

DOI 10.12737/article\_59b10253ece3a0.60813066

**С.В. Татаркин<sup>1</sup>, А.В. Шафиркин<sup>2</sup>, М.Ю. Баранцева<sup>2</sup>, С.М. Иванова<sup>2</sup>, С.В. Ворожцова<sup>2</sup>,  
Л.Н. Татаркина<sup>2</sup>, А.Ч. Хуршут<sup>3</sup>, В.Н. Безгрешнов<sup>3</sup>**  
**БИОЭФФЕКТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТРИЦАТЕЛЬНО ЗАРЯЖЕННЫХ ИОНОВ ВОЗДУХА  
 НА ПРОТЕКАНИЕ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ОРГАНИЗМЕ  
 ПОСЛЕ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ**

1. Международный центр устойчивого энергетического развития под эгидой ЮНЕСКО, Москва. E-mail: tatarbins@gmail.com;  
 2. Институт медико-биологических проблем РАН, Москва; 3. ООО НПЦ «Истион – Здоровье», Москва

С.В. Татаркин – к.б.н., рук. сектора; А.В. Шафиркин – д.б.н., зав. лаб.; М.Ю. Баранцева – к.б.н., в.н.с.;  
 С.М. Иванова – к.б.н., в.н.с.; С.В. Ворожцова – д.б.н., в.н.с.; Л.Н. Татаркина – н.с.;  
 А.Ч. Хуршут – зам. главного конструктора; В.Н. Безгрешнов – главный конструктор

#### Реферат

**Цель:** Проведение комплексных исследований системы кроветворения, включая гемопоэз, метаболические перестройки в клетках и изменение параметров их антиоксидантного потенциала в восстановительном периоде после радиационного воздействия в дозах и концентрациях, характерных для межпланетных полетов при изолированном действии радиационного фактора и сочетанном воздействии радиационного фактора и отрицательно заряженных ионов воздуха (аэроионов).

**Материал и методы:** Исследования проводились на половозрелых мышах линии F1(CBA×C57BL6) с учетом норм и правил биомедицинской этики на базе ИМБП РАН. Экспериментальные исследования включали 2 этапа: 1) фракционированное  $\gamma$ -облучение 350 сГр длительностью 63 сут (всего 10 фракций); 2) восстановительный период длительностью 28 сут, в течение которого часть животных подвергались воздействию отрицательно ионизированного воздуха (ежедневно по 70 мин). Исследовались цитологические, морфологические, биохимические показатели гемопоэза: общее количество ядродержащих клеток (в костном мозге); количество эритроцитов, ретикулоцитов, гемоглобина (в периферической крови); содержание АТФ, лактата, восстановленного глутатиона, активности глюкозо-6-фосфат дегидрогеназы (Г6ФДГ), лактатдегидрогеназы (ЛДГ) (в эритроцитах); соотношение и количество липидных фракций (в мембране эритроцитов).

**Результаты:** Биоэффект воздействия отрицательно ионизированного воздуха на протекание репаративных процессов в организме после внешнего гамма-облучения заключается в ускоренном восстановлении количества клеток периферической крови, в большей степени лейкоцитов, вследствие:

- увеличения скорости восстановления процессов энергообразования, в т.ч. увеличения активности ЛДГ, концентрации лактата и АТФ и более выраженной нормализации окислительно-восстановительных процессов (скачкообразное увеличение концентрации восстановленного глутатиона), что способствует репаративным преобразованиям мембраны клеток с насыщением липидной фазой мембран холестеринном.
- мембранопротекторного эффекта отрицательно ионизированного воздуха, основанного на восстановлении мембранного потенциала клеток и выражающегося увеличением отрицательного заряда форменных элементов крови;
- увеличения продолжительности жизни клеток в периферической крови и меньшего значения периода полувыведения гранулоцитов из кровотока в ткани.

**Ключевые слова:** гемопоэз, репаративные процессы, гамма-облучение, отрицательно ионизированный воздух (аэроионы), клеточный метаболизм, мембранный потенциал

Поступила: 24.04.2017. Принята к публикации: 12.07.2017

В этом году исполняется 120 лет со дня рождения выдающегося российского ученого Александра Леонидовича Чижевского (1897–1964). В 1918 г. наш гениальный соотечественник открыл эффект биологического воздействия отрицательно ионизированного воздуха (аэроионов) на организм.

#### Введение

Поскольку эталоном биологически полноценной среды обитания для человека является земная среда, для возмещения ее функций в замкнутом обитаемом объеме необходимо создание систем жизнеобеспечения. При этом в герметичных обитаемых помещениях формируется своеобразный микрофакторный баланс: уменьшается количество лёгких отрицательных ионов и, наоборот, растут концентрации тяжёлых положительно заряженных частиц.

Так, в результате проведённых ранее исследований в Институте медико-биологических проблем РАН на стенде УИМБ-1 (необитаемая гермокамера объёмом 24 м<sup>3</sup>) были установлены фоновые показатели аэроионной составляющей. Концентрация лёгких положительных аэроионов находилась в пределах 400–700 ионов/см<sup>3</sup>. Концентрация лёгких отрицательных аэроионов составила 0–300 ионов/см<sup>3</sup>. Измерение аэроионной составляющей в обитаемом гермообъёме (6 человек) под

влиянием системы очистки и регенерации воздушной среды (в рамках эксперимента «МАРС 500») при имитации пилотируемого полёта на Марс показало полное отсутствие лёгких отрицательных аэроионов.

Пребывание людей в замкнутых, в т.ч. герметичных объектах, как правило, сопряжено с выполнением ими профессиональной деятельности и сопровождается наличием дополнительных неблагоприятных факторов. Так, воздушная среда, в которой пребывают участники длительного космического полета, проходит многократные циклы регенерации и очистки при практически 100 % рециркуляции воздуха. После искусственной регенерации воздух сохраняет свои основные «макроскопические» свойства, но утрачивает микрофакторы, к которым относятся, в первую очередь, легкие аэроионы.

Источниками ионизации на борту пилотируемых космических аппаратов являются: космическое излучение, системы жизнеобеспечения станции, лабораторное оборудование, источники УФ излучения. По ориентировочным оценкам, концентрация аэроионов на орбите ниже радиационных поясов Земли составляет около 17 тыс. пар лёгких (малых) ионов в см<sup>3</sup>. За пределами геомагнитного поля (при межпланетных полетах) уровень ионизации увеличивается и составляет около 60 тыс. пар ионов в см<sup>3</sup> (минимальная оценка для спокойного

Солнца) [1]. Вместе с тем установлено, что длительное воздействие комплекса микрофакторов воздушной среды может приводить к существенным изменениям функционального состояния человека [2–5], а при определенных концентрациях может оказывать благоприятный эффект, увеличивая неспецифическую резистентность организма, в том числе к воздействию неблагоприятных факторов космического полёта, одним из которых важнейшим является ионизирующее излучение.

Интегральным показателем функционального состояния здоровья организма в ответ на радиационное воздействие является состояние системы кроветворения [6]. Поэтому целью настоящей работы являлось проведение комплексных исследований системы кроветворения, включая гемопоэз, метаболические перестройки в клетках и изменение параметров их антиоксидантного потенциала в восстановительном периоде после радиационного воздействия в дозах и концентрациях, характерных для межпланетных полетов при:

- изолированном действии радиационного фактора;
- сочетанном действии радиационного фактора и отрицательно ионизированного воздуха (аэроионов).

### Материал и методы

Исследования проводились на половозрелых мышах линии F1(CBA×C57BL6) с учетом норм и правил биомедицинской этики (Протокол № 136 Комиссии ИМБП по биомедицинской этике физиологической секции Российского национального комитета по биоэтике РАН от 02.06.2004) Животные содержались на стандартном виварном рационе в соответствии с требованиями ГОСТ Р 53434-2009, МУ 2163-80 и «Методических указаний к постановке исследований для обоснования санитарных стандартов вредных веществ в воздухе рабочей зоны».

Эвтаназию животных экспериментальных и контрольных групп проводили одновременно методом декапитации. Забор биоматериала осуществлялся после декапитации без использования наркотических препаратов. В экспериментах было использовано 420 мышей-самцов массой 20–23 г.

Экспериментальные исследования включали 2 этапа (рис. 1):

1. Фракционированное  $\gamma$ -облучение (350 сГр) общей продолжительностью 63 сут.

2. Восстановительный период длительностью 28 сут, в течение которого часть животных подвергалась воздействию отрицательно ионизированного воздуха.

### Фракционированное $\gamma$ -облучение

Исследование проводили на стендовой базе Государственного научного центра РФ Института медико-биологических проблем РАН. Мышей опытной группы в течение 64 сут эксперимента подвергали 10-кратному еженедельному фракционированному  $\gamma$ -облучению в суммарной дозе 350 сГр на  $\gamma$ -облучателе биологических объектов ГОБО-60 с источником излучения  $^{137}\text{Cs}$ . Суммарная доза 350 сГр была выбрана с учетом коэффициента экстраполяции радиочувствительности мышей, равного 3. Эта доза соответствует дозе для человека около 120 сГр и вполне согласуется с возможным уровнем суммарных среднетканевых эквивалентных доз для космонавтов при осуществлении межпланетного полета на Марс [7, 8].

Животных облучали 10 фракциями еженедельно по 50 сГр. Мощность дозы источника  $\gamma$ -излучения составляла 25 сГр в час. С учетом быстрых процессов восстановления на клеточном уровне эффективная доза за каждую фракцию составляла 35 сЗв. Таким образом, суммарная доза на 63-е сут от начала эксперимента после 10-ой фракции составила 350 сГр. Эвтаназию проводили на вторые сутки после очередной дозы облучения. С учетом развития восстановительных процессов на уровне организма, эффективная остаточная доза сначала нарастала, выходила на плато и оставалась на уровне около 70 сГр.

После окончания облучения (после 64 сут от начала эксперимента) эффективная остаточная доза снижалась по экспоненциальному закону с периодом полувосстановления  $T_{1/2}$ , равным для мышей 10 сут,

$$D_{\text{эфф}} = (D_{\text{сут}} / \beta) [1 - \exp(-\beta\tau)] \times \exp[-\beta(t - \tau)],$$

где  $\tau$  – продолжительность облучения, равная 63 сут, а  $\beta = \ln 2 / T_{1/2}$ .

### Восстановительный период

Мыши, подвергшиеся фракционному гамма-облучению в соответствии с указанной выше схемой, были разделены на 2 подгруппы: 1-я (30 животных) содержались в условиях стандартного вивария; 2-я (30 животных), которые также содержались в условиях стандартного вивария, дополнительно подвергались ежедневному воздействию отрицательно ионизированного воздуха в течение 70 мин. Воздействующая доза отрицательно ионизированного воздуха была рассчитана исходя из рекомендаций, полученных из литературных источников [9], а также рекомендаций производителя оборудования. Для создания необходимой концентрации

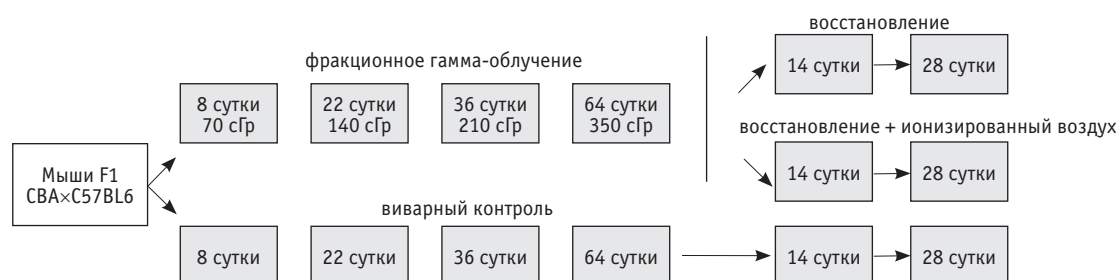


Рис. 1. Обобщенная схема исследования

отрицательно заряженных частиц и коэффициента униполярности более 1 один раз в сутки на 70 мин в клетки вводилась непосредственно игла – источник отрицательных аэроионов с тёмным разрядом при помощи аппарата «Истион-М» разработки и производства ООО НПЦ «Истион-Здоровье». Принцип его работы основан на образовании отрицательных ионов кислорода с тёмным электрическим разрядом, при котором не образуется озон и окислы азота. Режим воздействия был подобран таким образом, что на удалении до 30 см от иглы прибора и при отклонении от центра острия до 40° создавалась мгновенная концентрация лёгких отрицательных аэроионов 210–300 тыс. на 1 см<sup>3</sup>. Исходя из минутного количества дыхательных движений мышей, мгновенной концентрации ионов, а также длительности экспозиции, рассчитывалась доза аэроионов, необходимая для достижения терапевтического эффекта, которая составила 5–7 биологических единиц (БЕ).

В качестве группы сравнения были использованы мыши виварного контроля того же возраста, содержащиеся в условиях стандартного вивария, и на которых не оказывалось воздействие.

**Цитологические, морфологические, биохимические исследования**

Определение общего количества ядросодержащих клеток костного мозга проводилось по стандартной методике [10], определение количества ретикулоцитов проводили в мазках крови в «разреженных полях» на 1000 [11]. Подсчёт лейкоцитарной формулы осуществлялся на окрашенных мазках крови на 200 лейкоцитов по стандартной методике [12].

Биохимические исследования проводили в гепаринизированной крови животных. Метаболизм эритроцитов и структурно-функциональное состояние их мембран оценивали по содержанию аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ), лактата, восстановленного глутатиона (gSH), активности глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы (Г6ФДГ), лактатдегидрогеназы (ЛДГ) [13].

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием t-критерия Стьюдента,

корреляционного и дисперсионного анализа, пакетов программ Statgraf и Excel. Результаты экспериментов представлены в виде среднеарифметического и стандартного отклонения ( $M \pm m$ ). Различия считались достоверными при критическом значении уровня значимости 5 % ( $p < 0,05$ ).

**Результаты и обсуждение**

Реакция гемопоэза мышей на действие фракционного гамма-облучения носила классический, описанный многими авторами, депрессивный дозозависимый характер [6] (рис. 2). Сравнительный анализ численности клеточных популяций у облучаемых мышей показал наличие статистически значимых изменений по сравнению с группой мышей из виварного контроля:

- снижение количества делящихся клеток в костном мозге на 25,2 % ( $p < 0,001$ );
- фазный характер снижения уровня ретикулоцитов в периферической крови на 34,7 % ( $p < 0,001$ );
- фазный характер изменения уровня гемоглобина, со снижением на 3,5 % ( $p < 0,05$ ) до накопления суммарной эффективной дозы 140 сГр с дальнейшим восстановлением;
- дозозависимое уменьшение количества лейкоцитов в периферической крови на 30,5 % ( $p < 0,001$ ). Лейкоцитарная формула характеризовалась относительным нейтрофилёзом при неизменном соотношении молодых и зрелых клеток.

Повреждение внутриклеточных структур приводит к изменению метаболических процессов в клетках, следствием чего является изменение ферментативных реакций. Происходит накопление радиотоксинов. В качестве модели исследования обменных процессов повреждения внутриклеточных метаболических процессов нами был выбран эритроцит. Функциональная специфичность эритроцитов человека и млекопитающих животных, а также чувствительность эритроцитов к радиационному воздействию позволяют рассматривать эту клетку как универсальную модель для изучения действия неблагоприятных факторов [14].

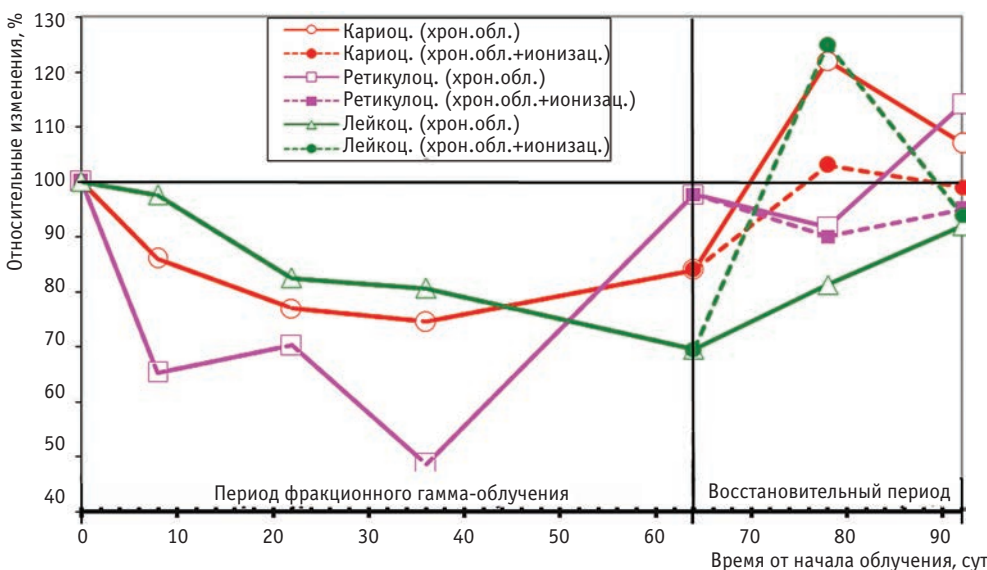


Рис. 2. Содержание кариоцитов в костном мозге, ретикулоцитов и лейкоцитов в периферической крови мышей в период фракционного гамма-облучения и в восстановительный период после окончания воздействия. Отклонение от контроля (100 %)

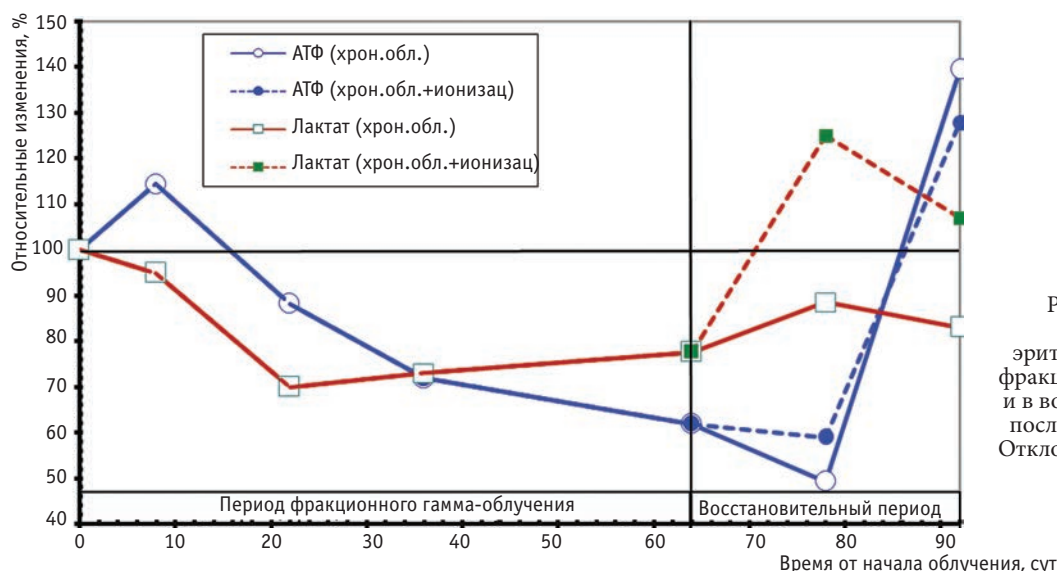


Рис. 3. Уровень лактата и содержание АТФ в эритроцитах мышей в период фракционного гамма-облучения и в восстановительном периоде после окончания воздействия. Отклонение от контроля (100 %)

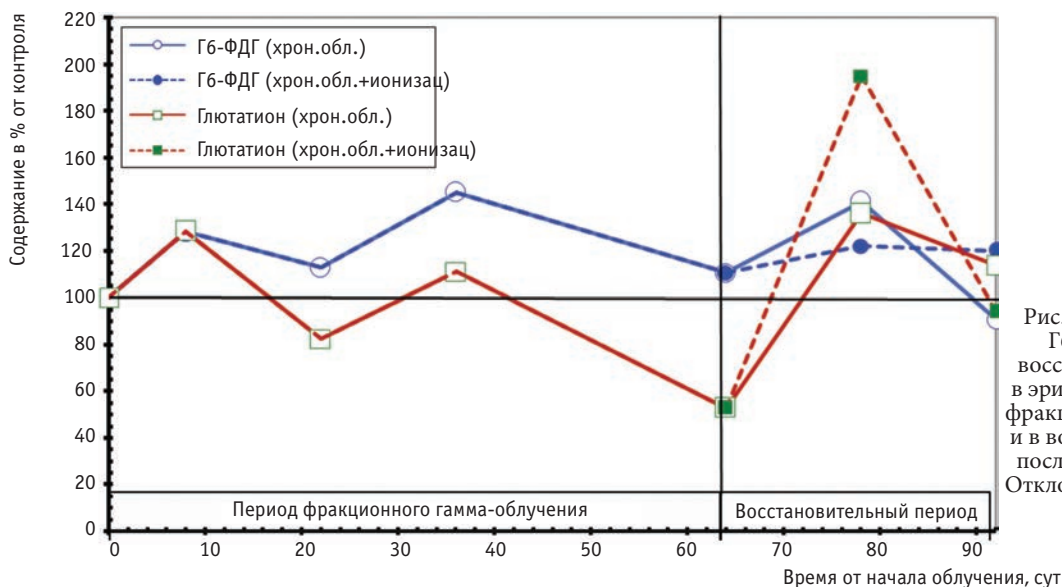


Рис. 4. Активность фермента Г6-ФДГ и концентрация восстановленного глутатиона в эритроцитах мышей в период фракционного гамма-облучения и в восстановительном периоде после окончания воздействия. Отклонение от контроля (100 %)

Результаты проведенных исследований показали, что при фракционном воздействии облучения в возрастающей дозе до 350 сГр ( $D_{эфф} = 70$  сГр) наблюдалось выраженное снижение интенсивности энергообразующих процессов в эритроцитах (рис. 3) как за счет гликолиза, так и продукции АТФ в митохондриях, что характеризовалось статистически значимым ( $p < 0,001$ ), по сравнению с виварным контролем, снижением уровня АТФ на 38 % и лактата на 22 %, а также уменьшением активности ЛДГ на 6,8 % ( $p < 0,05$ ).

Известно, что воздействие гамма-излучения существенно увеличивает концентрацию свободнорадикальных процессов в клетке и что косвенное действие радиации превышает прямое повреждение клеток за счет первичной ионизации и линейной передачи энергии тканям. В связи с этим в эксперименте наблюдался волнообразный характер изменения активности фермента Г6ФДГ. Это, вероятно, способствовало компенсаторному увеличению продукции восстановленного глутатиона (рис. 4) и было направлено на поддержание и сохранность антиоксидантного потенциала эритроци-

тов, поддержание метаболического гомеостаза и сохранность мембран. При этом изменения в соотношении холестерол/фосфолипиды (ХЛ/ФЛ) в мембранах эритроцитов также носили волнообразный характер, фазы соответствовали увеличению активности Г6ФД и уровню восстановленного глутатиона. Указанная выше динамика показателей кроветворения свидетельствует о напряженном характере включения компенсаторных систем, накоплении цитогенетических нарушений, а также о снижении резервов компенсаторно-восстановительного потенциала организма [15].

После окончания гамма-облучения в течение 28 сут исследовалась динамика показателей репаративных процессов системы кроветворения. Мыши, облученные в суммарной дозе 350 сГр ( $D_{эфф} = 70$  сГр), были разделены на 2 подгруппы:

**Подгруппа I.** 30 животных содержались в условиях стандартного вивария, без дополнительной ионизации воздуха.

**Подгруппа II.** 30 животных также содержались в условиях стандартного вивария и дополнительно под-

вергались ежедневному воздействию отрицательно ионизированного воздуха в течение 70 мин.

В качестве группы сравнения были использованы мыши виварного контроля того же возраста, содержащиеся в условиях стандартного вивария, и на которых ранее не оказывалось воздействие.

#### **Подгруппа I. Восстановительный период без дополнительной ионизации воздуха**

**Периферическая кровь.** Прекращение гама-облучения способствовало быстрому восстановлению гемопоза у мышей подгруппы I, содержащихся в условиях стандартного вивария без дополнительного воздействия отрицательно ионизированным воздухом (аэроионами). Так, к 14 сут восстановительного периода количество кариоцитов костного мозга животных опытной подгруппы I статистически значимо ( $p < 0,05$ ) превышало контрольные показатели на 22 %. К 28-м сут последствия число пролиферирующих клеток в костном мозге опытной и контрольной групп не имело статистически значимых различий.

Увеличение костномозговой пролиферативной активности способствовало восстановлению клеточных показателей периферической крови. Анализ экспериментальных данных показателей красного ростка кроветворения показал, что на 28-е сут восстановительного периода количество ретикулоцитов в периферической крови экспериментальных животных подгруппы I увеличилось ( $p < 0,05$ ) на 14 % по сравнению с группой контроля. Динамика количества эритроцитов и уровня гемоглобина в периферической крови весь исследованный период восстановления не отличалась от группы контроля.

Через 14 сут после прекращения воздействия в периферической крови экспериментальных животных подгруппы I определилась тенденция к восстановлению количества лейкоцитов, однако их все еще на 18,7 % было меньше, чем в группе контроля, а в абсолютных значениях –  $(5,14 \pm 0,47) \times 10^9/\text{л}$ . К 28 сут последствия содержание лейкоцитов у мышей подгруппы I достигло нормы для данной линии мышей.

**Метаболизм эритроцитов.** В первые 14 сут восстановительного периода в эритроцитах мышей подгруппы I сохранялся низкий уровень процессов энергообразования ( $p < 0,05$ ): значение АТФ было ниже значений контрольной группы на 50,7 %, лактата – на 21 %, активность ЛДГ снизилась до уровня 23,4 мкМНАДН/г.Нв, что ниже уровня контрольных значений на 24,5 %. На 28-е сут восстановительного периода наблюдалось увеличение концентрации АТФ и активности ЛДГ: концентрация АТФ превысила уровень контрольной группы на 39,5 %, а активность ЛДГ – на 15,6 %. При этом в динамике концентрации лактата наблюдалась тенденция к снижению до уровня 28,6 мкМ/г.Нв, что на 17,2 % ниже значений этого показателя у мышей контрольной группы.

Изучение основных показателей окислительно-восстановительных процессов в эритроцитах мышей подгруппы I показало повышенную на 41 % активность Г6ФД на 14-е сут после прекращения гамма-облучения.

Повышенная активность Г6ФД и исчезновение внешнего источника свободных радикалов способствовали постепенному повышению концентрации восстановленного глутатиона до уровня 13,6 мкМ/г.Нв (28-е сут), что соответствует значениям этого показателя в контрольной группе.

**Состояние липидов мембран.** На фоне прекращения хронического фракционного гамма-облучения наблюдалось восстановление мембран эритроцитов мышей подгруппы I, характеризовавшееся постепенным восстановлением соотношения холестерол/фосфолипиды до уровня контрольных значений 0,96 и насыщения липидной фазой мембран эритроцитов холестеринном.

#### **Подгруппа II. Восстановительный период с дополнительной ионизацией воздуха**

**Периферическая кровь.** К 14-м сут восстановительного периода пролиферативная активность у мышей, подвергавшихся в восстановительный период дополнительному воздействию отрицательно ионизированного воздуха (подгруппа II) восстановилась до уровня контрольных значений ( $p > 0,05$ ) и далее сохранялась. Следует отметить статистически значимое отличие от подгруппы мышей I, не подвергавшихся в восстановительный период дополнительному воздействию, где наблюдалось превышение контрольных значений данного показателя на 22 % ( $p < 0,001$ ).

В течение восстановительного периода исследованные количественные показатели красного ростка кроветворения (уровни ретикулоцитов, эритроцитов и гемоглобина в периферической крови) не имели статистически значимых отличий между исследованными подгруппами мышей I и II.

Восстановление белого ростка кроветворения у мышей подгруппы II, подвергавшихся в восстановительный период дополнительному воздействию отрицательно ионизированного воздуха, произошло уже к 14-м сут восстановительного периода, т.е. на 2 нед раньше, чем у мышей I подгруппы, не подвергавшихся в восстановительный период дополнительному воздействию.

**Метаболический статус эритроцитов.** В течение восстановительного периода у мышей, подвергавшихся в восстановительный период дополнительному воздействию отрицательно ионизированного воздуха (подгруппа II), наблюдалось быстрое восстановление энергообразующих процессов, о чём свидетельствует рост к 14-м сут последствия активности лактатдегидрогеназы и концентрации лактата в эритроцитах. Наблюдаемые сдвиги в изученных показателях, по-видимому, являются следствием уменьшения концентрации пирувата при глюкозо-монофосфатном шунте и при образовании восстановленного НАДФ, который используется для восстановления глутатиона. Восстановление указанных показателей энергообразующих процессов у данной подгруппы мышей происходило на 2 нед быстрее, чем у мышей подгруппы I, не подвергавшихся в восстановительный период дополнительному воздействию, т.е. гликолиз проходил активнее. Восстановление концентра-

ции макроэргов АТФ в эритроцитах наблюдалось к 28-м сут последствия, что является одинаковым для обеих подгрупп мышей I и II.

Изменение энергообразующих процессов у мышей подгруппы II, подвергавшихся в восстановительный период дополнительному воздействию отрицательно ионизированного воздуха, происходило быстрее, со скачкообразным увеличением к 14-м сут уровня восстановленного глутатиона в эритроцитах – на 195 % относительно контрольного уровня, что на 77,6 % больше ( $p < 0,001$ ), чем у мышей подгруппы I, не подвергавшихся в восстановительный период дополнительному воздействию.

**Состояние липидов мембран.** Прекращение хронического фракционного гамма-облучения, сопровождавшееся восстановлением энергообразующих и окислительно-восстановительных процессов на фоне воздействия отрицательно ионизированным воздухом, способствовало восстановлению мембран эритроцитов мышей, что выражалось постепенным восстановлением соотношения холистерол/фосфолипиды и насыщения липидной фазой мембран эритроцитов холестерином. Описанный рядом авторов мембранно-протекторный эффект отрицательно ионизированного воздуха [16], основанный на восстановлении мембранного потенциала клеток [17], выражающийся увеличением отрицательного заряда форменных элементов крови [17, 18], вероятно, является важной причиной, обусловившей ускоренное восстановление системы кроветворения мышей II подгруппы, подвергавшихся в восстановительный период дополнительному воздействию отрицательно ионизированного воздуха.

## Выводы

1. Влияние отрицательно ионизированного воздуха (аэроионов) на восстановление численности клеточных популяций в периферической крови после воздействия фракционного гамма-облучения заключается в ускоренном восстановлении количества клеток периферической крови и, в большей степени, лейкоцитов.

2. Ускоренное восстановление количества и соотношения клеточных популяций в периферической крови мышей, подвергшихся в восстановительном периоде воздействию отрицательно ионизированного воздуха, происходит не за счёт увеличения пролиферативной активности в костном мозге, о чём свидетельствует неизменность в течение периода последствия количества кариоцитов в костном мозге, а, вероятно, вследствие увеличения продолжительности жизни повреждённых клеток в периферической крови.

3. На молекулярном уровне этот процесс может быть обусловлен увеличением скорости восстановления процессов энергообразования (увеличение активности ЛДГ, концентрации лактата и АТФ) и нормализацией окислительно-восстановительных процессов (скачкообразное увеличение концентрации восстановленного глутатио-

на), что способствует репаративным преобразованиям мембраны клеток с насыщением липидной фазой мембран холестерином.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анисимов Б.В. Гигиеническое значение ионизации атмосферы кабин пилотируемых космических кораблей // В сб.: «Проблемы космической биологии». Т. 42. Санитарно-гигиенические и физиологические аспекты обитаемых космических кораблей. – М.: Наука. 1980. С. 68–77.
2. Чижевский А.Л. Аэроионизация как физиологический, профилактический и терапевтический фактор и как новый санитарно-гигиенический метод кондиционированного воздуха. Монография № 87, С. 1–100. – Стокгольм. 1938.
3. Васильев Л.Л. Теория и практика лечения ионизированным воздухом. 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград: Изд. Ленингр. ун-та. 1953. С. 22–24.
4. Минх А.А. Ионизация воздуха и ее гигиеническое значение. 2-е изд., испр. и доп. – М: Медгиз. 1963.
5. Лившиц М.Н. Аэроионификация: практическое применение. – М.: Стройиздат. 1998. 157 с.
6. Козинец Г.И., Легеньков В.И. Гематология космических полетов. – Мед.информ. агентство. 2004.
7. Шафиркин А.В., Григорьев Ю.Г. Межпланетные и орбитальные космические полёты. Радиационный риск для космонавтов (радиобиологическое обоснование). – М.: Экономика. 2009. С639 с.
8. Шафиркин А.В., Коломенский А.В., Митрикас В.Г., Петров В.М. Дозовые нагрузки и величины радиационного риска для космонавтов при экспедиции к Марсу на основе реальных конструкторских разработок марсианского корабля // Авиакосм. и эколог. медицина. 2010. Т. 44. № 1. С. 5–14.
9. Чижевский А.Л. Аэроионификация в народном хозяйстве. – М.: Наука. 1989. 103 с.
10. Mantz J., Hindelang C., Mantz J.M., Stoeckel M.E. Vascular and myofibrillar lesions in acute myoglobinuria associated with Carnitin-Palmityl-Transferase deficiency // Virch. Arch. Path. Anat. 1992. Vol. 421. № 1. P. 57–64.
11. Любина А.Я., Ильичёва Л.П. Клинические лабораторные исследования. – М: Медицина. 1984.
12. Меньшикова В.В. (ред.) Справочник «Лабораторные методы исследования в клинике». – М.: Медицина. 1987.
13. Beutler E. Red Cell Metabolism. A Manual of Biochemical Methods. – New York – San Francisco – London: Grune & Stratton. 2nd ed. 1975. 160 pp.
14. Козинец Г.И., Цессарская Т.П., Богоявленская М.П. Изучение пролиферативной способности кроветворных клеток с помощью радиоактивных индикаторов при лучевой терапии // Мед. радиол. 1962. Т. 7. №7. С. 50–57.
15. Татаркин С.В., Шафиркин А.В., Баранцева М.Ю., Мухамедиева Л.Н. Цитогенетические исследования клеток костного мозга мышей при изолированном хроническом действии радиационного и химического факторов и в условиях комбинированного последовательного их действия // Авиакосм. и эколог. медицина. 2013. Т. 47. № 5. С. 31–36.
16. Портнов Ф.Г. Аэроионы и их лечебное применение. – Рига: Изд-во Академии наук Латвийской ССР. 1961. 107 с.
17. Козинец Г.И., Попова О.В., Будник М.И. и соавт. Электрический заряд клеток крови. – М.: Практическая медицина. 2007.
18. Чижевский А.Л. Руководство по применению ионизированного воздуха в промышленности сельском хозяйстве и медицине. Метод. указания при пользовании аэроионификационными установками «Союзсантаехники». – М.: Госпланиздат. 1959. 56 с.

DOI 10.12737/article\_59b10531b5b9a1.53751147

## Bioeffect of Negative Ionized Air Impact on the Course of Reparative Processes in the Organism after Gamma-Irradiation

S.V. Tatarkin<sup>1</sup>, A.V. Shafirkin<sup>2</sup>, M.Yu. Barantseva<sup>2</sup>, S.M. Ivanova<sup>2</sup>, S.V. Vorozhtsova<sup>2</sup>,  
L.N. Tatarkina<sup>2</sup>, A.Ch. Hurshut<sup>3</sup>, V.N. Bezgreshnov<sup>3</sup>

1. International Sustainable Energy Development Centre under the auspices of UNESCO, Moscow, Russia. E-mail: tatarkins@gmail.com; 2. Institution of Medicine Biology Problems, Moscow, Russia; 3 LLC Scientific-Industrial Center «Istion – Zdorov'ye», Moscow, Russia

S.V. Tatarkin – PhD Biol., Head of sector; A.V. Shafirkin – Dr. Sc. Biol., Head of Lab., M.Iu. Barantseva – PhD Biol., Leading Researcher; S.M. Ivanova – PhD Biol., Leading Researcher; S.V. Vorozhtsova – PhD Biol., Leading Researcher; L.N. Tatarkina – Research Worker; A.Ch. Hurshut – Deputy Chief Designer; V.N. Bezgreshnov – Chief Designer

### Abstract

**Purpose:** The integrated research of the reaction of the hematopoietic system, including hematopoietic, metabolic changes in the cells and modify their antioxidant capacity during the recovery period after radiation exposure at doses and concentrations that are typical for interplanetary flight: 1) in isolation, i.e. without any external influence; 2) under the influence of negatively ionized air.

**Material and methods:** The study was conducted on sexually mature mice of line F1(CBA×C57BL6) subject to the rules and regulations of biomedical ethics on the basis of SSC RF MPIB RAS. The pilot study included 2 stages: 1) fractionated  $\gamma$ -irradiation (350 cGy) with the duration of 63 days; 2) the recovery period, lasting 28 days, during which the animals were exposed to negatively ionized air (daily for 70 min). Studied cytological, morphological, biochemical parameters of hematopoiesis: the total number of nucleated cells (bone marrow); the amount of production of erythrocytes, reticulocytes, hemoglobin (in peripheral blood); the content of ATP, lactate, glutathione, activity of glucose-6-phosphate dehydrogenase (G6PD), lactate dehydrogenase (LDH) (in erythrocytes); the ratio and amount of lipid fractions (in the membrane of erythrocytes).

**Results:** The biological effect of the impact of negatively ionized air on the course of reparative processes in the body after gamma irradiation consists in the accelerated recovery of the number of peripheral blood cells and in a more pronounced degree of myeloid growth, due to:

- increase in the rate of recovery of energy production processes (increase in LDH activity, improvement of lactate and ATP, and more pronounced normalization of oxidation-reduction processes), which facilitates recapitalization of cells with lipid membrane saturation with membrane cholesterol;
- membrane-protective effect of negatively ionized air, based on the restoration of the membrane potential of cells expressing negative effects of blood cells;
- increased life span of cells in peripheral blood and smaller values of the half-life of granulocytes from the bloodstream in the tissue.

**Key words:** hemopoiesis, reparative processes, gamma-irradiation, negative ionized air (air ions), cellular metabolism, membrane potential

### REFERENCES

1. Anisimov B.V. Gigiyenicheskoye znachenie ionizatsii atmosfery kabin pilotiruyemykh kosmicheskikh korably // V sb.: Problemy kosmicheskoy biologii. T. 42. Sanitarno-gigiyenicheskiye i fiziologicheskiye aspekty obitayemykh kosmicheskikh korably. – M.: Nauka. 1980. P. 68–77.
2. Chizhevskiy A.L. Aeroionizatsiya kak fiziologicheskiy, profilakticheskiy i terapevticheskiy faktor i kak novyy sanitarno-gigiyenicheskiy metod konditsionirovannogo vozdukh. Monografiya №87. P. 1–100. – Stokgolm. 1938.
3. Vasilyev L. L. Teoriya i praktika lecheniya ionizirovannym vozdukhom. 2-e izd., pererab. i dop. – Leningrad: Izd-vo Leningr. un-ta. 1953. P. 22–24.
4. Minkh A.A. Ionizatsiya vozdukh i eye gigiyenicheskoye znachenie. 2-e izd., ispr. i dop. – M.: Medgiz. 1963.
5. Livshits M.N. Aeroionifikatsiya: prakticheskoye primeneniye. – M.: Stroyizdat. 1998. 157 pp.
6. Kozinets G.I., Legenkov V.I. Gematologiya kosmicheskikh poyezdov. – Med. Inform. agentstvo. 2004.
7. Shafirkin A.V., Grigoryev Yu.G. Mezhplanetnyye i orbitalnyye kosmicheskoye polety. Radiatsionnyy risk dlya kosmonavtov (radiobiologicheskoye obosnovaniye). – M.: Ekonomika. 2009. 639 pp.
8. Shafirkin A.V., Kolomenskiy A.V., Mitrikas V.G., Petrov V.M. Dozovyye nagruzki i velichiny radiatsionnogo riska dlya kosmonavtov pri ekspeditsii k Marsu na osnove realnykh konstruktorskikh razrabotok marsianskogo korably // Aviakosm. i ekolog. meditsina. 2010. Vol. 44. № 1. P. 5–14.
9. Chizhevskiy A.L. Aeroionifikatsiya v narodnom khozyaystve. – M.: Nauka. 1989. 103 pp.
10. Mantz J., Hindelang C., Mantz J.M., Stoeckel M.E. Vascular and myofibrillar lesions in acute myoglobinuria associated with Carnitin-Palmityl-Transferase deficiency // Virch. Arch. Path. Anat. 1992. Vol. 421. № 1. P. 57–64.
11. Lyubina A.Ya., Ilicheva L.P. Klinicheskiye laboratornyye issledovaniya. – M.: Meditsina. 1984.
12. Menshikova V.V. (red.) Spravochnik «Laboratornyye metody issledovaniya v klinike». – M.: Meditsina. 1987.
13. Beutler E. Red cell metabolism. A manual of biochemical methods. New York–San Francisco–London. Grune & Stratton. 2nd ed. 1975. 160 pp.
14. Kozinets G.I., Tsessarskaya T.P., Bogoyavlenskaya M.P. Izucheniye proliferativnoy sposobnosti krovetvornykh kletok s pomoshchyu radioaktivnykh indikatorov pri luchevooy terapii // Med. radiol. 1962. Vol. 7. № 7. P. 50–57.
15. Tatarkin S.V., Shafirkin A.V., Barantseva M.Yu., Mukhamediyeva L.N. Tsitogeneticheskiye issledovaniya kletok kostnogo mozga myshey pri izolirovannom khronicheskom deystvii radiatsionnogo i khimicheskogo faktorov i v usloviyakh kombinirovannogo posledovatel'nogo ikh deystviya // Aviakosm. i ekolog. meditsina. 2013. T. 47. № 5. P. 31–36.
16. Portnov F.G. Aeroiony i ikh lechebnoye primeneniye. – Riga: Izd-vo Akademii nauk Latvyskoy SSR. 1961. 107 pp.
17. Kozinets G.I., Popova O.V., Budnik M.I. et al. Elektricheskiy zaryad kletok krovi. – M.: Prakticheskaya Meditsina. 2007.
18. Chizhevskiy A.L. Rukovodstvo po primeneniyu ionizirovannogo vozdukh v promyshlennosti selskom khozyaystve i meditsine. Metod. ukazaniya pri polzovanii aeroionifikatsionnymi ustanovkami «Soyuzsantekhniki». – M.: Gosplanizdat. 1959. 56 pp.