

DOI: 10.47026/2413-4864-2023-2-114-123

УДК 577.118:549.232
ББК Е0*725.21-641.2.9:Г126.2Н.В. БУБНОВА, Н.Ю. ТИМОФЕЕВА, О.Ю. КОСТРОВА,
Г.Ю. СТРУЧКО, А.А. КОТЁЛКИНА, Е.С. САМАКИНА**БИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ СЕЛЕНА
(обзор литературы)**

Ключевые слова: селен, селенопротеины, антиоксидантный эффект, противоопухолевое действие.

Микро- и макроэлементы играют значительную роль в полноценном функционировании всех органов и систем. К важным эссенциальным микроэлементам относится селен, который имеет определяющее значение во многих физиологических процессах, включая иммунные реакции.

Цель – обобщение имеющихся данных о влиянии селена на функционирование различных органов и систем организма человека.

Материалы и методы. В данном обзоре литературы представлены данные о влиянии на организм селена, опубликованные в отечественных и зарубежных источниках литературы.

Результаты. Селен относится к эссенциальным микроэлементам, входит в состав различных белков и ферментов, которые оказывают цитопротективное, противоопухолевое, антимутагенное действие. Кроме того, селен принимает участие в работе эндокринной, репродуктивной, иммунной и антиоксидантной систем организма, хотя ранее его считали одним из самых токсичных микроэлементов. Много исследований посвящено анализу влияния селена на процессы канцерогенеза и профилактику развития опухолевых процессов различной локализации. Селенсодержащие ферменты играют одну из ведущих ролей в антиканцерогенном действии, так как принимают участие в антиоксидантной защите организма, регулируют апоптоз и пролиферацию клеток, защищают дезоксирибонуклеиновую кислоту от повреждений, влияют на метаболизм и детоксикацию канцерогенов.

Выводы. Изучение противоопухолевого эффекта селена представляет наибольший интерес в настоящее время, так как с каждым годом увеличивается число пациентов с онкопатологией.

Введение. Важные химические элементы, необходимые для обеспечения нормальной жизнедеятельности живых организмов, называются биологически значимыми элементами, которые классифицируются по различным признакам. Например, «школа В.И. Вернадского» различает макроэлементы, концентрация в организме которых составляет более 0,01%, микроэлементы – от 0,00001 до 0,01% и ультрамикроэлементы, содержание которых в организме человека менее 0,000001% [9, 10]. Согласно классификации S. Rilling выделяют четыре элемента – кислород, углерод, водород, азот и относят их к элементам – органогенам, которые составляют 96% массы человеческого тела, а также макроэлементы (4%) и микроэлементы (0,05%) [51]. Иной вариант классификации элементов строится на их физиологической роли: макроэлементы, составляющие основную массу клеток, называются структурными, а микроэлементы разделяются на эссенциальные и условно-эссенциальные. Эссенциальным считается такой химический элемент, при отсутствии которого или снижении его концентрации в организме нарушаются процессы жизнедеятельности. К важным эссенциальным микроэлементам относится селен, который имеет решающую роль во многих физиологических процессах, включая иммунные реакции [50]. В раннее проведенном нами исследовании, посвященном изучению влияния селена на иммунокомпетентные органы при введении уретана, выявлен выраженный иммуномодулирующий эффект [5, 14].

Цель – обобщение имеющихся данных о влиянии селена на функционирование различных органов и систем организма человека.

Материалы и методы. Проведен анализ литературных источников, опубликованных в базах данных Elibrary и PubMed. Все источники, соответствующие тематике, включены в данный обзор.

Результаты. Источником селена являются продукты питания, и определяемое в них количество напрямую зависит от его уровня в почве. Средний показатель содержания селена в почве равен 0,4 мг/кг [35]. Это значение не постоянно и зависит от состава почвы, уровня органических веществ и количества осадков, характерных для данной территории [60]. Вода в зависимости от месторасположения в гидросфере содержит разное количество селена. Например, морская вода содержит 4000–12000 мкг на 1 л. В быту население использует водопроводную воду, в которой уровень данного микроэлемента находится на минимальном допустимом уровне, по данным Всемирной организации здравоохранения, и равен 10 мкг/л [17, 47]. Согласно данным Института питания Российской академии медицинских наук, более 80% населения обеспечены селеном ниже оптимального уровня [13].

Известны два вида соединений селена: органические, к которым относят селенометионин и селеноцистеин, и неорганические, представленные селенитом и селенатом. В лечебных целях и для профилактики заболеваний, вызванных дефицитом этого элемента, преимущественно используются его органические формы, так как они хорошо всасываются из пищеварительного тракта. Максимальное количество селенометионина определяют в зерновых культурах, в отличие от селеноцистеина, который содержится преимущественно в продуктах животного происхождения.

При поступлении в организм 50–80% селена абсорбируется тонким кишечником, выводится преимущественно почками и толстым кишечником 60% и 35%, соответственно, а также через слюну и пот в небольшом количестве [4, 29, 49]. Проведенные ранее исследования показывают, что содержание селена в организме значительно снижено у лиц, употребляющих кофе в большом объеме, алкоголь, а также злоупотребляющие курением. Изменение пищевого поведения с преобладанием в рационе питания яиц и риса также связывают с недостатком селена в организме [52].

По данным Всемирной организации здравоохранения, 50–55 мкг селена в сутки считается нормой потребления. Угрозу для здоровья человека представляют как избыток, так и недостаток данного микроэлемента. При употреблении менее 40 мкг селена в сутки развиваются симптомы, характерные для его недостаточности, а при десятикратном увеличении этого значения определяются признаки его передозировки [48, 55, 65]. Болезнь Кашина–Бека, протекающая с признаками остеоартроза с множественной деформацией суставов, позвоночника и конечностей, болезнь Кешана, характеризующаяся сердечной недостаточностью вследствие кардиомиопатии, атрофией, дегенерацией и некрозом суставных хрящей, лихорадкой, наследственная тромбастения – это проявления тяжелого дефицита селена [1, 59]. При незначительном дефиците данного элемента появляются метаболические, гормональные, иммунные и когнитивные нарушения. По данным литературы, при снижении уровня селена является высокая опасность развития заболеваний сердечно-сосудистой системы, которая снижается при нормализации его уровня [7]. При передозировке селена появляются тошнота, рвота, боли в животе, диарея, выпадение

волос, хрупкость ногтей, периферическая нейропатия, запах чеснока в выделяемом поте и выдыхаемом воздухе. Все эти проявления характерны для селеноза, который свойствен регионам с высоким содержанием селена в почве [1]. Прием биологически активных добавок с высоким содержанием данного микроэлемента может также привести к развитию симптомов селеноза [45].

Селен входит в состав более чем 30 биологически активных соединений и является их неотъемлемой составляющей. Он входит в активные центры ферментов, участвующих в антиоксидантной защите, обмене нуклеиновых кислот, липидов и гормонов [41, 63]. Суммарный показатель уровня селена в теле человека равен 10–14 мг, из которых 3,5–6,5 мг входят в состав обменного пула – селенита, селеноводорода и его производных [19, 38, 39]. Известно, что селен входит в состав более 100 белков [24].

Селеноцистеин играет важную роль в человеческом организме, участвуя в комплексе окислительно-восстановительных реакций, поддержании состава клеточных мембран при злокачественном перерождении определенных видов опухолей [25]. Выделяют несколько типов селенопротеинов, выполняющих различные функции. За доставку селена к тканям и антиоксидантную защиту отвечает селенопротеин-P, он является также маркером для определения уровня селена в организме. Другой тип селенопротеина, регулирующий внутриклеточное равновесие, называют селенопротеин-S. Селенопротеин-H участвует в редокс-зависимой регуляции транскрипции генов глутатиона и отвечает за функцию детоксикации. Антиоксидантную функцию в кардиомиоцитах выполняет селенопротеин-K. Окислительно-восстановительные реакции протекают при участии селенопротеина-W. В исследованиях было доказано защитное действие селена при попадании в организм солей тяжелых металлов и мышьяка [18]. Также было выявлено противоопухолевое и антимуtagenное действие селена по отношению к некоторым органическим веществам и металлам (кадмий, ртуть, свинец) [15, 57].

Немаловажное значение принадлежит селену в работе следующих ферментов: глутатионпероксидазы, йодтирониндейодиназы и тиоредоксинредуктазы [20, 34, 61]. При низком содержании селена уменьшается активность глутатионпероксидазы 1 снижается ее концентрация в сыворотке крови, что можно использовать для оценки насыщения организма селеном. При дефиците глутатионпероксидазы снижается уровень защиты к окислительному стрессу. От активности глутатионпероксидазы и тиоредоксина зависит синтез других природных ферментов, например, супероксиддисмутазы, и при дефиците данного микроэлемента происходит снижение антиоксидантной защиты [26]. Селен является составным элементом йодтирониндейодиназы, которая играет роль в синтезе трийодтиронина, что подтверждает связь между уровнем селена в организме и метаболизмом гормонов щитовидной железы [16]. Сравнительно недавно были определены изоформы селенсодержащей тиоредоксинредуктазы. Основная их роль состоит в регуляции окислительно-восстановительных реакций сульфгидрильных групп в тиоредоксине, который, в свою очередь, участвует в регуляции гомеостаза. Увеличение уровня тиоредоксинредуктазы в тканях и сыворотке крови коррелирует с повышением образования активных метаболитов кислорода, что может свидетельствовать об усилении в тканях процессов окислительного стресса. В регуляции постоянства внутренней среды организма играет немаловажную роль тиоредоксинредуктаза 1 путем регуляции транскрипции опухолевого супрессора p53, активирующего протеин-1, что свидетельствует о возможном механизме антиканцерогенного

действия селена [33]. Существует мнение, что все лечебные эффекты, оказываемые селеном, зависят именно от активности тиоредоксинредуктазы. Метильные группы защищают дезоксирибонуклеиновую кислоту (ДНК) от воздействия канцерогенов, но при дефиците селена эта функция снижается, что увеличивает риск развития повреждений и мутаций [30]. Белок p53 является хранителем генома, и его функция снижается у онкобольных. Основная функция белка p53 – восстановление ДНК, известно, что он также участвует в апоптозе [11]. Активация p53 и репарация ДНК зависят от содержания в организме тиоредоксинредуктазы [28].

Ферменты, содержащие в своем составе селен, обладают антиканцерогенным действием за счет подавления экспрессии онкогенов, ингибирования активности протеинкиназы С, торможения процессов ангиогенеза, повышения активности противоопухолевых клонов естественных киллеров, стимуляции продукции интерлейкина-1 и интерлейкина-2 [8, 12, 21, 27, 44, 54, 56, 58, 66]. В экспериментах *in vitro* было доказано, что для осуществления противоопухолевого эффекта необходимая минимальная доза селена должна составлять не менее 5 мкмоль (394 мкг/л) [23, 31]. Прием метилселеноцистеина у пациентов с раком легких защищает клетки непораженных органов и тканей на фоне химиотерапии [46].

Известно, что при раке предстательной железы, печени, поджелудочной железы, толстого кишечника, легких прием селена способствует значительному снижению роста опухоли [2, 3, 40, 43, 53, 62, 64].

Селен влияет на репродуктивную функцию организма как женщин, так и мужчин, принимает участие в имплантации эмбриона, развитии плаценты, повышении фертильности посредством увеличения подвижности сперматозоидов, синтеза тестостерона и спермы [47].

Высокая биологическая активность органических форм селена, их уникальная антиоксидантная активность, способность защиты от онкологических, кардиологических и нейрогенных заболеваний (болезнь Альцгеймера, болезнь Паркинсона), увеличение продолжительности жизни выявлены в различных исследованиях [6, 22, 32, 36, 37, 42, 67].

Выводы. Таким образом, селен для человека является незаменимым микроэлементом, оказывающим влияние на многие физиологические процессы, принимающим участие в профилактике развития широкого спектра заболеваний. Выраженный противораковый эффект селена представляет наибольший интерес в настоящее время, поскольку новообразования занимают второе место в структуре причин смерти в России.

Литература

1. Бельмер С.В. Некоторые физиологические и клинические аспекты дефицита микроэлементов цинка и селена у детей // Вопросы детской диетологии. 2006. № 5(4). С. 22–24.
2. Беспалов В.Г., Панченко А.В., Муразов Я.Г., Челпик О.Ф. Влияние селенита натрия на канцерогенез предстательной железы и других органов, индуцированных метилнитрозомочевинной и тестостероном у крыс // Вопросы онкологии. 2011. № 4(57). С. 486–492.
3. Болшева Л.З. Влияние каскадоло и селена на возникновение и развитие опухолей молочной железы, индуцированных у крыс *p*-метил-*n*-нитрозомочевинной // Патологическая физиология и экспериментальная терапия. 2009. № 2. С. 31–36.
4. Варламова Е.Г., Мальцева В.Н. Уникальность природы микроэлемента селена и его ключевые функции // Биофизика. 2019. № 4. С. 646–660.
5. Влияние селена на показатели периферической крови крыс / Н.Ю. Тимофеева, О.Ю. Кострова, Г.Ю. Стручко и др. // Медицинская наука и практика: междисциплинарный диалог: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 55-летию Чуваш. гос. ун-та имени И.Н. Ульянова (Чебоксары, 8–9 апреля 2022 г.). Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2022. С. 70–73.
6. Гусейнов Т.М., Яхьяева Ф.Р. Селен и старение, роль селена в геронтологических процессах // Биомедицина. 2015. № 4. С. 3–7.

7. Жестяников А. Л. Дисбаланс некоторых макро- и микроэлементов как фактор риска заболеваний сердечно-сосудистой системы на севере // Экология человека. 2005. № 9. С. 19–25.
8. Иммунофармакология микроэлементов / А.В. Кудрин, А.В. Скальный, А.А. Жаворонков и др. М.: Изд-во КМК, 2000. 537 с.
9. Канжигалина З.К., Касенова Р.К., Орадова А.Ш. Биологическая роль и значение микроэлементов в жизнедеятельности человека // Вестник КазНМУ. 2013. № 5(2). С. 88–91.
10. Москалев Ю.И. Минеральный обмен. М.: Медицина, 1985. 288 с.
11. Москвичев Е.В., Меркулова Л.М., Стручко Г.Ю. Иммуногистохимическая характеристика апоптоза и клеточной пролиферации в тимусе при экспериментальной опухоли толстой кишки // Иммунология. 2012. № 6(33). С. 303–305.
12. Обухова О.А., Курмуков И.А. Селен в онкологии // Онкогинекология. 2019. № 1(29). С. 66–72.
13. Полубояринов П.А., Елистратов Д.Г., Швец В.И. Метаболизм и механизм токсичности селеносодержащих препаратов, используемых для коррекции дефицита микроэлемента селена // Тонкие химические технологии. 2019. № 1(14). С. 5–24.
14. Реакция тучных клеток тимуса при канцерогенезе на фоне питьевого приема селена / Н.В. Бубнова, О.Ю. Кострова, Г.Ю. Стручко и др. // Медицинская наука и практика: междисциплинарный диалог: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 55-летию Чуваш. гос. ун-та имени И.Н. Ульянова (Чебоксары, 8–9 апреля 2022 г.). Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2022. С. 217–220.
15. Русецкая Н.Ю., Бородулин В.Б. Биологическая активность селеноорганических соединений при интоксикации солями тяжелых металлов // Биомедицинская химия. 2015. № 4(61). С. 449–461.
16. Трошина Е.А., Тянушкина Е.С., Терехова М.А. Роль селена в патогенезе заболеваний щитовидной железы // Клиническая и экспериментальная тиреоидология. 2018. № 4(14). С. 192–205.
17. Шестакова Т.П. Использование селена в медицинской практике // Русский медицинский журнал. 2017. № 22(25). С. 1654–1659.
18. Andersen O., Nielsen J.B. Effect of simultaneous low level dietary supplementation with inorganic selenium in whole-body, blood and organ levels of toxic metals in mice. *Environ. Health Perspect*, 1994, vol. 102, pp. 321–324. DOI: 10.1289/ehp.94102s3321.
19. Avery J.C., Hoffmann P.R. Selenium, Selenoproteins, and Immunity. *Nutrients*, 2018, vol. 10(9), pp. 1203–1223. DOI: 10.3390/nu10091203-1223.
20. Barchielli G., Capperucci A., Tanini D. The Role of Selenium in Pathologies: An Updated Review. *Antioxidants (Basel)*, 2022, vol. 11(2), pp. 251–290. DOI: 10.3390/antiox11020251.
21. Bjorklund G., Aaseth J., Pivina L.M. The role of selenium in cancer prevention. *Science & Healthcare*, 2018, vol. 20, pp. 16–22.
22. Bjorklund G., Shanaida M., Lysiuk R. et al. Selenium: An Antioxidant with a Critical Role in Anti-Aging. *Molecules*, 2022, vol. 27(19), pp. 6613–6623. DOI: 10.3390/molecules27196613.
23. Borella P., Bargellini A., Soffrini V. Selenium interaction with human immune cell functions. In: Coltery Ph., Bratter P., Negretti de Bratter V. et al., eds. *Metal Ions in Biology and Medicine*. Paris, John Libbey Eurotext, 1998, no. 5, pp. 429–434.
24. Burk R.F., Hill K.E. Regulation of selenoproteins. *Annu. Rev. Nutr.*, 1993, vol. 13, pp. 65–81. DOI: 10.1146/annurev.nu.13.070193.000433.
25. Combs G.F.Jr. Impact of selenium and cancerprevention findings on the nutrition-health paradigm. *Nutr. Cancer*, 2001, vol. 40, pp. 6–11. DOI: 10.1207/S15327914NC401_4.
26. Das K.C., Lewis-Molock Y., White C.W. Elevation of manganese superoxide dismutase gene expression by thioredoxin. *Am J Respir Cell Mol Biol.*, 1997, vol. 17(6), pp. 713–726. DOI: 10.1165/ajrcmb.17.6.2809.
27. Davis C.D., Irons R. Are selenoproteins important for the cancer protective effects of selenium? *Curr. Nutr. Food Sci.*, 2005, vol. 1, pp. 201–214. DOI: 10.2174/157340105774574857.
28. Diwadkar-Navsariwala V., Diamond A.M. The link between selenium and chemoprevention: a case for selenoproteins. *J. Nutr.*, 2004, vol. 134, pp. 2899–2902. DOI: 10.1093/jn/134.11.2899.
29. Duntas L.H., Benvenga S. Selenium: an element for life. *Endocrine*, 2015, vol. 48(93), pp. 756–775. DOI: 10.1007/s12020-014-0477-6.
30. El-Bayoumy K. The protective role of selenium on genetic damage and on cancer. *Mutat. Res.*, 2001, vol. 475, pp. 123–139. DOI: 10.1016/s0027-5107(01)00075-6.
31. Ehudin M.A., Golla U., Trivedi D. et al. Therapeutic Benefits of Selenium in Hematological Malignancies. *Int J Mol Sci.*, 2022, vol. 23(14), pp. 7972–8000. DOI: 10.3390/ijms23147972.
32. Fairweather-Tait S.J., Bao Y., Broadley M.R. et al. Selenium in human health and disease. *Antioxid Redox Signal*, 2011, vol. 14(7), pp. 1337–1383. DOI: 10.1089/ars.2010.3275.
33. Gius D., Botero A., Shan S., Curry H.A. Intracellular oxidation/reduction status in the regulation of transcription factors NF-kappaB and AP-1. *Toxicol. Lett.*, 1999, vol. 106, pp. 93–106. DOI: 10.1016/s0378-4274(99)00024-7.
34. Gupta M., Gupta S. An Overview of Selenium Uptake, Metabolism, and Toxicity in Plants. *Front Plant Sci.*, 2017, vol. 11(7), pp. 2074–2086. DOI: 10.3389/fpls.2016.02074.
35. Hartikainen H. Biogeochemistry of selenium and its impact on food chain quality and human health. *J Trace Elem Med Biol.*, 2005, vol. 18(4), pp. 309–318. DOI: 10.1016/j.jtemb.2005.02.009.
36. Hatfield D.L., Berry M.J., Gladyshev V.N. Selenium: its molecular biology and role in human health. New York Springer, 2006, 419 p.

37. Hori E., Yoshida S., Fuchigami T. et al. Cardiac myoglobin participates in the metabolic pathway of selenium in rats. *Metallomics*, 2018, vol. 10(4), pp. 614–622. DOI: 10.1039/c8mt00011e.
38. Huang J., Xie L., Song A., Zhang C. Selenium Status and Its Antioxidant Role in Metabolic Diseases. *Oxid Med Cell Longev.*, 2022, vol. 2022, pp. 7009863–7009878. DOI: 10.1155/2022/7009863.
39. Janghorbani M., Martin R.F., Kasper L.J. et al. The selenite-exchangeable metabolic pool in humans: a new concept for the assessment of selenium status. *Am J Clin Nutr.*, 1990, vol. 51(4), pp. 670–677. DOI: 10.1093/ajcn/51.4.670.
40. Jia Y., Dai J., Zeng Z. Potential relationship between the selenoproteome and cancer. *Mol Clin Oncol.*, 2020, vol. 13(6), pp. 83–94. DOI: 10.3892/mco.2020.2153.
41. Kieliszek M., Bano I. Selenium as an important factor in various disease states – a review. *EXCLI J.*, 2022, vol. 5(21), pp. 948–966. DOI: 10.17179/excli2022-5137.
42. Leiter O., Zhuo Z., Rust R. et al. Selenium mediates exercise-induced adult neurogenesis and reverses learning deficits induced by hippocampal injury and aging. *Cell Metab.*, 2022, vol. 34(3), pp. 408–423. DOI: 10.1016/j.cmet.2022.01.005.
43. Lin Y., He F., Lian S. et al. Selenium Status in Patients with Chronic Liver Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients*, 2022, vol. 14(5), pp. 952–970. DOI: 10.3390/nu14050952.
44. Ma C., Hoffmann P.R. Selenoproteins as regulators of T cell proliferation, differentiation, and metabolism. *Semin Cell Dev Biol.*, 2021, vol. 115, pp. 54–61. DOI: 10.1016/j.semcdb.2020.11.006.
45. MacFarquhar J.K., Broussard D.L., Melstrom P. et al. Acute selenium toxicity associated with a dietary supplement. *Arch Intern Med.*, 2010, vol. 170(3), pp. 256–261. DOI: 10.1001/archintermed.2009.495.
46. Ma J., Huang J., Sun J. et al. L-Se-methylselenocysteine sensitizes lung carcinoma to chemotherapy. *Cell Prolif.*, 2021, vol. 54(5), pp. 13038–13046. DOI: 10.1111/cpr.13038.
47. Mehdi Y., Hornick J.L., Istasse L., Dufresne I. Selenium in the environment, metabolism and involvement in body functions. *Molecules*, 2013, vol. 18(3), pp. 3292–3311. DOI: 10.3390/molecules18033292.
48. Minich W.B. Selenium Metabolism and Biosynthesis of Selenoproteins in the Human Body. *Bi-chemistry (Moscow)*, 2022, vol. 87(Suppl 1), pp. S168–S102. DOI: 10.1134/S0006297922140139.
49. Morán-Serradilla C., Angulo-Elizari E., Henriquez-Figueroa A. et al. Seleno-Metabolites and Their Precursors: A New Dawn for Several Illnesses? *Metabolites*, 2022, vol. 12(9), pp. 874–892. DOI: 10.3390/metabo12090874.
50. Nessel T.A., Gupta V. Selenium. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2022. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32491483>.
51. Wada O. What are Trace Elements? Their deficiency and excess states. *J. of the Japan Medical Association*, 2003, vol. 129(5), pp. 607–612.
52. Park K., Rimm E., Siscovick D. et al. Demographic and lifestyle factors and selenium levels in men and women in the U.S. *Nutr Res Pract.*, 2011, vol. 5(4), pp. 357–364. DOI: 10.4162/nrp.2011.5.4.357.
53. Peters K.M., Carlson B.A., Gladyshev V.N., Tsuji P.A. Selenoproteins in colon cancer. *Free Radic Biol Med.*, 2018, vol. 127, pp. 14–25. DOI: 10.1016/j.freeradbiomed.2018.05.075.
54. Rataan A.O., Geary S.M., Zakharia Y. et al. Potential Role of Selenium in the Treatment of Cancer and Viral Infections. *Int J Mol Sci.*, 2022, vol. 23(4), pp. 2215–2218. DOI: 10.3390/ijms23042215.
55. Rayman M.P. Selenium intake, status, and health: a complex relationship. *Hormones (Athens)*, 2020, vol. 19(1), pp. 9–14. DOI: 10.1007/s42000-019-00125-5.
56. Schrauzer G.N. Anticarcinogenic effects of selenium. *Cell Mol Life Sci.*, 2000, vol. 57(13-14), pp. 1864–1873. DOI: 10.1007/PL00000668.
57. Selamoglu Z. Selenium compounds for fish health: An update. *J. Survey in Fisheries Sci.*, 2018, vol. 4(2), pp. 1–4. DOI: 10.18331/SFS2018.4.2.1.
58. Seo Y.R., Kelley M.R., Smith M.L. Selenomethionine regulation of p53 by a ref1-dependent redox mechanism. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2002, vol. 99(22), pp. 14548–53. DOI: 10.1073/pnas.212319799.
59. Shreenath A.P., Ameer M.A., Dooley J. Selenium Deficiency. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2022. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK482260>.
60. Sors T.G., Ellis D.R., Na G.N. Et al. Analysis of sulfur and selenium assimilation in Astragalus plants with varying capacities to accumulate selenium. *Plant J.*, 2005, vol. 42(6), pp. 785–797. DOI: 10.1111/j.1365-3113X.2005.02413.x.
61. Sun Q.A., Wu Y., Zappacosta F. et al. Redox regulation of cell signaling by selenocysteine in mammalian thioredoxin reductases. *J Biol Chem.*, 1999, vol. 274(35), pp. 24522–24530. DOI: 10.1074/jbc.274.35.24522.
62. Tian J., Wei X., Zhang W., Xu A. Effects of Selenium Nanoparticles Combined with Radiotherapy on Lung Cancer Cells. *Front Bioeng Biotechnol.*, 2020, vol. 8, pp. 598997. DOI: 10.3389/fbioe.2020.598997.
63. Tsuji P.A., Santesmasses D., Lee B.J. et al. Historical Roles of Selenium and Selenoproteins in Health and Development: The Good, the Bad and the Ugly. *Int J Mol Sci.*, 2021, vol. 23(1), pp. 5–25. DOI: 10.3390/ijms23010005.
64. Wang H., Hsia S., Wu T.H., Wu C.J. Fish Oil, Se Yeast, and Micronutrient-Enriched Nutrition as Adjuvant Treatment during Target Therapy in a Murine Model of Lung Cancer. *Mar Drugs*, 2021, vol. 19(5), pp. 262–275. DOI: 10.3390/md19050262.
65. Winkel L.H., Johnson C.A., Lenz M. et al. Environmental selenium research: from microscopic processes to global understanding. *Environ Sci Technol.*, 2012, vol. 46(2), pp. 571–580. DOI: 10.1021/es203434d.

66. Wu W., Li D., Feng X. et al. A pan-cancer study of selenoprotein genes as promising targets for cancer therapy. *BMC Med Genomics*, 2021, vol. 14(1), pp. 78–92. DOI: 10.1186/s12920-021-00930-1.

67. Zhao M., Hou Y., Fu X. et al. Selenocystine inhibits JEG-3 cell growth in vitro and in vivo by triggering oxidative damage-mediated S-phase arrest and apoptosis. *J. Cancer Res Ther.*, 2018, vol. 14(7), pp. 1540–1548. DOI: 10.4103/jcrt.JCRT_864_17.

БУБНОВА НАТАЛЬЯ ВЛАДИМИРОВНА – старший преподаватель кафедры инструментальной диагностики с курсом фтизиатрии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (natalia210485@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2505-0827>).

ТИМОФЕЕВА НАТАЛЬЯ ЮРЬЕВНА – старший преподаватель кафедры инструментальной диагностики с курсом фтизиатрии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (bla11blabla@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7596-0132>).

КОСТРОВА ОЛЬГА ЮРЬЕВНА – кандидат медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой инструментальной диагностики с курсом фтизиатрии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (evkbiz@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7057-9834>).

СТРУЧКО ГЛЕБ ЮРЬЕВИЧ – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой нормальной и топографической анатомии с оперативной хирургией, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (glebstr@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0549-5116>).

КОТЁЛКИНА АНАСТАСИЯ АНДРЕЕВНА – кандидат медицинских наук, доцент кафедры нормальной и топографической анатомии с оперативной хирургией, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (ds6426@chebnet.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5366-5135>).

САМАКИНА ЕКАТЕРИНА СТАНИСЛАВОВНА – ассистент кафедры инструментальной диагностики с курсом фтизиатрии, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (ekaterina1996.96@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9515-0639>).

Natalia V. BUBNOVA, Natalia Yu. TIMOFEEVA, Olga Yu. KOSTROVA, Gleb Yu. STRUCHKO, Anastasiia A. KOTELKINA, Ekaterina S. SAMAKINA

THE BIOLOGICAL ROLE OF SELENIUM (literature review)

Key words: *selenium, selenoproteins, antioxidant effect, antitumor effect.*

Micro- and macroelements play a significant role in the unimpaired functioning of all organs and systems. Important essential trace elements include selenium, which plays a crucial role in many physiological processes, including immune responses.

The purpose is to generalize available data on the effect of selenium on the functioning of various organs and systems of the human body.

Materials and methods. *This literature review presents data on the effect of selenium on the body, published in domestic and foreign literature sources.*

Results. *Selenium belongs to essential trace elements; it is a part of various proteins and enzymes that have cytoprotective, antitumor, antimutagenic effects. In addition, selenium participates in the functioning of the body's endocrine, reproductive, immune and antioxidant systems, although it was previously considered one of the most toxic trace elements. Many studies have been devoted to the analysis of selenium's effect on the processes of carcinogenesis and prevention of the development of tumor processes of various localization. Selenium-containing enzymes play one of the leading roles in anti-carcinogenic action, as they take part in the antioxidant defense of the body, regulate apoptosis and cell proliferation, protect desoxyribonucleic acid from damage, affect the metabolism and detoxification of carcinogens.*

Conclusions. *The study of selenium's antitumor effect is of the greatest interest at present, since the number of patients with oncopathology is increasing every year.*

References

1. Bel'mer S.V. *Nekotorye fiziologicheskie i klinicheskie aspekty defitsita mikroelementov tsinka i selena u detei* [Some physiological and clinical aspects of zinc and selenium micronutrient deficiency in children]. *Voprosy detskoj dietologii*, 2006, no. 5(4), pp. 22–24.

2. Bepalov V.G., Panchenko A.V., Murazov Ya.G., Chepik O.F. *Vliyanie selenita natriya na kancerogenez predstate'noi zhelezy i drugikh organov, indutsirovannykh metilnitrozomochevinoi i testosteronom*

u kryz [The effect of sodium selenite on the carcinogenesis of the prostate gland and other organs induced by methyl nitrosourea and testosterone in rats]. *Voprosy onkologii*, 2011, no. 4(57), pp. 486–492.

3. Bolieva L.Z. *Vliyaniye kaskatola i selena na vozniknoveniye i razvitiye opukholei molochnoi zhelezy, indutsirovannykh u kryz n-metil-n-nitrozomochevinoi* [The effect of cascatal and selenium on the occurrence and development of breast tumors induced in rats by n-methyl-n-nitrosourea]. *Patologicheskaya fiziologiya i eksperimental'naya terapiya*, 2009, no. 2, pp. 31–36.

4. Varlamova E.G., Mal'tseva V.N. *Unikal'nost' prirody mikroelementa selena i ego klyucheveye funktsii* [The uniqueness of the nature of the trace element selenium and its key functions]. *Biofizika*, 2019, no. 4, pp. 646–660.

5. Timofeeva N.Yu., Kostrova O.Yu., Struchko G.Yu. et al. *Vliyaniye selena na pokazateli perifericheskoi krovi kryz* [The effect of selenium on the peripheral blood parameters of rats]. In: *Meditsinskaya nauka i praktika: mezhdistsiplinarny dialog: sb. st. Mezhdunar. nauch-prakt. konf., posvyashch. 55-letiyu Chuvash. gos. un-ta imeni I.N. Ul'yanova* [Proc. of Russ. Sci. Conf. «Medical science and practice: interdisciplinary dialogue»]. Cheboksary, Chuvash State University Publ., 2022, pp. 70–73.

6. Guseinov T.M., Yakh'yaeva F.R. *Selen i starenie, rol' selena v gerontologicheskikh protsessakh* [Selenium and aging, the role of selenium in gerontological processes]. *Biomeditsina*, 2015, no. 4, pp. 3–7.

7. Zhestyanikov A. L. *Disbalans nekotorykh makro- i mikroelementov kak faktor riska zabolevaniy serdechno-sosudistoi sistemy na severe* [Imbalance of some macro- and microelements as a risk factor for diseases of the cardiovascular system in the North]. *Ekologiya cheloveka*, 2005, no. 9, pp. 19–25.

8. Kudrin A.V., Skal'nyi A.V., Zhavoronkov A.A. et al. *Immunofarmakologiya mikroelementov* [Immunopharmacology of trace elements]. Moscow, KMK Publ., 2000, 537 p.

9. Kanzhigalina Z.K., Kasenova R.K., Oradova A.Sh. *Biologicheskaya rol' i znachenie mikroelementov v zhiznedeyatel'nosti cheloveka* [Biological role and importance of trace elements in human life]. *Vestnik KazNMU*, 2013, no. 5(2), pp. 88–91.

10. Moskalev Yu.I. *Mineral'nyi obmen* [Mineral exchange]. Moscow, Meditsina Publ., 1985, 288 p.

11. Moskvichev E.V., Merkulova L.M., Struchko G.Yu. *Immunogistokhimicheskaya kharakteristika apoptoza i kletochnoi proliferatsii v timuse pri eksperimental'noi opukholi tolstoii kishki* [Immunohistochemical characteristics of apoptosis and cell proliferation in the thymus in experimental colon tumor]. *Immunologiya*, 2012, no. 6(33), pp. 303–305.

12. Obukhova O.A., Kurmukov I.A. *Selen v onkologii* [Selenium in oncology]. *Onkoginekologiya*, 2019, no. 1(29), pp. 66–72.

13. Poluboyarinov P.A., Elistratov D.G., Shvets V.I. *Metabolizm i mekhanizm toksichnosti selenosoderzhashchikh preparatov, ispol'zuemykh dlya korrektsii defitsita mikroelementa selena* [Metabolism and mechanism of toxicity of selenium-containing drugs used to correct the deficiency of the trace element selenium]. *Tonkie khimicheskie tekhnologii*, 2019, no. 1(14), pp. 5–24.

14. Bubnova N.V., Kostrova O.Yu., Struchko G.Yu. et al. *Reaktsiya tuchnykh kletok timusa pri kantserogeneze na fone pit'evogo priema selena* [Reaction of thymus mast cells during carcinogenesis against the background of drinking selenium]. In: *Meditsinskaya nauka i praktika: mezhdistsiplinarny dialog: sb. st. Mezhdunar. nauch-prakt. konf., posvyashch. 55-letiyu Chu-vash. gos. un-ta imeni I.N. Ul'yanova*. [Proc. of Russ. Sci. Conf. «Medical science and practice: interdisciplinary dialogue»]. Cheboksary, Chuvash State University Publ., 2022, pp. 217–220.

15. Rusetskaya N.Yu., Borodulin V.B. *Biologicheskaya aktivnost' selenoorganicheskikh soedinenii pri intoksikatsii solyami tyazhelykh metallov* [Biological activity of selenium-organic compounds during intoxication with heavy metal salts]. *Biomeditsinskaya khimiya*, 2015, no. 4(61), pp. 449–461.

16. Troshina E.A., Senyushkina E.S., Terekhova M.A. *Rol' selena v patogeneze zabolevaniy shchitovidnoi zhelezy* [The role of selenium in the pathogenesis of thyroid diseases]. *Klinicheskaya i eksperimental'naya tireoidologiya*, 2018, no. 4(14), pp. 192–205.

17. Shestakova T.P. *Ispol'zovanie selena v meditsinskoj praktike* [The use of selenium in medical practice]. *Russkii meditsinskii zhurnal*, 2017, no. 22(25), pp. 1654–1659.

18. Andersen O., Nielsen J.B. Effect of simultaneous low level dietary supplementation with inorganic selenium in whole-body, blood and organ levels of toxic metals in mice. *Environ. Health Perspect*, 1994, vol. 102, pp. 321–324. DOI: 10.1289/ehp.941102s3321.

19. Avery J.C., Hoffmann P.R. Selenium, Selenoproteins, and Immunity. *Nutrients*, 2018, vol. 10(9), pp. 1203–1223. DOI: 10.3390/nu10091203-1223.

20. Barchielli G., Capperucci A., Tanini D. The Role of Selenium in Pathologies: An Updated Review. *Antioxidants (Basel)*, 2022, vol. 11(2), pp. 251–290. DOI: 10.3390/antiox11020251.

21. Bjorklund G., Aaseth J., Pivina L.M. The role of selenium in cancer prevention. *Science & Healthcare*, 2018, vol. 20, pp. 16–22.

22. Bjorklund G., Shanaida M., Lysiuk R. et al. Selenium: An Antioxidant with a Critical Role in Anti-Aging. *Molecules*, 2022, vol. 27(19), pp. 6613–6623. DOI: 10.3390/molecules27196613.

23. Borella P., Bargellini A., Solfrini V. Selenium interaction with human immune cell functions. In: *Collery Ph., Bratter P., Negretti de Bratter V. et al., eds. Metal Ions in Biology and Medicine*. Paris, John Libbey Eurotext, 1998, no. 5, pp. 429–434.

24. Burk R.F., Hill K.E. Regulation of selenoproteins. *Annu. Rev. Nutr.*, 1993, vol. 13, pp. 65–81. DOI: 10.1146/annurev.nu.13.070193.000433.

25. Combs G.F.Jr. Impact of selenium and cancerprevention findings on the nutrition-health paradigm. *Nutr. Cancer*, 2001, vol. 40, pp. 6–11. DOI: 10.1207/S15327914NC401_4.
26. Das K.C., Lewis-Molock Y., White C.W. Elevation of manganese superoxide dismutase gene expression by thioredoxin. *Am J Respir Cell Mol Biol.*, 1997, vol. 17(6), pp. 713–726. DOI: 10.1165/ajrcmb.17.6.2809.
27. Davis C.D., Irons R. Are selenoproteins important for the cancer protective effects of selenium? *Curr. Nutr. Food Sci*, 2005, vol. 1, pp. 201–214. DOI: 10.2174/157340105774574857.
28. Diwadkar-Navsariwala V., Diamond A.M. The link between selenium and chemoprevention: a case for selenoproteins. *J. Nutr.*, 2004, vol. 134, pp. 2899–2902. DOI: 10.1093/jn/134.11.2899.
29. Duntas L.H., Benvenga S. Selenium: an element for life. *Endocrine*, 2015, vol. 48(93), pp. 756–775. DOI: 10.1007/s12020-014-0477-6.
30. El-Bayoumy K. The protective role of selenium on genetic damage and on cancer. *Mutat. Res.*, 2001, vol. 475, pp. 123–139. DOI: 10.1016/s0027-5107(01)00075-6.
31. Ehudin M.A., Golla U., Trivedi D. et al. Therapeutic Benefits of Selenium in Hematological Malignancies. *Int J Mol Sci.*, 2022, vol. 23(14), pp. 7972–8000. DOI: 10.3390/ijms23147972.
32. Fairweather-Tait S.J., Bao Y., Broadley M.R. et al. Selenium in human health and disease. *Antioxid Redox Signal*, 2011, vol. 14(7), pp. 1337–1383. DOI: 10.1089/ars.2010.3275.
33. Gius D., Botero A., Shan S., Curry H.A. Intracellular oxidation/reduction status in the regulation of transcription factors NF-kappaB and AP-1. *Toxicol. Lett.*, 1999, vol. 106, pp. 93–106. DOI: 10.1016/s0378-4274(99)00024-7.
34. Gupta M., Gupta S. An Overview of Selenium Uptake, Metabolism, and Toxicity in Plants. *Front Plant Sci.*, 2017, vol. 11(7), pp. 2074–2086. DOI: 10.3389/fpls.2016.02074.
35. Hartikainen H. Biogeochemistry of selenium and its impact on food chain quality and human health. *J Trace Elem Med Biol.*, 2005, vol. 18(4), pp. 309–318. DOI: 10.1016/j.jtemb.2005.02.009.
36. Hatfield D.L., Berry M.J., Gladyshev V.N. Selenium: its molecular biology and role in human health. New York Springer, 2006, 419 p.
37. Hori E., Yoshida S., Fuchigami T. et al. Cardiac myoglobin participates in the metabolic pathway of selenium in rats. *Metallomics*, 2018, vol. 10(4), pp. 614–622. DOI: 10.1039/c8mt00011e.
38. Huang J., Xie L., Song A., Zhang C. Selenium Status and Its Antioxidant Role in Metabolic Diseases. *Oxid Med Cell Longev.*, 2022, vol. 2022, pp. 7009863–7009878. DOI: 10.1155/2022/7009863.
39. Janghorbani M., Martin R.F., Kasper L.J. et al. The selenite-exchangeable metabolic pool in humans: a new concept for the assessment of selenium status. *Am J Clin Nutr.*, 1990, vol. 51(4), pp. 670–677. DOI: 10.1093/ajcn/51.4.670.
40. Jia Y., Dai J., Zeng Z. Potential relationship between the selenoproteome and cancer. *Mol Clin Oncol.*, 2020, vol. 13(6), pp. 83–94. DOI: 10.3892/mco.2020.2153.
41. Kieliszek M., Bano I. Selenium as an important factor in various disease states – a review. *EXCLI J.*, 2022, vol. 5(21), pp. 948–966. DOI: 10.17179/excli2022-5137.
42. Leiter O., Zhuo Z., Rust R. et al. Selenium mediates exercise-induced adult neurogenesis and reverses learning deficits induced by hippocampal injury and aging. *Cell Metab.*, 2022, vol. 34(3), pp. 408–423. DOI: 10.1016/j.cmet.2022.01.005.
43. Lin Y., He F., Lian S. et al. Selenium Status in Patients with Chronic Liver Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients*, 2022, vol. 14(5), pp. 952–970. DOI: 10.3390/nu14050952.
44. Ma C., Hoffmann P.R. Selenoproteins as regulators of T cell proliferation, differentiation, and metabolism. *Semin Cell Dev Biol.*, 2021, vol. 115, pp. 54–61. DOI: 10.1016/j.semcdb.2020.11.006.
45. MacFarquhar J.K., Broussard D.L., Melstrom P. et al. Acute selenium toxicity associated with a dietary supplement. *Arch Intern Med.*, 2010, vol. 170(3), pp. 256–261. DOI: 10.1001/archinternmed.2009.495.
46. Ma J., Huang J., Sun J. et al. L-Se-methylselenocysteine sensitizes lung carcinoma to chemotherapy. *Cell Prolif.*, 2021, vol. 54(5), pp. 13038–13046. DOI: 10.1111/cpr.13038.
47. Mehdi Y., Hornick J.L., Istasse L., Dufrasne I. Selenium in the environment, metabolism and involvement in body functions. *Molecules*, 2013, vol. 18(3), pp. 3292–3311. DOI: 10.3390/molecules18033292.
48. Minich W.B. Selenium Metabolism and Biosynthesis of Selenoproteins in the Human Body. *Biochemistry (Mosc)*, 2022, vol. 87(Suppl 1), pp. S168–S102. DOI: 10.1134/S0006297922140139.
49. Morán-Serradilla C., Angulo-Elizari E., Henriquez-Figueroa A. et al. Seleno-Metabolites and Their Precursors: A New Dawn for Several Illnesses? *Metabolites*, 2022, vol. 12(9), pp. 874–892. DOI: 10.3390/metabo12090874.
50. Nessel T.A., Gupta V. Selenium. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2022. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32491483>.
51. Wada O. What are Trace Elements? Their deficiency and excess states. *J. of the Japan Medical Association*, 2003, vol. 129(5), pp. 607–612.
52. Park K., Rimm E., Siscovick D. et al. Demographic and lifestyle factors and selenium levels in men and women in the U.S. *Nutr Res Pract.*, 2011, vol. 5(4), pp. 357–64. DOI: 10.4162/nrp.2011.5.4.357.
53. Peters K.M., Carlson B.A., Gladyshev V.N., Tsuji P.A. Selenoproteins in colon cancer. *Free Radic Biol Med.*, 2018, vol. 127, pp. 14–25. DOI: 10.1016/j.freeradbiomed.2018.05.075.
54. Rataan A.O., Geary S.M., Zakharia Y. et al. Potential Role of Selenium in the Treatment of Cancer and Viral Infections. *Int J Mol Sci.*, 2022, vol. 23(4), pp. 2215–2218. DOI: 10.3390/ijms23042215.

55. Rayman M.P. Selenium intake, status, and health: a complex relationship. *Hormones (Athens)*, 2020, vol. 19(1), pp. 9–14. DOI: 10.1007/s42000-019-00125-5.
56. Schrauzer G.N. Anticarcinogenic effects of selenium. *Cell Mol Life Sci.*, 2000, vol. 57(13-14), pp. 1864–1873. DOI: 10.1007/PL00000668.
57. Selamoglu Z. Selenium compounds for fish health: An update. *J. Survey in Fisheries Sci.*, 2018, vol. 4(2), pp. 1–4. DOI: 10.18331/SFS2018.4.2.1.
58. Seo Y.R., Kelley M.R., Smith M.L. Selenomethionine regulation of p53 by a ref1-dependent redox mechanism. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2002, vol. 99(22), pp. 14548–53. DOI: 10.1073/pnas.212319799.
59. Shreenath A.P., Ameer M.A., Dooley J. Selenium Deficiency. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2022. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK482260>.
60. Sors T.G., Ellis D.R., Na G.N. Et al. Analysis of sulfur and selenium assimilation in Astragalus plants with varying capacities to accumulate selenium. *Plant J.*, 2005, vol. 42(6), pp. 785–97. DOI: 10.1111/j.1365-3113X.2005.02413.x.
61. Sun Q.A., Wu Y., Zappacosta F. et al. Redox regulation of cell signaling by selenocysteine in mammalian thioredoxin reductases. *J Biol Chem.*, 1999, vol. 274(35), pp. 24522–24530. DOI: 10.1074/jbc.274.35.24522.
62. Tian J., Wei X., Zhang W., Xu A. Effects of Selenium Nanoparticles Combined with Radiotherapy on Lung Cancer Cells. *Front Bioeng Biotechnol.*, 2020, vol. 8, pp. 598997. DOI: 10.3389/fbioe.2020.598997.
63. Tsuji P.A., Santesmasses D., Lee B.J. et al. Historical Roles of Selenium and Selenoproteins in Health and Development: The Good, the Bad and the Ugly. *Int J Mol Sci.*, 2021, vol. 23(1), pp. 5–25. DOI: 10.3390/ijms23010005.
64. Wang H., Hsia S., Wu T.H., Wu C.J. Fish Oil, Se Yeast, and Micronutrient-Enriched Nutrition as Adjuvant Treatment during Target Therapy in a Murine Model of Lung Cancer. *Mar Drugs*, 2021, vol. 19(5), pp. 262–275. DOI: 10.3390/md19050262.
65. Winkel L.H., Johnson C.A., Lenz M. et al. Environmental selenium research: from microscopic processes to global understanding. *Environ Sci Technol.*, 2012, vol. 46(2), pp. 571–580. DOI: 10.1021/es203434d.
66. Wu W., Li D., Feng X. et al. A pan-cancer study of selenoprotein genes as promising targets for cancer therapy. *BMC Med Genomics*, 2021, vol. 14(1), pp. 78–92. DOI:10.1186/s12920-021-00930-1.
67. Zhao M., Hou Y., Fu X. et al. Selenocystine inhibits JEG-3 cell growth in vitro and in vivo by triggering oxidative damage-mediated S-phase arrest and apoptosis. *J. Cancer Res Ther.*, 2018, vol. 14(7), pp. 1540–1548. DOI: 10.4103/jcrt.JCRT_864_17.

NATALIA V. BUBNOVA – Senior Lecturer, Department of Instrumental Diagnostics Department with a Course of Phthisiology, Chuvash State University, Russia, Cheboksary (natalia210485@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2505-0827>).

NATALIA Yu. TIMOFEEVA – Senior Lecturer, Department of Instrumental Diagnostics Department with a Course of Phthisiology, Chuvash State University, Russia, Cheboksary (bla11bla@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7596-0132>).

OLGA Yu. KOSTROVA – Candidate of Medical Sciences, Assistant Professor, Head of Department of the Instrumental Diagnostics with a Course of Phthisiology, Chuvash State University, Russia, Cheboksary (evkbiz@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7057-9834>).

GLEB Yu. STRUCHKO – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of Normal and Topographic Anatomy Department, Chuvash State University, Russia, Cheboksary (glebstr@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0549-5116>).

ANASTASIIA A. KOTELKINA – Candidate of Medical Sciences, Assistant Professor, Department of Normal and Topographic Anatomy Department, Chuvash State University, Russia, Cheboksary (ds6426@chebnet.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5366-5135>).

EKATERINA S. SAMAKINA – Assistant Lecturer, Department of Instrumental Diagnostics Department with a Course of Phthisiology, Chuvash State University, Russia, Cheboksary (ekaterina1996.96@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9515-0639>).

Формат цитирования: Бубнова Н.В., Тимофеева Н.Ю., Кострова О.Ю., Стручко Г.Ю., Котёлкина А.А., Самакина Е.С. Биологическая роль селена (обзор литературы) [Электронный ресурс] // *Acta medica Eurasica*. – 2023. – № 2. – С. 114–123. – URL: <http://acta-medica-eurasica.ru/single/2023/2/11>. DOI: 10.47026/2413-4864-2023-2-114-123.