

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ТЕОРИИ И МЕТОДОЛОГИИ СВОБОДНОРАДИКАЛЬНОГО ОКИСЛЕНИЯ

Пудовкин Николай Александрович¹✉

Лекомцева Кира Федоровна²✉

¹Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия,

niko-pudovkin@yandex.ru ✉

²Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия,

lekomcevakf@mail.com ✉

Аннотация

Данная статья посвящена результатам изучения этапов развития теории и методологии свободнорадикального окисления в живых организмах. Были изучены сущность и природа возникновения свободнорадикального окисления, проведен анализ эволюции теоретических представлений свободнорадикального окисления. Показана роль свободных радикалов и антиоксидантных ферментов в клетке, проанализированы теория валентности, теория радикально-цепного механизма крекинга углеводов, свободнорадикальная теория старения, описаны «реагент Фентона», «окислительный стресс», процесс «цепной реакции» с образованием свободных радикалов, рассмотрены методы, направленные на регистрацию свободных радикалов, в том числе метод электронного парамагнитного резонанса.

Ключевые слова: радикал, свободнорадикальное окисление, свободнорадикальная теория.

Для цитирования: Пудовкин Николай Александрович, Лекомцева Кира Федоровна Государственное регулирование рынка хлеба в 20-х годах XVII века / Пудовкин Николай Александрович, Лекомцева Кира Федоровна // Агрофорсайт. 2023. № 1— Саратов: ООО «ЦеСАин», 2023. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Загл. с этикетки диска.

Благодарности: -----

Финансирование: исследование проводилось за счет собственных средств.

A RETROSPECTIVE ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF THE THEORY AND
METHODOLOGY

OF FREE RADICAL OXIDATION

*Nikolay A. Pudovkin*¹ ✉

*Kira F. Lekomceva*² ✉

¹ *Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia, e-mail niko-pudovkin@yandex.ru* ✉

² *Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia, e-mail lekomcevakf@mail.com* ✉

Abstract

Keywords: radical, free radical oxidation, free radical theory

For citation: Pudovkin Nikolai Alexandrovich, Lekomtseva Kira Fedorovna State regulation of the bread market in the 20s of the XVII century / Pudovkin Nikolay Alexandrovich, Lekomtseva Kira Fedorovna // Agroforesight. 2023. No. 1 - Saratov: TseSAin LLC, 2023. – 1 electron. opt. disc (CD-ROM). - Zagl. from the disc label.

Введение

Свободнорадикальное окисление выступает как источник энергии для жизнедеятельности клетки и всего организма в целом, непосредственно участвует в создании и обновлении клеточных структур. Этот естественный метаболический процесс под действием свободных радикалов осуществляет превращения кислорода, белков, нуклеиновых кислот и других соединений [8].

Более века назад был открыт первый свободный радикал (СР), тогда казалось, что все реакции, заключающиеся в участии органических молекул, косвенно связаны со свободными радикалами. В 50-ых годах XX века СР были обнаружены в биологических системах, и в тот период было распространено мнение о причастности свободных радикалов к развитию различных заболеваний у человека [14]. Большая часть исследований свободных радикалов связана с кислородными радикалами, которые совместно с некоторыми формами активного нерадикального кислорода называются активными формами кислорода (АФК). Понятие «свободные радикалы» может быть определено как молекулярные образования или молекулярные фрагменты, которые могут существовать независимо. Могут содержать один или несколько неспаренных электронов на внешней орбитали атома или молекулы (отсюда и возникло понятие «радикал») [16].

В настоящее время изучение и развитие теории свободнорадикального окисления является весьма актуальной проблемой не только для здоровья человека, но и сельскохозяйственных животных. С середины XX в. был сделан огромный шаг в свободнорадикальной биологии, и, как следствие, были выявлены причины многих заболеваний (развитие тяжёлых патологий организма, в том числе онкология, бесплодие, преждевременное старение), связанных с влиянием свободных радикалов на клеточный метаболизм [3,5].

Научное сообщество, за счет открытия механизмов, лежащих в основе эффектов кислородной токсичности и ионизирующего излучения, приняло идеи о непрерывном

образовании свободных радикалов в клетке в качестве побочных продуктов типичных метаболических реакций [8].

Материалы и методы исследования

Цель проведенного исследования заключалась в ретроспективном анализе развития теории и методологии свободнорадикального окисления в живых организмах.

В процессе исследования были использованы такие методы научного познания, как диалектический метод, абстрагирование, ретроспективный анализ, систематизация, монографический метод, методы анализа и синтеза, дедукции и индукции, формализация, описание, сравнение, аналогия.

Основная часть. Результаты исследования

Начало развитию теории свободнорадикального окисления предположительно было положено в конце XVIII века. Наиболее значимые открытия ученых в данной области знания в формализованном виде представлены в Таблице 1.

Таблица 1 – Ключевые этапы развития теории свободнорадикального окисления

№ пп	Год	Сущность исследования	Автор исследования
1	1785	В научные исследования по химии введен термин «радикальный» как корневое основание некоторых кислот	Луи-Бернар Гайтон де Морво
2	1789	Сформулировано более точное определение термина «радикальный»: элемент или группа элементов, которые при соединении с кислородом дают оксид либо кислоту	Антуан Лавуазье
3	1815	Открыт радикал циан при исследовании соединений циана	Жозеф Луи Гей-Люссак
4	1830	Сформулирована в первом приближении «Радикальная теория»	Юстус фон Либих, Фридрих Велер и Огюст Лоран
5	1832	Получен ряд соединений, названный радикалом «бензоилом»	Юстус фон Либих, Фридрих Велер
6	1834	Отмечено существование радикала этила	Юстус фон Либих
7	1838	Обнаружен салициловый радикал как основание для салициловой кислоты	Раффаэле Пирия
8	1838	Сформулировано понятие салицилового радикала	Юстус фон Либих
9	1841	Рассмотрен радикал какодил	Йёнс Якоб Берцелиус, Роберт Вильгельм Бунзен
10	1858	Выдвинута теория валентности, в которой центральное место занял четырехвалентный углерод, а теория о трехвалентном углероде получила статус устаревшей	Эдуард Франкленд, Август Кекуле
11	1864	Доказано, что диметил и этилгидрид - это одно и тоже соединение	Карл Шорлеммер
12	1894	Открыт «реагент Фентона»	Генри Фентон
13	1900	Обнаружен настоящий трехвалентный углерод, получен радикал трифенилметил, способный к самостоятельному существованию	Мозес Гомберг
14	1924	Выдвинута гипотеза об участии гидроксильного радикала (ОН) в отличительном тесте для винной кислоты	Фриц Хабер и Рихард Вильштеттер
15	1928	Обнаружены реакции, в которых ведущий цепь активный радикал в элементарном акте порождает не один, а два, а	Николай Николаевич Семенов, Сирил

		то и три активных радикала	Норман Хиншельвуд
16	1928	Зафиксированы метильные радикалы	Фридрих Панет
17	1933	Выдвинута гипотеза о присоединении антимарковниковского бромистого водорода к бромистому аллилу под действием свободных радикалов	Моррис Хараш, Фрэнк Мэйо
18	1934	Выдвинута теория радикально-цепного механизма крекинга углеводородов	Стюарт Алан Раис, Карл Фердинанд Герцфельд
19	1944	Создан метод электронного парамагнитного резонанса, получены доказательства существования свободных радикалов в реакционных системах	Евгений Константинович Завойский
20	1945-1950	Обнаружены свободные радикалы в биологических системах	Барри Коммонер
21	1945-1950	Сформулировано новое определение радикалов: «свободные радикалы - любые переходные (химически нестабильные) вещества (атом, молекула или ион)»	Герхард Херцберг
22	1954	Выдвинута свободнорадикальная теория старения	Ребека Гершман
23	1972	Доказано, что перекисное окисление липидов является одним из механизмов нарушения барьерной функции мембран	Юрий Андреевич Владимиров, Александр Иванович Арчаков
24	1977	Выдвинута гипотеза, согласно которой практически на каждой стадии гликолиза и окисления рост раковых клеток сопровождается изменением количественного состава активных свободных радикалов	Николай Маркович Эмануэль
25	1985	Введен термин «окислительный стресс»	Хельмут Сис

Впервые термин «радикальный» использовал французский химик Луи-Бернар Гайтон де Морво в 1785 году. Позже, в 1789 году, это понятие применил французский химик Антуан Лавуазье в своей книге «Особенности химии», он обозначил «радикал» как корневое основание некоторых кислот (в переводе с латинского языка "radix" означает "корень"), а также называл радикалом элемент или группу элементов, которые при соединении с кислородом дают оксид либо кислоту [14,15].

Французский химик и физик Жозеф Луи Гей-Люссак при исследовании соединений циана в 1815 году открыл радикал – циан. Он установил, что при «...целом ряде химических превращений группа из нескольких атомов переходит, не изменяясь, из молекулы одного вещества в молекулу другого, подобно тому, как переходят из молекулы в молекулу атомы элементов. Таким образом, группа атомов, называемая радикалом, играет как бы роль одного атома, отличаясь от последнего только сложностью...» [15].

В 1830 году немецким химиком Юстусом фон Либихом, немецким химиком Фридрихом Велером и французским химиком – органиком Огюстом Лораном была сформулирована «радикальная теория», она утверждала, что органические соединения - это система радикалов, которыми можно обмениваться в химических реакциях. При исследовании в 1832 году Велером и Либихом «горько миндального масла», которое теперь называется бензойным альдегидом, ими был получен ряд соединений, неизменно содержащих в молекуле группу атомов, названную, ими радикалом «бензоилом». Таким образом, было доказано, что органические вещества состоят из радикалов. В 1834 году Либих в своей статье указал на существование радикала этила, переходящего без изменений в ряду: спирт -этилхлорид- эфир азотной кислоты - эфир бензойной кислоты [14,15].

Либих ввел понятие салицилового радикала в 1838 году, после сообщения итальянского химика Раффаэле Пирия о его нахождении в качестве основания для

салициловой кислоты. Шведский химик Йёнс Якоб Берцелиус и немецкий химик Роберт Вильгельм Бунзен, исследуя реакцию какодилхлорида с цинком, в 1841 году также рассматривали радикал какодил, ныне известный как димеры $(\text{CH}_3)_2\text{As}-\text{As}(\text{CH}_3)$ [15].

В 1858 году Эдуард Франкленд и Август Кекуле, английский и немецкий химики, выдвинули научную гипотезу о валентности, в которой центральное место занимал четырехвалентный углерод, а теория о трехвалентном углероде получила статус устаревшей [15].

Франкленд и Кольбе считали, что этильный радикал является этилгидридом. Однако Хофманн, Лоран, а также французский химик Шарль Фредерик Герхард, были не согласны с такой точкой зрения и предполагали, что он является димером, т.е. сложной молекулой, которая состоит из двух и более простых молекул, классифицируемых как мономеры, и называется диметилем. Лишь в 1864 году немецкий химик Карл Шорлеммер доказал, что диметил и этилгидрид - это одно и то же соединение [15].

Открытие британского химика Генри Фентона в 1894 году («реагент Фентона»), связанное с реакцией пероксида водорода с ионами железа, до настоящего времени играет важную роль в биологии и медицине свободных радикалов и весьма эффективен при уничтожении многих опасных органических загрязнителей в воде. Суть реакции заключается в смешении небольшого количества раствора винной кислоты, капли разбавленного раствора сульфата железа, капли перекиси водорода, избытка едкой щелочи. В результате получается раствор светло-фиолетового цвета. Это было взято за основу отличительного теста для винной кислоты. На тот момент научных исследований в области свободных радикалов не было, и только спустя 30 лет немецкие химики Фриц Хабер и Рихард Вильштеттер предложили участие гидроксильного радикала ($\cdot\text{OH}$) [15].

Непосредственно начало исследований свободнорадикальных патологий было положено в 1900-ом году, когда американский химик – органик Мозес Гомберг впервые обнаружил настоящий трехвалентный углерод и получил относительно устойчивый радикал трифенилметил, способный к самостоятельному существованию. Это позволило сделать вывод, что большинство химических процессов происходит через образование свободных радикалов [13,15].

Советский физико-химик Николай Николаевич Семенов и британский физико-химик Сирил Норман Хиншельвуд обнаружили реакции, в которых ведущий цепь активный радикал в элементарном акте порождает не один, а два, а то и три активных радикала. Это обусловлено наличием определенных критических пределов, после превышения которых реакция и начинает разветвляться. Это открытие было сделано в 1928 году, и позже выяснилось, что достаточно многие процессы протекают через критические пределы, к примеру, развитие злокачественной опухоли, процессы старения [2,15].

Довольно высокая реакционная способность активных органических соединений достаточно долго не позволяла их зафиксировать. Только в 1928 году австрийский химик Фридрих Панет, благодаря своему опыту, зафиксировал метильные радикалы и определил среднюю продолжительность их жизни. А в 1933 году учеными (американский химик) Моррисом Хараш и (американский химик) Фрэнком Мэйо была выдвинута гипотеза, что антимарковниковское присоединение бромистого водорода к бромистому аллилу происходит под действием свободных радикалов [2,15].

В 1934 году американский химик-теоретик и физик-химик Стюарт Алан Раис и американский физик Карл Фердинанд Герцфельд выдвинули теорию радикально-цепного механизма крекинга углеводородов. Они утверждали, что кинетика многих газовых реакций, которые ранее воспринимались как межмолекулярные, имеет более сложный и не столь примитивный смысл при интерпретации представления о существовании свободных радикалов. Авторы, приняв, в числе прочих, и то предположение, что атомы и свободные радикалы атакуют и разрывают С-Н-, а не С-С-связь в углеводороде, смогли логично пояснить качественный и количественный состав продуктов крекинга [1].

Получить доказательства существования свободных радикалов в реакционных системах удалось с помощью метода электронного парамагнитного резонанса. Открытие было сделано советским физиком Евгением Константиновичем Завойским в 1944 году. Этот метод является одним из основных прямых способов обнаружения и изучения строения свободных радикалов. В его основе лежат поглощение неиспаренными электронами, помещенными в магнитное поле, электромагнитного излучения [4]. Позже американский биолог и эколог Барри Коммонер совместно с группой ученых, применив метод электронного парамагнитного резонанса, впервые наблюдал свободные радикалы в биологических системах [14].

В 1954 году аргентинский биолог и физиолог Ребека Гершман выдвинула свободнорадикальную теорию старения, в дальнейшем эту мысль развил американский химик Дэнхам Харман в 1992 году. Согласно этой теории, главной причиной старения считается повреждение свободными радикалами кислорода, количество которых под влиянием неблагоприятных факторов значительно возрастает, основных молекулярных структур клетки. В результате этого создается критическая ситуация и жизненно важные органы выходят из строя [6,13].

Позже канадский физик Герхард Херцберг, предложил новую, более простую формулировку определения: «свободные радикалы - любые переходные (химически нестабильные) вещества (атом, молекула или ион)», это понятие оказалось более удачным для толкования переходных химических процессов. Поэтому многие исследователи в этой области стали использовать именно его. В 1971 году Херцберг был удостоен Нобелевской премии «За вклад в понимание электронной структуры и строения молекул, особенно свободных радикалов» [14].

Также советскими учеными – биологом Юрием Андреевичем Владимировым и врачом – биохимиком Александром Ивановичем Арчаковым- в 1972 году было доказано, что одним из четырех основных фундаментальных механизмов нарушения барьерной функции мембран при патологии является перекисное окисление липидов, которое приводит к понижению электрической прочности мембран и их пробою под действием трансмембранного электрического потенциала [5].

В 1977 году советским физико – химиком Николаем Марковичем Эмануэлем была выдвинута гипотеза, согласно которой практически на каждой стадии гликолиза и окисления рост раковых клеток сопровождается изменением количественного состава активных свободных радикалов. Это связано с наличием цепных реакций, которые при достижении критических значений активных форм кислорода могут идти по разветвленному пути [11].

Термин «окислительный стресс» был введен в 1985 году немецким биохимиком Хельмутом Сисом для указания на дисбаланс между прооксидантами и антиоксидантами в пользу первых. Сильный окислительный стресс повреждает ДНК, повышает внутриклеточное свободное Ca^{2+} и железо, повреждает белки (включая мембранные переносчики ионов) и нарушает перекисное окисление липидов [5,10,15].

Среди состояний, которые приводят к возникновению окислительного стресса, можно назвать лишь некоторые из них: токсичность тетрахлорметана, ишемически-реперфузионное повреждение, гиперметаболические состояния, такие как гипертиреоз, физическая активность [5,10,15].

С 80-ых годов XX века наблюдался спад интереса ученых к области свободнорадикальных процессов, вплоть до 2000-х годов масштабных исследований не проводилось. В XXI веке теория свободнорадикального окисления стала структурироваться и развиваться в узких направлениях (медицина, ветеринария, фармакология, лечебная физкультура, спортивная медицина и пр.).

Выводы

Подводя итог проведенному анализу, следует отметить, что, начиная с XVIII века, теория свободнорадикального окисления первоначально формировалась в рамках

фундаментальных наук (химии, физики, биологии), в настоящее время она перешла на этап развития в рамках прикладных исследований (общей медицины, спортивной медицины, ветеринарной медицины, фармакологии и пр.).

Ретроспективный анализ развития теории и методологии свободнорадикального окисления в живых организмах показал высокий уровень значимости данной теории для здоровья как людей, так и сельскохозяйственных животных. В ходе исследования были изучены сущность и природа возникновения свободнорадикального окисления, проведен анализ эволюции теоретических представлений свободнорадикального окисления. Начало развитию теории свободнорадикального окисления предположительно было положено в конце XVIII века. Тем не менее, несмотря на достаточно большой период формирования и развития теории свободнорадикального окисления в ней остается много неизученных аспектов прикладного характера.

Список источников

1. Адушкин В.В., Сулимов А.А. Глава 2. Участие ученых химфизики в создании и испытаниях ядерного оружия // В книге: Вклад ученых Химфизики в советский Атомный проект. Книга посвящается 125-летию со дня рождения Н.Н. Семенова и 90-летию Института химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук. Под редакцией Ю.М. Михайлова, С.М. Фролова. Москва, 2020. С. 176-337.
2. Берберова Н.Т., Соросовский Н.Т. Из жизни свободных радикалов // Образовательный журнал. 2000. Т. 6. № 5. С. 39
3. Габитова Д. М., Рыжикова В. О., Рыжикова М. А. Влияние антиоксидантных веществ на процессы свободно-радикального окисления // Баш. хим. ж.. 2006. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-antioksidantnyh-veschestv-na-protsessy-svobodno-radikalnogo-okisleniya> (дата обращения: 19.01.2023).
4. Кашаев Р. С. Открытие в Казани Е. К. Завойским явления магнитного резонанса // Георесурсы. 2003. №2 (14). Режим доступа: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otkrytie-v-kazani-e-k-zavoyskim-yavleniya-magnitnogo-rezonansa>
5. Колесникова Л.И., Даренская М.А., Колесников С.И. Свободнорадикальное окисление: взгляд патофизиолога // Бюллетень сибирской медицины. 2017. Т. 16. № 4. С. 16-29. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/svobodnoradikalnoe-okislenie-vzglyad-patofiziologa>
6. Кольтовер В.К. Свободнорадикальная теория старения. Исторический очерк // Успехи геронтологии. 2000. № 4. С. 89.
7. Котова А.Д., Ефременко Е.С. Образование свободных радикалов и возможности антиоксидантной защиты при переломах костей // Академическая публицистика. 2021. № 4. С. 647-651.
8. Луцкий М.А., Куксова Т.В., Смелянец М.А., Лушникова Ю.П. Активность эндогенной системы антиоксидантной защиты в процессе жизнедеятельности организма // Успехи современного естествознания. 2014. №12-1. С.20-23. Режим доступа: URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=34479>
9. Луцкий М.А., Куксова Т.В., Смелянец М.А., Лушникова Ю.П. Свободнорадикальное окисление липидов и белков – универсальный процесс жизнедеятельности организма // Успехи современного естествознания. 2014. № 12. С. 24-28
10. Меньшикова Е.Б., Зенков Н.К. Современные подходы при анализе окислительного стресса, или как измерить неизмеримое // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. 2016. Т. 1. № 3-2 (109). С. 174-180.
11. Пожилова Е.В., Новиков В.Е., Левченкова О.С. Активные формы кислорода в физиологии и патологии клетки // Вестник Смоленской государственной медицинской

академии. 2015. №2. Режим доступа: URL:<https://cyberleninka.ru/article/n/aktivnye-formy-kisloroda-v-fiziologii-ipatologii-kletki>.

12. Фархутдинова Л.М. Окислительный стресс. История вопроса // Вестник академии наук Республики Башкортостан. 2015. Т. 20. № 1 (77). С. 42-49.

13. Sergio Di Meo, Paola Venditti, "Evolution of the Knowledge of Free Radicals and Other Oxidants" // *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 2020. vol. 2020, Article ID 9829176, 32 pages. Режим доступа: <https://doi.org/10.1155/2020/9829176>

14. Constable, E.C.; Housecroft, C.E. Before Radicals Were Free – the Radical Particulier of de Morveau // *Chemistry 2020*, 2(2), 293-304. Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/chemistry2020019>

15. Martemucci, G.; Costagliola, C.; Mariano, M.; D'andrea, L.; Napolitano, P.; D'Alessandro, A.G. Free Radical Properties, Source and Targets, Antioxidant Consumption and Health // *Oxygen 2022*, 2, 48-78. Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/oxygen2020006>.

References

1. Adushkin V.V., Sulimov A.A. Chapter 2. Participation of chemical physics scientists in the creation and testing of nuclear weapons // In the book: *The contribution of Chemical Physics scientists to the Soviet Atomic Project*. The book is dedicated to the 125th anniversary of the birth of N.N. Semenov and the 90th anniversary of the N.N. Semenov Institute of Chemical Physics of the Russian Academy of Sciences. Edited by Yu.M. Mikhailov, S.M. Frolov. Moscow, 2020. pp. 176-337.

2. Berberova N.T., Sorosovsky N.T. From the life of free radicals // *Educational Journal*. 2000. Vol. 6. No. 5. P. 39

3. Gabitova D. M., Ryzhikova V. O., Ryzhikova M. A. The effect of antioxidant substances on the processes of free radical oxidation // *Bash. chem. zh.* 2006. No. 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-antioksidantnyh-veschestv-na-protsessy-svobodno-radikalnogo-okisleniya> (date of reference: 19.01.2023).

4. Kashaev R. C. E. K. Zavoysky's discovery of the phenomenon of magnetic resonance in Kazannansa // *Geo-resources*. 2003. №2 (14). Access mode: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otkrytie-v-kazani-e-k-zavoyskim-yavleniya-magnitnogo-rezonansa>

5. Kolesnikova L.I., Darenskaya M.A., Kolesnikov S.I. Free radical oxidation: a pathophysiologist's view // *Bulletin of Siberian Medicine*. 2017. Vol. 16. No. 4. pp. 16-29. Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/svobodnoradikalnoe-okislenie-vzglyad-patofiziologa>

6. Koltover V.K. Free radical theory of aging. Historical essay // *Successes of gerontology*. 2000. No. 4. p. 89.

7. Kotova A.D., Efremenko E.S. Formation of free radicals and the possibility of antioxidant protection in bone fractures // *Academic journalism*. 2021. No. 4. pp. 647-651.

8. Lutsky M.A., Kuksova T.V., Smelyanets M.A., Lushnikova Yu.P. Activity of the endogenous system of antioxidant protection in the process of vital activity of the organism // *Successes of modern natural science*. 2014. No.12-1. pp.20-23. Access mode: URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=34479>

9. Lutsky M.A., Kuksova T.V., Smelyanets M.A., Lushnikova Yu.P. Free radical oxidation of lipids and proteins - a universal process of organ vital activity // *Successes of modern natural science*. 2014. No. 12. pp. 24-28

10. Menschikova E.B., Zenkov N.K. Modern approaches to the analysis of oxidative stress, or how to measure the immeasurable // *Bulletin of the East Siberian Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2016. Vol. 1. No. 3-2 (109). pp. 174-180.

11. Senzhova E.V., Novikov V.E., Levchenkova O.S. Reactive oxygen species in cell physiology and pathology // *Bulletin of the Smolensk State Medical Academy*. 2015. No.2. Access mode: URL:<https://cyberleninka.ru/article/n/aktivnye-formy-kisloroda-v-fiziologii-ipatologii-kletki>.

12. Farkhutdinova L.M. Oxidative stress. Background of the issue // Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan. 2015. Vol. 20. No. 1 (77). pp. 42-49.

13. Sergio Di Meo, Paola Venditti, "Evolution of the Knowledge of Free Radicals and Other Oxidants" // Oxidative Medicine and Cellular Longevity. 2020. vol. 2020, Article ID 9829176, 32 pages. Режим доступа: <https://doi.org/10.1155/2020/9829176>.

14. Constable, E.C.; Housecroft, C.E. Before Radicals Were Free – the Radical Particulier of de Morveau // Chemistry 2020, 2(2), 293-304. Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/chemistry2020019>.

15. Martemucci, G.; Costagliola, C.; Mariano, M.; D'andrea, L.; Napolitano, P.; D'Alessandro, A.G. Free Radical Properties, Source and Targets, Antioxidant Consumption and Health // Oxygen 2022, 2, 48-78. Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/oxygen2020006>.

Информация об авторах

Н.А. Пудовкин - доктор биологических наук, доцент, заведующий кафедрой «Морфология, патология животных и биология».

К.Ф. Лекомцева - аспирант 1 года подготовки по научной специальности 4.2.1 Патология животных, морфология, физиология, фармакология и токсикология.

Information about the author

N.A. Pudovkin - Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Department «Morphology, Pathology of animals and Biology».

K.F. Lekomceva - postgraduate student of 1 year of training in the scientific specialty 4.2.1 animal pathology, morphology, physiology, pharmacology and toxicology.

Статья поступила в редакцию 6.12. 2022 г.; одобрена после рецензирования 22.12.2022 г; принята к публикации 22.12.2022 г

The article was submitted 6.12.2022 г; approved after reviewing 22.12.2022 г; accepted for publication 22.12.2022 г