

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.147.2>

САПОНИНЫ: КЛАССИФИКАЦИЯ, БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В МЕДИЦИНЕ

Короткое обращение

Курдюков Е.Е.<sup>1,\*</sup>, Селезнева Ю.А.<sup>2</sup>, Митишев А.В.<sup>3</sup>, Фриндак К.А.<sup>4</sup>, Плешакова Д.А.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>ORCID : 0000-0001-9512-6770;

<sup>3</sup>ORCID : 0000-0002-3327-9744;

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Пензенский государственный университет, Пенза, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (e.e.kurdyukov[at]mail.ru)

**Аннотация**

Сапонины – одна из самых многочисленных и разнообразных групп биологически активных соединений. Они выполняют целый ряд экологических функций, включая защиту растений от болезней и травоядных животных и, возможно, в качестве аллелопатических агентов в конкурентных взаимодействиях между растениями. Некоторые сапонины также являются важными фармацевтическими препаратами, и недостаточно изученное биологическое разнообразие растительных сапонинов, вероятно, окажется жизненно важным ресурсом для будущих открытий лекарственных средств. Биологическую активность сапонинов обычно приписывают амфипатическим свойствам этих молекул, которые состоят из гидрофобного тритерпена или стероловой основы и гидрофильной углеводной цепи, хотя известно, что некоторые сапонины обладают биологической активностью, которая зависит от других аспектов их структуры.

**Ключевые слова:** сапонины, классификация, применение, биологические свойства.

SAPONINS: CLASSIFICATION, BIOLOGICAL PROPERTIES AND PROSPECTS FOR USE IN MEDICINE

Short communication

Kurdyukov Y.Y.<sup>1,\*</sup>, Selezneva Y.A.<sup>2</sup>, Mitishev A.V.<sup>3</sup>, Frindak K.A.<sup>4</sup>, Pleshakova D.A.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>ORCID : 0000-0001-9512-6770;

<sup>3</sup>ORCID : 0000-0002-3327-9744;

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Penza State University, Penza, Russian Federation

\* Corresponding author (e.e.kurdyukov[at]mail.ru)

**Abstract**

Saponins are one of the most numerous and diverse groups of biologically active compounds. They fulfil a range of ecological functions, including defence of plants against disease and herbivores, and possibly act as allelopathic agents in competitive interactions between plants. Some saponins are also important pharmaceuticals, and the understudied biodiversity of plant saponins is likely to prove a vital resource for future drug discovery. The biological activity of saponins is usually attributed to the amphipathic properties of these molecules, which consist of a hydrophobic triterpene or sterol backbone and a hydrophilic carbohydrate chain, although some saponins are known to have biological activities that depend on other aspects of their structure.

**Keywords:** saponins, classification, application, biological properties.

**Введение**

Растущей тенденцией в пищевой, фармацевтической и косметической промышленности является использование натуральных растительных экстрактов или соединений растительного происхождения в качестве альтернативы применению химических или синтетических противомикробных препаратов для борьбы с вредной микрофлорой и патогенами [1], [2], [3]. Кроме того, была хорошо продемонстрирована нетоксичная природа химических веществ в растениях, положительные полезные свойства, восприятие потребителями и принятие их использования [4], [5].

Сапонины представляют собой структурно разнообразный класс соединений, встречающийся у многих видов растений и характеризующийся скелетом, полученным от 30-углеродного предшественника – 2,3-оксидосквалена, к которому присоединены гликозидные остатки. Сапонины относятся к гликозидам, производным стероидов и тритерпеноидов, обладающих гемолитической активностью и токсичностью для хладнокровных животных. Сапонин, выделенный из лекарственных растений, представляет собой встречающуюся в природе биоорганическую молекулу с высокой молекулярной массой и ее агликоновым ядром (нерастворимая в воде часть), содержащим от 27 до 30 атомов углерода, помимо одного или двух сахарных фрагментов (водорастворимая часть), содержащих по меньшей мере 6 или 12 атомов углерода соответственно. Сложность химии сапонинов, возможно, рассматривается многими учеными и исследователями как пробел в понимании взаимосвязи между химической структурой и его медицинским или фармацевтическим поведением. В современной медицине наблюдается увеличение спроса на применение сапонинов в связи с различными биологическими, лекарственными и фармацевтическими действиями [3], [5].

В настоящее время обнаружено большое количество сапонинов, открываются новые механизмы действия и выделения из лекарственного растительного сырья. В связи с этим необходимо обобщение научных исследований в области биологической активности и химической структуры сапонинов.

### Биологические свойства

Учитывая химическое разнообразие, сапонины в совокупности обладают широким спектром биологической активности. Многие из этих соединений обладают антимикробной и/или противогрибковой активностью и поэтому могут играть важную роль в защите растений [5]. Сапонины также обладают рядом важных фармакологических свойств, например, противовоспалительной, противогрибковой, антибактериальной, противопаразитарной, противораковой и противовирусной активностью [1], [2], [3]. Сапонины имеют дальнейшее применение в целом ряде отраслей промышленности, выходящих за рамки фармацевтики. Их поверхностно-активные свойства важны в производстве напитков и косметики, а сапонины используются в качестве пенообразователей для различных целей, в том числе в огнетушителях. Кроме того, некоторые сапонины используются в качестве ароматизаторов из-за их интенсивной сладости или горечи. Например, сладость корня солодки объясняется присутствием тритерпеноидного сапониона глицирризина. Сапонины обычно действуют путем стабилизации проницаемости плазматических мембран. Их амфипатические свойства позволяют им проникать через мембраны, где они образуют комплексы со стеринами и вызывают образование пор. Хотя проницаемость мембран является общей чертой сапонинов, эти соединения, вероятно, также оказывают дополнительное воздействие на клетки, например, вмешиваясь в клеточные процессы, такие как активность ферментов, транспорт, целостность органелл, окислительно-восстановительные функции и другие сигнальные процессы трансдукции и посредством запуска апоптоза. Для некоторых сапонинов было показано, что биологическая активность не зависит от амфипатичности, что делает маловероятным, что их механизм действия заключается в проницаемости мембран [4].

### Строение и классификация сапонинов

Сапонины относятся к гликозидам, производным стероидов и тритерпеноидов, обладающих гемолитической активностью и токсичностью для холоднокровных животных. Сапонины в зависимости от вида сапогенина делят на две группы: тритерпеновые и стероидные гликозиды, которые отличаются друг от друга по свойствам. Сапонины имеют разнообразное и сложное строение. Их молекулы состоят из двух частей: агликоновой или сапогенина и сахарной, в состав которой могут входить D- глюкоза, D-галактоза, L-рамноза, L-арабиноза, D- ксилоза, L-фруктоза, D- глюкоуроновая и D- галактууроновая кислоты [1]. Сапонины в зависимости от вида сапогенина делят на две группы: тритерпеновые и стероидные гликозиды, которые отличаются друг от друга по свойствам. В основе агликоновой части сапонинов лежит циклопентанопергидрофенантрен, образованный циклически соединений (три кольца шестичленные и одно – пятичленное) [3], [5].

Тритерпеновые сапонины содержат 30 атомов углерода и в зависимости от числа карбоциклов подразделяются как тетрациклические и пентациклические. Тетрациклические тритерпеновые сапонины условно делят на группы: производные даммарана, циклоартана, ланостана, кукурбитана и др. Производные даммарана легко окисляются до панаксадиола и панаксатриола [6].

К производным циклоартрана относятся таликтозиды, циклофозтозиды, скваррозиды, бизиозиды, шенгманол, цимигенол, дагуринол, выделенные из растений сем. *Ranunculaceae*; астрагалозиды, орбикозиды и абрузозиды (сем. *Fabaceae*); квадрангулозид и пассифлорин (сем. *Chenopodiaceae*). Ланосталовые производные содержатся не только в растениях, но и в грибах и организмах морских животных. В растениях обнаружены сцилласапонины разного состава и строения, например в *Muscari paradoxum* выявлено три вида сцилласапонин E [3], сцилласапонин F [4] и сцилласапонин G [5].

К производным лупана относятся лупеол, бетулин и бетулиновая кислота, содержание которых отмечено в люпине желтом, омеле белой, ольхе клейкой и представителях древесных растений сем. *Betulaceae* [7]. Урсан является основой а-амирина, который встречается в растениях сем. *Rosaceae*. Наиболее важный представитель производных урсана – урсоловая кислота, которая обнаружена во многих растениях в виде гликозида или свободного агликона. Карбоскелет олеанана лежит в основе Р-амирина, который определяет строение олеанановой, глицерритиновой, глицирризиновой и примуловой кислот, эсцина [5].

Стероидные сапонины также являются производными циклопентанопергидрофенантрена и относятся к C<sub>27</sub>-стеролам, в отличие от тритерпеновых сапонинов в положении C<sub>6</sub>-C<sub>7</sub> имеют спиростановую или фуростановую группу. Диосгенин, содержащийся в корневищах диоскореи ниппонской и других видов диоскореи, якорцах стелющихся и пажитнике сенном, часто используется для синтеза стероидных гормонов [8], [9]. К стероидным сапонином относятся также триллин, диосцин, грациллин, протодиосцин и др. [6].

### Применение в медицине

Сапонины используются в качестве биологически активных соединений для производства фармацевтических препаратов. Тритерпеновые гинзенозидные сапонины (гинзенозид) являются основными биологически активными компонентами женьшеня, корни которого широко используются в традиционной китайской медицине. Гинзенозиды обладают множеством фармакологических свойств, включая противоопухолевую, иммуномодулирующую и неврологическую активность. Тритерпеновый сапонин солодки, глицирризин, также широко применяется в медицине. Это соединение обладает противовирусной активностью и используется при лечении гепатита. Глицирризин также активен в отношении вирусов ВИЧ и атипичной пневмонии и, кроме того, обладает противовоспалительным, иммуномодулирующим действием и противовязвенной активностью. Однако глицирризин в основном используется во всем мире в качестве подсластителя в пищевой промышленности. Авицины (авицин D) представляют собой тритерпеновые сапонины из австралийского пустынного дерева *Acacia victoriae*, обладающие противоопухолевой активностью и используются при лечении онкологических заболеваний. Авицины оказывают ряд физиологических эффектов на клетки млекопитающих, включая индукцию апоптоза, подавление воспалительных реакций, ингибирование клеточной пролиферации и предотвращение мутагенеза, вызванного токсинами окружающей среды [1], [5], [7].

Важным адьювантом, используемым для повышения эффективности вакцин, является сапонин, полученный из коры южноамериканского дерева *Quillaja saponaria*, известный как QS21. Было показано, что ряд сапонинов действуют как адьюванты. Интересно, что наиболее эффективными адьювантными сапонинами являются бидесмозидные. Это контрастирует с другими биологическими активностями сапонинов, которые часто зависят от амфипатических свойств, связанных с монодесмозидными сапонинами. Сапонины также обладают важными диетическими свойствами, и их присутствие в продовольственных культурах имеет важное значение для здоровья человека. Сапонины, поступающие в организм как часть рациона человека, оказывают различное воздействие на здоровье, включая снижение уровня холестерина в крови [2], [5], [8].

Сапонины набухают и разрывают эритроциты, вызывая высвобождение гемоглобина. Влияние сапонина на гибель эритроцитов или гемолиз может ограничить терапевтический эффект использование этих веществ. С другой стороны, сапонины были предложены для лечения целого ряда заболеваний, включая диабет, ожирение и остеопороз. Токсичность сапонинов для насекомых (инсектицидная активность), червей-паразитов (антигельминтная активность), моллюсков (моллюскоцидная активность) и рыб (рыбоядная активность), а также их противогрибковые, противовирусные и антибактериальная активность хорошо задокументирована. Токсичность сапонинов для теплокровных животных зависит от источника, состава и концентрации этих соединений. Результаты исследований *in vivo* на крысах, мышах и кроликах показали, что сапонины не всасываются в пищеварительном тракте, а ферментативно гидролизуются до сапогенинов [9], [10].

Сапонины также обладают гиполипидемической активностью. Было предложено несколько механизмов для объяснения этого действия. Возможные механизмы могут включать способность сапонинов: образовывать нерастворимые комплексы с холестерином, влиять на образование мицелл, вмешиваться в метаболизм желчных кислот, ингибировать активность липазы или регулировать гомеостаз холестерина посредством мониторинга экспрессии ключевых регуляторных генов белков или ферменты, связанные с метаболизмом холестерина [8], [9], [11]. Активность сапонинов, снижающая уровень холестерина, была продемонстрирована в испытаниях на животных. Рацион для животных, содержащий очищенные сапонины или концентрированные экстракты сапонинов, содержащие, например, дигитонин (сапонин из наперстянки пурпурной), сайкосапонин (сапонины из *Vupleurumfalcatum* и родственных растений) и сапонины из мыльнянки, сои, нута, юкки, люцерны, пажитника, квиллаи, гипсофилы и чеснока приводили к снижению концентрации холестерина [6], [7], [11].

Была изучена противоопухолевая активность соевых сапонинов, гинзенозидов, сайкосапонина, диосгенина и глицирризиновой кислоты. В частности, в последние годы был изучен потенциал сапонинов сои в качестве антиканцерогенных веществ. Также была исследована противоопухолевая активность растений, содержащих сапонин, таких как женьшень и солодка [5], [9], [12]. Изучение взаимосвязи между химической структурой агликонов и противоопухолевой активностью соевых сапонинов в толстой кишке показало, что соевые сапогенолы более биологически активны, чем гликозидные сапонины. Другие агликоны, обладающие противоопухолевой активностью, включают даммаранезапогенины из женьшеня, бегулиновую кислоту и олеаноловую кислоту. Сообщалось также, что эти два последних соединения обладают противовирусной, противовоспалительной, гепатопротекторной, противоязвенной, антибактериальной, гипогликемической, снижающей фертильность и антикариогенной активностью. Однако превращение сапонинов в их агликоны также может привести к потере активности. Например, гидролиз сапонинов бактериями рубца приводит к потере антипротозойной активности. Аналогичным образом, деацилирование Сапонины квилладжи снижают их адьювантную активность [6], [8], [12].

## Заключение

Сапонины образуются в результате соединения остатков сахара (таких как глюкоза, фруктоза, галактоза, арабиноза и другие) с молекулой, не содержащей сахара (агликон). Именно эта молекулярная структура отвечает за детергентную активность сапонинов, поскольку сахара образуют водорастворимую часть, в то время как агликон является жирорастворимым. Сапонин с одной сахарной частью был известен как монодесмозидный, но с двумя сахарными частями назывался бидесмозидным. В соответствии с числом атомов углерода, количеством кислорода и азота, присутствующих в молекуле, агликон, генин или сам сапогенин были классифицированы на тритерпеноидные, стероидные и алкалоидные гликозиды.

Наличие сапонина в растительном материале может быть подтверждено с помощью сухого или влажного теста в зависимости от характеристик пенообразования. Определение общего содержания сапонина может быть выполнено путем последовательной экстракции растворителем с использованием *n*-бутанола.

Сапонины – это разнообразное соединения, традиционно используемые в качестве натуральных мощных средств. Их физико-химические и биологические свойства широко используются в пищевой, косметической и фармацевтической промышленности. Информация о составе (качественном и количественном), свойствах сапонинов, присутствующих в сырье, и влиянии обработки на их состав и свойства являются ключевыми элементами успешного проектирования технологического процесса.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Рецензия**

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Review**

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

**Список литературы / References**

1. Connolly J.D. Triterpenoids / J.D. Connolly, R.A. Hill // *Nat Prod Rep.* — 2007. — № 24. — P. 465–486.
2. Моисеев Я.П. Спектрофотометрическое определение суммы сапонинов в плодах дерезы китайской *Lycium chinense mill* / Я.П. Моисеев, Е.Е. Курдюков, А.В. Митишев // *Химия растительного сырья.* — 2021. — № 2. — С. 123–128. DOI: 10.14258/jcprm.2021028771
3. Moses T. Metabolic and functional diversity of saponins, biosynthetic intermediates and semi-synthetic derivatives / T. Moses, K.K. Papadopoulou, A. Osbourn // *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology.* — 2014. — № 49. — P. 439–462.
4. Liu J. Components characterization of total tetraploid jiaogulan (*Gynostemma pentaphyllum*) saponin and its cholesterol-lowering properties / J. Liu, Y. Li, H. Shi et al. // *Journal of Functional Foods.* — 2016. — № 23. — P. 542–555.
5. Cheok C.Y. Extraction and quantification of saponins: A review / C.Y. Cheok, H.A.K. Salman, R. Sulaiman // *Food Research International.* — 2014. — № 59. — P. 16–40.
6. Proestos C. Antioxidant capacity and antimicrobial activity of selected aromatic Egyptian plants / C. Proestos, K. Rashed, A. Roidaki // *Agro Food Industry HI-TECH.* — 2016. — № 4. — P. 35–38.
7. Roidaki A. Super foods and super herbs: antioxidant and antifungal activity / A. Roidaki, E. Kollia, E. Panagopoulou et al. // *Current Research in Nutrition and Food Science.* — 2016. — № 2. — P. 138–145.
8. Cheok C.Y. Extraction and quantification of saponins: A review / C.Y. Cheok, H.A.K. Salman, R. Sulaiman // *Food Research International.* — 2014. — № 59. — P. 16–40.
9. Marrelli M. Effects of saponins on lipid metabolism: A review of potential health benefits in the treatment of obesity / M. Marrelli, F. Conforti, F. Araniti // *Molecules.* — 2016. — № 21.
10. Elekofehinti O.O. Saponins: Anti-diabetic principles from medicinal plants – A review / O.O. Elekofehinti // *Pathophysiology.* — 2015. — № 22. — P. 95–103.
11. Белик В.А. Лекарственное растительное сырье, содержащее сапонины / В. А. Белик // *Биотехнология: взгляд в будущее.* — 2020. — № 1. — С. 38–40.
12. Мироненко Н.В. Сапонины / Н.В. Мироненко, В.Ф. Селеменев, В.Г. Артюхов и др. — Воронеж : Издательско-полиграфический центр "Научная книга", 2019. — 205 с.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Connolly J.D. Triterpenoids / J.D. Connolly, R.A. Hill // *Nat Prod Rep.* — 2007. — № 24. — P. 465–486.
2. Moiseev Ja.P. Spektrofotometricheskoe opredelenie summy saponinov v plodah derezy kitajskoj *Lycium chinense mill* [Spectrophotometric determination of the sum of saponins in the fruits of Chinese wood *Lycium chinense mill*] / Ja. P. Moiseev, E. E. Kurdjukov, A. V. Mitishev // *Himija rastitel'nogo syr'ja* [Chemistry of plant raw materials]. — 2021. — № 2. — P. 123–128. DOI: 10.14258/jcprm.2021028771 [in Russian]
3. Moses T. Metabolic and functional diversity of saponins, biosynthetic intermediates and semi-synthetic derivatives / T. Moses, K.K. Papadopoulou, A. Osbourn // *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology.* — 2014. — № 49. — P. 439–462.
4. Liu J. Components characterization of total tetraploid jiaogulan (*Gynostemma pentaphyllum*) saponin and its cholesterol-lowering properties / J. Liu, Y. Li, H. Shi et al. // *Journal of Functional Foods.* — 2016. — № 23. — P. 542–555.
5. Cheok C.Y. Extraction and quantification of saponins: A review / C.Y. Cheok, H.A.K. Salman, R. Sulaiman // *Food Research International.* — 2014. — № 59. — P. 16–40.
6. Proestos C. Antioxidant capacity and antimicrobial activity of selected aromatic Egyptian plants / C. Proestos, K. Rashed, A. Roidaki // *Agro Food Industry HI-TECH.* — 2016. — № 4. — P. 35–38.
7. Roidaki A. Super foods and super herbs: antioxidant and antifungal activity / A. Roidaki, E. Kollia, E. Panagopoulou et al. // *Current Research in Nutrition and Food Science.* — 2016. — № 2. — P. 138–145.
8. Cheok C.Y. Extraction and quantification of saponins: A review / C.Y. Cheok, H.A.K. Salman, R. Sulaiman // *Food Research International.* — 2014. — № 59. — P. 16–40.
9. Marrelli M. Effects of saponins on lipid metabolism: A review of potential health benefits in the treatment of obesity / M. Marrelli, F. Conforti, F. Araniti // *Molecules.* — 2016. — № 21.
10. Elekofehinti O.O. Saponins: Anti-diabetic principles from medicinal plants – A review / O.O. Elekofehinti // *Pathophysiology.* — 2015. — № 22. — P. 95–103.
11. Belik V. A. Lekarstvennoe rastitel'noe syr'e, soderzhashee saponiny [Medicinal plant raw materials containing saponins] / V. A. Belik // *Biotehnologija: vzgljad v budushhee* [Biotechnology: a look into the future]. — 2020. — № 1. — P. 38–40. [in Russian]
12. Mironenko N.V. Saponiny [Saponins] / N.V. Mironenko, V. F. Selemenев, V. G. Artjuhov et al. — Voronezh : Izdatel'sko-poligraficheskij tsentr "Nauchnaja kniga", 2019. — 205 p. [in Russian]