

**АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ГЛИКОНАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА НА ОСНОВЕ МЕРКАПТОПРОПИОНИЛГИДРАЗОНОВ МОНО- И ДИСАХАРИДОВ**

© А.Ю. Ершов<sup>1</sup>, М.А. Копаница<sup>2</sup>, Н.В. Короткова<sup>2</sup>, Л.Ю. Кулешова<sup>2</sup>, М.А. Фомина<sup>2</sup>

Институт высокомолекулярных соединений РАН (ИВС РАН), Санкт-Петербург, Российская Федерация (1)

Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова, Рязань, Российская Федерация (2)

**Обоснование.** Известно, что чрезмерная активация свободнорадикальных и перекисных реакций является одним из главных факторов повреждения клеточных мембран. Усиление процессов перекисного окисления липидов имеет существенное значение в этиологии и патогенезе многих заболеваний.

С целью защиты биологических макромолекул от окислительного стресса используют антиоксиданты. В последнее время развивается ряд направлений, связанных с исследованием металлических гликонаночастиц. Данные объекты используются в качестве иммунохимических маркеров и биосенсоров, применяются для диагностики и лечения онкологических заболеваний. Ранее нами было показано, что гликонаночастицы серебра на основе меркаптопропионилгидразонов альдоз проявляют противовирусную и противогрибковую активность.

**Цель.** Изучение антиоксидантной активности гликонаночастиц серебра на основе продуктов конденсации гидразида 3-меркаптопропионовой кислоты с моно- и дисахаридами.

**Материалы и методы.** Объектами исследования являлись белые крысы линии Wistar – 7 партий, по 6 крыс. Введение гликонаночастиц серебра 3-меркаптопропионилгидразонов моно- и дисахаров осуществлялось ежедневно, в течение 7 дней. Испытуемые вещества вводились *per os* в 1% растворе крахмала из расчета дозы 0,1 г на 1 кг массы.

В качестве соединений, обладающих антиоксидантной активностью, было исследовано 6 веществ, содержащих остатки D-ксилозы, L-арабинозы, D-лактозы, D-глюкозы, D-мальтозы и D-маннозы. В качестве стандарта использовался диклофенак натрия в 1% растворе крахмала. Контрольная группа получала только 1% раствор крахмала.

Оценка интенсивности окислительной модификации белков (ОМБ) в сыворотке крови осуществлялась по методике R.L. Levine в модификации Е.Е. Дубининой.

**Результаты.** Для двух испытуемых веществ отмечается снижение показателей спонтанной окислительной модификации белков по сравнению с контрольной группой, получавшей диклофенак натрия. Наблюдается повышение металл-катализируемой окислительной модификации белков для трех испытуемых веществ, что может свидетельствовать о повышении резервно-адаптационного потенциала под их воздействием. Наибольшую металл-катализируемую активность показали гликонаночастицы серебра на основе меркаптопропионилгидразона ксилозы.

**Заключение.** Полученные результаты показали возможность использования гликонаночастиц серебра на основе меркаптопропионилгидразонов ксилозы, с целью создания лекарственных средств с антиоксидантной активностью.

**Ключевые слова:** перекисное окисление липидов; антиоксиданты; гликонаночастицы.

## ANTIOXIDANT ACTIVITY OF SILVER GLYCONANOPARTICLES BASED ON MERCAPTOPROPIONYLHYDRAZONES OF MONO- AND DISACCHARIDES

A.Yu. Ershov<sup>1</sup>, M.A. Kopanitsa<sup>2</sup>, N.V. Korotkova<sup>2</sup>, L.Yu. Kuleshova<sup>2</sup>, M.A. Fomina<sup>2</sup>

Institute of Macromolecular Compounds of the Russian Academy of Sciences (IVS RAS), Saint-Petersburg, Russian Federation (1)  
Ryazan State Medical University, Ryazan, Russian Federation (2)

**Background.** It is known that excessive activation of free radical and peroxide reactions is one of the main factors of damage to cell membranes. The enhancement of lipid peroxidation processes is essential in the etiology and pathogenesis of many diseases. In order to protect biological macromolecules from oxidative stress, antioxidants are used. Recently, a number of areas have been developed related to the study of metal glyconanoparticles. These objects are used as immunochemical markers and biosensors in diagnostics and treatment of oncological diseases. Earlier, we showed that silver glyconanoparticles based on mercaptopropionylhydrazones of aldoses exhibit antiviral and antifungal activity.

**Aim.** Was to study the antioxidant activity of silver glyconanoparticles based on the condensation products of 3-mercaptopropionic acid hydrazide with mono- and disaccharides.

**Materials and Methods.** The objects of the study were Wistar white rats – 7 batches, 6 rats in each. Introduction of silver glyconanoparticles of 3-mercaptopropionylhydrazones of mono- and disaccharides was carried out daily for 7 days. The test substances were administered *per os* in 1% starch solution on the basis of 0.1 g per 1 kg of mass.

As compounds with antioxidant activity, 6 substances containing residues of D-xylose, L-arabinose, D-lactose, D-glucose, D-maltose and D-mannose were investigated. Sodium diclofenac in 1% starch solution was used as a standard. The control group received only 1% starch solution.

Evaluation of the intensity of oxidative modification of proteins (OMP) in the serum was carried out by method of R.L. Levine in the modification of E.E. Dubinina.

**Results.** For the two test substances, a decrease in the spontaneous oxidative modification of proteins was noted compared with the control group treated with sodium diclofenac. An increase in the metal-catalyzed oxidative modification of proteins for the three test substances was observed, which may indicate an increase in the reserve-adaptational potential under their influence. The highest metal-catalyzed activity was found in silver glyconanoparticles based on xylose mercaptopropionylhydrazone.

**Conclusion.** The obtained results showed the possibility of using silver glyconanoparticles based on xylose mercaptopropionylhydrazones for creation of drugs with antioxidant activity.

**Keywords:** *lipid peroxidation; antioxidants; glyconanoparticles.*

В связи с широкой распространенностью белков в биологических материалах и их высокой чувствительностью к свободным радикалам, они являются основными мишенями для активных форм кислорода (АФК) [1]. При взаимодействии АФК и активных форм азота (АФА) с белками,

происходит их ковалентная модификация, что приводит к окислению белков. Белки также способны косвенно взаимодействовать со вторичными побочными продуктами окислительного стресса [2].

В качестве индукторов образования окислительно-модифицированных белков

(ОМБ) могут выступать активные формы кислорода ( $\text{OH}^\cdot$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{O}_2$ ), активные формы азота ( $\text{NO}$ ,  $\text{ONOO}^\cdot$ ), металлы переменной валентности ( $\text{Cu}_2^+$ ,  $\text{Fe}_2^+$ ), продукты перекисного окисления липидов [3,4].

Формирование карбонильных производных в результате окисления боковых аминокислотных остатков полипептидной цепи в настоящее время является наиболее изученным вариантом окислительной модификации белков. При этом окисление остатков лизина, аргинина, гистидина, пролина приводит к формированию альдегидных или кетонных производных, а окисление остатков глутаминовой и аспарагиновой кислот приводит к разрыву полипептидной цепи с образованием пирувальной группы из N-концевой аминокислоты. Наиболее чувствительными среди аминокислотных остатков к металл-катализируемому окислению являются гистидиновые, аргининовые, лизиновые, метиониновые и цистеиновые остатки, а также остатки ароматических аминокислот [5].

Ранними маркерами окислительной деструкции белка принято считать альдегидные производные, а кетонные производные – поздними маркерами [6], которые характеризуют степень окислительной деструкции белковой молекулы. При накоплении в клетке активных карбонильных соединений происходит развитие карбонильного стресса [7,8].

Под воздействием активных форм кислорода на белки, которые не защищены от радикальной атаки в отличие от липидов, происходит их окисление вследствие неферментативного дезаминирования боковых радикалов основных аминокислот с формированием карбонильных групп.

Существует также металл-катализируемое окисление белков, при котором формирование карбонильных групп происходит в присутствии металлов переменной валентности (медь, железо), кислорода, перекиси водорода.

Окислительная модификация белков сопровождается изменением структуры аминокислотных остатков и функций белков в целом [9].

Например, при действии АФК происходит образование крупных белковых агрегатов или фрагментация белковой молекулы в связи с нарушением нативной конформации белков. Гидроксильный радикал чаще всего вызывает агрегацию белков, а в комбинации с супероксиданионом – фрагментацию с образованием низкомолекулярных фрагментов. При действии оксидантов происходит нарушение нативной конформации ряда доменов белков, что приводит к увеличению числа гидрофобных остатков на поверхности глобул и формированию крупных белковых конгломератов.

Оценка окислительного повреждения белков является ранним и надежным маркером окислительного стресса, так как белковые молекулы высокочувствительны к действию свободных радикалов и их распространенность в клетке очень высока [10].

Наиболее удобными объектами для исследования являются биологические материалы (сыворотка крови, плазма крови, спинномозговая жидкость, белковые экстракты из тканей, гомогенаты тканей), которые обладают клинической доступностью и высокой химической устойчивостью [11].

В настоящее время используется спектрофотометрическое определение карбонильных производных, которое основано на регистрации 2,4-динитрофенилгидразонов, образующихся в реакции карбонилирования производных белков с 2,4-динитрофенилгидразином (2,4-DNP).

Данный метод, основоположником которого является R.L. Levine, считается наиболее удобным способом регистрации общего количества карбонильных производных в смеси белков биологического материала. Карбонильные производные белков могут образовываться как спонтанно, так и индуцируемо гидроксильным радикалом, образовавшимся в реакции Фентона (смесь пероксида водорода и ионов железа), который в настоящее время является одним из наиболее эффективных методов для окисления органических веществ. Анализ результатов спонтанного и инду-

цируемого окисления белков проводят параллельно при аналогичных длинах волн.

Считается, что показатели спонтанной ОМБ характеризуют общее физиологическое состояние организма, а показатели ОМБ, индуцируемой по металл-катализируемому механизму, характеризуют резервно-адаптационные возможности организма [12,13]. С помощью сопоставления спонтанной ОМБ и металл-зависимой можно определить резервно-адаптационный потенциал, который говорит об устойчивости белков к повреждению при различных экспериментальных моделях.

Известно, что чрезмерная активация свободнорадикальных и перекисных реакций является одним из главных факторов повреждения клеточных мембран [14]. Усиление процессов ПОЛ имеет существенное значение в этиологии и патогенезе многих заболеваний и развитии последствий различных экстремальных воздействий. При развитии патологического процесса может нарушаться баланс образования и инактивации продуктов ПОЛ, метаболиты ПОЛ накапливаются в тканях и биологических жидкостях, что приводит к нарушениям в первую очередь в биологических мембранах. Это вызывает изменение физико-химических свойств мембранных белков и липидов, изменение активности мембранно-связанных ферментов, нарушение проницаемости мембран, ионного транспорта, уменьшение электрической стабильности липидного бислоя мембран.

С целью защиты биологических макромолекул от окислительного стресса используют антиоксиданты – вещества, которые, присутствуя в низких по сравнению с окисляемым субстратом концентрациях, существенно задерживают или ингибируют его окисление [15].

В последнее время в биологических и биомедицинских целях интенсивно развивается ряд направлений, связанных с получением и исследованием металлических гликонаночастиц. Данные объекты находят применение в качестве иммунохимических маркеров и биосенсоров, ак-

тивно используются для диагностики и лечения ряда онкологических заболеваний, благодаря своему уникальному химическому строению, имитирующему естественную клеточную поверхность, повышенному сродству к природным гликопротеиновым молекулам, а также необычным оптическим свойствам [16,17]. Помимо этого, гликонаночастицы благородных металлов обладают бактерицидными и противовирусными свойствами.

Получение гликонаночастиц связано с взаимодействием тиолсодержащих углеводов с коллоидными частицами благородных металлов (чаще всего, серебра и золота), при котором коллоидная частица обволакивается углеводными фрагментами по «типу одуванчика» путем создания связи сера-металл (Рис. 1).

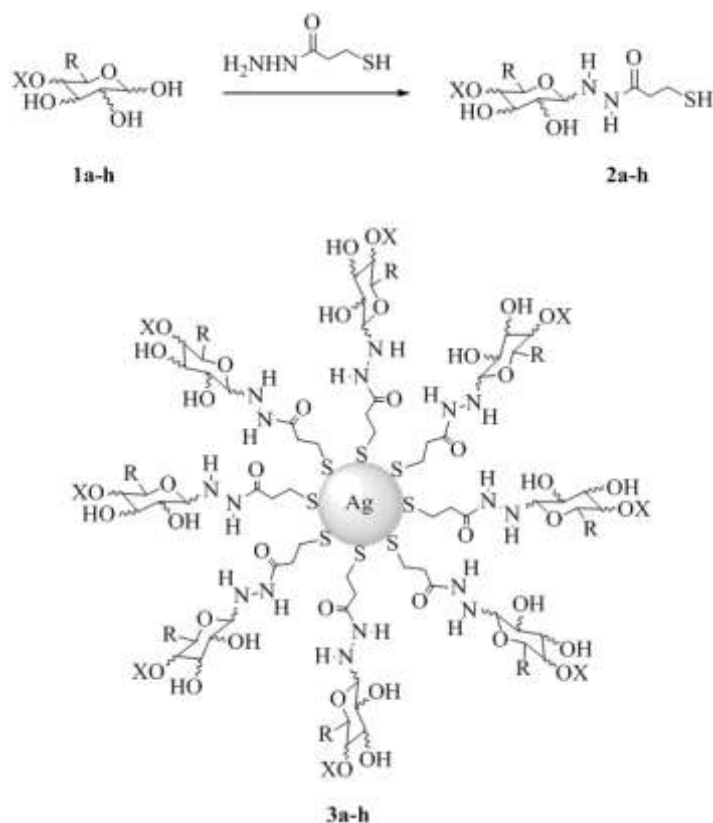
Основную сложность получения таких гликонаночастиц составляет труднодоступность и многостадийность синтеза исходных тиолсодержащих гликолигандов, что приводит к высокой стоимости целевых продуктов.

Ранее нами было показано, что гликонаночастицы серебра на основе меркаптопропионилгидразонов альдоз проявляют противовирусную и противогрибковую активность на примерах отдельных вирусов и грибковых культур, а сами меркаптопропионилгидразоны альдоз проявляют ярко выраженную радиопротекторную активность [18].

*Целью* работы являлось изучение антиоксидантной активности гликонаночастиц серебра на основе продуктов конденсации гидразида 3-меркапто-пропионовой кислоты с моно- и дисахаридами.

#### **Материалы и методы**

Недавно нами был разработан простой метод синтеза тиолированных углеводов, основанный на взаимодействии природных восстанавливающих моно- и дисахаридов с тиолсодержащими гидразидами, в частности, с гидразидом 3-меркаптопропионовой кислоты. Данная методика позволила с высокими выходами получить серию исходных гликоли-



**1-3:** R=H, X=H, D-ксилоза (**a**), L-арабиноза (**b**), D-рибоза (**c**); R=CH<sub>2</sub>OH, X=H, D-глюкоза (**d**), D-галактоза (**e**), D-манноза (**f**); R=CH<sub>2</sub>OH, X=C<sub>6</sub>H<sub>11</sub>O<sub>5</sub>, D-мальтоза (**g**), D-лактоза (**h**)

Рис. 1. Схема синтеза Ag-ГНЧ на основе 3-меркаптопропионилгидразонов альдоз

гандов и использовать их в синтезе гликонаночастиц серебра [19].

Гликонаночастицы серебра на основе меркаптопропионилгидразонов альдоз образуются при выдерживании в течение 2-3 суток водных растворов исходного тиолсодержащего лиганда, азотнокислого серебра и ацетата натрия после добавления к смеси гидразин-гидрата, взятого в качестве восстанавливающего агента. Аналогичным образом были получены гликонаночастицы серебра на основе дисахаридов – мальтозы и лактозы.

Объектами исследования являлись белые крысы линии Wistar – 7 партий, по 6 крыс. Введение гликонаночастиц серебра 3-меркаптопропионилгидразонов моно- и дисахаров высокой степени дисперсности осуществлялось ежедневно, в течение 7 дней. Испытуемые вещества вводились per os в 1% растворе крахмала из расчета дозы 0,1 г на 1 кг массы.

В качестве соединений, обладающих антиоксидантной активностью, было исследовано 6 веществ, содержащих остатки D-ксилозы, L-арабинозы, D-лактозы, D-глюкозы, D-мальтозы и D-маннозы. В качестве стандарта использовался диклофенак натрия в 1% растворе крахмала. Контрольная группа получала только 1% раствор крахмала.

Оценка интенсивности окислительной модификации белков (ОМБ) в сыворотке крови осуществлялась по методике R.L. Levine в модификации Е.Е. Дубининой. Принцип метода основан на взаимодействии карбонильных и иминогрупп окисленных аминокислотных остатков с 2,4-динитрофенилгидразином, с образованием соответствующих 2,4-динитрофенилгидразонов, обладающих специфическим спектром поглощения в ультрафиолетовой и видимой областях спектра.

Комплексная оценка содержания

ОМБ проводилась по авторскому патенту на изобретение, разработанному на кафедре биологической химии РязГМУ. Статистическая значимость определялась с использованием пакета прикладных программ Statistica 6.0 [20].

### Результаты и их обсуждение

В результате впервые проведенных для данных веществ биологических испытаний, было установлено, что одно из 6 исследованных гликонаночастиц серебра не укладывается в рамки статистической обработки.

Для двух испытуемых веществ – гликонаночастиц серебра на основе меркаптопропионилгидразона ксилозы и на основе меркаптопропионилгидразона арабинозы, отмечается снижение показателей спонтанной окислительной модификации белков по сравнению с контрольной группой, получавшей диклофенак натрия. Снижение спонтанной ОМБ говорит о предотвращении окисления белковой молекулы.

С целью оценки степени выраженности окислительного стресса, нами также изучалось соотношение альдегид-динитрофенилгидразонов (АДНФГ) и кетон-динитрофенилгидразонов (КДНФГ). Было отмечено, что в ранних стадиях окислительного стресса преобладают альдегид-динитрофенилгидразоны (АДНФГ), а в поздних стадиях – кетон-динитрофенилгидразоны (КДНФГ).

Содержание первичных маркеров окислительного стресса под действием гликонаночастиц серебра на основе меркаптопропионилгидразона ксилозы составило 67,4%, а содержание кетон-динитрофенилгидразонов – 32,6%, что на 11,7% больше, по сравнению с раствором контроля.

Оценка резервно-адаптационного потенциала проводилась по методике Никитиной и Мухиной: разница между спонтанной и металл-катализируемой окислительной модификацией белка, анализ которых проводился параллельно при аналогичных длинах волн.

Наблюдается повышение металл-катализируемой окислительной модификации белков для трех испытуемых веществ – гликонаночастиц серебра на основе маннозы, на основе глюкозы и на основе мальтозы, что может свидетельствовать о повышении резервно-адаптационного потенциала под их воздействием. Наибольшую металл-катализируемую активность показали гликонаночастицы серебра на основе меркаптопропионилгидразона ксилозы.

### Выводы

Таким образом, полученные результаты показали возможность использования гликонаночастиц, а именно гликонаночастиц серебра на основе меркаптопропионилгидразонов ксилозы, с целью создания лекарственных средств с антиоксидантной активностью.

### Дополнительная информация

**Конфликт интересов:** отсутствует.

**Участие авторов:**

Концепция и дизайн исследования – Ершов А.Ю., Копаница М.А., Короткова Н.В., Кулешова Л.Ю., Фомина М.А.

Экспериментальная часть (синтез веществ) – Ершов А.Ю., Кулешова Л.Ю.

Экспериментальная часть – Копаница М.А., Короткова Н.В., Фомина М.А.

Написание текста, статистическая обработка – Копаница М.А., Короткова Н.В., Фомина М.А.

Редактирование – Ершов А.Ю., Копаница М.А., Короткова Н.В., Кулешова Л.Ю., Фомина М.А.

### Литература

1. Абаленихина Ю.В., Фомина М.А. Состояние окислительной модификации тирозина и триптофана в условиях *in vivo*-модулирования синтеза оксида азота // Наука молодых (Eruditio Juvenium). 2016. №1. С. 7-11.
2. Фомина М.А., Кудлаева А.М. Изучение *in vitro*-взаимодействия L-карнитина на лизосо-

- мальный цистеиновый протеолиз изолированно и на фоне оксидативного стресса // Наука молодых (Eruditio Juvenium). 2016. №1. С. 55-59.
3. Baraibar M.A., Ladouce R., Friguet B. Proteomic quantification and identification of carbonylated proteins upon oxidative stress and during cellular aging // Journal of Proteomics. 2013. Vol. 92. P. 67-70.
4. Vasil'ev Yu.V., Tzeng Sh.-Ch., Huang L., et al.

- Protein modifications by electrophilic lipoxidation products: Adduct formation, chemical strategies and tandem mass spectrometry for their detection and identification // *Mass Spectrometry Reviews*. 2014. Vol. 33, №3. P. 157-182.
5. Дубинина Е.Е. Продукты метаболизма кислорода в функциональной активности клеток (жизнь и смерть, созидание и разрушение). Физиологические и клинико-биохимические аспекты. СПб.: Медицинская пресса; 2006.
  6. Губский Ю.И., Беленичев И.Ф., Левицкий Е.Л., и др. Токсикологические последствия окислительной модификации белков при различных патологических состояниях (обзор литературы) // *Современные проблемы токсикологии*. 2005. Т. 8, №3. С. 20-27.
  7. Муравлева Л.Е., Молотов-Лучанский В.Б., Клюев Д.А., и др. Окислительная модификация белков: проблемы и перспективы исследования // *Фундаментальные исследования*. 2010. №1. С. 74-78.
  8. Шумаев К.Б. Роль динитрозильных комплексов железа в защите биомолекул и клеточных структур от окислительного, нитрозативного и карбонильного стресса. Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М.; 2010.
  9. Ryslava H., Doubnerova V., Kavan D., et al. Effect of posttranslational modifications on enzyme function and assembly // *Journal of Proteomics*. 2013. Vol. 92. P. 80-109.
  10. Garcia-Garcia A., Rodriguez-Rocha N., Madayiputhiya A., et al. Biomarkers of Protein Oxidation in Human Disease // *Current Molecular Medicine*. 2012. Vol. 12, №6. P. 681-697. doi:10.2174/156652412800792543
  11. Wehr N.B., Levine R.L. Quantification of Protein Carbonylation // *Cell Senescence. Methods and Protocols*. 2013. Vol. 965. P. 265-281.
  12. Степовая Е.А., Пегина Г.В., Жаворонок Т.В., и др. Функциональные свойства и окислительная модификация белков нейтрофилов и плазмы крови при внебольничной пневмонии // *Клиническая лабораторная диагностика*. 2010. №3. С. 18-21.
  13. Дубинина Е.Е., Морозова М.Г., Леонова Н.В., и др. Окислительная модификация белков плазмы крови больных психическими расстройствами (депрессия, деперсонализация) // *Вопросы медицинской химии*. 2000. Т. 46, №4. С. 398-409.
  14. Кузнецов В.И., Моррисон В.В., Лиско О.Б., и др. Липиды в структуре и функционировании биологических мембран // *Саратовский научно-медицинский журнал*. 2014. Т. 10, №2. С. 262-266.
  15. McIntyre T.M., Hazen S.L. Lipid oxidation and cardiovascular disease: introduction to a review series // *Circulation Research*. 2010. Vol. 107. P. 1167-1169.
  16. Vlăscianu G.M., Marin Ș., Țiplea R.E., et al.; Grumezescu A., ed. Silver nanoparticles in cancer therapy. Chapt. 2. In: *Nanobiomaterials in cancer therapy*. Elsevier; 2016. P. 29-56.
  17. Федотчева Т.А., Оленин А.Ю., Старостин К.М., и др. Перспективы применения наночастиц золота, серебра и оксида железа для повышения эффективности химиотерапии опухолевых новообразований. // *Химико-фармацевтический журнал*. 2015. Т. 49, №4. С. 11-22.
  18. Васильева М.Ю., Ершов А.Ю., Байгильдин В.А., и др. Получение гликонаночастиц золота на основе продуктов конденсации D-лактозы и D-мальтозы с тиолсодержащими гидразидами // *Журнал общей химии*. 2018. Т. 88, №6. С. 1027-1031.
  19. Васильева М.Ю., Ершов А.Ю., Байгильдин В.А., и др. Синтез гликонаночастиц серебра на основе 3-меркаптопропионилгидразонов моно- и дисахаридов // *Журнал общей химии*. 2018. Т. 88, №1. С. 115-119.
  20. Фомина М.А. Способ комплексной оценки содержания продуктов окислительной модификации белков в тканях и биологических жидкостях. Рязань: РИО РязГМУ; 2014.

### References

1. Abalenihina JV, Fomina MA. Status of tyrosine and tryptophan oxidative modification in conditions of in vivo modulation of nitric oxide synthesis. *Nauka Molodykh (Eruditio Juvenium)*. 2016; (1):7-11. (In Russ).
2. Fomina MA, Kudlaeva AM. *In vitro* studies of L-carnitine action on lysosomal cysteine proteolysis alone and in oxidative stress. *Nauka Molodykh (Eruditio Juvenium)*. 2016;(1):55-9. (In Russ).
3. Baraibar MA, Ladouce R, Friguet B. Proteomic quantification and identification of carbonylated proteins upon oxidative stress and during cellular aging. *Journal of Proteomics*. 2013;92:67-70.
4. Vasil'ev YuV, Tzeng Sh-Ch, Huang L, et al. Protein modifications by electrophilic lipoxidation products: Adduct formation, chemical strategies and tandem mass spectrometry for their detection and identification. *Mass Spectrometry Reviews*. 2014;33(3):157-182.
5. Dubinina EE. *Produkty metabolizma kisloroda v funkcional'noj aktivnosti kletok (zhizn' i smert', sozidanie i razrushenie)*. *Fiziologicheskije i kliniko-biohimicheskie aspekty*. Saint-Petersburg: Meditsinskaya Pressa; 2006. (In Russ).
6. Gubskij JuI, Belenichev IF, Levickij EL, et al. *Toksikologicheskije posledstviya okislitel'noj modifikacii belkov pri razlichnyh patologicheskijh sostoyaniyah (obzor literatury)*. *Sovremennye Problemy Toksikologii*. 2005;8(3):20-7. (In Russ).
7. Muravleva LE, Molotov-Luchansky VB, Klyuyev DA, et al. Protein oxidative modification: problems and research prospects. *Fundamental Research*. 2010;(1):74-8. (In Russ).
8. Shumaev KB. *Rol' dinitrozil'nyh kompleksov zheleza v zashchite biomolekul i kletochnyh struktur ot okislitel'nogo, nitrozativnogo i karbonilovogo stressa* [dissertation]. M.; 2010. (In Russ).
9. Ryslava H, Doubnerova V, Kavan D, et al. Effect of posttranslational modifications on enzyme func-

- tion and assembly. *Journal of Proteomics*. 2013; 92:80-109.
10. Garcia-Garcia A, Rodriguez-Rocha N, Madayiputhiya A, et al. Biomarkers of Protein Oxidation in Human Disease. *Current Molecular Medicine*. 2012; 12(6):681-97. doi:10.2174/156652412800792543
  11. Wehr NB, Levine RL. Quantification of Protein Carbonylation. *Cell Senescence. Methods and Protocols*. 2013;965:265-81.
  12. Stepovaya Ye A, Petina GV, Zhavoronok TV, et al. The functional properties and oxidative modification of plasma and neutrophil proteins in community-acquired pneumonia. *Russian Clinical Laboratory Diagnostics*. 2010;(3):18-21. (In Russ).
  13. Dubinina EE, Morozova MG, Leonova NV, et al. Oxidative modification blood plasma proteins in patients with mental disorders (depression and depersonalization). *Problems of Medical Chemistry*. 2000;46(4):398-409. (In Russ).
  14. Kuznetsov VI, Morrison VV, Lisko OB, et al. Lipids in the structure and functions of biological membranes (Review). *Saratov Journal of Medical Scientific Research*. 2014;10(2):262-6. (In Russ).
  15. McIntyre TM, Hazen SL. Lipid oxidation and cardiovascular disease: introduction to a review series. *Circulation Research*. 2010;107:1167-9.
  16. Vlăsceanu GM, Marin Ș, Țiplea RE, et al.; Grumezescu A, editor. Silver nanoparticles in cancer therapy. Chapt. 2. In: *Nanobiomaterials in cancer therapy*. Elsevier; 2016. P. 29-56.
  17. Fedotcheva TA, Olenin AYu, Starostin KM, et al. Prospects for using gold, silver, and iron oxide nanoparticles for increasing the efficacy of chemotherapy. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2015; 49(4):220-30. (In Russ).
  18. Vasileva MY, Yershov AY, Baygildin VA, et al. Synthesis of Gold Glyconanoparticles Based on the Condensation Products of D-Lactose and D-Maltose with SH-Containing Hydrazides. *Russian Journal of General Chemistry*. 2018;88(6):1025-09. (In Russ).
  19. Vasileva MY, Yershov AY, Baygildin VA, et al. Synthesis of Silver Glyconanoparticles Based on 3-Thiopropionylhydrazones of Mono- and Disaccharides. *Russian Journal of General Chemistry*. 2018;88(1):109-13. (In Russ).
  20. Fomina MA. *Sposob kompleksnoj ocenki sodержaniya produktov okislitel'noj modifikacii belkov v tkanyah i biologicheskikh zhidkostyah*. Ryazan: RIO RyazGMU; 2014. (In Russ).

#### Информация об авторах [Authors Info]

**Ершов Андрей Юрьевич** – д.х.н., Институт высокомолекулярных соединений РАН (ИВС РАН), Санкт-Петербург, Российская Федерация.  
SPIN: 2997-1043, ORCID ID: 0000-0002-2266-4380.

**Andrey Yu. Ershov** – PhD in Chemical Sciences, Institute of Macromolecular Compounds of the Russian Academy of Sciences (IVS RAS), Saint-Petersburg, Russian Federation.  
SPIN: 2997-1043, ORCID ID: 0000-0002-2266-4380.

**Копаница Мария Андреевна** – студент 5 курса фармацевтического факультета, Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова, Рязань, Российская Федерация.

SPIN: 8147-5006, ORCID ID: 0000-0001-7476-4538.

**Maria A. Kopanitsa** – V year Student of Pharmaceutical Faculty, Ryazan State Medical University, Ryazan, Russian Federation.

SPIN: 8147-5006, ORCID ID: 0000-0001-7476-4538.

**Короткова Наталья Васильевна** – к.м.н., старший преподаватель кафедры биологической химии с курсом КЛД ФДПО, Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова, Рязань, Российская Федерация.

SPIN: 3651-3813, ORCID ID: 0000-0001-7974-2450.

**Natalia V. Korotkova** – MD, PhD, Senior Lecturer of the Department of Biological Chemistry with a Course of Clinical Laboratory Diagnostics of the Faculty of Additional Professional Education, Ryazan State Medical University, Ryazan, Russian Federation.

SPIN: 3651-3813, ORCID ID: 0000-0001-7974-2450.

**Кулешова Людмила Юрьевна** – к.фарм.н., ассистент, Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова, Рязань, Российская Федерация.

SPIN: 4039-5626, ORCID ID: 0000-0002-9885-2839.

**Ludmila Yu. Kuleshova** – PhD in Pharmaceutical Sciences, Assistant, Ryazan State Medical University, Ryazan, Russian Federation.

SPIN: 4039-5626, ORCID ID: 0000-0002-9885-2839.

**Фомина Мария Алексеевна** – к.м.н., доцент, Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова, Рязань, Российская Федерация.

SPIN: 1480-4281, ORCID ID: 0000-0001-5550-0625.

**Maria A. Fomina** – MD, PhD, Associate Professor, Ryazan State Medical University, Ryazan, Russian Federation.

SPIN: 1480-4281, ORCID ID: 0000-0001-5550-0625.

**Цитировать:** Ершов А.Ю., Копаница М.А., Короткова Н.В., Кулешова Л.Ю., Фомина М.А. Антиоксидантная активность гликонаночастиц серебра на основе меркаптопропионилгидразонов моно- и дисахаридов // Наука молодых (Eruditio Juvenium). 2019. Т. 7, №2. С. 247-254. doi:10.23888/HMJ201972247-254

**To cite this article:** Ershov AYu, Kopanitsa MA, Korotkova NV, Kuleshova LYu, Fomina MA. Antioxidant activity of silver glyconanoparticles based on mercaptopropionylhydrazones of mono- and disaccharides. *Science of the young (Eruditio Juvenium)*. 2019;7(2):247-54. doi:10.23888/HMJ201972247-254

Поступила / Received: 27.01.2019  
Принята в печать / Accepted: 20.06.2019