

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛИМФОЦИТАРНОГО ТЕСТА ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ДОЗИМЕТРИИ В РАННИЕ СРОКИ ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ

М. К. Седанкин , Е. А. Гудков, В. Ю. Соловьев, Л. Ю. Мершин

Федеральный медико-биологический центр имени А. И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия

При ликвидации последствий крупномасштабных радиационных аварий на ранних этапах медицинской эвакуации ключевое значение имеет первичная медицинская сортировка пострадавших. Для этой цели может быть использована информация о количестве лимфоцитов (анализ крови) в единице объема периферической крови. Целью исследования было провалидировать метод использования лимфоцитарного теста для прогнозирования степени тяжести острого лучевого поражения в первые дни после облучения при массовых радиационных поражениях при условии однократного анализа периферической крови. Проводили корреляционный анализ данных клинико-лабораторных исследований числа лимфоцитов в периферической крови пострадавших в первые дни после облучения при аварии на ЧАЭС и других радиационных инцидентах на территориях стран бывшего СССР (115 человек), в том числе в радиационных инцидентах с гамма-нейтронным облучением (20 человек). Установлено, что при концентрации лимфоцитов $0,2-1,0 \times 10^9/\text{л}$ на 2-е сутки после облучения абсолютная погрешность оценки дозы составляет $\pm 1,5$ Гр при воздействии гамма-лучей и $\pm 1,3$ Гр — при воздействии гамма-нейтронного излучения. При концентрации лимфоцитов более $1,0 \times 10^9/\text{л}$ в обоих случаях прогнозируется легкая степень острой лучевой болезни (ОЛБ) при средней дозе менее 2,0 Гр; при концентрации лимфоцитов менее $0,2 \times 10^9/\text{л}$ оценка средней дозы составляет более 4,0 Гр, что соответствует тяжелой или крайне тяжелой степени ОЛБ. Благодаря доступности и простоте лимфоцитарного теста, этот метод биологической дозиметрии способен занять важное место в диагностике радиационных поражений при крупномасштабных авариях, в связи с тем что результаты цитогенетических тестов недоступны в течение первых дней после инцидента.

Ключевые слова: доза облучения, лимфоциты, острая лучевая болезнь, радиационная авария, радиологический инцидент, ядерный инцидент, биологическая дозиметрия

Вклад авторов: М. К. Седанкин — дизайн и концепция исследования, написание статьи, обзор литературы, утверждение окончательного варианта статьи; Е. А. Гудков — дизайн и концепция исследования, сбор материала, интерпретация данных, разработка инструмента математических расчетов; В. Ю. Соловьев — общее руководство, дизайн и концепция исследования, написание статьи; Л. Ю. Мершин — редактирование, интерпретация данных, оптимизация инструмента математических расчетов.

✉ **Для корреспонденции:** Михаил Константинович Седанкин
ул. Живописная, д. 46, г. Москва, 123098, Россия; msedankin@yandex.ru

Статья получена: 10.08.2023 **Статья принята к печати:** 11.09.2023 **Опубликована онлайн:** 28.09.2023

DOI: 10.47183/mes.2023.034

FEATURES OF USING A LYMPHOCYTE TEST FOR BIOLOGICAL DOSIMETRY IN THE EARLY PERIOD AFTER EXPOSURE

Sedankin MK , Gudkov EA, Soloviev VYu, Merzhin LYu

Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

When eliminating the consequences of large-scale radiation accidents, primary triage of victims is of key importance during the early phase of medical evacuation. Information about lymphocyte counts (blood test) per unit of peripheral blood volume can be used for this purpose. The study was aimed to validate the method of using a lymphocyte test for prediction of acute radiation injury severity in the first days after the exposure associated with the radiation mass casualty incident, given peripheral blood was tested once. We performed correlation analysis of the data of laboratory studies focused on quantifying lymphocytes in peripheral blood of victims during the first days following the Chernobyl disaster and other radiation accidents on the territory of the countries of the former USSR (115 individuals), including radiation accidents with gamma neutron radiation (20 individuals). It was found that with the lymphocyte concentration of $0.2-1.0 \times 10^9/\text{L}$ on day 2 after exposure, the absolute error of estimated dose was ± 1.5 Gy in case of gamma exposure and ± 1.3 Gy in case of exposure to gamma neutron radiation. When the lymphocyte concentration exceeds $1.0 \times 10^9/\text{L}$, mild acute radiation syndrome (ARS) is predicted, given the average dose is below 2.0 Gy; when the lymphocyte concentration is less than $0.2 \times 10^9/\text{L}$ the estimated average dose exceeds 4.0 Gy, which corresponds to severe or extremely severe ARS. Thanks to the lymphocyte test accessibility and simplicity, this biological dosimetry method can occupy a worthy position in the diagnosis of radiation injury associated with large-scale accidents, since the results of cytogenetic tests are not available within first days after the accident.

Keywords: radiation dose, lymphocytes, acute radiation syndrome, radiation accident, radiological accident, nuclear accident, biological dosimetry

Author contribution: Sedankin MK — study concept and design, manuscript writing, literature review, approval of the final version of the article; Gudkov EA — study concept and design, data acquisition, data interpretation, computation tool development; Soloviev VYu — general management, study concept and design, manuscript writing; Merzhin LYu — editing, data interpretation, computation tool optimization.

✉ **Correspondence should be addressed:** Mikhail K. Sedankin
Zhivopisnaya, 46, Moscow, 123098, Russia; msedankin@yandex.ru

Received: 10.08.2023 **Accepted:** 11.09.2023 **Published online:** 28.09.2023

DOI: 10.47183/mes.2023.034

При ликвидации последствий крупномасштабных радиационных аварий на начальных этапах медицинской эвакуации ключевое значение имеет первичная медицинская сортировка пострадавших. Для этой цели, в том числе при условии отсутствия индивидуальных дозиметров у пострадавших, может быть использована информация о первичной реакции на облучение с учетом

индивидуальных сведений об условиях облучения и/или сведения об анализе крови. Результаты обобщения информации о клинических проявлениях первичной реакции на облучение и их прогностической ценности для оценки степени тяжести лучевого поражения присутствуют в большом количестве публикаций [1–6]. Так, были проанализированы фактические сведения о

симптомах первичной реакции у пострадавших при аварии на ЧАЭС (1986 г.) и других радиационных инцидентах [5, 6]. Показано, что из всех симптомов первичной реакции на облучение наиболее информативно время начала развития рвоты после облучения. Однако такие данные в ряде случаев могут не обладать значимой прогностической ценностью вследствие, например, того, что пострадавшие могли использовать противорвотные средства [2, 7], а также вследствие воздействия других причин (травмы головы, психоэмоциональные расстройства и др.). В связи

с этим дополнительным источником сведений о степени тяжести радиационного поражения может служить информация о количестве лимфоцитов в единице объема периферической крови — так называемый лимфоцитарный тест (анализ крови на лимфоциты).

Число клеток периферической крови — важный биомаркер радиационного облучения. Особой прогностической ценностью при отсутствии комбинированных радиационных поражений и при наличии анализов крови у пострадавших обладает лимфоцитарный тест, или измерение абсолютного

Таблица 1. Концентрация лимфоцитов в периферической крови ($\times 10^9/\text{л}$) на 2-й день после облучения у пострадавших при аварии на ЧАЭС 1986 г. и в других радиационных инцидентах (по материалам базы данных по острым лучевым поражениям человека ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России), дополнено и переработано из ранее опубликованной работы [13]. Отдельно выделены случаи с воздействием гамма-нейтронного излучения

УКН	Доза, Гр	Концентрация лимфоцитов, $\times 10^9/\text{л}$	УКН	Доза, Гр	Концентрация лимфоцитов, $\times 10^9/\text{л}$	УКН	Доза, Гр	Концентрация лимфоцитов, $\times 10^9/\text{л}$
Гамма-излучение (95 человек)								
1001	7,5	0,117	1055	5,3	0,522	1096	3,7	0,342
1005	5,2	0,165	1056	3,6	0,41	1097	1	0,662
1007	5,5	0,325	1057	3	0,516	1098	2	0,63
1011	6,3	0,081	1058	3	0,437	1099	5,6	1,2
1013	6,3	0,108	1059	5,8	0,54	1100	2,6	0,48
1018	2,7	0,229	1060	6,1	0,432	1101	3,2	0,841
1019	4,6	0,216	1061	4,4	0,513	1102	1,2	1,597
1021	4,7	0,164	1062	7	0,483	1103	1,9	0,817
1022	7,1	0,162	1063	1,1	0,51	1105	1,5	0,557
1024	2,3	0,365	1065	3,1	1,008	1106	2,3	0,69
1025	6	0,637	1066	1	0,884	1107	0,7	1,128
1028	7,3	0,376	1067	2,6	0,75	1108	2,3	0,756
1030	6,4	0,189	1068	4,6	0,293	1140	0,3	1,092
1031	7,7	0,399	1070	1,2	0,56	3033	7,7	0,296
1032	4,2	0,754	1071	5,4	0,128	3034	4	0,285
1033	3,9	0,636	1072	3,6	0,45	3035	6	0,222
1035	4	0,532	1073	3,5	2,52	3038	1,3	0,98
1037	2,8	0,566	1075	1,4	1,162	3044	1,7	1,155
1039	4,3	0,852	1078	0,3	1,842	3048	2,6	0,405
1040	1,7	0,612	1079	0,6	2,12	3050	2,3	0,484
1041	3,1	0,344	1081	1,2	1,275	3051	3	0,438
1042	6,3	0,357	1082	1,2	2,352	3052	3	0,7
1043	4,7	0,281	1083	1,9	0,989	3053	3	0,335
1044	3,7	0,609	1084	1,1	1,058	3067	2,3	1,044
1047	3,2	0,744	1085	3,3	0,3	3068	3	0,728
1048	2	0,924	1087	3,5	0,378	3069	3,5	0,504
1049	2,1	0,235	1089	1,7	0,846	3077	0,85	1,107
1050	3,3	0,897	1090	1,2	0,74	3078	0,9	1,26
1051	1,8	0,943	1091	1,2	0,608	3082	2,1	0,697
1052	4,3	0,436	1092	2,7	0,72	3083	1,3	1,798
1053	2,8	0,594	1094	6,6	0,684	3084	2,1	0,91
1054	3,6	0,456	1095	2,2	0,923			
Гамма-нейтронное излучение (20 человек)								
3008	3,8	0,352	3036	3,3	0,067	3065	2,25	0,504
3010	0,9	1,564	3037	3,7	0,269	3071	3,7	0,93
3011	0,5	1,222	3040	5,8	0,204	3073	5	0,08
3020	4	0,396	3042	4,1	0,259	3079	2,1	1,147
3025	2,5	0,423	3043	3	0,551	3081	1,5	0,774
3027	1,1	1,071	3045	5,5	0,444	3086	1,9	0,769
3030	3,6	0,403	3046	7,4	0,072			

Таблица 2. Оценка дозы по промежутку времени между отбором образцов крови и соотношению концентрации лимфоцитов L_2/L_1 в период 2–18 ч после облучения

L_2/L_1	Время между измерениями, ч				
	4	6	8	10	12
0,8	8	5,4	4	3,2	2,7
0,7	>12	8,6	6,4	5,1	4,3
0,6	>12	>12	9,2	7,4	6,1
0,5	>12	>12	>12	10	8,3

числа лимфоцитов или динамики его изменения в периферической крови пострадавшего. Измерение абсолютного числа лимфоцитов является самым быстрым и простым лабораторным тестом для оценки дозы облучения в течение 24 ч после воздействия. Изначально врачи использовали номограмму, разработанную G. A. Andrews для прогнозирования степени тяжести радиационных поражений. Выявленное низкое значение абсолютного числа лимфоцитов или прогрессивно снижающиеся число лимфоцитов в течение некоторого промежутка времени говорит о воздействии возможно высокой дозы радиации, что подчиняется классическим кривым истощения лимфоцитов [8].

В целом, использование лимфоцитарного теста основано на том, что после значимого падения в первые сутки после облучения в последующий период со 2-го по 9-й день средняя концентрация лимфоцитов в периферической крови остается более или менее постоянной. На этих закономерностях основаны рекомендации по практическому использованию лимфоцитарного теста. Корреляционная связь числа или концентрации лимфоцитов периферической крови с полученной дозой подробно исследована на контингенте пострадавших при аварии на ЧАЭС и в других радиационных авариях согласно [9]. Показано, что наиболее высокую корреляционную зависимость от дозы имеет средняя концентрация лимфоцитов периферической крови в 3–6 сутки после облучения. Но более ранний период в этой работе не рассмотрен.

Однако на практике не исключены ситуации, когда у пострадавшего имеется только один зарегистрированный анализ крови в один из первых дней после облучения. В отечественной литературе этот временной диапазон исследован недостаточно. Необходимы дальнейшие исследования с целью повышения информативности лимфоцитарного теста в этот временной период.

Оценка дозы с использованием результата только одной точки взятия анализа крови в первые сутки мало информативна, так как имеет очень большую неопределенность. В статистическом отношении этот вопрос недостаточно изучен. В литературе имеются сведения об оценке степени тяжести поражения в первые дни или часы после радиационного инцидента [10, 11]. Прогноз степени тяжести лучевого поражения по абсолютному содержанию лимфоцитов в периферической крови пострадавшего в первые два дня после облучения может быть выполнен согласно руководству МАГАТЭ и ВОЗ [12].

В настоящее время актуальны разработка и усовершенствование лимфоцитарного теста как метода биологической дозиметрии с целью оценки и прогноза степени тяжести пострадавших при радиационных инцидентах в первые дни после аварии на ранних этапах медицинской эвакуации и последующего этапного лечения.

Цель исследования — валидация метода использования лимфоцитарного теста в первые двое суток после облучения

для прогнозирования степени тяжести поражения при условии однократного взятия анализа крови при массовых радиационных поражениях на основе использования клинико-лабораторных данных о пострадавших в радиационных инцидентах из базы данных по ОЛБ ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исходной информацией для исследования являются клинические материалы из базы данных по ОЛБ ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России [13]. Рассматривали контингент пострадавших при аварии на ЧАЭС (77 человек) и других радиационных авариях (38 человек) с дозой облучения не более 8 Гр (табл. 1). В качестве метода исследования использовали корреляционный анализ.

Для рассматриваемых данных была проанализирована зависимость поглощенной дозы облучения от концентрации лимфоцитов в периферической крови пострадавших на 2-й день в период после облучения, а также была установлена степень корреляции между данными показателями. Отдельно были рассмотрены случаи с комбинированным воздействием гамма-нейтронным излучением. Результаты представлены на рисунке и в табл. 3.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В опубликованной ранее работе было показано, что в первый день после облучения в клинически значимом диапазоне доз концентрация лимфоцитов в периферической крови снижается приблизительно по экспоненциальному закону [10]. Постоянная скорости снижения концентрации лимфоцитов в период со 2-го по 18-й ч после облучения коррелирует с дозой облучения D , что дает возможность оценивать эту дозу по двум точкам взятия анализов крови [11]:

$$D = -(k/\Delta T) \times \ln(L_1/L_2) \quad (1)$$

где L_1 и L_2 — число лимфоцитов в образцах крови, взятые в моменты времени t_1 и t_2 после воздействия ($t_2 > t_1$), $\Delta T = t_2 - t_1$ — время, прошедшее между взятием образцов крови, и константа $k = 144$.

Аналогично данным работы [11], с помощью представленной формулы может быть произведена оценка поглощенной дозы по данным двух анализов крови (табл. 2).

По данным табл. 2 проанализирована корреляционная связь поглощенной дозы облучения с количеством лимфоцитов в периферической крови пострадавших на 2-й день после облучения (см. рис.). Статистическая обработка позволила оценить неопределенность прогноза степени тяжести лучевого поражения по результатам одиночного анализа на 2-й день после облучения (табл. 3). Там же для сравнения представлены результаты прогноза по среднему значению количества лимфоцитов на 3–6 сутки после облучения.

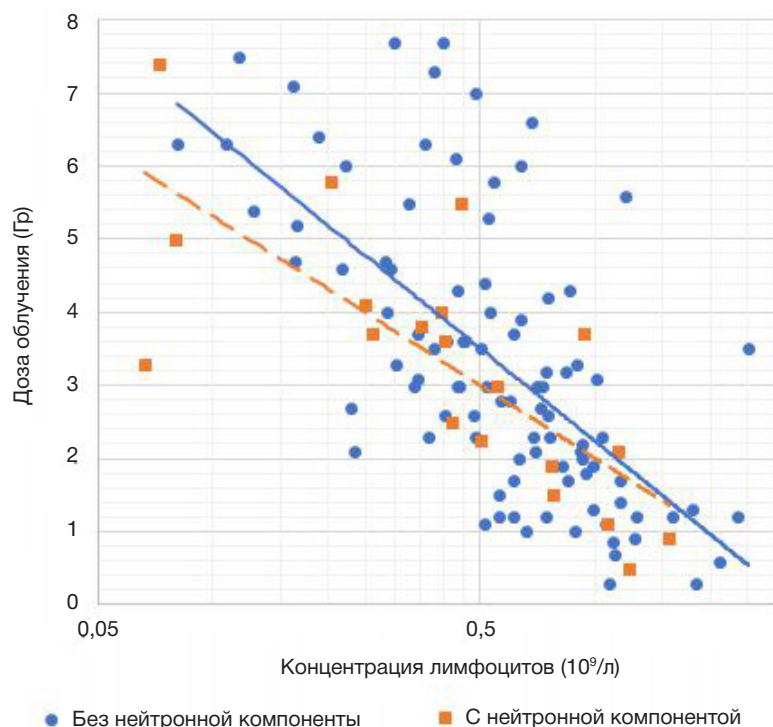


Рис. Зависимость дозы облучения (Гр) от численности лимфоцитов ($\times 10^9/\text{л}$) на 2-е сутки после облучения. Маркерами показаны исходные данные (по отдельности для групп с гамма- и гамма-нейтронным излучением), линиями — наблюдаемая тенденция

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Следует отметить, что при сочетанном воздействии гамма-нейтронным излучением прогнозируемая доза оказывается в среднем на 10–15% ниже, чем при облучении гамма-излучением.

Если вернуться к вопросу о возможности использования одного анализа крови в первые сутки после облучения, то можно воспользоваться результатами работы, в которой показано, что индивидуальные колебания уровня лимфоцитов в периферической крови здоровых людей при длительном наблюдении составляют величину примерно $\pm 20\%$ от среднего значения [11]. Поэтому данные о предшествующих анализах крови не могут быть надежным ориентиром для уточнения прогноза. Для оценки дозы может быть использовано соотношение (1), где в качестве данных первого измерения L_1 уровня лимфоцитов выступают данные анализа крови у пострадавшего, взятые лишь за несколько дней до облучения, а в качестве параметра $\Delta T = t - 2$, где t — время от момента облучения до момента взятия анализа в период со 2-го по 18-й ч после облучения.

Концентрационные гематологические показатели могут обладать меньшей достоверностью вследствие многочисленных клинических проблем, не связанных с радиационным воздействием, и разброса биологических показателей: проведение инфузионно-трансфузионной терапии, нелучевые травмы, этническая принадлежность, возраст, состояние здоровья и пол исследуемых пострадавших, уменьшение или увеличение гематологических показателей с помощью лекарств и др. [14, 15]. Поэтому при постановке предварительного диагноза опора только на лимфоцитарный тест без учета других данных и вышеперечисленных причин может приводить к смещенной оценке дозы или степени тяжести радиационного поражения.

ВЫВОДЫ

Валидация информации по уровню лимфоцитов периферической крови на 2-й день после облучения позволила уточнить данные по прогнозу степени тяжести лучевого поражения: 1) при концентрации лимфоцитов периферической крови менее $0,2 \times 10^9/\text{л}$

Таблица 3. Оценка неопределенности полученной дозы (Гр) и степени тяжести лучевого поражения по концентрации лимфоцитов в периферической крови на 2-е сутки и среднее значение с 3 по 6 сутки после облучения (по данным [9])

Концентрация лимфоцитов, $\times 10^9 \text{ кл/л}$	Дни после облучения			
	гамма-излучение		гамма-нейтронное излучение	
	2	3–6	2	3–6
$< 0,2$	II–IV	III–IV	II–IV	III–IV
0,3	4,4 (3–5,9) II–III	5,8 (4,2–7,4) III–IV	3,7 (2,6–4,9) II–III	4,5 (3,0–6,0) II–III
0,4	3,9 (2,5–5,4) II–III	5 (3,3–6,6) II–IV	3,3 (2,2–4,4) II–III	3,7 (2,2–5,2) II–III
0,5	3,5 (2,1–5) II–III	4,3 (2,7–5,9) II–III	3 (1,9–4,1) I–III	3,1 (1,7–4,6) I–III
0,6	3,2 (1,7–4,6) I–III	3,8 (2,2–5,4) II–III	2,7 (1,6–3,9) I–II	2,6 (1,3–4,0) I–II
0,8	2,6 (1,2–4,1) I–III	3 (1,4–4,6) I–III	2,3 (1,2–3,4) I–II	1,8 (0,7–3,0) I–II
1	2,2 (0,8–3,7) до II	2,3 (0,7–3,9) I–II	2 (0,9–3,1) до II	1,1 (0,2–2,0) до II

прогнозируется ОЛБ тяжелой (III) или крайне тяжелой (IV) степени тяжести; 2) в диапазоне концентраций лимфоцитов $0,2-1,0 \times 10^9/\text{л}$ абсолютная погрешность оценки дозы составляет $\pm 1,5$ Гр при воздействии гамма-излучением и $\pm 1,3$ Гр при воздействии гамма-нейтронным излучением. У пострадавших диагностирована средняя (II) или тяжелая (III) степень лучевого поражения, и их лечение должно быть начато в ближайшее время в специализированном стационаре; 3) при концентрации лимфоцитов периферической крови в диапазоне свыше $1,0 \times 10^9/\text{л}$ можно прогнозировать ОЛБ легкой (I) или средней (II) степени. По сравнению с методом диагностики, приведенным в статье [9], данный тест позволяет прогнозировать дозу облучения на основе данных

всего одного анализа крови, взятого на 2-е сутки после облучения. Это может быть предпочтительнее в случаях крупномасштабных радиационных аварий, когда имеющихся в распоряжении медицинских ресурсов недостаточно для полноценной диагностики степени тяжести ОЛБ. Лимфоцитарный тест остается одним из наиболее простых и доступных методов биологической дозиметрии, что определяет его роль в диагностике радиационных поражений при крупномасштабных авариях, когда результаты цитогенетических тестов недоступны в течение первых дней после инцидента. В будущем при наличии дополнительных источников информации о концентрации лимфоцитов в первые дни после облучения точность прогноза может быть повышена.

Литература

1. Flynn DF, Goans RE. Nuclear Terrorism: triage and medical management of radiation and combined-injury casualties. *Surgical Clinics*. 2006; 86 (3): 601–35. DOI: 10.1016/j.suc.2006.03.005.
2. Waselenko JK, MacVittie TJ, Blakely WF, Pesik N, Wiley AL, Dickerson WE, et al. Medical management of the acute radiation syndrome: recommendations of the strategic National Stockpile Radiation Working Group. *Annals of Internal Medicine*. 2004; 140 (12): 1037–14. DOI: 10.7326/0003-4819-140-12-200406150-00015.
3. Iddins CJ, Davis JE, Goans RE, Case C. Radiological and nuclear terrorism. *Oncologic Emergency Medicine*. 2021; 543–10. DOI: 10.1007/978-3-030-67123-5_42.
4. Баранов А. Е. Острая лучевая болезнь: биологическая дозиметрия, ранняя диагностика и лечение, исходы и отдаленные последствия. В книге: Барабанова А. В., Баранов А. Е., Бушманов А. Ю., Гуськова А. К. Радиационные поражения человека. Избранные клинические лекции, методическое пособие. М.: Слово, 2007; 53–31.
5. Соловьев В. Ю., Самойлов А. С., Лебедев А. О., Седанкин М. К., Гудков Е. А. Использование информации о времени развития рвоты при первичной сортировке пострадавших в радиационных авариях. Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2021; (1): 14–7. DOI: 10.25016/2541-7487-2021-0-1-14-21.
6. Соловьев В. Ю., Краснюк В. И., Фаткина С. С. База данных по острым лучевым поражениям человека. Сообщение 4. Закономерности формирования первичной реакции при относительно равномерном аварийном облучении. Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2014; 59 (4): 32–8.
7. Fliedner TM, Friesecke I, Beyrer K, editors. Medical management of radiation accidents: manual on the acute radiation syndrome. British Inst of Radiology, 2001.
8. Andrews GA, Auxier JA, Lushbaugh CC. The Importance of dosimetry to the medical management of persons accidentally exposed to high levels of radiation. In: Personnel dosimetry for radiation accidents. Proceedings of an International Atomic Energy Agency symposium. Vienna: International Atomic Energy Agency. 1965; 3–16.
9. Лебедев А. О., Самойлов А. С., Соловьев В. Ю., Баранова Н. Н., Гудков Е. А. Особенности использования лимфоцитарного теста для прогнозирования степени тяжести острого лучевого поражения. Медицина катастроф. 2021; (3): 29–4. DOI: 10.33266/2070-1004-2021-3-29-33.
10. Goans RE, Holloway EC, Berger ME, Ricks RC. Early Dose Assessment Following Severe Radiation Accidents. *Health Physics*. 1997; 72 (4): 513–8.
11. Parker DD, Parker JC. Estimating radiation dose from time to emesis and lymphocyte depletion. *Health Physics*. 2007; 93 (6): 701–4. DOI: 10.1097/01.HP.0000275289.45882.29.
12. Общие процедуры медицинского реагирования при ядерной или радиологической аварийной ситуации. Серия «Аварийная готовность и реагирование», IAEA-EPR-MEDICAL. Вена: МАГАТЭ, 2009; 327 с.
13. Samoilov AS, Soloviev VYu, editors. ATLAS. Acute radiation syndrome. M.: SRC-FMBC, 2019; 232.
14. Obrador E, Salvador-Palmer R, Villaescusa JI, Gallego E, Pellicer B, Estrela JM, Montoro A. Nuclear and Radiological Emergencies: Biological Effects, Countermeasures and Biodosimetry. *Antioxidants*. 2022; 11 (6): 1098–51. DOI: 10.3390/antiox11061098.
15. Hu S, Blakely WF, Cucinotta FA. HEMODOSE: a biodosimetry tool based on multi-type blood cell counts. *Health physics*. 2015; 109 (1): 54–68. DOI: 10.1097/HP.000000000000029568.

References

1. Flynn DF, Goans RE. Nuclear Terrorism: triage and medical management of radiation and combined-injury casualties. *Surgical Clinics*. 2006; 86 (3): 601–35. DOI: 10.1016/j.suc.2006.03.005.
2. Waselenko JK, MacVittie TJ, Blakely WF, Pesik N, Wiley AL, Dickerson WE, et al. Medical management of the acute radiation syndrome: recommendations of the strategic National Stockpile Radiation Working Group. *Annals of Internal Medicine*. 2004; 140 (12): 1037–14. DOI: 10.7326/0003-4819-140-12-200406150-00015.
3. Iddins CJ, Davis JE, Goans RE, Case C. Radiological and nuclear terrorism. *Oncologic Emergency Medicine*. 2021; 543–10. DOI: 10.1007/978-3-030-67123-5_42.
4. Baranov AE. Ostraya lucheovaya bolezni': biologicheskaya dozimetriya, rannaya diagnostika i lechenie, ishody i otdalennye posledstviya. V knige: Barabanova AV, Baranov AE, Bushmanov AYu, Gus'kova AK. Radiacionnye porazheniya cheloveka. Izbrannye klinicheskie lekci, metodicheskoe posobie. M.: Slovo, 2007; 53–31. Russian.
5. Solovev VYu, Samojlov AS, Lebedev AO, Sedankin MK, Gudkov EA. Ispol'zovanie informacii o vremeni razvitiya rvoty pri pervichnoj sortirovke postradavshih v radiacionnyh avariyah. Mediko-biologicheskie i social'no-psihologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychajnyh situaciyah. 2021; (1): 14–7. DOI: 10.25016/2541-7487-2021-0-1-14-21. Russian.
6. Solovev VYu, Krasnyuk VI, Fatkina SS. Baza dannyh po ostrym lucheovym porazheniyam cheloveka. Soobshhenie 4. Zakonomernosti formirovaniya pervichnoj reakcii pri otnositel'no ravnomernom avarijnom obluchenii. Medicinskaya radiologiya i radiacionnaya bezopasnost'. 2014; 59 (4): 32–8. Russian.
7. Fliedner TM, Friesecke I, Beyrer K, editors. Medical management

- of radiation accidents: manual on the acute radiation syndrome. British Inst of Radiology. 2001; 65.
8. Andrews GA, Auxier JA, Lushbaugh CC. The Importance of dosimetry to the medical management of persons accidentally exposed to high levels of radiation. In: Personnel dosimetry for radiation accidents. Proceedings of an International Atomic Energy Agency symposium. Vienna: International Atomic Energy Agency. 1965; 3–16
 9. Lebedev AO, Samojlov AS, Solovyov VYu, Baranova NN, Gudkov EA. Osobennosti ispol'zovaniya limfocitarnogo testa dlya prognozirovaniya stepeni tyazhesti ostrogo lucheвого porazheniya. *Medicina katastrof*. 2021; (3): 29–4. DOI: 10.33266/2070-1004-2021-3-29-33. Russian.
 10. Goans RE, Holloway EC, Berger ME, Ricks RC. Early Dose Assessment Following Severe Radiation Accidents. *Health Physics*. 1997; 72 (4): 513–8.
 11. Parker DD, Parker JC. Estimating radiation dose from time to emesis and lymphocyte depletion. *Health Physics*. 2007; 93 (6): 701–4. DOI: 10.1097/01.HP.0000275289.45882.29.
 12. Obshhie procedury medicinskogo reagirovaniya pri yadernoj ili radiologicheskoy avarijnoj situacii. Seriya «Avarijnaya gotovnost' i reagirovanie», IAEA-EPR-MEDICAL. Vena: MAGATEh, 2009; 327 c.
 13. Samoilov AS, Soloviev VYu, editors. ATLAS. Acute radiation syndrome. M.: SRC-FMBC, 2019; 232.
 14. Obrador E, Salvador-Palmer R, Villaescusa JI, Gallego E, Pellicer B, Estrela JM, Montoro A. Nuclear and Radiological Emergencies: Biological Effects, Countermeasures and Biodosimetry. *Antioxidants*. 2022; 11 (6): 1098–51. DOI: 10.3390/antiox11061098.
 15. Hu S, Blakely WF, Cucinotta FA. HEMODOSE: a biodosimetry tool based on multi-type blood cell counts. *Health physics*. 2015; 109 (1): 54–68. DOI: 10.1097/HP.00000000000029568.