

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2026-3-2662>
<https://elibrary.ru/MDKVCX>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Ореховосеменное сырье как источник селена и его роль в обеспеченности населения микроэлементом



Н. И. Давыденко^{*ID}, А. Ю. Зирка^{ID}, Д. Д. Мирный^{ID}

Кемеровский государственный университет^{ROR}, Кемерово, Россия

Поступила в редакцию: 27.05.2026

Принята после рецензирования: 31.08.2026

Принята к публикации: 01.09.2026

*e-mail: nat1861@yandex.ru

© Н. И. Давыденко, А. Ю. Зирка, Д. Д. Мирный, 2026



Аннотация.

Дефицит селена (Se) – актуальная медико-биологическая проблема: по данным отечественных исследований, более 80 % населения Российской Федерации имеют обеспеченность этим микроэлементом ниже оптимального уровня, что связывают в т. ч. с биогеохимическими особенностями почв страны. Цель исследования – проанализировать фактическое содержание селена в орехоплодных культурах и семенах, наиболее часто встречающихся в рационах населения РФ (на примере Кемеровской области – Кузбасса), для уточнения их реального вклада в обеспечение нутритивного статуса населения.

Объекты исследования – 28 образцов (14 видов орехов и семян, по 2 образца различного географического происхождения для каждого вида). Содержание Se определяли методом инверсионной вольтамперометрии (независимая пробоподготовка в трех повторностях; предел обнаружения 0,05–0,20 мкг/дм³, погрешность ≤ 10 % при $P = 0,95$).

Среднее фактическое содержание Se по 24 образцам с количественно определяемым содержанием элемента (без двух образцов бразильского и двух образцов кедрового ореха) составило 17,59 мкг/100 г при среднем справочном значении 17,03 мкг/100 г. В кедровом орехе содержание Se было ниже предела обнаружения. Среди остальных продуктов значения варьировали от $3,76 \pm 0,13$ мкг/100 г (миндаль) до $50,38 \pm 0,36$ мкг/100 г (семена подсолнечника). В двух образцах бразильского ореха определено $873,00 \pm 12,50$ и $1409,52 \pm 12,50$ мкг/100 г; среднее значение составило 1141,26 мкг/100 г. Внутривидовые различия между двумя образцами одного вида не превышали 5 % (исключение – бразильский орех). Наибольшие отклонения средних фактических значений от справочных выявлены для фисташек (+132,4 %), пекана (+80,3 %), фундука (+45,1 %), кунжута (+26,6 %) и грецкого ореха (–26,1 %); наименьшие – для семян льна (–2,1 %) и арахиса (+3,2 %). Разведочный корреляционный анализ справочных значений белков и жиров не выявил статистически значимых связей с фактическим содержанием Se. Ни один из исследованных продуктов, кроме бразильского ореха, не обеспечивает принятый расчетный уровень 70 мкг Se/сутки в количестве, типичном для разового потребления.

Фактическое содержание селена в исследованной выборке орехов и семян существенно различается; применение справочных таблиц при оценке нутриентного состава рационов целесообразно дополнять аналитической верификацией конкретной продукции.

Ключевые слова. Селен, орехи, семена, инверсионная вольтамперометрия, нутритивный статус, дефицит селена

Финансирование. Работа выполнена в рамках гранта РНФ № 25-26-00617 «Применение систем искусственного интеллекта для оценки селенового статуса пищевых продуктов при формировании рационов лиц в период реабилитации после стрессовых нагрузок».

Для цитирования: Давыденко Н. И., Зирка А. Ю., Мирный Д. Д. Ореховосеменное сырье как источник селена и его роль в обеспеченности населения микроэлементом. Техника и технология пищевых производств. 2026. Т. 56. № 3. С. 623–638. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2026-3-2662>

Nuts and Seeds as a Source of Selenium in the National Diet



Nataliia I. Davydenko*, Anna Yu. Zirka, Daniil D. Mirnyj

Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

Received: 27.05.2026

Revised: 31.08.2026

Accepted: 01.09.2026

*e-mail: nat1861@yandex.ru

© N.I. Davydenko, A.Yu. Zirka, D.D. Mirnyj, 2026



Abstract.

Selenium (Se) deficiency is a pressing biomedical issue across the Russian Federation. According to domestic epidemiological studies, over 80% of Russians have suboptimal levels of this essential trace element, a deficit partially attributed to the unique biogeochemistry of Russian soils. This article evaluates the selenium content in popular nut and seed varieties, using the Kemerovo Region as a case study to clarify their actual contribution to the national diet.

The study featured 28 samples representing 14 types of nuts and seeds, with two samples of differing geographic origins analyzed for each type. The selenium content was determined using stripping voltammetry (independent sample preparation in triplicate; detection limit: 0.05–0.2 µg/dm³; analytical error: ≤ 10% at $p = 0.95$).

Excluding the two Brazil nut and two pine nut samples, the mean actual selenium content across the remaining 24 samples with quantifiable levels was 17.59 µg/100 g, compared to an established mean reference value of 17.03 µg/100 g. Selenium levels in pine nuts fell entirely below the detection limit. Among the other products, values ranged from 3.76 ± 0.13 µg/100 g (almonds) to 50.38 ± 0.36 µg/100 g (sunflower seeds). The two Brazil nut samples exhibited remarkably high levels of 873.00 ± 12.50 µg/100 g and 1,409.52 ± 12.50 µg/100 g, respectively, yielding a mean value of 1,141.26 µg/100 g. Except for the Brazil nuts, the intraspecific variation between samples of the same species remained below 5%. The most significant positive deviations from reference values occurred in pistachios (+132.4%), pecans (+80.3%), and hazelnuts (+45.1%), while the most pronounced negative deviation was observed in walnuts (–26.1%). The smallest deviations were documented for flaxseeds (–2.1%) and peanuts (+3.2%).

The correlation analysis revealed no statistically significant associations between reference protein or fat profiles and the actual selenium content. Crucially, single standard servings of none of the tested samples (with the sole exception of Brazil nuts) fulfilled the target daily intake of 70 µg of selenium.

Because the actual selenium content varied dramatically across the studied matrix, standard reference tables for dietary nutrient composition require ongoing analytical verification for specific food products.

Keywords. Selenium, nuts, seeds, stripping voltammetry, nutritional status, selenium deficiency

Funding. This research was supported by the Russian Science Foundation, Grant No. 25-26-00617: Artificial intelligence systems in assessing the selenium status of food products in diets for stress-induced strain rehabilitation.

For citation: Davydenko NI, Zirka AY, Mirnyj DD. Nuts and Seeds as a Source of Selenium in the National Diet. Food Processing: Techniques and Technology. 2026;56(3):623–638. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2026-3-2662>

Введение

Селен (Se) – эссенциальный микроэлемент, занимающий уникальное положение в молекулярной биологии всех доменов жизни. Согласно данным [1], в организме человека функционируют 25 селенопротеинов, несущих селеноцистеин (21-ю аминокислоту) в активном центре; именно через них реализуется широкий спектр физиологических эффектов микроэлемента – от антиоксидантной и противовоспалительной защиты до продукции активного тиреоидного гормона [1]. Само включение селеноцистеина в белки закодировано на уровне генома: UGA-кодон мРНК при наличии специфических цис-активных SECIS-элементов и транс-активных факторов (SBP2, eEFSec) не прерывает трансляцию, а обеспечивает

встраивание 21-й аминокислоты [2, 3]. Е. Г. Варламова и В. Н. Мальцева [3] подчеркивают, что поддержание этой сложной молекулярной машины является крайне энергозатратным для клетки, что свидетельствует о критической биологической необходимости селенопротеинов.

Важнейшими функциональными группами селенопротеинов выступают глутатионпероксидазы (GPx1–GPx6), тиоредоксинредуктазы (TXNRD1–TXNRD3) и йодтиронин-дейодиназы (D1–D3). GPx катализуют восстановление перекиси водорода и липидных гидроперекисей, защищая мембраны и ДНК от окислительного повреждения, при этом GPx4 специфически элиминирует фосфолипидные гидроперекиси, что критически важно для предотвращения ферроптоза [1, 4].

TXNRD поддерживают тиоловый гомеостаз клетки и обеспечивают регенерацию аскорбата и убихинола [3]. Дейодиназы регулируют превращение тироксина (Т4) в биологически активный трийодтиронин (Т3), в связи с чем адекватная обеспеченность селеном является облигатным условием нормального функционирования щитовидной железы [1, 4]. М. Р. Rayman [5] выявил, что дефицит и избыток селена в равной степени способны приводить к неблагоприятным последствиям для здоровья, описывая эту зависимость как U-образную кривую.

Низкий статус селена ассоциирован с повышенным риском общей и онкологической смертности, нарушением иммунной функции и снижением когнитивных способностей [1, 5]. В последние годы появились исследования, доказывающие нейропротекторные свойства элемента: S. G. Alamir *et al.* [4] установили, что при системном дефиците селена мозг сохраняет его больше других органов, а SELENOP – основной системный транспортер селена – доставляет его в нервную систему через рецепторы аroER2 и проявляет собственные нейропротекторные свойства [4]. У экспериментальных животных дефицит SELENOP проявляется спастичностью, нарушениями координации и спонтанными судорогами. Низкий статус элемента ассоциирован с ускоренным когнитивным снижением у пожилых людей и повышенным риском нейродегенеративных заболеваний – болезнью Альцгеймера и Паркинсона [4].

Иммуномодулирующее действие селена включает усиление пролиферации активированных Т-клеток, цитотоксической активности NK-клеток и ускорение элиминации вирусов: даже у лиц с достаточным его статусом дополнительная супплементация достоверно усиливает пролиферацию активированных Т-клеток, цитотоксическую активность NK-клеток и ускоряет элиминацию вирусов [6]. В частности, в эксперименте с живой аттенуированной полиовакциной взрослые с невысоким исходным статусом селена, получавшие добавку 50 или 100 мкг/сутки, элиминировали вирус достоверно быстрее, чем участники группы плацебо [6]. М. Kieliszek & S. Włazejak в исследованиях [2, 7] систематизировали данные о значении Se в питании и обратили особое внимание на роль обогащенных селеном дрожжей как безопасного и эффективного его источника, а также на ключевые биологические функции Se в живых организмах.

Глобальная и региональная эпидемиология дефицита селена. Дефицит селена – общемировая проблема: согласно имеющимся данным, от 5 млн до 1 млрд человек в мире получают этот микроэлемент в количестве, недостаточном для поддержания оптимального здоровья [8]. Содержание селена в почвах вариabельно – от критически низких значений (менее 0,05 мг/кг) в отдельных регионах Китая, Финляндии и Новой Зеландии до 1200 мг/кг в селеноносных зонах США, Ирландии и Канады [9, 10]. М. Navarro-Alarcon

& С. Cabrera-Vique [10] подчеркивают, что именно геохимические характеристики почв определяют содержание элемента в продуктах питания и, следовательно, нутриентный статус проживающих в регионе популяций. Периодический мониторинг уровня селена в почвах и продуктах питания рассматривается как необходимое условие контроля состояния здоровья населения.

Субоптимальный статус селена широко распространен в большинстве европейских стран, при этом восточноевропейские популяции потребляют его меньше по сравнению с западноевропейскими [11]. Отмечается, что насыщение плазменной активности GPx достигается при концентрации селена в сыворотке крови около 90–100 мкг/л. М. Р. Rayman [12] дополнительно обращает внимание на широчайшую вариabельность содержания элемента в зерновых культурах – от 2,5 мкг/100 г сухой массы в Великобритании до 3000 мкг/100 г в высокоселеновых зонах США. Именно зерновые, составляющие диетическую основу большинства популяций, определяют различия в потреблении микроэлемента между странами.

М. Kieliszek *et al.* [8] провели анализ данных по странам Ближнего Востока и установили, что потребление и уровни Se в этих регионах недостаточны, а вариabельность между различными странами и районами крайне высока. Дефицит селена подтвержден также в странах Ближнего Востока и Северной Африки. В качестве причины указывается низкое содержание Se в почвах и, как следствие, в местных продуктах питания [13].

Российская Федерация относится к числу стран с преимущественно низким или умеренно низким содержанием селена в почвах. Более 80 % населения страны обеспечены этим микроэлементом ниже оптимального уровня [14]. При незначительном дефиците элемента в организме появляются метаболические, гормональные, иммунные и когнитивные нарушения, а нормализация его уровня может снижать риск сердечно-сосудистых заболеваний [14]. К классическим заболеваниям, связанным с тяжелым дефицитом Se, относятся болезнь Кешана – эндемическая кардиомиопатия, впервые описанная в Китае, – и болезнь Кашина-Бека – эндемическая остеоартропатия, встречающаяся в отдельных районах Китая и сопредельных территориях [1].

При анализе 14 национальных баз данных о потреблении пищи и концентрациях Se в продуктах в 12 европейских странах установлено, что дети дошкольного возраста в отдельных странах при верхнем сценарии нагрузки превышают допустимый уровень потребления 5 мкг/кг массы тела в сутки, хотя в большинстве случаев потребление селена находится ниже физиологически необходимых значений [15]. Подчеркивается значимость стандартизированного подхода к сбору данных о содержании микроэлемента в продуктах питания.

R. Lymbury *et al.* [16] продемонстрировали, что статус Se различается в зависимости от возраста, пола

и наличия сердечно-сосудистых заболеваний, что свидетельствует о необходимости дифференцированного подхода к оценке обеспеченности в различных группах населения.

Пищевые источники, биодоступность и формы селена. Основными источниками селена для человека служат пищевые продукты; в тонкой кишке абсорбируется около 80 % пищевого Se – в зависимости от вида потребляемых продуктов [10]. Наибольшее функциональное значение имеет химическая форма поступающего элемента. Органические формы – селенометионин (SeMet) и селеноцистеин (SeCys) – характеризуются биодоступностью 90–98 %, тогда как неорганические формы (селениты, селенаты) усваиваются значительно хуже и обладают более выраженной токсичностью [10, 11].

Растения различаются по способности накапливать селен в процессе роста и преобразовывать его неорганические формы в органические. В связи с этим селен-аккумулирующие растения рассматриваются как перспективный инструмент повышения содержания селена в пищевой цепи [17]. В зерновых и хлебопродуктах преобладают SeMet и SeCys, тогда как в обогащенных Se брокколи, чесноке и луке главной формой является Se-метилселеноцистеин (MSeC) [18]. В порядке убывания содержания селена в различных группах продуктов питания установлен следующий ряд: продукты животного происхождения > овощи > злаки > фрукты [18]. T. Filippini *et al.* [19] выявили достоверную связь между составом рациона и сывороточными уровнями различных форм Se: основным предиктором плазменного Se у жителей Северной Италии является потребление мяса, рыбы и яиц.

Продукты из США в целом содержат больше Se, чем аналогичные продукты из Австралии; наиболее низкие показатели – у продуктов из Великобритании и Новой Зеландии [9]. Это подчеркивает принципиальную невозможность использования единой глобальной базы данных о составе продуктов для оценки нутритивного статуса конкретных региональных популяций. Для поддержания максимальной активности Se-зависимых ферментов взрослому человеку необходимо не менее 40 мкг Se/сутки, а для редукции онкологического риска – до 300 мкг/сутки.

Среди растительных продуктов наибольшее содержание селена характерно для бразильского ореха (*Bertholletia excelsa*). Его содержание варьирует от 3 до 51 200 мкг/100 г сырой массы, что затрудняет использование продукта как стандартизированного источника селена [12]. По другим данным, диапазон составляет 85–686 мкг/100 г [8]. Согласно USDA FoodData Central (набор SR Legacy), справочное значение для бразильского ореха 1917 мкг/100 г¹, тогда как британская база McCance & Widdowson приводит

254 мкг/100 г². В настоящем исследовании в качестве справочного принято значение USDA 1917 мкг/100 г; оба полученных результата (873,00 и 1409,52 мкг/100 г) укладываются в опубликованный диапазон. При регулярном потреблении нескольких орехов в сутки возможно превышение безопасного уровня потребления Se (400 мкг/сутки)³ [8, 12].

Фактическое содержание Se в орехах и семенах, представленных на потребительском рынке, нередко существенно расходится со справочными данными. Такие расхождения обусловлены комплексом факторов: геохимическими особенностями почв регионов произрастания, различиями в сортовом составе, условиями хранения и транспортировки, а также ограниченным числом образцов, по которым формировались справочные таблицы [9, 10]. Прямые аналитические исследования орехов и семян также демонстрируют выраженную межвидовую и межобразцовую вариативность содержания Se [20, 21].

Методы определения селена в пищевых продуктах и биомаркеры статуса. Аналитическое определение Se в пищевых продуктах методически сложно из-за низких концентраций элемента и разнообразия его химических форм. А. В. Журавлев и др. [22] разработали и апробировали метод определения органического Se в форме SeMet в мясе ягнят, получавших рацион с органическим селеном, методом ВЭЖХ-МС/МС. По сравнению с атомно-абсорбционной спектроскопией метод характеризовался более низким пределом обнаружения (1 против 20 мкг/кг) и более высокой степенью извлечения (≥ 80 против 20–60 %).

Для оценки обеспеченности организма Se применяются следующие биомаркеры: концентрация элемента в плазме крови, активность эритроцитарной GPx1, концентрация SELENOP в плазме, а также уровни Se в волосах, ногтях и моче. Единственного универсального маркера функционального статуса Se не существует: различные селенопротеины неодинаково реагируют на снижение поступления элемента [23]. Авторы рекомендуют использовать несколько маркеров одновременно; при этом SELENOP рассматривается как один из наиболее информативных показателей статуса Se, особенно при достаточной обеспеченности, тогда как плазменная GPx быстрее достигает плато [11, 23].

Показана применимость инверсионной вольтамперометрии для анализа пищевых продуктов – электрохимического метода, основанного на накоплении селена на электроде (обычно ртутном или золотом) с последующим электроокислением. К достоинствам метода относятся низкая стоимость оборудования, высокая чувствительность (до 0,05 мкг/л), а также возможность анализа в полевых условиях [24–26].

¹ USDA FoodData Central (SR Legacy; FDC ID 170569). Nuts, brazilnuts, dried, unblanched. URL: <https://fdc.nal.usda.gov/food-search/> (дата обращения: 19.05.2026).

² Public Health England. McCance and Widdowson's The Composition of Foods Integrated Dataset (CoFID), 2021. URL: <https://www.gov.uk/government/publications/composition-of-foods-integrated-dataset-cofid> (дата обращения: 27.07.2026).

³ Там же.

Таким образом, совокупность опубликованных данных указывает, что дефицит селена – актуальная медико-биологическая проблема как в глобальном, так и в региональном масштабе, включая большинство территорий России [27, 28]. Это особенно значимо с учетом того, что даже при многолетнем высоком потреблении запасы селена в организме человека невелики и быстро истощаются при возникновении дефицита [29]. Орехоплодные культуры и семена могут рассматриваться как перспективный пищевой источник органических форм этого элемента, однако их реальный нутриционный вклад определяется фактическим содержанием Se, существенно варьирующим в зависимости от региона происхождения сырья. Отсутствие актуальных верифицированных данных о содержании Se в орехах и семенах, поступающих на российский рынок, делает актуальным проведение их аналитического скрининга с применением высокочувствительной аттестованной методики.

Цель исследования – проанализировать фактическое содержание селена в орехоплодных культурах и семенах, наиболее часто встречающихся в рационах населения РФ (на примере Кемеровской области – Кузбасса), для уточнения их реального вклада в обеспечение нутритивного статуса населения.

В связи с целью в рамках исследования поставлены следующие задачи:

- провести аналитический скрининг образцов орехов и семян различных стран происхождения, доступных на рынке РФ;
- дать сравнительный анализ полученных данных и оценить вклад рассматриваемой категории продуктов для коррекции дефицита селена в рационах.

Результаты работы могут стать основой для разработки научно обоснованных программ функционального питания, что позволит использовать орехоплодные культуры и семена как эффективный инструмент коррекции селенодефицита.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования служили ядра орехов и семена масличных культур, а также ядра арахиса, реализуемые в розничной торговле и широко потребляемые населением Российской Федерации. Перечень исследованных продуктов представлен в таблице 1.

Выбор указанных видов обусловлен их высокой долей в потребительской корзине, существенными различиями в ботаническом происхождении и агроэкологических условиях выращивания, что предполагает неодинаковую способность к аккумуляции селена из почвы.

Образцы отбирали в период с сентября 2025 г. по январь 2026 г. в розничных торговых сетях, магазинах здорового питания и на фермерских рынках (Кемерово, Россия) методом случайной выборки. Для каждого вида исследовали по 2 образца различного географического происхождения и/или товар-

ной формы. Всего в анализ включено 28 образцов. Каждый образец формировали из содержимого двух потребительских упаковок одной товарной партии; упаковки, входившие в один образец, относились к одной партии. География происхождения включала Россию (Краснодарский край, Республика Адыгея, Алтайский край, Республика Алтай), Турцию, Иран, Чили, США, Вьетнам, Индию, Перу, Боливию и Китай.

Для каждого вида орехов или семян случайным образом отбирали два независимых образца, различавшихся страной (регионом) происхождения и/или товарной формой. Каждый образец включал две упаковки одной товарной партии. Такой дизайн позволял описательно оценить различия между представленными на рынке вариантами продукции, но не предназначался для оценки межпартийной вариабельности.

Товарные формы образцов были максимально приближены к реальному потреблению и включали: сырые очищенные ядра (грецкий орех, миндаль, фундук, кешью, кедровый орех, бразильский орех) и орехи в скорлупе (грецкий орех, фундук, фисташка). Все образцы до момента исследования хранили в герметичных светонепроницаемых контейнерах в заводской упаковке при температуре 4–6 °С.

Непосредственно перед пробоподготовкой орехи, реализуемые в скорлупе, очищали вручную. Содержимое двух упаковок одной товарной партии объединяли и тщательно перемешивали, далее выделяли пробу массой около 50 г, которую двукратно измельчали на лабораторной мельнице с охлаждаемой камерой до получения однородного порошкообразного материала с размером частиц не более 0,5 мм. Гомогенизированные пробы помещали в герметичные пластиковые контейнеры и хранили в эксикаторе до минерализации.

Массовую долю селена в образцах орехов и семян определяли методом инверсионной вольтамперометрии в соответствии с аттестованной методикой (свидетельство об аттестации 08-47/132, ФР.1.31.2003.00935). Метод основан на восстановлении ионов Se (IV) до элементного селена и концентрировании его на поверхности индикаторного электрода в виде селенидов металлов с последующей регистрацией тока анодного растворения в режиме линейной развертки потенциала. Аналитическим сигналом служила высота (площадь) пика селена на вольтамперограмме и пропорциональная его концентрации в растворе.

Измерения выполняли на вольтамперометрическом анализаторе «СТА-1» (ООО «ИТМ», Россия) с трехэлектродной электрохимической ячейкой и программным управлением. Индикаторным электродом служил ртутно-плёночный электрод на серебряной подложке; вспомогательным электродом и электродом сравнения – хлоридсеребряные электроды.

В качестве реактива использовали стандартный образец состава раствора ионов Se (IV) с концентрацией 1 г/дм³ (ГСО), бидистиллированную воду,

Таблица 1. Характеристика исследованных образцов

Table 1. Samples' profiles

Вид	Страна (регион) происхождения	Товарная форма	Технологическая обработка
Кокос (<i>Cocos nucifera</i> L.)	Шри-Ланка	Копра (стружка)	Измельченный, сушеный
Кокос (<i>Cocos nucifera</i> L.)	Индонезия	Копра (стружка)	Измельченный, сушеный
Орех грецкий (<i>Juglans regia</i> L.)	Россия (Краснодарский край)	Ядро	Очищенный, необжаренный
Орех грецкий (<i>Juglans regia</i> L.)	Чили	Ядро	Очищенный, необжаренный
Семена подсолнечника (<i>Helianthus annuus</i> L.)	Россия (Краснодарский край)	Ядро	Очищенные, необжаренные
Семена подсолнечника (<i>Helianthus annuus</i> L.)	Аргентина	Ядро	Очищенные, необжаренные
Фисташки (<i>Pistacia vera</i> L.)	Иран	Ядро	Очищенные, необжаренные
Фисташки (<i>Pistacia vera</i> L.)	Турция	В скорлупе	Необработанные
Фундук (<i>Corylus avellana</i> L.)	Турция	Ядро	Очищенный, необжаренный
Фундук (<i>Corylus avellana</i> L.)	Россия (Краснодарский край)	В скорлупе	Необработанный
Арахис (<i>Arachis hypogaea</i> L.)	Китай	Ядро	Очищенный, необжаренный
Арахис (<i>Arachis hypogaea</i> L.)	Аргентина	Ядро	Очищенный, необжаренный
Кедровый орех (<i>Pinus sibirica</i> Du Tour)	Россия (Алтайский край)	Ядро	Очищенный, необжаренный
Кедровый орех (<i>Pinus sibirica</i> Du Tour)	Россия (Республика Алтай)	Ядро	Очищенный, необжаренный
Кешью (<i>Anacardium occidentale</i> L.)	Вьетнам	Ядро	Очищенный, необжаренный
Кешью (<i>Anacardium occidentale</i> L.)	Индия	Ядро	Очищенный, необжаренный
Кунжут (<i>Sesamum indicum</i> L.)	Индия	Семена целые	Необработанный
Кунжут (<i>Sesamum indicum</i> L.)	Эфиопия	Семена целые	Необработанный
Миндаль (<i>Prunus dulcis</i> (Mill.) D. A. Webb)	США (Калифорния)	Ядро	Очищенный, необжаренный
Миндаль (<i>Prunus dulcis</i> (Mill.) D. A. Webb)	Испания	Ядро	Очищенный, необжаренный
Пекан (<i>Carya illinoensis</i> (Wangenh.) K. Koch)	США	Ядро	Очищенный, необжаренный
Пекан (<i>Carya illinoensis</i> (Wangenh.) K. Koch)	Мексика	Ядро	Очищенный, необжаренный
Семена льна пищевые (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	Россия (Алтайский край)	Семена целые	Необработанный
Семена льна пищевые (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	Канада	Семена целые	Необработанный
Семена тыквы (<i>Cucurbita pepo</i> L.)	Китай	Ядро	Очищенный, необжаренный
Семена тыквы (<i>Cucurbita pepo</i> L.)	Россия (Краснодарский край)	Ядро	Очищенный, необжаренный
Бразильский орех (<i>Bertholletia excelsa</i> Bonpl.)	Перу	Ядро	Очищенный, необжаренный
Бразильский орех (<i>Bertholletia excelsa</i> Bonpl.)	Боливия	Ядро	Очищенный, необжаренный

концентрированную азотную кислоту (ос.ч.), пероксид водорода (30 %, ос.ч.), хлороводородную кислоту (ос.ч.), фоновый электролит (0,1 М HCl с добавлением ионов меди). Для очистки растворов от растворенного кислорода применяли инертный газ (азот).

Из гомогенизированного материала для каждой из трех независимых повторностей отдельно отбирали навеску массой 0,5 г с точностью до 0,0001 г и помещали в кварцевую колбу. Для каждой навески независимо выполняли полный цикл пробоподготовки и минерализации «мокрым» способом в системе «ТЭМОС-Экспресс». Нагрев проводили ступенчато до получения прозрачного раствора. Для восстановления Se (VI) до электроактивной формы Se (IV) аликвоту минерализата объемом 2–5 см³ подкисляли 1 см³ концентрированной HCl и нагревали при

70–80 °C в течение 20–30 мин. Результат для каждого образца рассчитывали как среднее трех независимых определений (n = 3).

Перед каждым измерением проводили регенерацию (очистку) индикаторного электрода путем его кратковременной поляризации при высоком анодном потенциале в фоновом растворе. Содержание селена определяли методом добавок стандартного раствора: регистрировали вольтамперограмму аликвоты минерализата, затем вносили известную добавку аттестованного раствора Se (IV) и повторяли измерение. Концентрацию селена в пробе определяли автоматически.

Предел обнаружения селена в растворе составлял 0,05–0,20 мкг/дм³, что в пересчете на сухую пробу позволяло надежно определять селен на уровне

от 0,5 мкг/100 г. Относительная погрешность определения не превышала 5–10 % при доверительной вероятности $P = 0,95$. Метод обладает высокой селективностью при условии надлежащей пробоподготовки и позволяет исключить мешающее влияние сопутствующих элементов за счет выбора потенциала электролиза и состава фоновое электролита. Данная методика обеспечивает необходимую чувствительность и точность для оценки селенового статуса пищевых продуктов с низким и умеренным содержанием микроэлемента, что подтверждено результатами, представленными в настоящей работе. Статистическую обработку выполняли в Statistica 10 (StatSoft Inc., США). Для сравнения справочного и фактического содержания использовали методы расчета абсолютного и относительного отклонения.

Для оценки тесноты линейной связи использовался коэффициент корреляции Пирсона (r), для оценки монотонной связи по рангам – коэффициент Спирмена (ρ). Статистическую значимость корреляций проверяли по t -критерию при уровне значимости $\alpha = 0,05$ (критическое значение $|r|$ при $n = 12$ составляет 0,576). Для каждой пары переменных построена линейная регрессионная модель (1), характеризующаяся нанесением 95 % доверительного интервала, все расчеты выполнены средствами Python (scipy.stats, numpy) при объеме выборки $n = 12$:

$$Se = a \times X + b \quad (1)$$

где Se – расчетное содержание селена, мкг/100 г; a – коэффициент наклона линейной регрессии; X – справочное содержание белков или жиров, г/100 г; b – свободная переменная, мкг/100 г.

Результаты и их обсуждение

Содержание селена определено в 28 образцах, представлявших 14 видов орехов и семян (по 2 образца различного географического происхождения и/или товарной формы на вид), закупленных в розничной торговой сети и соответствовавших требованиям действующей нормативной документации (ГОСТ, ТУ, СТО) (табл. 2).

При выборе справочных источников для сопоставления с результатами анализа содержания селена учитывали следующие критерии: полнота номенклатуры, актуальность и международная представительность данных, нейтральность и приемлемость источников для российской научно-практической среды, а также соответствие происхождению исследуемых образцов.

Справочник «Химический состав российских пищевых продуктов» под редакцией И. М. Скурихина и В. А. Тутельяна⁴ – широко используемый отечественный источник данных о составе пищевых продуктов.

⁴ Скурихин И. М., Тутельян В. А. Таблицы химического состава и калорийности российских продуктов питания. М.: ДеЛи принт, 2007. 276 с.

Однако он имеет существенные ограничения: сведения по микроэлементному составу, в т. ч. по селену, получены преимущественно в 1980–1990 гг. База сформирована по результатам анализа отечественного сырья, тогда как значительная часть исследованных образцов произведена в других странах. Помимо этого, номенклатура орехов и семян ограничена и не охватывает всего ассортимента настоящего исследования.

По данным научной литературы, основной массив систематических первичных исследований количественного содержания Se в орехах и семенах сосредоточен на бразильском орехе⁵ [8, 12]. Опубликованы многочисленные результаты, демонстрирующие чрезвычайно высокую географическую вариабельность содержания элемента. По большинству других видов орехов и семян данные существенно более ограничены, разрозненны и получены на образцах различного происхождения [9, 10], поэтому их прямое сопоставление затруднено. Вместе с тем отдельные первичные аналитические исследования включали бразильский и грецкий орехи, кешью и пекан, а также более широкую выборку из 11 видов орехов и семян тыквы и подсолнечника [20, 21]. В связи с этим в настоящей работе справочные значения используются как ориентиры, а не как абсолютные нормативы.

В результате в качестве основных источников сравнения данных выбраны:

- для орехов и семян российского происхождения справочные значения принимали преимущественно по широко используемому отечественному источнику⁶. Эти значения рассматривали как ориентировочные и не приравнивали к обязательным нормативам;
- для продуктов иностранного происхождения использовали ориентировочные значения из таблиц состава пищевых продуктов, представленных в глобальном каталоге FAO/INFOODS7, который является каталогом национальных, региональных и международных баз, а не единой базой усредненных значений, что подтверждает происхождение справочного массива, но не репрезентативность одного значения для конкретной страны.

Необходимо учитывать, что содержание селена в растительных продуктах в значительной мере определяется геохимическими условиями региона произрастания. Поэтому справочные значения следует рассматривать как ориентировочные, а выявленные отклонения могут отражать совокупное влияние происхождения сырья, сортовых и технологических особенностей, различий между справочными базами и аналитической неопределенности; приписывать их исключительно условиям произрастания нельзя.

⁵ USDA FoodData Central...

⁶ Там же.

⁷ Food and Agriculture Organization of the United Nations. Global directory of food composition tables and databases. URL: <https://www.fao.org/food-composition/tables-and-databases/en> (дата обращения: 27.06.2026).

Таблица 2. Результаты определения селена в исследованных образцах

Table 2. Selenium content in nuts and seeds

Продукт	Страна (регион) происхождения	Товарная форма	Справочное значение, мкг/100 г	Источник	Фактическое значение, мкг/100 г	Абсолютное отклонение	Относительное отклонение, %
Кокос (<i>Cocos nucifera</i> L.)	Шри-Ланка	Стружка сухая	16,1	Справочник «Химический состав российских пищевых продуктов» (2007)	19,95 ± 0,56	+3,85	+23,91
Кокос (<i>Cocos nucifera</i> L.)	Индонезия	Стружка сухая	16,1	Каталог FAO/ INFOODS	19,01 ± 0,56	+2,91	+18,07
Орех грецкий (<i>Juglans regia</i> L.)	Россия (Краснодарский край)	Ядро сырое	17,0	Справочник «Химический состав российских пищевых продуктов» (2007)	12,86 ± 0,44	–4,14	–24,35
Орех грецкий (<i>Juglans regia</i> L.)	Чили	Ядро сырое	17,0	Каталог FAO/ INFOODS	12,26 ± 0,44	–4,74	–27,88
Семена подсолнечника (<i>Helianthus annuus</i> L.)	Россия (Краснодарский край)	Ядро сырое	59,5	Справочник «Химический состав российских пищевых продуктов» (2007)	50,38 ± 0,36	–9,12	–15,33
Семена подсолнечника (<i>Helianthus annuus</i> L.)	Аргентина	Ядро сырое	59,5	Каталог FAO/ INFOODS	48,02 ± 0,36	–11,48	–19,29
Фисташки (<i>Pistacia vera</i> L.)	Иран	Ядро сырое	3,7	Каталог FAO/ INFOODS	8,80 ± 0,47	+5,10	+137,84
Фисташки (<i>Pistacia vera</i> L.)	Турция	В скорлупе, сырые	3,7	Каталог FAO/ INFOODS	8,39 ± 0,47	+4,69	+126,76
Фундук (<i>Corylus avellana</i> L.)	Турция	Ядро сырое	4,0	Каталог FAO/ INFOODS	5,94 ± 0,50	+1,94	+48,50
Фундук (<i>Corylus avellana</i> L.)	Россия (Краснодарский край)	В скорлупе	4,0	Справочник «Химический состав российских пищевых продуктов» (2007)	5,67 ± 0,50	+1,67	+41,75
Арахис (<i>Arachis hypogaea</i> L.)	Китай	Ядро сырое	7,2	Каталог FAO/ INFOODS	7,61 ± 0,26	+0,41	+5,69
Арахис (<i>Arachis hypogaea</i> L.)	Аргентина	Ядро сырое	7,2	Каталог FAO/ INFOODS	7,25 ± 0,26	+0,05	+0,69
Кедровый орех (<i>Pinus sibirica</i> Du Tour)	Россия (Алтайский край)	Ядро сырое	0,7	Справочник «Химический состав российских пищевых продуктов» (2007)	Ниже предела обнаружения	–	–
Кешью (<i>Anacardium occidentale</i> L.)	Вьетнам	Ядро сырое	19,7	Каталог FAO/ INFOODS	21,63 ± 0,86	+1,93	+9,80
Кешью (<i>Anacardium occidentale</i> L.)	Индия	Ядро сырое	19,7	Каталог FAO/ INFOODS	20,61 ± 0,86	+0,91	+4,62
Кунжут (<i>Sesamum indicum</i> L.)	Индия	Семена необработанные	34,4	Каталог FAO/ INFOODS	44,58 ± 0,57	+10,18	+29,59
Кунжут (<i>Sesamum indicum</i> L.)	Эфиопия	Семена необработанные	34,4	Каталог FAO/ INFOODS	42,49 ± 0,57	+8,09	+23,52
Миндаль (<i>Prunus dulcis</i> (Mill.) D. A. Webb)	США (Калифорния)	Семена необработанные	4,1	Каталог FAO/ INFOODS	3,95 ± 0,13	–0,15	–3,66

Продолжение таблицы 2

Продукт	Страна (регион) происхождения	Товарная форма	Справочное значение, мкг/100 г	Источник	Фактическое значение, мкг/100 г	Абсолютное отклонение	Относительное отклонение, %
Миндаль (<i>Prunus dulcis</i> (Mill.) D. A. Webb)	Испания	Ядро сырое	4,1	Каталог FAO/ INFOODS	3,76 ± 0,13	–0,34	–8,29
Пекан (<i>Carya illinoensis</i> (Wangenh.) K. Koch)	США	Ядро сырое	3,8	Каталог FAO/ INFOODS	7,01 ± 0,25	+3,21	+84,47
Пекан (<i>Carya illinoensis</i> (Wangenh.) K. Koch)	Мексика	Ядро сырое	3,8	Каталог FAO/ INFOODS	6,68 ± 0,25	+2,88	+75,79
Семена льна пищевые (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	Россия (Алтайский край)	Семена целые	25,4	Справочник «Химический состав российских пищевых продуктов» (2007)	25,46 ± 0,55	+0,06	+0,24
Семена льна пищевые (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	Канада	Семена целые	25,4	Каталог FAO/ INFOODS	24,27 ± 0,55	–1,13	–4,45
Семена тыквы (<i>Cucurbita pepo</i> L.)	Китай	Ядро сырое	9,4	Каталог FAO/ INFOODS	7,99 ± 0,67	–1,41	–15,00
Семена тыквы (<i>Cucurbita pepo</i> L.)	Россия (Краснодарский край)	Ядро сырое	9,4	Справочник «Химический состав российских пищевых продуктов» (2007)	7,62 ± 0,67	–1,78	–18,94
Бразильский орех (<i>Bertholletia excelsa</i> Bonpl.)	Перу	Ядро сырое	1917	Каталог FAO/ INFOODS	873,00 ± 12,50	–1044,00	–54,46
Бразильский орех (<i>Bertholletia excelsa</i> Bonpl.)	Боливия	Ядро сырое	1917	Каталог FAO/ INFOODS	1409,52 ± 12,50	–507,48	–26,47

Примечание: для каждого вида орехов и семян исследовано по два образца различного географического происхождения и/или товарной формы. Каждый образец формировали из двух упаковок одной товарной партии. Различия между парными образцами одного вида не превышали 5 %, кроме бразильского ореха. Для последующих расчетов использовали среднее арифметическое двух образцов каждого вида. Полученные парные значения характеризуют только исследованную выборку и не позволяют оценить межпартийную вариабельность продукции.

Note: Two samples of different geographical origin and/or packaging were examined for each type of nuts and seeds. Each sample was formed from two packages of the same product batch. The differences between the paired samples of the same type were below 5%, except for Brazil nuts. The arithmetic mean of the two samples of each type was used for subsequent calculations. The paired values cannot be used to assess inter-batch variability.

Наибольшее содержание селена установлено в бразильском орехе: среднее значение двух образцов составило 1141,26 мкг/100 г, что примерно в 64,9 раза превышает среднее значение по образцам остальных видов (17,59 мкг/100 г). Отклонения фактического содержания селена от справочных значений для отдельных продуктов значительны и согласуются с данными о зависимости накопления Se растениями от геохимических характеристик почв [9, 10].

Наибольшее среднее фактическое содержание Se среди видов без учета бразильского ореха установлено в семенах подсолнечника (49,20 мкг/100 г) и кунжута (43,54 мкг/100 г). Для семян подсолнечника значение ниже справочного на 17,3 %, тогда как для кунжута – выше на 26,6 %. Такие расхождения могут быть

связаны с различиями географического происхождения, сортового состава и агроэкологических условий выращивания [9]. Максимальное превышение справочных значений выявлено для фисташек: среднее фактическое содержание – 8,60 мкг/100 г при справочном значении 3,7 мкг/100 г (+132,4 %). Для пекана превышение составило 80,3 % (6,85 против 3,80 мкг/100 г), для фундука – 45,1 % (5,81 против 4,00 мкг/100 г), для кокосовой стружки – 21,0 % (19,48 против 16,10 мкг/100 г).

Наиболее близкие к справочным средние значения получены для семян льна (24,87 против 25,40 мкг/100 г; –2,1 %) и арахиса (7,43 против 7,20 мкг/100 г; +3,2 %). Для миндаля отклонение составило –6,0 % (3,86 против 4,10 мкг/100 г), для кешью – +7,2 % (21,12 против 19,70 мкг/100 г).

Отдельного внимания заслуживает отсутствие детектируемого содержания селена в кедровом орехе при справочном значении 0,7 мкг/100 г, которое находится на границе чувствительности применявшегося метода (0,5 мкг/100 г), что требует дополнительной верификации с использованием методик с более низким пределом обнаружения. Полученный результат может быть связан с низким содержанием Se в почвах происхождения сырья [9, 10], однако дизайн исследования не позволяет установить причину недетектируемого уровня.

Наблюдаемые различия между фактическими и справочными данными могут быть обусловлены геохимическими особенностями почв, сортовым составом, условиями хранения и транспортировки, а также ограниченным объемом выборок, использованных при формировании справочных таблиц [9, 10]. Полученные результаты согласуются с выводом [9] о необходимости актуализации баз данных о составе пищевых продуктов с учетом происхождения сырья.

Корреляционный анализ фактического содержания селена с содержанием белков и жиров в орехах и семенах. Корреляционный блок выполнен как разведочный анализ вторичных данных. Для каждого вида

использовали среднее фактическое содержание Se по двум образцам и справочные значения содержания белков и жиров; фактическое содержание макронутриентов в исследованных пробах не определяли. Бразильский орех исключили как статистический выброс: после исключения кедрового ореха, не имевшего количественного значения, критерий Граббса составил $G = 3,32$ при $G_{\text{крит}} = 2,462$ ($n = 13$; $\alpha = 0,05$). Среднее содержание Se в бразильском орехе (1141,26 мкг/100 г) в 23,2 раза превышало следующее по величине значение. Кедровый орех сохранили в описательной части и таблице 2, но исключили из корреляционного анализа (табл. 3), поскольку содержание Se в обоих образцах было ниже предела обнаружения, а подстановка нулевого значения создавала бы систематическую погрешность. Итоговая выборка разведочного корреляционного анализа составила $n = 12$. Исходные данные представлены в таблице 3, а коэффициенты корреляции – в таблице 4.

Разведочный анализ не выявил статистически значимой связи между фактическим содержанием Se и справочным содержанием белков (рис. 1): $r = 0,055$ ($p = 0,865$); $\rho = 0,196$ ($p = 0,542$). Уравнение линейной регрессии (2):

Таблица 3. Исходные данные разведочного корреляционного анализа (справочные значения белков и жиров; $n = 12$)

Table 3. Initial data for exploratory correlation analysis (reference values for proteins and fats; $n = 12$)

Продукт	Белки, г/100 г	Жиры, г/100 г	Фактическое содержание Se, мкг/100 г
Кокосовая стружка (сушеная) (<i>Cocos nucifera</i> L.)	13,0	65,0	19,48
Орех грецкий (<i>Juglans regia</i> L.)	15,2	65,2	12,56
Семена подсолнечника (<i>Helianthus annuus</i> L.)	20,7	52,9	49,20
Фисташки (<i>Pistacia vera</i> L.)	20,2	45,3	8,60
Фундук (<i>Corylus avellana</i> L.)	15,0	61,5	5,81
Арахис (<i>Arachis hypogaea</i> L.)	26,3	45,2	7,43
Кешью (<i>Anacardium occidentale</i> L.)	18,5	48,5	21,12
Кунжут (<i>Sesamum indicum</i> L.)	20,5	61,2	43,54
Миндаль (<i>Prunus dulcis</i> (Mill.) D. A. Webb)	19,0	54,0	3,86
Пекан (<i>Carya illinoensis</i> (Wangenh.) K. Koch)	9,2	71,2	6,85
Семена льна пищевые (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	18,3	42,2	24,87
Семена тыквы (<i>Cucurbita pepo</i> L.)	30,2	49,1	7,81

Таблица 4. Коэффициенты разведочного корреляционного анализа фактического содержания Se и справочного макронутриентного состава ($n = 12$)

Table 4. Coefficients of exploratory correlation analysis of the actual Se content and reference macro-nutrient composition ($n = 12$)

Исследуемые переменные	Коэффициент корреляции Пирсона (r)	Коэффициент Спирмена (ρ)	p (Пирсон)
Se – Белки, г/100 г	0,055	0,196	0,865
Se – Жиры, г/100 г	–0,030	–0,224	0,927

Примечание: p – двустороннее p -значение для проверки нулевой гипотезы об отсутствии линейной корреляции Пирсона; при $\alpha = 0,05$ линейные связи статистически незначимы (критическое $|r| = 0,576$ при $n = 12$).

Note: p – two-sided p -value for testing the null hypothesis of no Pearson linear correlation. The linear relationships are not statistically significant at $\alpha = 0.05$ (critical $|r| = 0.576$ for $n = 12$).

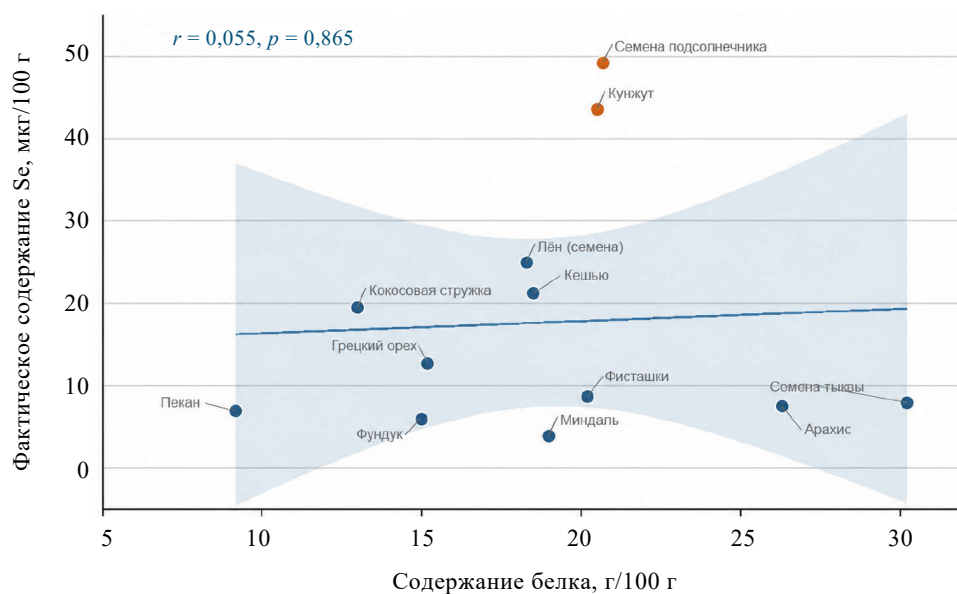


Рисунок 1. Разведочный анализ связи фактического содержания Se со справочным содержанием белков (n = 12). Синяя линия – линейный тренд ($Se = 0,148 \times \text{Белки} + 14,81$); затененная область – 95 % доверительный интервал

Figure 1. Actual selenium content vs. reference protein content (n = 12). Blue line: Linear trend ($Se = 0.148 \times \text{Protein} + 14.81$); shaded area: 95% confidence interval

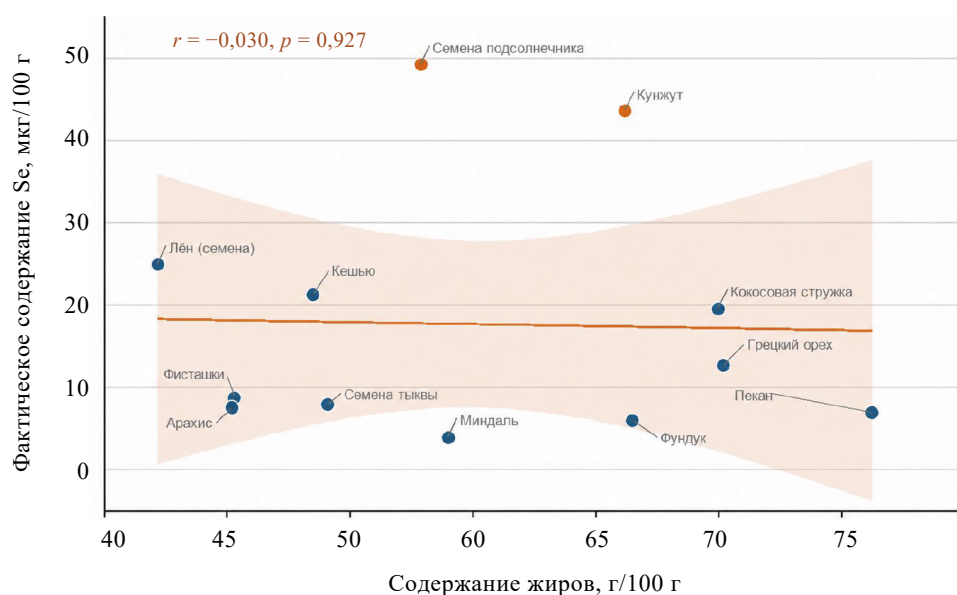


Рисунок 2. Разведочный анализ связи фактического содержания Se со справочным содержанием жиров (n = 12). Сплошная оранжевая линия – линейный тренд ($Se = -0,047 \times \text{Жиры} + 20,19$); затененная область – 95 % доверительный интервал

Figure 2. Actual selenium content vs. reference fat content (n = 12). The solid orange line is the linear trend ($Se = -0.047 \times \text{Fat} + 20.19$); the shaded area represents the 95% confidence interval

$$Se = 0,148 \times \text{Белки} + 14,81 \quad (2)$$

Результат относится к данной ограниченной выборке и не позволяет оценивать связь Se с фактически измеренным белком в конкретных пробах.

Посредством разведочного анализа не выявлено статистически значимой связи фактического содержания Se со справочным содержанием жиров (рис. 2):

$r = -0,030$ ($p = 0,927$); $\rho = -0,224$ ($p = 0,484$). Полученное уравнение регрессии (3):

$$Se = -0,047 \times \text{Жиры} + 20,19 \quad (3)$$

Наблюдаемая слабая отрицательная направленность статистически незначима и не должна интерпретироваться как биологическая закономерность.

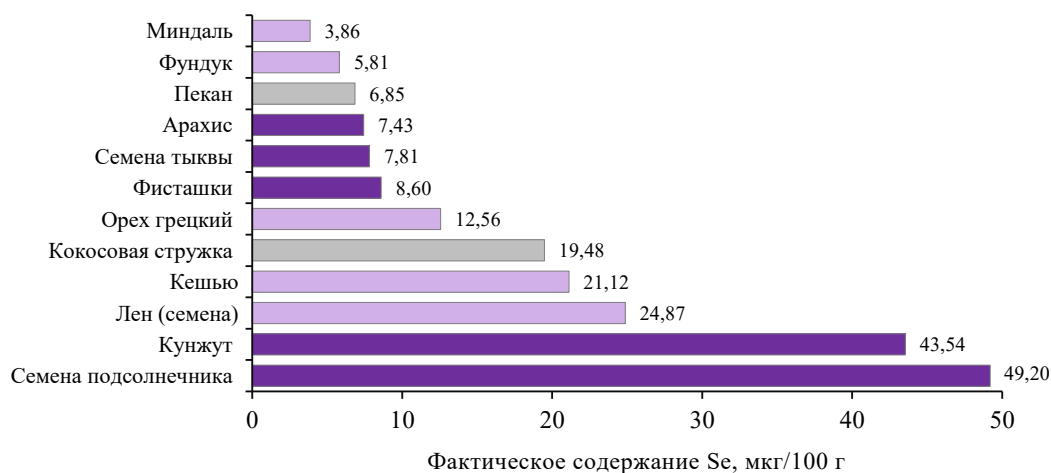


Рисунок 3. Фактическое содержание Se в исследуемых образцах (без бразильского и кедрового орехов; $n = 12$). Продукты ранжированы по возрастанию содержания Se. Цвет отражает условные категории справочного содержания белка: фиолетовый – высокий (≥ 20 г/100 г); лиловый – средний (от 15 включительно до 20 г/100 г не включительно); серый – низкий (< 15 г/100 г)

Figure 3. Actual selenium content across samples (excluding Brazil nuts and pine nuts; $n = 12$). The products are ranked in ascending order of selenium content. The reference protein levels are color-coded: purple – high (≥ 20 g/100 g); lilac – medium ($15 \leq \text{protein} < 20$ g/100 g), gray – low (< 15 g/100 g)

В исследованной выборке (рис. 3) средние значения Se варьировали от 3,86 мкг/100 г для миндаля до 49,20 мкг/100 г для семян подсолнечника. Расположение продуктов с различным справочным содержанием белка в разных частях ранга визуально не демонстрирует устойчивой зависимости, однако эта иллюстрация имеет описательный характер и не заменяет анализ фактически измеренного макронутриентного состава.

В основной разведочной выборке ($n = 12$) статистически значимые связи Se со справочным содержанием белков и жиров не выявлены. Анализ чувствительности показал, что включение бразильского ореха ($n = 13$) меняет коэффициент Пирсона для белка с 0,055 до $-0,225$, а для жиров – с $-0,030$ до 0,343; оба значения остаются ниже критического $|r| = 0,553$. Изменение направления коэффициентов указывает на высокую чувствительность результатов к единичному экстремальному наблюдению. Поэтому результаты следует рассматривать исключительно как разведочные: они не доказывают отсутствия биохимических связей и требуют проверки на расширенной выборке с прямым определением белков, жиров и показателей антиоксидантной активности.

Бразильский орех исключен из основной корреляционной модели как статистически подтвержденный выброс ($G = 3,32 > G_{\text{крит}} = 2,462$; $n = 13$; $\alpha = 0,05$), но включен в анализ чувствительности. Среднее содержание Se составило 1141,26 мкг/100 г при справочном содержании белков 14,3 г/100 г и жиров 67,1 г/100 г. Полученные данные иллюстрируют экстремальное положение вида в исследованной выборке, но сами по себе не позволяют установить механизм накопления селена.

При принятии решений о возможном повышении содержания селена в рационах (особенно для организованных коллективов) необходимо учитывать не только содержание микронутриента, но и экономическую составляющую. Орехи и орехоподобные культуры существенно различаются по своей розничной стоимости: цена за 100 г продукта на российском потребительском рынке варьирует от 33 руб. (арахис) до 400 руб. (кедровый орех). Значительный разброс розничных цен обусловлен географией производства, трудоемкостью возделывания и уборки, а также логистическими издержками при импорте. Стоимость удовлетворения суточной физиологической потребности в селене за счет того или иного продукта может различаться на порядок, что практически значимо при разработке рекомендаций по питанию и формированию продуктовых корзин.

Дополнительным ограничивающим фактором является высокая калорийность орехов и семян, обусловленная значительным содержанием липидов (40–70 % от массы сухого вещества). Порция, необходимая для покрытия расчетной потребности в селене, может вносить существенный вклад в энергетическую ценность рациона. Расчет в таблице 5 выполнен для уровня 70 мкг Se/сутки – нормы физиологической потребности взрослых мужчин старше 18 лет по МР 2.3.1.0253-218; для взрослых женщин установлено 55 мкг/сутки. Уровень 70 мкг/сутки использован как единый кон-

⁸ МР 2.3.1.0253-21. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации: методические рекомендации (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 22.06.2021). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_395381/ (дата обращения: 27.06.2026).

Таблица 5. Расчет порции, стоимости и калорийности исследованных образцов для достижения 70 мкг Se/сутки

Table 5. Portion size, cost, and caloric content across samples for target daily intake of 70 µg of selenium

Продукт	Фактическое содержание Se, мкг/100 г	Порция для 70 мкг Se, г	Цена 100 г, руб.	Стоимость расчетной порции, руб.	Ккал/100 г	Ккал в порции	% от 2000 ккал
Кокосовая стружка (<i>Cocos nucifera</i> L.)	19,48	359,3	85	305,4	354	1272	63,6
Орех грецкий (<i>Juglans regia</i> L.)	12,56	557,3	140	780,3	654	3645	182,2
Семена подсолнечника (<i>Helianthus annuus</i> L.)	49,20	142,3	48	68,3	601	855	42,8
Фисташки (<i>Pistacia vera</i> L.)	8,60	814,0	180	1465,1	562	4574	228,7
Фундук (<i>Corylus avellana</i> L.)	5,81	1204,8	150	1807,2	628	7566	378,3
Арахис (<i>Arachis hypogaea</i> L.)	7,43	942,1	33	310,9	552	5201	260,0
Кедровый орех (<i>Pinus sibirica</i> Du Tour)	Ниже предела обнаружения	–	400	–	673	–	–
Кешью (<i>Anacardium occidentale</i> L.)	21,12	331,4	265	878,3	553	1833	91,6
Кунжут (<i>Sesamum indicum</i> L.)	43,54	160,8	91	146,3	565	908	45,4
Миндаль (<i>Prunus dulcis</i> (Mill.) D. A. Webb)	3,86	1813,5	250	4533,7	575	10427	521,4
Пекан (<i>Carya illinoensis</i> (Wangenh.) K. Koch)	6,85	1021,9	290	2963,5	691	7061	353,1
Семена льна пищевые (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	24,87	281,5	37	104,1	534	1503	75,2
Семена тыквы (<i>Cucurbita pepo</i> L.)	7,81	896,3	140	1254,8	556	4983	249,2
Бразильский орех (<i>Bertholletia excelsa</i> Bonpl.)	1141,26	6,1	400	24,5	659	40	2,0

сервативный сценарий для сопоставления продуктов. Энергетическую ценность рациона условно приняли равной 2000 ккал. Калорийность продуктов принята по справочным данным таблиц химического состава пищевых продуктов. Розничные цены зафиксированы в период исследования (2025–2026 гг.).

Для модельной оценки принята условная порция орехов и семян 20 г/сутки. Выбранная величина соответствует диапазону 15–30 г/сутки, приведенному в научном обосновании. Dutch Dietary Guidelines 2025 для совокупного потребления орехов, арахиса и семян⁹, и используется как унифицированная рас-

четная порция, а не как установленная в Российской Федерации физиологическая норма. В порции 20 г вклад количественно определенных продуктов в достижение принятого расчетного уровня 70 мкг Se/сутки составляет от 1,1 % для миндаля до 14,1 % для семян подсолнечника; для кунжута – 12,4 %, для семян льна – 7,1 %. Для кедрового ореха верхняя оценка, рассчитанная по пределу обнаружения, составляет менее 0,2 %. Средняя порция бразильского ореха 20 г содержит 228,3 мкг Se (326,1 % от принятого расчетного уровня), а для двух отдельных образцов диапазон составляет 174,6–281,9 мкг (249,4–402,7 % от принятого расчетного уровня). При отдельном расчете количества продукта, обеспечивающего 70 мкг Se, наименьшая стоимость получена для семян подсолнечника (68,3 руб.), семян льна (104,1 руб.) и кунжута (146,3 руб.); наибольшая стоимость – для мин-

⁹ Health Council of the Netherlands. Nuts and seeds and chronic diseases: Background document to Dutch dietary guidelines: dietary protein sources and dietary patterns 2025. URL: <https://www.health-council.nl/documents/2025/12/04/nuts-and-seeds-and-chronic-diseases> (дата обращения: 27.06.2026).

даля (4533,7 руб.), пекана (2963,5 руб.) и фундука (1807,2 руб.). Для бразильского ореха расчетная порция составляет 6,1 г стоимостью 24,5 руб., однако из-за высокой вариабельности содержания Se такой расчет следует рассматривать как ориентировочный.

При получении 70 мкг Se наименьший расчетный энергетический вклад среди продуктов без бразильского ореха дают семена подсолнечника (855 ккал; 42,8 % от 2000 ккал), кунжут (908 ккал; 45,4%) и семена льна (1503 ккал; 75,2 %). Наибольший вклад рассчитан для миндаля (10 427 ккал; 521,4 %), фундука (7566 ккал; 378,3 %) и пекана (7061 ккал; 353,1 %). Эти значения показывают, что большинство исследованных продуктов нецелесообразно рассматривать как единственный источник закрытия суточной потребности в Se.

Среди продуктов без бразильского ореха наиболее благоприятное сочетание расчетной стоимости и энергетической нагрузки при получении 70 мкг Se характерно для семян подсолнечника, кунжута и семян льна. Для бразильского ореха расчетная порция 6,1 г соответствует примерно 40 ккал (2,0 % от рациона) и стоимости 24,5 руб., однако практическая интерпретация ограничена выраженной вариабельностью содержания Se между образцами. Для арахиса расчетная порция составляет 942,1 г; 5201 ккал (260,0 %) и 310,9 руб., что исключает его использование как единственного источника принятого расчетного уровня Se.

Выводы

В исследовании методом инверсионной вольтамперометрии определено содержание Se в 28 образцах, представлявших 14 видов орехов и семян, реализуемых в розничной торговле (Кемерово, Россия)

В 24-х количественно определенных образцах без бразильского и кедрового орехов среднее содержание Se составило 17,59 мкг/100 г при среднем справочном значении 17,03 мкг/100 г. При этом совпадение средних не отражало выраженных различий для отдельных видов. В кедровом орехе содержание Se было ниже предела обнаружения.

Наибольшие отклонения средних значений от справочных установлены для фисташек (+132,4 %), пекана (+80,3 %), фундука (+45,1 %), кунжута (+26,6 %) и грецкого ореха (–26,1 %). Эти результаты характеризуют исследованную выборку и не могут быть экстраполированы на всю продукцию соответствующего происхождения.

Разведочный анализ справочных значений белков и жиров не выявил статистически значимой связи с фактическим содержанием Se. Ввиду использования вторичных данных и малого объема выборки результат не подтверждает отсутствие биохимических взаимосвязей и требует проверки с прямым определением макронутриентов и показателей антиоксидантной активности.

Для условной порции 20 г вклад большинства количественно определенных продуктов составил 1,1–14,1 % принятого расчетного уровня 70 мкг Se/сут, тогда как средняя порция бразильского ореха обеспечивала около 326 % принятого расчетного уровня. Из-за высокой межобразцовой вариабельности расчеты для бразильского ореха следует использовать только как ориентировочные.

Ограничениями работы являются исследование двух образцов каждого вида, формирование каждого образца из двух упаковок одной товарной партии, отсутствие оценки межпартийной вариабельности, использование справочных значений белков и жиров и невозможность количественного определения Se в кедровом орехе примененным методом.

Полученные данные обосновывают необходимость расширенного мониторинга содержания Se в орехах и семенах с включением нескольких товарных партий, прямым определением макронутриентного состава и применением более чувствительных методов для образцов с низким содержанием элемента.

Критерии авторства

Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

The authors contributed equally to the research and bear equal responsibility for the information published in this article.

Conflict of interest

The authors declared no potential conflict of interest regarding the research, authorship, and/or publication of this article.

Список литературы / References

1. Rayman M. P. Selenium and human health. *Lancet*. 2012;379(9822):1256–1268. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(11\)61452-9](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(11)61452-9)
2. Kieliszek M, Błażej S. Selenium: Significance, and outlook for supplementation. *Nutrition*. 2013;29(5):713–718. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2012.11.012>
3. Варламова Е. Г., Мальцева В. Н. Уникальность природы микроэлемента селена и его ключевые функции. *Биофизика*. 2019. Т. 64. № 4. С. 646–660. [Varlamova EG, Maltseva VN. The uniqueness of the nature of the trace element selenium and its key functions. *Biophysics*. 2019;64(4):646–660. (In Russ.)] <https://doi.org/10.1134/S0006302919040021>

4. Alamir SG, Al-Harrasi A, Ibrahim AE. The interplay of selenium and human health. *Recent Advances in Thyroid Disorders*. 2025;1–26. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1009672>
5. Rayman MP. Selenium intake, status, and health: a complex relationship. *Hormones*. 2020;19(1):9–14. <https://doi.org/10.1007/s42000-019-00125-5>
6. Rayman MP. The argument for increasing selenium intake. *Proceedings of the Nutrition Society*. 2002;61(2):203–215. <https://doi.org/10.1079/PNS2002153>
7. Kieliszek M, Błażej S. Current knowledge on the importance of selenium in food for living organisms: A Review. *Molecules*. 2016;21(5):609. <https://doi.org/10.3390/molecules21050609>
8. Kieliszek M, Bano I, Zare H. A Comprehensive review on selenium and its effects on human health and distribution in middle eastern countries. *Biological Trace Element Research*. 2022;200(3):971–987. <https://doi.org/10.1007/s12011-021-02716-z>
9. Combs GF Jr. Selenium in global food systems. *British Journal of Nutrition*. 2001;85(5):517–547. <https://doi.org/10.1079/BJN2000280>
10. Navarro-Alarcon M, Cabrera-Vique C. Selenium in food and the human body: A review. *Science of the Total Environment*. 2008;400(1–3):115–141. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.06.024>
11. Stoffaneller R, Morse NL. A review of dietary selenium intake and selenium status in Europe and the middle east. *Nutrients*. 2015;7(3):1494–1537. <https://doi.org/10.3390/nu7031494>
12. Rayman MP. Food-chain selenium and human health: Emphasis on intake. *British Journal of Nutrition*. 2008;100(2):254–268. <https://doi.org/10.1017/S0007114508939830>
13. Ibrahim SAZ, Kerkadi A, Agouni A. Selenium and health: An update on the situation in the middle east and North Africa. *Nutrients*. 2019;11(7):1457. <https://doi.org/10.3390/nu11071457>
14. Бубнова Н. В., Тимофеева Н. Ю., Кострова О. Ю., Стручко Г. Ю., Котёлкина А. А. и др. Биологическая роль селена (обзор литературы). *Acta Medica Eurasica*. 2023. № 2. С. 114–123. [Bubnova NV, Timofeeva NYu, Kostrova OYu, Struchko GYu, Kotelkina AA, *et al.* Biological role of selenium (literature review). *Acta Medica Eurasica*. 2023;(2):114–123. (In Russ.)] <https://doi.org/10.47026/2413-4864-2023-2-114-123>
15. Sioen I, Boon PE, Huybrechts I, De Neve M, Amiano P, *et al.* Long-term dietary exposure to selenium in young children living in different European countries. *EFSA Supporting Publications*. 2010;7(5):EN-56. <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2010.EN-56>
16. Lymbury R, Tinggi U, Griffiths L, Rosenfeldt F, Perkins AV. Selenium status of the Australian population: Effect of age, gender and cardiovascular disease. *Biological Trace Element Research*. 2008;126(1–3):1–10. <https://doi.org/10.1007/s12011-008-8208-6>
17. Сапарклычева С. Е., Чулкова В. В. Растения, обладающие способностью концентрировать селен. *Вестник биотехнологии*. 2020. № 2. С. 14. [Saparklycheva SE, Chulkova VV. Plants with the ability to concentrate selenium. *Bulletin of Biotechnology*. 2020;(2):14. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/BQAAAI>
18. Hu W, Zhao C, Hu H, Yin S. Food sources of selenium and its relationship with chronic diseases. *Nutrients*. 2021;13(5):1739. <https://doi.org/10.3390/nu13051739>
19. Filippini T, Michalke B, Wise LA, Malagoli C, Malavolti M, *et al.* Diet composition and serum levels of selenium species: A cross-sectional study. *Food and Chemical Toxicology*. 2018;115:482–490. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.03.048>
20. Kannamkumarath SS, Wrobel K, Wrobel K, Vonderheide A, Caruso JA. HPLC-ICP-MS determination of selenium distribution and speciation in different types of nut. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2002;373:454–460. <https://doi.org/10.1007/s00216-002-1354-3>
21. Rodushkin I, Engström E, Sörlin D, Baxter D. Levels of inorganic constituents in raw nuts and seeds on the Swedish market. *Science of the Total Environment*. 2008;392:290–304. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.11.024>
22. Журавлев А. В., Гиро Т. М., Куликовский А. В., Андреева С. В. Методология определения органического селена в форме селенометионина в пищевой продукции. *Достижения науки и техники АПК*. 2023. Т. 37. № 12. С. 82–86. [Zhuravlev AV, Giro TM, Kulikovskiy AV, Andreeva SV. Methodology for determining organic selenium in the form of selenomethionine in food products. *Achievements of Science and Technology of the Agro-Industrial Complex*. 2023;37(12):82–86. (In Russ.)] https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_12_82
23. Elsom R, Sanderson P, Hesketh JE, Jackson MJ, Fairweather-Tait SJ, *et al.* Functional markers of selenium status: UK food standards agency workshop report. *British Journal of Nutrition*. 2006;96(5):980–984. <https://doi.org/10.1017/BJN20061893>
24. Filichkina OG, Zakharova EA, Slepchenko GB. Determination of selenium in foodstuffs by cathodic stripping voltammetry at a mercury-graphite electrode. *Journal of Analytical Chemistry*. 2004;59(5):481–486. <https://doi.org/10.1023/B:JANC.0000026242.68261.13>
25. Дерябина В. И., Скворцова Л. Н., Захарова Э. А., Слеченко Г. Б. Вольтамперометрический контроль содержания селена и его форм в растениях и пищевых добавках с использованием экстракции и ионного обмена. *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. 2006. Т. 72. № 11. С. 7–10. [Deryabina VI, Skvortsova LN, Zakharova EA, Slepchenko GB. Voltammetric control of selenium content and its forms in plants and food additives using extraction and ion exchange. *Factory Laboratory. Materials Diagnostics*. 2006;72(11):7–10. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/HZZAWZ>

26. Slepchenko GB, Moiseeva ES, Dorozhko EV, Ostapenko MS, Auelbekova A, *et al.* An electrochemical sensor for detecting selenium in biological fluids on an arenediazonium tosylate-modified metal electrode. *Analytical Methods*. 2021;13(13):1584–1590. <https://doi.org/10.1039/D1AY00156F>
27. Schomburg L. Dietary selenium and human health. *Nutrients*. 2017;9(1):22. <https://doi.org/10.3390/nu9010022>
28. Варламова Е. Г. Микроэлемент селен: уникальные свойства, встречаемость в природе, ключевые функции селенсодержащих соединений, роль в здоровье. М.: Русайнс, 2024. 88 с. [Varlamova EG. The trace element selenium: unique properties, occurrence in nature, key functions of selenium-containing compounds, role in health. Moscow: Rusains; 2024. 88 p. (In Russ.)]
29. Janghorbani M, Xia Y, Ha P, Whanger PD, Butler JA, *et al.* Effect of dietary selenium restriction on selected parameters of selenium status in men with high life-long intake. *Journal of Nutritional Biochemistry*. 1999;10(10):564–572. [https://doi.org/10.1016/S0955-2863\(99\)00039-X](https://doi.org/10.1016/S0955-2863(99)00039-X)

Дополнительная информация об авторах / Additional information about the authors

Давыденко Наталия Ивановна / Nataliia I. Davydenko ORCID 0000-0003-2479-8750; eLIBRARY SPIN 7513-1585
Зирка Анна Юрьевна / Anna Yu. Zirka ORCID 0000-0003-3441-4351; eLIBRARY SPIN 2081-7995
Мирный Даниил Дмитриевич / Daniil D. Mirnyj ORCID 0009-0002-5105-2938; eLIBRARY SPIN 5802-8177