

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ / CHEMICAL SCIENCES

Оригинальная статья / Original article

УДК 577.1 : 612.015.347

DOI: 10.21285/2227-2925-2017-7-3-27-38

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДУКТОВ, ГЕНЕРИРУЕМЫХ АППАРАТОМ ДЛЯ СИНГЛЕТНО-КИСЛОРОДНОЙ ТЕРАПИИ

© А.К. Мартусевич*, **, А.А. Мартусевич***, Р.Л. Веснин****, А.А. Алалыкин****

* Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия,
Российская Федерация, 603107, Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 97.

** Приволжский федеральный медицинский исследовательский центр Минздрава России,
Российская Федерация, 603155, Нижний Новгород, Верхневолжская наб., д. 18/1.

*** Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского,

Российская Федерация, 603000, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23.

**** Вятский государственный университет,

Российская Федерация, 610000, г. Киров, ул. Московская, д. 15.

Цель – комплексное изучение продуктов, создаваемых генератором «Airnergy Professional plus». Проведено две серии экспериментов, направленных на уточнение состава газовой фазы, генерируемой аппаратом «Airnergy», а также его влияния на pH, окислительно-восстановительный потенциал и концентрацию растворенного кислорода в дистиллированной воде и 0,9% растворе хлорида натрия при их барботаже исследуемым газовым потоком. Результаты анализа газового потока позволили подтвердить наличие модификации воздушного потока генератором и образование промежуточных и конечных продуктов радикальных реакций, инициированных синтезом синглетного кислорода, уже в самом потоке. Эксперименты на жидкостях на основании анализа ряда физико-химических показателей указали на неидентичность действия на данные среды озono- и синглетно-кислородной смесей, что косвенно свидетельствует о существенных различиях их компонентного состава и окислительного потенциала.

Ключевые слова: синглетный кислород, генератор, активные формы кислорода, озон, кислород.

Формат цитирования: Мартусевич А.К., Мартусевич А.А., Веснин Р.Л., Алалыкин А.А. Исследование продуктов, генерируемых аппаратом для синглетно-кислородной терапии // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2016. Т. 7, N 3. С. 27–38. DOI: 10.21285/227-2925-2017-7-3-27-38

INVESTIGATION OF PRODUCTS GENERATED BY A DEVICE FOR SINGLET-OXYGEN THERAPY

© А.К. Martusevich*, **, А.А. Martusevich***, R.L. Vesnin****, A.A. Alalykin****

* Nizhny Novgorod State Agricultural Academy,
97, Gagarin Ave., Nizhny Novgorod, 603107, Russian Federation

** Privolzhskii Federal Medical Research Center,
18/1, Verkhnevolzhskaya Emb., Nizhny Novgorod, 603155, Russian Federation

*** National Research Nizhny Novgorod State University named after N.I. Lobachevsky,
23, Gagarin Ave., Nizhny Novgorod, 603000, Russian Federation

**** Vyatka State University,
15, Moskovskaya St., Kirov, 610000, Russian Federation

The aim is a comprehensive study of the products created by the Airnergy Professional Plus generator. Two series of experiments were carried out to clarify the composition of the gas phase generated by the Airnergy device, as well as its effect on pH, oxidation-reduction potential and dissolved oxygen concentration in distilled water with 0.9% sodium chloride solution during bubbling with the investigated gas flow. The results of the gas flow analysis have confirmed the presence of a modification of the air flow by the generator and the formation of intermediate and final products of radical reactions initiated by the synthesis of singlet oxygen in

the stream itself. On the basis of the analysis of a number of physicochemical parameters, experiments on liquids indicated that the ozone and singlet-oxygen mixtures do not have the same effect on these media, which indirectly indicates significant differences in their component composition and oxidative potential.

Keywords: singlet oxygen, generator, reactive oxygen species, ozone, oxygen

For citation: Martusevich A.K., Martusevich A.A., Vesnin R.L., Alalykin A.A. Investigation of products generated by a device for singlet-oxygen therapy. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya* [Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology]. 2017, vol. 7, no. 3, pp. 27–38. (in Russian). DOI: 10.21285/227-2925-2017-7-3-27-38

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время установлено, что активные формы кислорода (АФК) обладают высоким саногенетическим потенциалом при различной патологии человека и животных. В то же время важно подчеркнуть, что основной объем экспериментально-клинических данных касается медицинского озона. В профильной литературе представлены сведения как о местном применении озono-кислородной смеси (в частности, в гнойной хирургии, дерматокосметологии, акушерско-гинекологической практике [1–3]), так и системном, прежде всего – внутривенном, введении озонированного физиологического раствора, используемого при широком спектре заболеваний [1, 3, 4].

С другой стороны, возможности использования в лечебных целях других АФК, в частности синглетного кислорода и образующихся из него соединений и радикалов, раскрыты минимально [6–8]. Следует отметить, что в настоящее время ассортимент технических средств для их генерации крайне узок и представлен лишь производимым в Германии аппаратом «Airnergy» [8, 9] и созданной на Украине установкой для генерации синглетно-кислородной смеси [10, 11]. При этом, несмотря на наличие некоторых данных о клинической эффективности подобной лечебной технологии [10–12], состав действующих газовых смесей, как и детальное исследование молекулярно-клеточных механизмов действия указанной АФК, отсутствуют.

Ранее нами было продемонстрировано, что в условиях *in vitro* воздействие рассматриваемого газового потока, исходно содержащего синглетный кислород, на образцы изолированной крови человека проявляется стимуляцией антиоксидантных систем и энергетического метаболизма [13]. Данные эффекты подтверждаются и в экспериментах *in vivo*, обеспечивая повышение адаптационного потенциала здоровых животных при проведении курса ингаляций [14]. Также нами показано, что при моделировании термической травмы у крыс ингаляции синглетно-кислородной смеси обеспечивают более быстрое по сравнению со стандартной терапией купирование явлений окис-

лительного стресса, энергодефицита и дисфункции ферментных детоксикационных систем крови. Эти данные позволяют верифицировать наличие у изучаемого потока, содержащего АФК, позитивной биологической активности, однако не позволяют раскрыть его компонентный состав и физико-химические характеристики.

Анализ дополнительно затрудняется тем обстоятельством, что время жизни молекулы синглетного кислорода предельно мало, и в реальных условиях составляет доли секунды [15]. Лишь в искусственно созданной среде оно достигает 7200 с. [16]. Следовательно, уже через непродолжительное время после его генерации в воздушной смеси присутствуют различные радикалы, синтез которых инициирован высвобождением энергии при переходе кислорода в триплетное состояние [9, 15–18]. Поэтому логичным представляется исследование параметров газового потока, синтезируемого аппаратами для генерации синглетного кислорода. На этом основании целью работы явилось комплексное изучение продуктов, создаваемых генератором «Airnergy Professional plus».

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

На первом этапе работы выполнена оценка состава газового потока от аппарата «Airnergy Professional plus», предназначенного для генерации синглетного кислорода, с помощью методов газовой хроматографии и газовой масс-спектрометрии. Анализ производили при двух основных мощностях генератора (режимы «50%» и «100%»). Согласно конструкции прибора, образование синглетного кислорода происходит в процессе прохождения воздушного потока через слой дистиллированной воды, облучаемой одновременно четырьмя источниками ультрафиолетового излучения (суммарное напряжение – 12 В). Скорость потока воздуха – 4 л/мин.

Газовую хроматографию потока, получаемого от исследуемого аппарата, проводили на хроматографе «GC-2010» с полным электронным контролем потоков и с разделением потока (режим «Split»). В качестве газа-

носителя использовали гелий марки А.

Исследования газового потока осуществляли на газовом хромато-масс-спектрометре GCMS-QP2010 Plus («Шимадзу», Япония) с масс-фильтром квадрупольного типа. Прибор оснащен капиллярной кварцевой колонкой Ultra ALLOY-5 длиной 30 м, внутренним диаметром – 0,25 мм с полидиметилфенилсилоксановой неподвижной жидкой фазой.

На втором этапе оценивали физико-химические параметры (рН, окислительно-восстановительного потенциала, содержания растворенного кислорода) дистиллированной воды (ДВ) и физиологического раствора (ФР) до и сразу по окончании их барботирования газовым потоком от аппарата «Airnergy Professional plus». В качестве контрольного источника активных форм кислорода, с которым сопоставляли действие изучаемого потока, использовали чистый молекулярный кислород и озono-кислородную смесь. Указанными агентами также обрабатывали образцы ДВ и ФР.

Кислородно-озоновую смесь генерировали на озонаторе «Медозонс ВМ» (Россия), создавая концентрации озона 1000, 5000 и 10000 мкг/л. Скорость барботирования при пропускании через ДВ и ФР озона, кислорода и исследуемого газового потока составляла 1 л/мин. Продолжительность обработки жидкости во всех случаях составляла 10 мин. Для каждого воздействия выполняли 5 повторностей эксперимента.

Уровень рН и окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) растворов определяли портативным рН-метром «HI-8314» (Румыния). Температурный градиент и содержание растворенного кислорода оценивали с применением оксигенметра «Oxygenmeter ATT-3010» (Тайвань).

Статистическую обработку осуществляли методом вариационной статистики с оценкой уровня значимости различий по Т-критерию Вилкоксона. Полученные данные были обработаны статистически в программном пакете Statistica 6.1 for Windows.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ газового потока с помощью метода газовой хроматографии позволил установить, что в случае применения обоих мощностей прибора он не отличается по компонентному составу от воздуха лаборатории, который поступает в него (рис. 1). Метод позволяет выделить в составе 3 основных фракции, причем наиболее существенная среди них представлена совокупностью азота и кислорода. Менее значимая включает воду, а минорным компонентом является углекислый газ. В то же время

соотношение компонентов в анализируемых газовых смесях неодинаково.

На основании проведенных исследований установлено (рис. 1, а), что в воздухе помещения (контрольный образец) доля воды минимальна, а количество углекислого газа – всего 0,146%, тогда как подавляющую часть газовой смеси составляет совокупность азота и кислорода (около 96,2%). Оценка представительности данных фракций в газовом потоке, полученном от аппарата «Airnergy Professional plus», позволила верифицировать его количественные отличия от контрольного образца в случае использования как полной, так и половинной мощности генератора. Прежде всего, вариации были связаны с содержанием воды в газовой смеси. Так, при анализе газового потока от прибора при мощности 50% концентрация воды возрастает с 3,67 до 7,28% (рис. 1, б). При этом объемная доля, занимаемая углекислым газом, сохраняется практически на уровне контроля (0,155 и 0,146% соответственно), а относительное содержание основных компонентов (азота и кислорода) пропорционально снижается. При применении полной мощности генератора тенденция к нарастанию количества воды в газовом потоке усиливается, и ее содержание достигает 9,58% от общего объема образца без изменения доли, занимаемой углекислым газом.

Вторым методом изучения компонентного состава газового потока от рассматриваемого аппарата служила газовая хромато-масс-спектрометрия. По результатам ее применения выявлено, что аппаратом в контрольном образце воздуха и опытных образцах газовой смеси от генератора присутствуют 7 основных фракций, 3 из которых представлены азотом, 2 – кислородом и по одной – аргонном и углекислым газом (рис. 2), где представлена интенсивность пиков хроматограммы в % от уровня контроля – атмосферного воздуха; для азота и кислорода расчеты проведены для суммарной интенсивности 3 и 2 пиков соответственно. При этом газовые потоки от аппарата «Airnergy» существенно отличались от необработанного воздуха помещения по всем выделенным фракциям. Установлено, что первым трем компонентам (азоту, кислороду и аргону) присуще выраженное повышение интенсивности пиков по сравнению с контрольным образцом (на 15–20% относительно исходного уровня; $p < 0.05$ для всех случаев). Только по углекислому газу зарегистрировано умеренное снижение интенсивности пика (на 18,4 и 21,4% по сравнению с контрольным образцом; $p < 0,05$ для обоих случаев). В то же время важно подчеркнуть, что, в отличие от результатов газовой хромато-

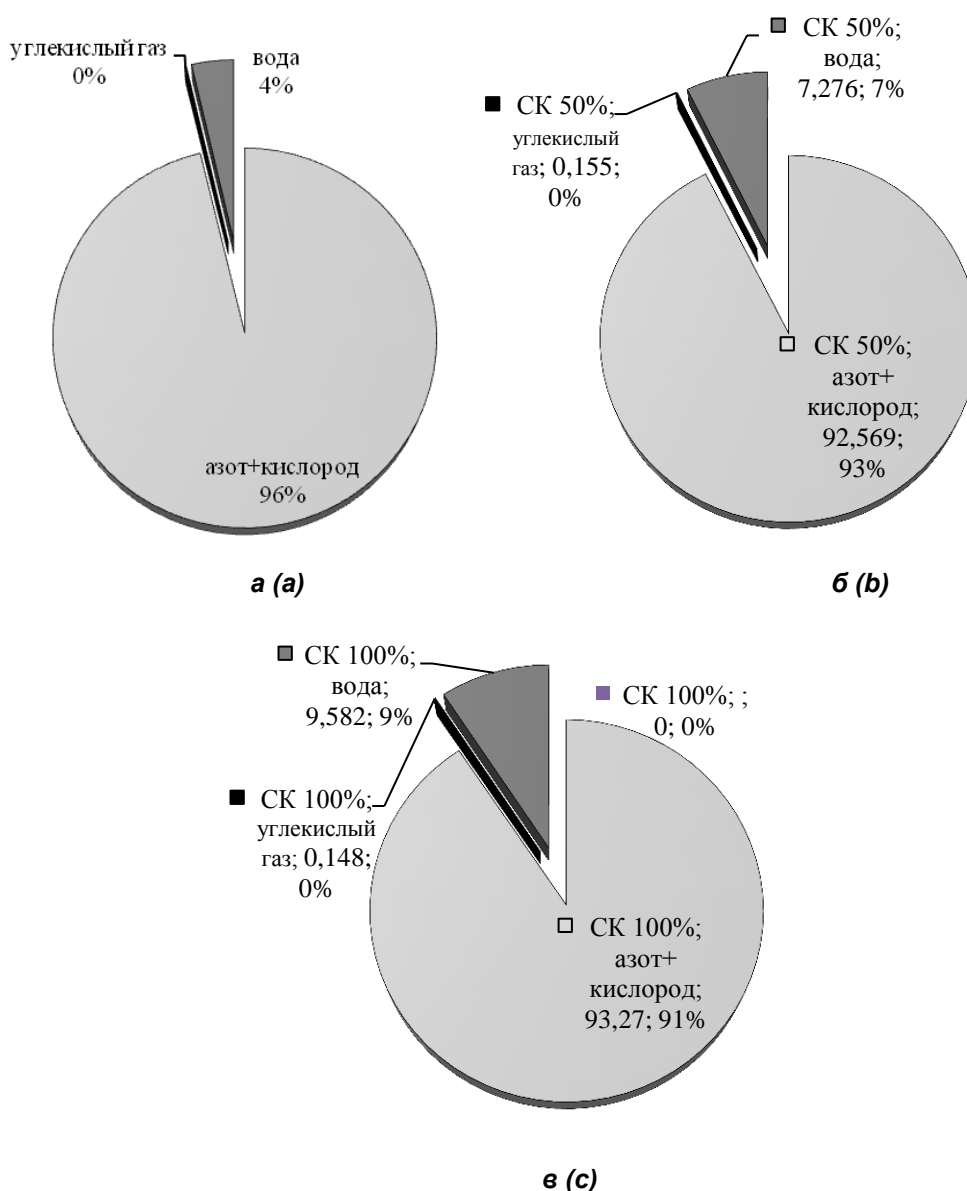


Рис. 1. Результаты газовой хроматографии атмосферного воздуха (а) и газового потока от аппарата «Airnergu» при мощности 50% (б) и 100% (в)

Fig. 1. Results of gas chromatography analysis of atmospheric air (a) and gas flow from «Airnergu» device at 50% (b) and 100% (c) capacity

графии, различия между мощностями прибора по данному методу сглажены, причем большая интенсивность пиков обнаруживается при меньшей мощности генератора. Эти вариации статистически значимы относительно пиков, отнесенных к азоту и кислороду ($p < 0,05$). Анализ процентного содержания выделенных компонентов газовой смеси подтвердил эти тенденции, указав на преимущественное повышение (в 1,5 раза) одной из субфракций азота (с соотношением масса/заряд – 26,95) и пропор-

циональное уменьшение доли углекислого газа. Эти результаты косвенно свидетельствуют о возможной стабилизации образующегося в аппарате «Airnergu» синглетного кислорода и других активных форм кислорода в форме молекулярного кислорода.

Таким образом, оценка состава газового потока от аппарата «Airnergu» позволила установить косвенные признаки генерации им активных форм кислорода, стабилизирующихся с течением времени в конечные продукты (трип-

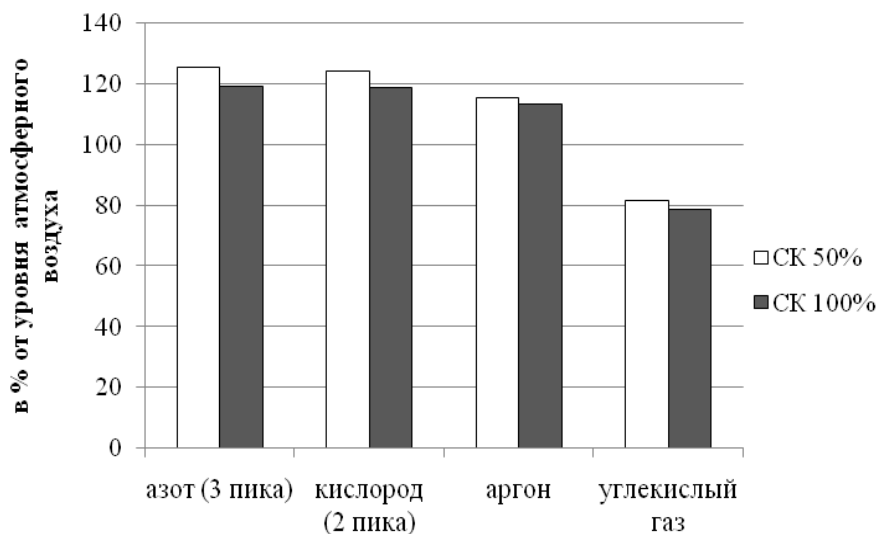


Рис. 2. Результаты газовой хромато-масс-спектрометрии газового потока от аппарата «Airnergy» при мощности 50 и 100%

Fig. 2. Results of gas chromatomassspectrometry analysis of gas flow from «Airnergy» device at 50 and 100% capacity

летное состояние молекулярного кислорода, воду и др.).

В рамках второй части исследования была проведена оценка результата обработки потоком от аппарата «Airnergy» дистиллированной воды и изотонического раствора хлорида натрия (физиологического раствора) с целью выявления индуцированных газовой смесью сдвигов физико-химических параметров жидких сред.

Установлено, что все оцениваемые показатели имели четкую тенденцию к изменению под влиянием изучаемых источников биорадикалов. Так, pH дистиллированной воды при 10-минутной оксигенации регистрировали умеренное закисление жидкости ($\Delta\text{pH} = -0,54$ соответственно; $p < 0,05$ по сравнению с контрольным образцом), тогда как при продолжительной обработке жидкости синглетным кислородом при максимальной мощности аппарата (100%), напротив, фиксировали минимальное ее защелачивание ($\Delta\text{pH} = +0,62$; $p < 0,05$; рис. 3). Применение половинной мощности генератора практически не изменяло pH дистиллированной воды. В то же время обработка рассматриваемой жидкости кислородно-озоновой газовой смесью демонстрировала влияние, аналогичное оксигенации, но более выраженное по сравнению с ней. Следует отметить, что дополнительно имел место эффект дозозависимости: при введении озона в концентрациях 1000, 5000 и 10000 мкг/л регистрировали снижение pH на 0,89; 1,08 и 1,16 ед. соответственно ($p < 0,05$ для всех случаев). Таким образом,

изучаемые активные формы кислорода оказывают неодинаковое действие на pH дистиллированной воды.

В отношении окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) наблюдали закономерную тенденцию к нарастанию значения данного показателя в ряду «контроль – кислород – низкие дозы озона и синглетный кислород – высокие дозы озона» (рис. 4). Установлено, что оксигенация дистиллированной воды приводит к минимальному, но значимому сдвигу параметра (на 22,6% относительно контроля; $p < 0,05$). При этом ОВП воды, обработанной синглетным кислородом, зависела, как и для градиента pH, от применяемой мощности аппарата и превышала контрольные цифры на 20,2 и 53,9% для режимов «50%» и «100%» соответственно ($p < 0,05$ для обоих воздействий). Следовательно, только использование полной мощности генератора синглетного кислорода позволяет достичь более выраженного смещения ОВП по сравнению с введением кислорода. Озонирование модельной жидкости приводит к дозозависимому нарастанию показателя, значимому при всех использованных концентрациях озона ($p < 0,05$ для концентраций 1000, 5000 и 10000 мкг/л). При этом минимальная доза озона (1000 мкг/л) неотличима от влияния кислорода, промежуточная (5000 мкг/л) – сопоставима с действием синглетно-кислородной газовой смеси, а максимальная вызывает наиболее существенный сдвиг ОВП по сравнению со всеми другими агентами ($p < 0,05$).

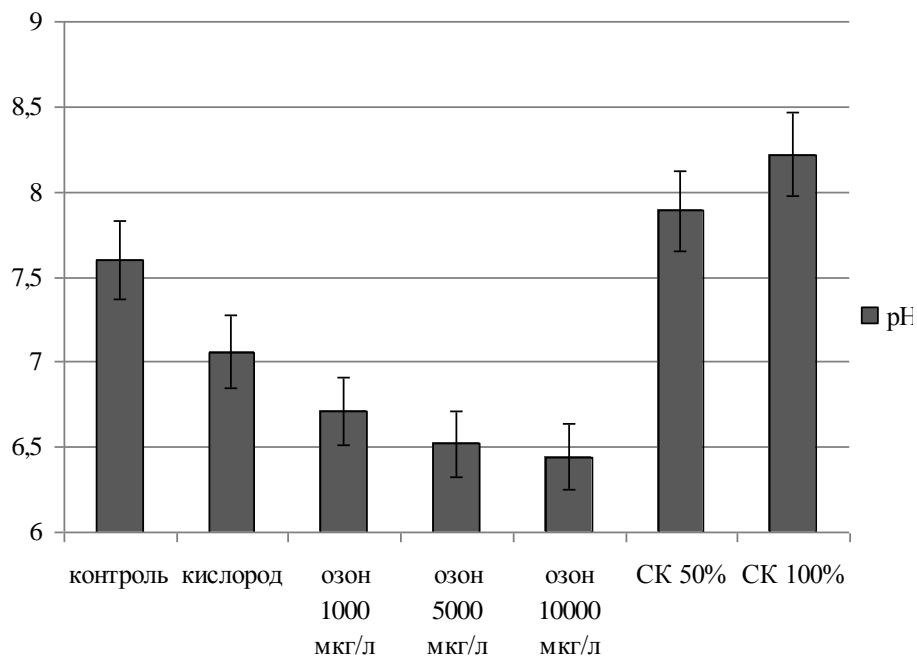


Рис. 3. Уровень pH среды при действии изучаемых источников активных форм кислорода: СК 50% и СК 100% – поток от генератора «Airnergy» при мощностях 50 и 100% соответственно

Fig. 3. pH level of medium under active oxygen forms action: СК 50% и СК 100% – gas flow from «Airnergy» device at 50% and 100% capacity

Особую динамику регистрировали по содержанию растворенного кислорода (рис. 5). Так, барботаж дистиллированной воды кислородом значимо увеличивал указанный параметр (в 3,25 раза соответственно; $p < 0,05$ к контролю), а ее озонирование способствовало аналогичному изменению концентрации кислорода независимо от дозы озона. В то время как обработка жидкости синглетным кислородом менее существенно увеличивала содержание в ней растворенного кислорода (+123%; $p < 0,05$), что может быть обусловлено коротким периодом жизни соединения в воде и его химической реакцией с молекулами воды [15, 18–20]. Следует отметить, что по данному показателю различия между мощностями генератора отсутствовали, что может быть связано с практически идентичной долей кислорода в синглетно-кислородной смеси, которой обрабатывали жидкость.

Таким образом, обработка дистиллированной воды источниками активных форм кислорода приводит к появлению в ней биорадикалов, уровень, соотношение и химический состав которых зависят от характера воздействующего агента.

Аналогичное экспериментальное исследование было выполнено в отношении водного

раствора хлорида натрия изотонической концентрации. Выявлено, что как оксигенация, так и обработка кислородно-озоновой смесью приводят к умеренному закислению жидкости, которое при последнем воздействии демонстрирует дозозависимый эффект, но во всех случаях и при введении кислорода не превышает 0,25 ед. (рис. 6).

Выраженное противоположное действие обнаружено для синглетного кислорода: в этом случае отмечали повышение pH, причем оно зависело от примененной мощности аппарата (рис. 6). Так, ΔpH составило +0,67 и +0,92 ед. для режимов «50%» и «100%» соответственно ($p < 0,05$). Подобное смещение кислотности физиологического раствора при его обработке синглетно-кислородной газовой смесью, по нашему мнению, косвенно указывает на присутствие в ней гидроксильных радикалов, образование которых сопряжено с синтезом синглетного кислорода [15, 18–20] и может быть как параллельным процессом, так и его следствием. Сдвиги, зарегистрированные в отношении окислительно-восстановительного потенциала дистиллированной воды, аналогичны выявленным для физиологического раствора (рис. 7). Так, оксигенация изотонического раствора хлорида натрия практически не изменяет

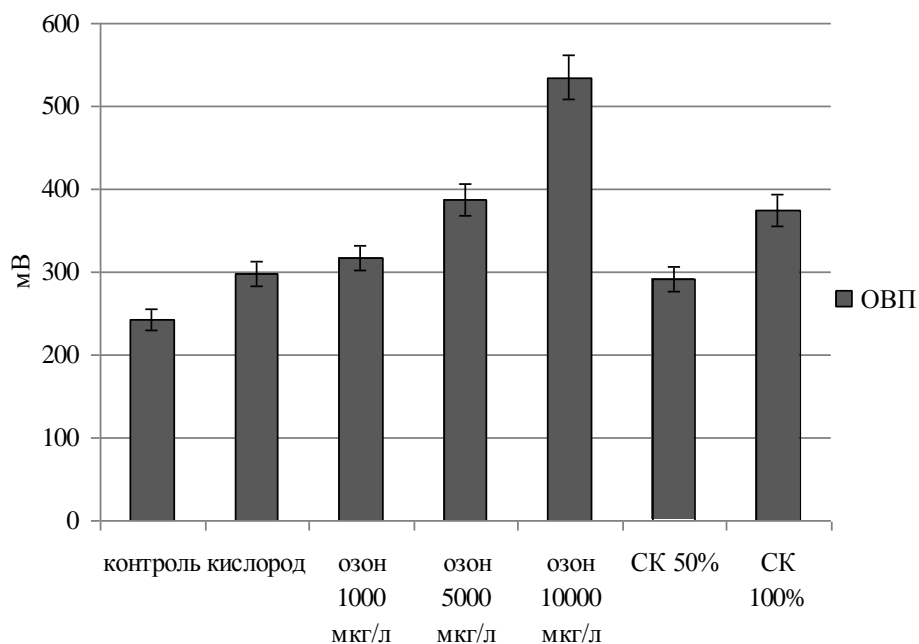


Рис. 4. Окислительно-восстановительный потенциал жидкости при действии изучаемых источников активных форм кислорода

Fig. 4. Oxidized/reduced potential of liquid under active oxygen forms action

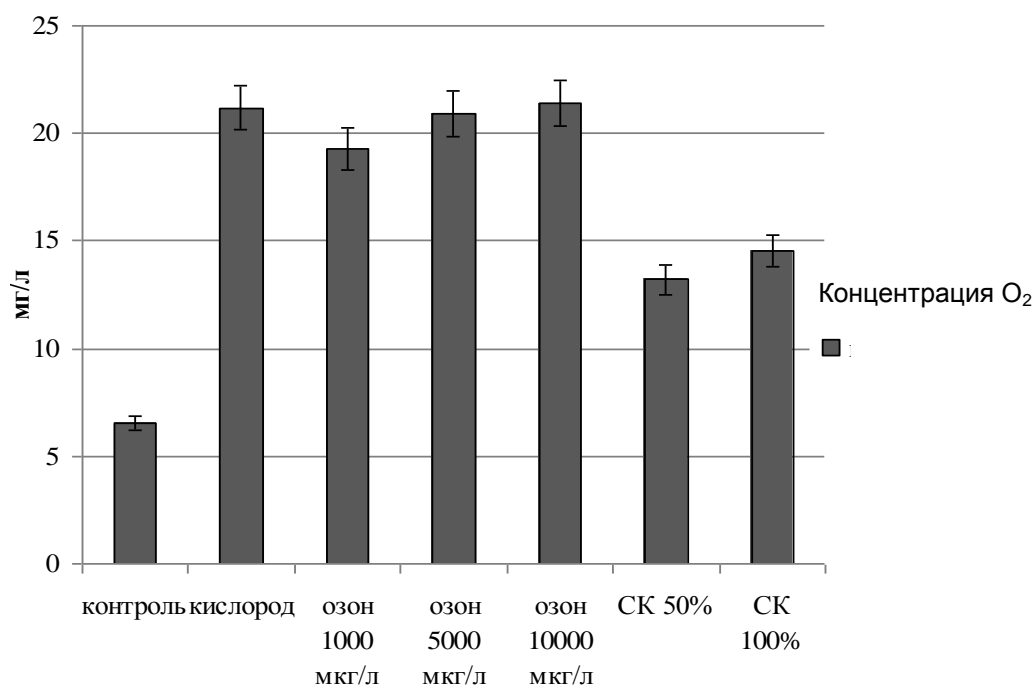


Рис. 5. Содержание растворенного кислорода в воде, обработанной Источниками активных форм кислорода

Fig. 5. Content of dissolved oxygen in water treated by active oxygen forms

его окислительно-восстановительный потенциал (см. рис. 7). Напротив, обработка рассматриваемой абиогенной жидкости озон-

кислородной и синглетно-кислородной смесью существенно и дозозависимо повышает изучаемый параметр. В частности, введение в физио-

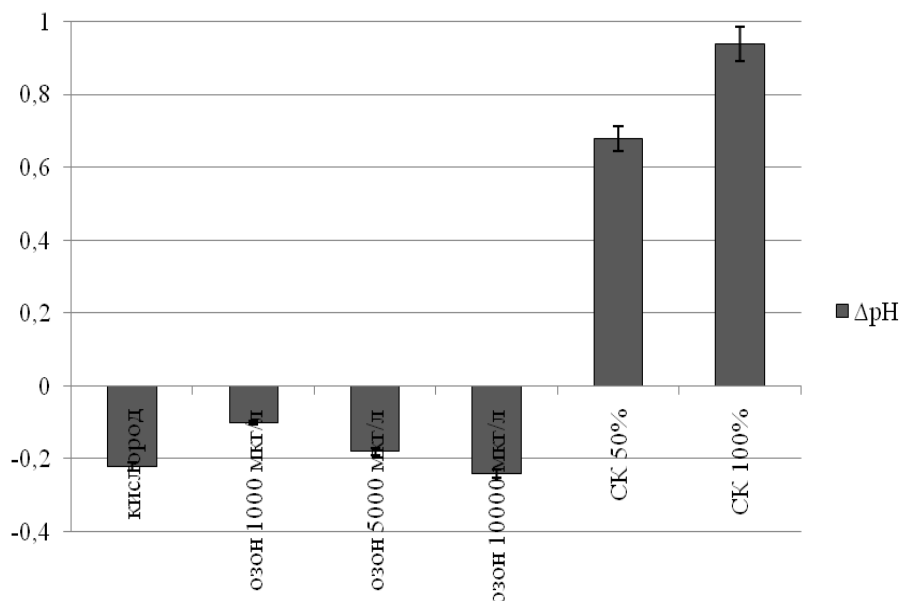


Рис. 6. ΔpH изотонического раствора хлорида натрия при его обработке различными активными формами кислорода

Fig. 6. ΔpH of isotonic sodium chloride solution under different active oxygen forms treatment

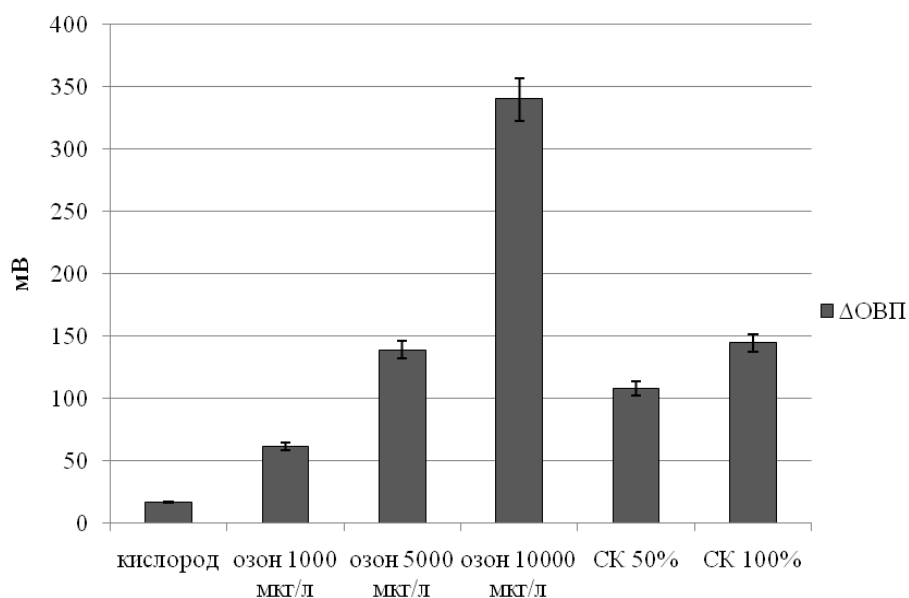


Рис. 7. Градиент окислительно-восстановительного потенциала физиологического раствора при его обработке активными формами кислорода

Fig. 7. Gradient of Oxidized/reduced potential of physiological solution under active oxygen forms treatment

логический раствор 1000 мкг/л озона увеличивает его только на $61,2 \pm 2,5$ мВ, 5000 мкг/л – уже на $139,0 \pm 5,6$ мВ, а максимальная доза агента (10000 мкг/л) – на $340,0 \pm 12,2$ мВ ($p < 0,05$ для всех случаев). Обработка изотонического раствора хлорида натрия синглетно-кис-

лородной воздушной смесью также обеспечивает нарастание окислительного потенциала среды, сопоставляясь с эффектом низких доз озона. При этом имеет место слабо выраженная зависимость сдвига показателя от дозы агента (+108,3 и +147,8 мВ для режимов «50%

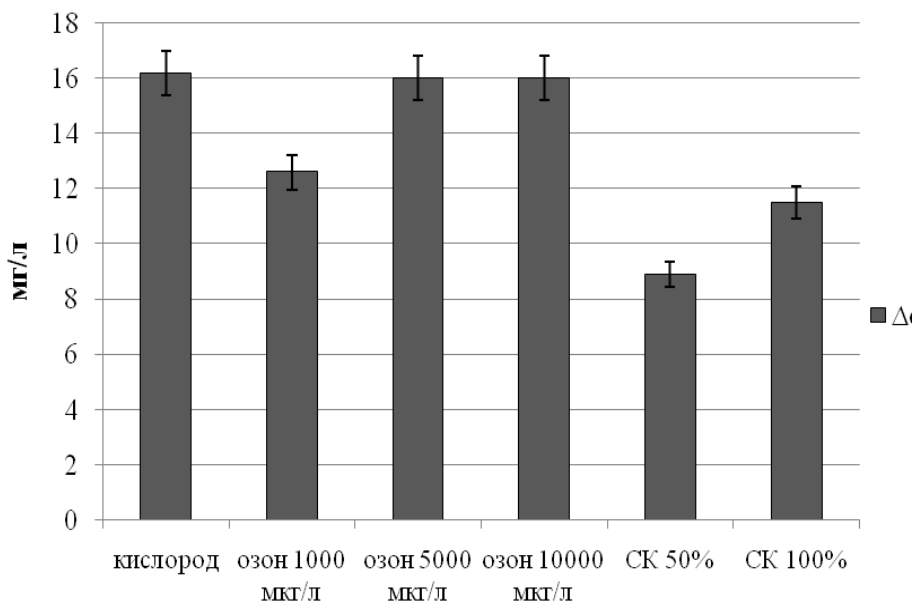


Рис. 8. Градиент концентрации растворенного кислорода в физиологическом растворе при введении в него активных форм кислорода

Fig. 8. Gradient of dissolved oxygen concentration in physiological solution when introducing active oxygen forms

мощности» и «100% мощности»; $p < 0,05$ для обоих случаев соответственно).

Проведенное исследование позволило установить, что все изучаемые воздействия обуславливают нарастание концентрации растворенного кислорода, однако уровень данного градиента неодинаков (рис. 8). Наибольшее повышение параметра зарегистрировано при непосредственной оксигенации физиологического раствора и его обработке средней и высокой концентрацией озона (5000 и 10000 мкг/л). Тот факт, что в результате озонирования достигается уровень показателя, не отличающийся от оксигенации, можно связать с быстрой деструкцией имеющегося в этой случае в растворе значительного количества молекул озона с образованием молекулярного кислорода. Этим объясняется и меньший градиент концентрации растворенного кислорода при обработке используемой жидкой среды низкими концентрациями озона (1000 мкг/л).

При барботаже изотонического раствора хлорида натрия синглетно-кислородной газовой смесью отмечали менее существенное нарастание уровня показателя по сравнению с выявленными для оксигенации и озонирования. При этом выраженность градиента напрямую зависела от мощности аппарата, но даже при применении максимальной (100%) мощности прирост концентрации растворенного кислорода не достигал значений, характерных для низких доз озона. Данная тен-

денция может быть связана с тем, что в указанном газовом потоке преимущественно присутствуют активные формы кислорода и радикалы, не трансформирующиеся в процессе растворения в молекулярный кислород [16, 19, 21, 22]. Таковыми могут явиться, в частности, гидроксильный радикал, супероксид-анион радикал, перекись водорода и др.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ данных применения физико-химических методов (газовая хроматография, газовая хроматомасс-спектрометрия) оценки компонентного состава газового потока от аппарата «Airnergy Professional plus» на первом этапе эксперимента позволил установить, что он по ряду параметров отличается от контроля – воздуха помещения, забираемого для генерации в нем синглетного кислорода. Так, по результатам газовой хроматографии принципиальное отличие связано с нарастанием объемной доли воды в изучаемом потоке, причем выраженность данной тенденции прямо пропорциональна используемой мощности генератора. Это дает возможность предположить, что вода является основным конечным метаболитом активных форм кислорода, синтез которых запускается в воздействием на воздушную смесь аппарата «Airnergy» [15, 21]. Нестабильность последних позволяет зафиксировать их образование лишь косвенно по изменению количества конечного стабильного продукта –

воды. По нашему мнению, именно градиент содержания воды в газовых смесях при различной мощности прибора дополнительно подтверждает указанное предположение, так как исключает связь этого эффекта с простым увлажнением воздушного потока. Несмотря на то, что конструктивная схема работы генератора предполагает прохождение газового потока через слой дистиллированной воды, одинаковая скорость последнего (4 л/мин) исключает возникновение указанного градиента только за счет увлажнения газовой фазы.

По данным газовой хромато-масс-спектрометрии, после обработки воздуха аппаратом «Airnergy» происходят количественные перестройки его состава, приводящие к нарастанию интенсивности пиков азота и кислорода на фоне снижения интенсивности пика углекислого газа. В то же время вариации, накладываемые мощностью генератора, в этом случае менее значительны.

Наличие модифицирующего влияния изучаемого аппарата на воздушный поток, продемонстрированное для газовой фазы, было подтверждено и при его барботировании через дистиллированную воду и физиологический раствор. Установлено, что после обработки рассматриваемым газовым потоком указанных жидкостей имеют место их закисление, нарастание окислительно-восстановительного по-

тенциала, а также насыщение их кислородом. При этом во всех случаях наблюдали зависимость между примененной мощностью прибора и выраженностью сдвигов данных параметров. Следует отметить, что зафиксированные вариации отличаются от характерных для молекулярного (триплетного) кислорода и озона, что свидетельствует об ином по сравнению с последними составом газовой смеси, синтезируемой аппаратом «Airnergy».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом, результаты анализа газового потока, получаемого от аппарата «Airnergy», позволили подтвердить наличие модификации воздушного потока генератором и образование промежуточных и некоторых конечных продуктов радикальных реакций, инициированных синтезом синглетного кислорода, уже в самом потоке. Проведенные модельные эксперименты на абиогенных жидкостях на основании анализа ряда физико-химических показателей (рН, окислительно-восстановительный потенциал, содержание растворенного кислорода) указали на неидентичность действия на данные среды озono- и синглетно-кислородной газовых смесей, что косвенно свидетельствует о существенных различиях их компонентного состава и окислительного потенциала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алехина С.П., Щербатюк Т.Г. Озонотерапия. Клинические и экспериментальные аспекты. Нижний Новгород, 2003.
2. Масленников О.В., Конторщикова К.Н. Озонотерапия: Руководство для врачей. Нижний Новгород, 2008.
3. Перетягин С.П., Стручков А.А., Мартусевич А.К. с соавт. Применение озона как средства детоксикации в раннем периоде ожоговой болезни // Скорая медицинская помощь. 2011. Т. 12, N 3. С. 39–43.
4. Peretyagin S.P., Struchkov A.A. Ozone therapy in traumatology and burns treatment // Revista Española de Ozonoterapia. 2013. V. 3, N 1. P. 67–73.
5. Малков М.А., Петрищев Н.Н., Мишуткин С.Н. Разработка способа фотодинамической терапии для лечения неопластических новообразований с использованием фотосенсибилизатора на основе препарата копропорфирин // Фундаментальные исследования. 2008. N 1. С. 141–146.
6. Узденский А.Б. Клеточно-молекулярные механизмы фотодинамической терапии. М.: Наука, 2010.
7. Улащик В.С. Активные формы кислорода, антиоксиданты и действие лечебных физи-

- ческих факторов // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2013. N 1. С. 60–69.
8. Улащик В.С. Синглетно-кислородная терапия – новый модифицированный метод лечения кислородом // Здравоохранение. 2007. N 10. С. 21–23.
9. Hultén L.M., Holmström M., Soussi B. Harmful singlet oxygen can be helpful // Free Radic. Biol. Med. 1999. V. 27, N 11–12. P. 1203–1207.
10. Самосюк И.З., Чухраев Н.В., Писанко О.И. с соавт. Синглетно-кислородная терапия. Аппараты «МИТ-С» // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2007. N 1. С. 67–75.
11. Синглетно-кислородная терапия / Под ред. И.З. Самосюка, Л.И. Фисенко. Киев, 2007.
12. Заворотная Р.М. Синглетный кислород при лечении ряда патологических процессов: физико-химические аспекты // Украинский ревматологический журнал. 2002. N 1. С. 35–37.
13. Мартусевич А.К., Соловьева А.Г., Перетягин С.П., Митрофанов В.Н. Оценка влияния некоторых физических факторов на энергетический метаболизм крови in vitro // Биомедицина. 2013. N1. С. 103–108.
14. Мартусевич А.А., Мартусевич А.К., Перетягин С.П. Особенности действия синглетно-

го кислорода и озона на процессы липопероксидации и антиоксидантную систему крови и тканей крыс // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2013. Т. 99, N 9. С. 1057–1066.

15. Krasnovsky A.A., Jr. Singlet molecular oxygen in photobiochemical systems: IR phosphorescence studies // *Membr. Cell Biol.* 1998. V. 12, N 5. P. 665–690.

16. Шинкаренко Н.В., Алесковский В.Б. Химические свойства синглетного молекулярного кислорода и значение его в биологических системах // *Успехи химии.* 1982. Т. 51, N 5. С. 713–735.

17. Genestra M. Oxyl radicals, redox-sensitive signalling cascades and antioxidants // *Cell Signal.* 2007. V. 19. P. 1807–1819.

18. Landry M.P. et al. Characterization of photoactivated singlet oxygen damage in single-molecule optical trap experiments // *Biophys. J.* 2009. V. 97, N 8. P. 2128–2136.

19. Schweitzer C., Schmidt R. Physical Mechanisms of Generation and Deactivation of Singlet Oxygen // *Chem. Reviews.* 2003. V. 103, N 5. P. 1685–1757.

20. Van der Valk T. Singlet oxygen therapy. A manual. Goteborg, 1996.

21. Костюк В.А., Потапович А.И. Биорадикалы и биоантиоксиданты. Минск: БГУ, 2004.

22. Мартусевич А.А., Перетягин С.П., Мартусевич А.К. Молекулярные и клеточные механизмы действия синглетного кислорода на биосистемы // *Современные технологии в медицине.* 2012. N 2. С. 128–134.

REFERENCES

1. Alekhina S.P., Shcherbatyuk T.G. *Ozonoterapiya. Klinicheskie i eksperimental'nye aspekty* [Ozone therapy. Clinical and experimental aspects]. Nizhny Novgorod, 2003.

2. Maslennikov O.V., Kontorshchikova K.N. *Ozonoterapiya. Klinicheskie i eksperimental'nye aspekty* [Ozone therapy. Clinical and experimental aspects]. Nizhny Novgorod, 2008.

3. Peretyagin S.P., Struchkov A.A., Martusevich A.K. [et al.] The use of ozone as detoxication method in early period of burn disease. *Skoraya meditsinskaya pomoshch'* [Emergency medical care]. 2011, vol. 12, no. 3, pp. 39–43. (in Russian)

4. Peretyagin S.P., Struchkov A.A. Ozone therapy in traumatology and burns treatment. *Revista Española de Ozonoterapia.* 2013, vol. 3, no. 1, pp. 67–73.

5. Malkov M.A., Petrishchev N.N., Mishutkin S.N. Development of photodynamic therapy method for neoplasma treatment with use of coproporphirin as photosensitizer. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental researches]. 2008, no. 1, pp. 141–146. (in Russian)

6. Uzdenskii A.B. *Kletочно-molekulyarnye mekhanizmy fotodinamicheskoi terapii* [Cellular and molecular mechanisms of photodynamic therapy]. Moscow: Nauka Publ., 2010.

7. Ulashchik V.S. Reactive oxygen species, antioxidants and action of medical physical factors. *Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoi fizicheskoi kul'tury* [Problems of kurortology, physiotherapy and medical physical training]. 2013, no. 1, pp. 60–69. (in Russian)

8. Ulashchik V.S. Singlet oxygen therapy as a new modified method of oxygen therapy. *Zdravookhraneniye* [Health Care]. 2007, no.10, pp. 21–23. (in Russian)

9. Hultén L.M., Holmström M., Soussi B. Harmful singlet oxygen can be helpful. *Free Radic. Biol. Med.* 1999, vol. 27, no. 11–12, pp. 1203–1207.

10. Samosyuk I.Z., Chukhraev N.V., Pisanko

O.I. [et al.] Singlet oxygen therapy. «Mit-C» devices. *Biomeditsinskie tekhnologii i radioelektronika* [Biomedical technologies and radioelectronics]. 2007, no. 1, pp. 67–75. (in Russian)

11. Samosyuk I.Z., Fisenko L.I. *Singletno-kislorodnaya terapiya* [Singlet oxygen therapy]. Kiev, 2007.

12. Zavorotnaya R.M. Singlet oxygen in treatment of some pathological processes: physical and chemical aspects. *Ukrainskii revmatologicheskii zhurnal* [Ukrainian rheumatology journal]. 2002, no. 1, pp. 35–37. (in Russian)

13. Martusevich A.K., Solov'eva A.G., Peretyagin S.P., Mitrofanov V.N. Estimation of influence of some physical factors on blood energy metabolism in vitro. *Biomeditsina* [Biomedicine]. 2013, no. 1, pp. 103–108. (in Russian)

14. Martusevich A.A., Martusevich A.K., Peretyagin S.P. Specialties of singlet oxygen and ozone action on lipid peroxidation processes and antioxidant system of rat's blood and tissues. *Rossiiskii fiziologicheskii zhurnal imeni I.M. Sechenova* [Russian physiological journal named after I.M. Sechenov]. 2013, vol. 99, no. 9, pp. 1057–1066. (in Russian)

15. Krasnovsky A.A., Jr. Singlet molecular oxygen in photobiochemical systems: IR phosphorescence studies. *Membr. Cell Biol.* 1998, vol. 12, no. 5, pp. 665–690.

16. Shinkarenko N.V., Aleskovskii V.B. Chemical properties of singlet molecular oxygen and its value in biological systems. *Uspekhi khimii* [Russian Chemical Reviews]. 1982, vol. 51, no. 5, pp. 713–735. (in Russian)

17. Genestra M. Oxyl radicals, redox-sensitive signalling cascades and antioxidants. *Cell Signal.* 2007, vol. 19, pp. 1807–1819.

18. Landry M.P. [et al.] Characterization of photoactivated singlet oxygen damage in single-molecule optical trap experiments. *Biophys. J.* 2009, vol. 97, no. 8, pp. 2128–2136.

19. Schweitzer C., Schmidt R. Physical

Mechanisms of Generation and Deactivation of Singlet Oxygen. *Chem. Reviews*. 2003, vol. 103, no. 5, pp. 1685–1757.

20. Van der Valk T. *Singlet oxygen therapy. A manual*. Goteborg, 1996.

21. Kostyuk V.A., Potapovich A.I. *Bioradikaly i antioksidanty* [Bioradicals and antioxidants].

Критерии авторства

Мартусевич А.К., Мартусевич А.А., Веснин Р.Л., Алалыкин А.А. выполнили экспериментальную работу, на основании полученных результатов провели обобщение и написали рукопись. Мартусевич А.К., Мартусевич А.А., Веснин Р.Л., Алалыкин А.А. имеют на статью равные авторские права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Андрей К. Мартусевич

Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, Д.б.н., профессор кафедры физиологии и биохимии животных
Приволжский федеральный медицинский исследовательский центр Минздрава России
В.н.с. отд. экспериментальной медицины с виварием
cryst-mart@yandex.ru

Анастасия А. Мартусевич

Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
Аспирант
a_martusevich@mail.ru

Роман Л. Веснин

Вятский государственный университет,
К.т.н., зав. каф. химии и технологии переработки полимеров

Александр А. Алалыкин

Вятский государственный университет,
К.х.н., ведущий инженер

Поступила 27.12.2016

Minsk: BGU Publ., 2004.

22. Martusevich A.A., Peretyagin S.P., Martusevich A.K. Molecular and cellular mechanisms of action of singlet oxygen on biological systems. *Sovremennye tekhnologii v meditsine* [Modern technologies in medicine]. 2012, no. 2, pp. 128–134. (in Russian)

Contribution

Martusevich A.K., Martusevich A.A., Vesnin R.L., Alalykin A.A. carried out the experimental work, on the basis of the results summarized the material and wrote the manuscript. Martusevich A.K., Martusevich A.A., Vesnin R.L., Alalykin A.A. have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

AUTHORS' INDEX Affiliations

Andrei K. Martusevich

Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Doctor of Biology, Professor, Department of Animals Physiology and Biochemistry
Privolzhskii Federal Medical Research Centre, Leader Scientists, Experimental Medicine Department
cryst-mart@yandex.ru

Anastasia A. Martusevich

Nizhny Novgorod State University named after N.I. Lobachevsky,
Postgraduate Student, Biochemistry and Physiology department
e-mail: a_martusevich@mail.ru

Roman L. Vesnin

Vyatka State University
Ph.D. (Engineering), Head of the Department of Polymers Chemistry and Reconversion

Aleksandr A. Alalykin

Vyatka State University
Ph.D. (Chemistry), Leader Engineer, Department of Non-organic and Physical Chemistry

Received 27.12.2016