск прямо пропорционален дозе облучения, но зависит также от возраста, пола облучённых лиц и от фоновых (в отсутствие облучения) показателей риска. Среди всех категорий граждан, зарегистрированных в НРЭР, наибольшие дозы облучения получили участники ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС (ликвидаторы). Целью данной работы является определение группы повышенного радиационного риска (ГПР) заболеваемости солидными злокачественными новообразованиями (ЗНО) в эталонной когорте ликвидаторов, состоявших в 2020 г. на учёте в НРЭР. Определение ГПР проводится на основе оценки атрибутивной радиационной доли ARF. Показано, что общая численность ГПР по заболеваемости солидными ЗНО среди ликвидаторов, состоящих на учёте в НРЭР в 2020 г., при величине критерия $ARF_c = 15\%$ составила 709 человек, т.е. 1,45% от численности ликвидаторов, состоящих на учёте. При снижении величины критерия до $ARF_c = 10\%$ численность ГПР возрастает до 28% от общей численности когорты. Исходя из социально-экономических условий, значение критерия ARF_c можно изменять для уменьшения или увеличения численности ГПР. Однако, ориентируясь на международный опыт и на результаты оценок в данной работе, величину ARF_c следует выбирать в интервале $10\% < ARF_c < 20\%$.

Ключевые слова: *показатель радиационного риска, поглощённая доза, модель показателя радиационного риска, избыточный абсолютный показатель риска, избыточный относительный показатель риска, атрибутивная радиационная доля, солидные злокачественные новообразования, ликвидаторы, чернобыльская авария, Национальный радиационно-эпидемиологический регистр.*

Введение

Одной из основных целей организации и ведения Национального радиационно-эпидемиологического регистра (НРЭР) является использование результатов наблюдения за состоянием здоровья зарегистрированных в НРЭР облучённых граждан для оказания им адресной медицинской помощи [1, 2]. В настоящее время база данных НРЭР содержит медико-дозиметрические данные более чем на 750 тысяч человек, облучённых в результате аварии на Чернобыльской АЭС. При оптимизации ресурсов, затрачиваемых на минимизацию последствий этой аварии для здоровья облучённых лиц, актуальной задачей является выделение групп лиц с наибольшими радиационными рисками для оказания им первоочередной медицинской помощи.

Чекин С.Ю.* – зав. лаб.; Кашеев В.В. – зав. лаб., к.б.н.; Максютлов М.А. – зав. отд., к.т.н.; Меньяло А.Н. – вед. науч. сотр., к.б.н.; Корело А.М. – ст. науч. сотр.; Ловачёв С.С. – мл. науч. сотр.; Кашеева П.В. – ст. науч. сотр., к.б.н. МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России.

*Контакты: 249035, Калужская обл., Обнинск, ул. Королёва, 4. Тел.: (484) 399-30-79; e-mail: nrer@obninsk.com.

В соответствии с ОСПОРБ-99/2010 [3], радиационный риск – это вероятность возникновения у человека или его потомства какого-либо вредного эффекта в результате облучения. Радиационный риск прямо пропорционален дозе облучения, но зависит также от возраста, пола облучённых лиц и от фоновых (в отсутствие облучения) показателей риска.

Среди всех категорий граждан, зарегистрированных в НРЭР, наибольшие дозы облучения получили участники ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС (ликвидаторы) [4]. Поэтому формирование групп повышенного радиационного риска (ГПР), в первую очередь, следует проводить среди ликвидаторов чернобыльской аварии. В когорте ликвидаторов средняя поглощённая доза, накопленная за период работ, составила около 100 мГр, а максимальные индивидуальные дозы, как правило, не превышали 250 мГр [5]. Считается, что при дозах облучения менее 1000 мГр основной вред для здоровья человека связан со стохастическими канцерогенными эффектами действия ионизирующей радиации [6].

Целью данной работы является определение группы повышенного радиационного риска заболеваемости солидными злокачественными новообразованиями (ЗНО) среди ликвидаторов, состоявших в 2020 г. на учёте в НРЭР.

Материалы и методы

К концу 2020 г. в эталонная когорта ликвидаторов, состоящих на учёте в НРЭР, включала 48 983 лица мужского пола, не имевших диагнозов ЗНО, с зарегистрированными дозами внешнего гамма-облучения всего тела. Средняя доза составила 111,8 мГр, при этом для 95% ликвидаторов доза облучения не превышала 248,8 мГр. Максимум распределения численности ликвидаторов приходился на интервал достигнутых возрастов от 60 до 75 лет. Более подробные характеристики этой когорты ликвидаторов приведены в работе Чекина и соавт. [7].

Исходными данными для определения ГПР среди ликвидаторов, состоящих на учёте в НРЭР, являются:

- персонализированные данные о каждом члене когорты облучённых лиц: достигнутый возраст (в годах), возраст на начало периода облучения (на начало работ по ликвидации последствий аварии), накопленная поглощённая доза облучения за время работ (в мГр);
- ретроспективные наблюдавшиеся в облучённой когорте половозрастные показатели заболеваемости солидными ЗНО.

Для стохастических эффектов действия радиации на здоровье человека базовыми величинами, через которые радиационный риск может характеризоваться количественно, являются показатели избыточной радиационно-обусловленной заболеваемости [8].

В настоящей работе используются модели показателей радиационных рисков заболеваемости солидными ЗНО, рекомендованные МКРЗ [6], НКДАР ООН [8] и ВОЗ [9], а также модель, идентифицированная непосредственно по данным наблюдений когорты ликвидаторов в НРЭР [10].

При идентификации модели показателя риска в радиационной эпидемиологии наблюдаемый в когорте показатель заболеваемости λ принято представлять в двух разных видах: в виде аддитивной модели или в виде мультипликативной модели.

Аддитивная модель представляется суммой фонового (в отсутствие облучения) показателя риска λ_0 и избыточного абсолютного показателя риска **EAR** (от англ. Excess Absolute Rate), зависящего от дозы облучения:

$$\lambda(g, a, D) = \lambda_0(a) + EAR(g, a, D), \quad (3)$$

где g – возраст на момент облучения; a – достигнутый возраст; D – поглощённая доза.

Мультипликативная модель представляется произведением фонового показателя риска λ_0 и относительного показателя риска **RR** (от англ. Relative Rate), зависящего от дозы облучения:

$$\lambda(g, a, D) = \lambda_0(a) \cdot RR(g, a, D) = \lambda_0(a) \cdot [1 + ERR(g, a, D)], \quad (2)$$

где **ERR** – избыточный относительный показатель риска (от англ. Excess Relative Rate).

При прогнозе радиационного риска в конкретной когорте должна использоваться та же самая модель, (1) или (2), которая была идентифицирована в этой когорте. При использовании модели, идентифицированной в одной когорте, для прогноза риска в другой когорте, существенно отличающейся по фоновому показателю λ_0 , МКРЗ [6] рекомендует применять специальную процедуру «переноса риска», заключающуюся в усреднении прогнозов по аддитивной и мультипликативной моделям. В частности, для прогноза заболеваемости всеми солидными ЗНО в совокупности применяется усреднение в следующем виде:

$$\lambda(g, a, D) = \lambda_0(a) + 0,5 \cdot EAR(g, a, D) + 0,5 \cdot \lambda_0(a) \cdot [1 + ERR(g, a, D)]. \quad (3)$$

Усреднённый по моделям (1) и (2) избыточный абсолютный показатель риска обозначим следующим образом:

$$EAR^+(g, a, D) = 0,5 \cdot EAR(g, a, D) + 0,5 \cdot \lambda_0(a) \cdot [1 + ERR(g, a, D)]. \quad (4)$$

Тогда относительный вклад радиации в наблюдаемый показатель риска, или атрибутивная радиационная доля (ARF), будет выражаться следующим образом:

$$ARF(g, a, D) = 100\% \cdot \frac{EAR^+(g, a, D)}{\lambda(g, a, D)} = 100\% \cdot \frac{EAR^+(g, a, D)}{\lambda_0(a) + EAR^+(g, a, D)} \quad (5)$$

Для заболеваемости всеми солидными ЗНО в совокупности МКРЗ [6] и ВОЗ [9] приводят рекомендованные модели показателей радиационных рисков в форме (1) и (2), в то время как в отчёте НКДАР ООН [8] представлены аддитивные и мультипликативные модели показателей избыточного риска отдельно для 12 локализаций ЗНО. В данной работе показатель **EAR⁺** для всех солидных ЗНО в совокупности по моделям НКДАР ООН [8] вычисляется как сумма **EAR⁺** по отдельным локализациям. Более подробное описание моделей EAR и ERR, рекомендованных международными организациями, приведено в работе Чекина и соавт. [7]. Модель, идентифицированная непосредственно по данным наблюдений когорты ликвидаторов в НРЭР [10], имеет простой мультипликативный вид:

$$ERR(D) = \beta \cdot D, \quad (6)$$

где $\beta = 6,2 \cdot 10^{-2} \cdot \text{мГр}^{-1}$.

В последнем случае процедура переноса риска между популяциями не применяется, и **EAR⁺** для вычисления атрибутивной радиационной доли **ARF** в (5) задаётся формулой:

$$EAR^+(a, D) = \lambda_0(a) \cdot \beta \cdot D. \quad (7)$$

Для прогнозирования показателей радиационных рисков в качестве фоновых показателей $\lambda_0(a)$ используются повозрастные показатели заболеваемости солидными ЗНО для мужского населения России за 2019 г. [11].

Определение ГПР производится следующим образом. Каждому j -му лицу из когорты ликвидаторов, состоящих на учёте в 2020 г., ставятся в соответствие оценки избыточного абсолютного показателя риска $EAR_{j,k}^+(g, a, D)$ заболеваемости солидными ЗНО, вычисленные на основе оценок фоновых показателей $\lambda_0(a)$ [11], значений EAR и ERR , вычисленных по формуле (4) для моделей МКРЗ [6], НКДАР ООН [8] и ВОЗ [9], а также по формуле (9) для модели НРЭР [10]; здесь k – индекс типа модели: 1 – модель НРЭР [10], 2 – модель ВОЗ [9], 3 – модель НКДАР ООН [8], 4 – модель МКРЗ [6]. Далее каждому j -му лицу из когорты ликвидаторов, состоящих на учёте в 2020 г., ставятся в соответствие оценки атрибутивной радиационной доли $ARF_{j,k}(g, a, D)$, вычисляемые по формуле (5).

ГПР составляют лица, для которых хотя бы одно значение из сопоставленных им атрибутивных радиационных долей $ARF_{j,k}(g, a, D)$ превышает заданное пороговое значение ARF_c :

$$j \in \{\text{ГПР}\} \text{ если } \exists(k) : ARF_{j,k}(g, a, D) > ARF_c. \quad (8)$$

Результаты и обсуждение

Для каждого лица из эталонной когорты ликвидаторов, состоящих на учёте в НРЭР в 2020 г. с известными дозами облучения и не имевших заболеваний солидными ЗНО за весь предыдущий период их наблюдения (48 983 человека), были вычислены значения атрибутивных радиационных долей ARF по формуле (5). На рис. 1 приведены гистограммы прогнозных величин ARF , рассчитанные по моделям риска НРЭР [10], ВОЗ [9], НКДАР ООН [8] и МКРЗ [6].

Рис. 1. Гистограммы атрибутивной радиационной доли (ARF) для когорты ликвидаторов, рассчитанные по моделям НРЭР [10], ВОЗ [9], НКДАР ООН [8] и МКРЗ [6]; разряд гистограмм по оси ARF равен 0,5%.

Рис. 1 показывает, что при увеличении величины критерия ARF_c численность ГПР будет уменьшаться. Изменение численности ГПР с увеличением ARF_c приведено в табл. 1.

При ограничении материальных и финансовых ресурсов, направляемых ежегодно на минимизацию вредных для здоровья ликвидаторов последствий облучения, адресную медицинскую помощь следует, прежде всего, оказывать лицам, входящим в ГПР. Например, согласно табл. 1, первоначально можно установить критерий отнесения ликвидаторов к ГПР на уровне $ARF_c=20\%$, а при достаточности ресурсов – на более низких уровнях: $ARF_c=15\%$, $ARF_c=10\%$ или даже $ARF_c=5\%$.

Таблица 1

Изменение численности ГПР с увеличением ARF_c

ARF_c , %	Численность ГПР, чел.	Численность ГПР, % от численности когорты
5	28565	58,32
10	13796	28,16
15	709	1,45
20	266	0,54

По данным Международной организации труда [12], в таких развитых странах, как Япония, Великобритания, Франция и США, условия компенсационных выплат или обеспечения других льгот облучённым лицам за радиационный ущерб устанавливаются, принимая во внимание оценку ARF . При этом пороговый критерий в разных странах устанавливается разный, от $ARF_c=10\%$ в Японии для лиц, переживших атомные бомбардировки, до $ARF_c=20\%$ в Великобритании для персонала атомных предприятий. В США в качестве порогового критерия используется 99% верхняя доверительная граница $ARF_c=50\%$, что также соответствует средним значениям ARF_c около 15-20%. Поэтому, ориентируясь на международный опыт, для определения ГПР ликвидаторов, состоящих на учёте в НРЭР, по заболеваемости солидными ЗНО можно предварительно установить значение $ARF_c=15\%$.

В табл. 2 приведены численности ГПР, рассчитанные по различным моделям показателей радиационных рисков, для значения $ARF_c=15\%$.

Таблица 2

Численность ГПР по заболеваемости солидными ЗНО среди ликвидаторов, состоящих на учёте в НРЭР в 2020 г., для величины критерия $ARF_c=15\%$

Модель риска	Численность ГПР, чел.
НРЭР [10]	577
ВОЗ [9]	316
НКДАР ООН [8]	46
МКРЗ [6]	18
Все модели, условие (8)	709

Следует отметить, что один и тот же ликвидатор может входить в ГПР, определённую по одной модели, и не входить в ГПР, определённую другой моделью. Это объясняется различными зависимостями ARF от возраста при облучении и от достигнутого возраста при расчётах по

различным моделям, что приводит к разному возрастному составу соответствующих ГПР. Условие (8) отнесения ликвидаторов к ГПР является консервативным. Для когорты ликвидаторов НРЭР наилучший, со статистической точки зрения, прогноз рисков заболеваемости солидными ЗНО реализуется с помощью мультипликативной модели НРЭР [10], уравнение (6), так как она была оценена именно на этой когорте ликвидаторов [10]. В этом случае к ГПР было бы отнесено 577 ликвидаторов. Однако, согласно рекомендациям НКДАР ООН [8], наибольшая неопределённость прогноза радиационных рисков связана с неопределённостью моделей. Как показывает табл. 2, при $ARF_c=15\%$ использование для расчётов моделей, рекомендованных международными организациями (ВОЗ [9], НКДАР ООН [8] и МКРЗ [6]), приводит к увеличению численности ГПР с 577 до 709 человек. Поэтому консервативный подход к определению ГПР, выраженный условием (8), является существенным. Учёт неопределённости оценок доз облучения ликвидаторов [5], статистической неопределённости параметров использованных моделей, неопределённости фоновых показателей заболеваемости ЗНО для исследуемой когорты при определении ГПР требует дальнейших исследований.

Выводы

Таким образом, для произвольного календарного года определение ГПР по заболеваемости солидными ЗНО ликвидаторов проводится на основе оценки атрибутивной радиационной доли (ARF) по следующим шагам.

1) На текущий календарный год формируется когорта облучённых лиц, находящихся под наблюдением и не имеющих заболеваний из группы солидных ЗНО, – когорта текущего года.

2) На следующий, прогнозируемый год, каждому j -му лицу из когорты текущего года ставятся в соответствие значения атрибутивных радиационных долей $ARF_{j,k}(g, a, D)$, вычисленных по формуле (5).

3) ГПР в прогнозируемом году составляют лица, для которых хотя бы одно значение из сопоставленных им атрибутивных радиационных долей $ARF_{j,k}(g, a, D)$ превышает установленное пороговое значение $ARF_c=15\%$ в прогнозируемом году (формула (8)).

4) Ориентируясь на расчётную численность ГПР при $ARF_c=15\%$ и исходя из текущей социально-экономической ситуации, значение критерия ARF_c можно изменять (для уменьшения или увеличения численности ГПР). Однако, ориентируясь на международный опыт [12] и на результаты оценок в данной работе, величину ARF_c следует выбирать в интервале $10\% < ARF_c < 20\%$.

В данной работе показано, что общая численность ГПР по заболеваемости солидными ЗНО среди ликвидаторов, состоящих на учёте в НРЭР в 2020 г., при величине критерия $ARF_c=15\%$, составила 709 человек, т.е. 1,45% от численности ликвидаторов, состоящих на учёте. При снижении величины критерия до $ARF_c=10\%$ численность ГПР возрастает до 28% от общей численности когорты.

Следует заключить, что среди всех контингентов лиц, состоящих на учёте в НРЭР в 2020 г., адресная медицинская помощь должна быть в первую очередь предоставлена ликвидаторам, для которых расчётные значения атрибутивной радиационной доли **ARF** (5) превышают 15%, при использовании моделей показателей радиационных рисков МКРЗ [6], НКДАР ООН [8], ВОЗ [9] и НРЭР [10].

Учёт неопределённости расчётов **ARF**, связанных с оценками доз облучения, статистическим разбросом параметров моделей и неопределённостью фоновых показателей заболеваемости ЗНО, приводит к необходимости определения ГПР через значения верхних доверительных границ прогнозных оценок **ARF** [12] и требует дальнейших исследований.

Литература

1. Федеральный закон от 30.12.2012 г. № 329-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части обеспечения учёта изменений состояния здоровья отдельных категорий граждан, подвергшихся радиационному воздействию». [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140194/ (дата обращения 15.01.2021).
2. Закон Российской Федерации от 15.05.1991 г. № 1244-1 «О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС». [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5323/ (дата обращения 15.01.2021).
3. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010). Санитарные правила и нормативы СП 2.6.1.2612-10. Интернет-портал «Российской Газеты» 2.04.2011 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rg.ru/2011/04/02/sanpin2612819-site-dok.html> (дата обращения 15.01.2021).
4. **Иванов В.К., Максютлов М.А., Туманов К.А., Кочергина Е.В., Власов О.К., Чекин С.Ю., Горский А.И., Корело А.М., Щукина Н.В., Зеленская Н.С., Лашкова О.Е., Иванов С.А., Каприн А.Д.** 35-летний опыт функционирования НРЭР как государственной информационной системы мониторинга радиологических последствий чернобыльской катастрофы //Радиация и риск. 2021. Т. 30, № 1. С. 7-39.
5. **Питкевич В.А., Иванов В.К., Цыб А.Ф., Максютлов М.А., Матяш В.А., Щукина Н.В.** Дозиметрические данные Российского государственного медико-дозиметрического регистра для ликвидаторов //Радиация и риск. 1995. Специальный выпуск 2. С. 3-44.
6. Публикация 103 Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ): пер. с англ. /под общей ред. М.Ф. Киселёва и Н.К. Шандалы. М.: Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009. 312 с. [Электронный ресурс]. URL: http://www.icrp.org/docs/P103_Russian.pdf (дата обращения 15.01.2021 г.).
7. **Чекин С.Ю., Меняйло А.Н., Кашеев В.В., Ловачёв С.С., Максютлов М.А., Горский А.И., Кашеева П.В.** Прогноз пожизненных радиационных рисков заболеваемости злокачественными новообразованиями российских участников ликвидации последствий чернобыльской аварии//Радиация и риск. 2021. Т. 30, № 1. С. 94-109.
8. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources and effects of ionizing radiation. UNSCEAR 2006 Report Vol. I, Annex A: Epidemiological studies of radiation and cancer. New York: United Nation, 2008. 383 p.
9. Health risk assessment from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan earthquake and tsunami based on a preliminary dose estimation. Geneva: WHO, 2013. 172 p.
10. **Иванов В.К., Карпенко С.В., Кашеев В.В., Чекин С.Ю., Максютлов М.А., Туманов К.А., Щукина Н.В., Кочергина Е.В., Зеленская Н.С., Лашкова О.Е.** Радиационные риски российских участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС за период 1992-2017 гг. Часть I: заболеваемость солидными раками //Радиация и риск. 2019. Т. 28, № 4. С. 16-30.
11. Злокачественные новообразования в России в 2019 году (заболеваемость и смертность) /под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, А.О. Шахзадовой. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2020. 251 с. [Электронный ресурс]. URL: https://glavonco.ru/cancer_register/Забол_2019_Электр.pdf (дата обращения 15.01.2021 г.).
12. Approaches to attribution of detrimental health effects to occupational ionizing radiation exposure and their application in compensation programmes for cancer: a practical guide. Occupational Safety and Health Series, No. 73 /Eds.: S. Niu, P. Deboodt, H. Zeeb. Geneva: International Labour Organization, 2010. 99 p.

Determination of increased radiation risk group among Russian Chernobyl cleanup workers

Chekin S.Yu., Kashcheev V.V., Maksioutov M.A., Menyajlo A.N., Korelo A.M., Lovachev S.S., Kashcheeva P.V.

A. Tsyb MRRC, Obninsk

One of the main tasks of the National Radiation Epidemiological Registry (NRER) is monitoring the health status of people exposed to radiation as a result of the Chernobyl accident, and providing them with targeted medical care. To optimize the use of resources dedicated to mitigating health effects of the accident, it is reasonable to identify the people at the higher radiation risk, needing the priority medical care. Radiation risk is directly proportional to radiation dose the individuals received, and also depends on the age, sex of the exposed persons and their baseline (in the absence of radiation) risk rates. Among all the people been registered in the NRER the Chernobyl cleanup workers (liquidators) received the highest radiation doses. To determine the group of higher radiation risk of solid cancer among liquidators, an estimate of the attributable radiation fraction, ARF, was used. Among the all liquidators observed in the NRER in 2020, 709 persons, 1.45%, were at the higher risk group of solid cancer, with ARF values exceeding the critical value of 15%. If the critical value of ARF drops to 10%, the group at the higher risk increases to 28% of the total number of the cohort members. The size of the group at the higher risk can be increased or reduced with the use of critical ARF values, depending on the current social and economic situations. However, according to the international experience and assessment results presented in the paper, the critical ARF value may be selected within the range between 10% and 20%.

Key words: radiation risk rate, absorbed dose, radiation risk model, excess absolute risk rate, excess relative risk rate, attributable radiation fraction, solid cancer, liquidators, Chernobyl accident, National Radiation and Epidemiological Registry.

References

1. Federal Law of December 30, 2012 No. 329-FZ "On amendments to certain legislative acts of the Russian Federation with regard to ensuring that changes in the health status of certain categories of citizens exposed to radiation are taken into account". Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140194/ (Accessed 15.01.2021). (In Russian).
2. Law of the Russian Federation of 15.05.1991, No. 1244-I "On social protection of citizens exposed to radiation as a result of the disaster at the Chernobyl nuclear power plant". Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5323/ (Accessed 15.01.2021). (In Russian).
3. Basic Sanitary Rules for Radiation Safety (OSPORB-99/2010). Health regulations, SP 2.6.1.2612-10. Moscow, Center for Sanitary and Epidemiological Rationing, Hygienic Certification of Russian Ministry of Health, 2010. 80 p. (In Russian).
4. **Ivanov V.K., Maksioutov M.A., Tumanov K.A., Kochergina E.V., Vlasov O.K., Chekin S.Yu., Gorski A.I., Korelo A.M., Shchukina N.V., Zelenskaya N.S., Lashkova O.E., Ivanov S.A., Kaprin A.D.** 35-year experience in the functioning of the National Radiation and Epidemiological Registry as a State information system for monitoring the radiological consequences of the Chernobyl accident. *Radiatsiya i risk – Radiation and Risk*, 2021, vol. 30, no. 1, pp. 7-39. (In Russian).

Chekin S.Yu.* – Head of Lab.; **Kashcheev V.V.** – Head of Lab., C. Sc., Biol.; **Maksioutov M.A.** – Head of Dep., C. Sc., Tech.; **Menyajlo A.N.** – Lead. Researcher, C. Sc., Biol.; **Korelo A.M.** – Senior Researcher; **Lovachev S.S.** – Research Assistant; **Kashcheeva P.V.** – Senior Researcher; C. Sc., Biol. A. Tsyb MRRC.

*Contacts: 4 Korozyov str., Obninsk, Kaluga region, Russia, 249035. Tel.: (484) 399-30-79; e-mail: nrer@obninsk.com.

5. **Pitkevich V.A., Ivanov V.K., Tsyb A.F., Maksioutov M.A., Matyash V.A., Shchukina N.V.** Dosimetric data of the Russian State Medical and Dosimetric Register for liquidators. *Radiatsiya i risk – Radiation and Risk*, 1995, special issue 2, pp. 3-44. (In Russian).
6. Publication 103 of the International Commission on Radiation Protection (ICRP): trans. from English. Eds.: M.F. Kiselyov, N.K. Shandala. Moscow, LLC PKF "Alana", 2009. 312 p. Available at: http://www.icrp.org/docs/P103_Russian.pdf (Accessed 15.01.2021). (In Russian).
7. **Chekin S.Yu., Menyajlo A.N., Kashcheev V.V., Lovachev S.S., Maksioutov M.A., Gorski A.I., Kashcheeva P.V.** Prospective lifetime radiation risk of cancer among Russian cleanup workers in Chernobyl. *Radiatsiya i risk – Radiation and Risk*, 2021, vol. 30, no. 1, pp. 94-109. (In Russian).
8. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources and effects of ionizing radiation. UNSCEAR 2006 Report Vol. I, Annex A: Epidemiological studies of radiation and cancer. New York, United Nation, 2008. 383 p.
9. Health risk assessment from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami based on a preliminary dose estimation. Geneva, World Health Organization, 2013. 172 p.
10. **Ivanov V.K., Karpenko S.V., Kashcheev V.V., Chekin S.Yu., Maksioutov M.A., Tumanov K.A., Shchukina N.V., Kochergina E.V., Zelenskaya N.S., Lashkova O.E.** Radiation risks of the Russian participants in the mitigation of the consequences of the accident at the Chernobyl nuclear power plant for the period 1992-2017. Part I: incidence of solid cancers. *Radiatsiya i risk – Radiation and Risk*, 2019, vol. 28, no. 4, pp. 16-30. (In Russian).
11. Malignant neoplasms in Russia in 2019 (morbidity and mortality). Eds.: A.D. Kaprin, V.V. Starinsky, A.O. Shakhzadova. Moscow, MNIOL them. P.A. Herzen – branch of the Federal State Budgetary Institution "National Medical Research Center of Radiology" of the Ministry of Health of Russia, 2020. 251 p. Available at: https://glavonco.ru/cancer_register/Забол_2019_Электр.pdf (Accessed 15.01.2021) (In Russian).
12. Approaches to attribution of detrimental health effects to occupational ionizing radiation exposure and their application in compensation programmes for cancer: a practical guide. Occupational Safety and Health Series, No. 73. Eds.: S. Niu, P. Deboodt, H. Zeeb. Geneva, International Labour Organization, 2010. 99 p.