

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-261-270>

Поступила 20.08.2022

Поступила после рецензирования 18.09.2022

Принята в печать 26.09.2022

© Бабич О. О., Ульрих Е. В., Ларина В. В., Бахтиярова А. Х., 2022



<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

Open access

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ ЭКСТРАКТОВ *GLYCYRRHIZA GLABRA*, ВЫРАЩЕННОЙ В КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ, И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ

Бабич О. О.¹, Ульрих Е. В.^{2*}, Ларина В. В.¹, Бахтиярова А. Х.¹

¹ Балтийский федеральный университет им. И. Канта

² Калининградский государственный технический университет

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

glycyrrhiza glabra, солодка, антибактериальная, антиоксидантная активности, химический состав, биологически активные вещества, метанольный экстракт по соклету

АННОТАЦИЯ

Солодка научно известна как *Glycyrrhiza glabra*, она принадлежит к семейству бобовых. *Glycyrrhiza glabra* — лекарственное растение, которое встречается по всей Азии, а также в некоторых районах Европы. Целью настоящей работы было исследование химического состава и биологически активных свойств экстрактов *Glycyrrhiza glabra*, полученных различным способом. Установлено, что сырье *Glycyrrhiza glabra* (листья) содержит протеин, жир, клетчатку, золу: $9,844 \pm 0,29\%$, $2,284 \pm 0,06\%$, $20,377 \pm 0,61\%$ и $4,605 \pm 0,13\%$ соответственно. В сырье *Glycyrrhiza glabra* обнаружены минеральные компоненты Fe — $289,00 \pm 8,67$ мг/кг, Sr — $165,00 \pm 4,95$ мг/кг, Ca — $89,0 \pm 0,6$ мг/кг, Mn — $18,00 \pm 0,54$ мг/кг и Zn — $23,00 \pm 0,69$ мг/кг. Показано, что в сырье *Glycyrrhiza glabra* содержатся витамины: C — $121,75 \pm 3,62$ мг/кг, B2 — $49,59 \pm 1,48$ мг/кг и B6 $21,99 \pm 0,66$ мг/кг. Наибольший выход экстракта *Glycyrrhiza glabra*, $21,31 \pm 0,64$ масс.%, получили при использовании метода экстракции по Соклету с метанолом. В данных экстрактах *Glycyrrhiza glabra* идентифицировано наибольшее количество биологически активных веществ: 3,4-дигидроксibenзойная кислота, п-кумаровая кислота, лютеолин-7-глюкозид, акацетин, апигенин-7-О-глюкозид, цикориевая кислота и гесперетин. При использовании метода мацерации с использованием смеси растворителей метанол + NaOH идентифицирована розмариновая кислота, а в экстракте с использованием мацерации со смесью растворителей метанол + ТФУ обнаружен катехин в большом количестве. При воздействии экстрактов *Glycyrrhiza glabra* по методу Соклета с метанолом зоны задержки роста тест-микроорганизмов составили: $13,6 \pm 0,41$ мм для *Escherichia coli*, $10,8 \pm 0,32$ мм для *Pseudomonas aeruginosa*, $16,1 \pm 0,48$ мм для *Bacillus subtilis* и $13,2 \pm 0,39$ мм для *Candida albicans*. Антиоксидантная активность экстрактов *Glycyrrhiza glabra* по Соклету по методу ABTS составила наибольшее значение: $117,62 \pm 7,91$ мкмоль экв, тролокса/г, наименьшее — по методу FRAP: $23,91 \pm 1,12$ мкмоль экв, тролокса/г. Антиоксидантная активность экстрактов по методу DPPH имела промежуточное значение: $58,16 \pm 3,90$ мкмоль экв тролокса/г. Антибактериальная и антиоксидантная активность проявляется за счет полифенольных соединений и флавоноидов, содержащихся в метанольном экстракте *Glycyrrhiza glabra* по Соклету. Именно такой экстракт *Glycyrrhiza glabra* может стать естественной альтернативой существующей терапии для устранения антибактериальных заболеваний и возникающего за счет свободных радикалов раннего старения, окислительного стресса организма человека.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и Высшего образования Российской Федерации (грант Президента Российской Федерации, соглашение № 075–15–2021–310 от 19.04.2021 г. (внутренний номер МД-135.2021.1.4).

Received 20.08.2022

Accepted in revised 18.09.2022

Accepted for publication 26.09.2022

© Babich O. O., Ulrikh E. V., Larina V. V., Bakhtiyarova A. K., 2022

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

Open access

STUDY OF THE COMPOSITION AND PROPERTIES OF EXTRACTS OF *GLYCYRRHIZA GLABRA* GROWN IN THE KALININGRAD REGION AND PROSPECTS OF ITS USE

Olga O. Babich¹, Elena V. Ulrikh^{2*}, Victoria V. Larina¹, Alina K. Bakhtiyarova¹

¹ Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

² Kaliningrad State Technical University

KEY WORDS:

Glycyrrhiza glabra, licorice, antibacterial, antioxidant activity, chemical composition, biologically active substances, Soxhlet methanol extract

ABSTRACT

Licorice is scientifically known as *Glycyrrhiza glabra*; it belongs to the legume family. *Glycyrrhiza glabra* is a medicinal herb found throughout Asia and in some European regions. The aim of the present work was to study the chemical composition and biologically active properties of *Glycyrrhiza glabra* extracts produced by different methods. It has been established that *Glycyrrhiza glabra* raw materials (leaves) contain protein, fat, fiber and ash: $9.844 \pm 0.29\%$, $2.284 \pm 0.06\%$, $20.377 \pm 0.61\%$ and $4.605 \pm 0.13\%$, respectively. In *Glycyrrhiza glabra* raw materials, mineral components were found, such as: Fe (289.00 ± 8.67 mg/kg), Sr (165.00 ± 4.95 mg/kg), Ca (89.0 ± 0.6 mg/kg), Mn (18.00 ± 0.54 mg/kg) and Zn (23.00 ± 0.69 mg/kg). It is shown that *Glycyrrhiza glabra* raw materials

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Бабич, О. О., Ульрих, Е. В., Ларина В. В., Бахтиярова А. Х., (2022). Исследование состава и свойств экстрактов *Glycyrrhiza glabra*, выращенной в Калининградской области, и перспективы ее применения. *Пищевые системы*, 5(3), 261–270. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-261-270>

FOR CITATION: Babich, O. O., Ulrikh, E. V., Larina V. V., Bakhtiyarova, A. K., (2022). Study of the composition and properties of extracts of *Glycyrrhiza glabra* grown in the Kaliningrad region and prospects of its use. *Food Systems*, 5(3), 261–270. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-261-270>

contain vitamins: C (121.75 ± 3.62 mg/kg), B2 (49.59 ± 1.48 mg/kg) and B6 (21.99 ± 0.66 mg/kg). The highest yield of the *Glycyrrhiza glabra* extract (21.31 ± 0.64 mass%) was achieved when using the extraction method by Soxhlet with methanol. In these *Glycyrrhiza glabra* extracts, the highest amounts of biologically active substances were identified: 3,4-dihydroxybenzoic acid, p-coumaric acid, luteolin-7-glucoside, acacetin, apigenin-7-O-glucoside, chicoric acid and hesperetin. When using the maceration method with the mixture of solvents methanol+NaOH, rosmarinic acid was identified, while in the extract obtained using maceration with the mixture of solvents methanol+TFA, catechin was found in large quantities. Upon exposure to the *Glycyrrhiza glabra* extracts obtained by the Soxhlet method with methanol, the growth inhibition zones of test microorganisms were as follows: 13.6 ± 0.41 mm for *Escherichia coli*, 10.8 ± 0.32 mm for *Pseudomonas aeruginosa*, 16.1 ± 0.48 mm for *Bacillus subtilis* and 13.2 ± 0.39 mm for *Candida albicans*. The antioxidant activity of *Glycyrrhiza glabra* extracts obtained by the Soxhlet method was the highest in the ABTS method (117.62 ± 7.91 μ mol Trolox eq/g) and the lowest in the FRAP method (23.91 ± 1.12 μ mol Trolox eq/g). The antioxidant activity of the extracts in the DPPH method had the intermediate value: 58.16 ± 3.90 μ mol Trolox eq/g. The antibacterial and antioxidant activities were manifested due to the presence of polyphenolic compounds and flavonoids in the *Glycyrrhiza glabra* methanol extract obtained by the Soxhlet method. Such an extract of *Glycyrrhiza glabra* can be a natural alternative to the existing therapy to eliminate bacterial diseases and early aging and oxidative stress of the human body emerging because of free radicals.

FUNDING: The work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (grant of the President of the Russian Federation, agreement No. 075–15–2021–310 dated 19.04.2021 (internal number MD-135.2021.1.4)).

1. Введение

Природа всегда была источником лечебных веществ, снабжая человека различными лекарственными растениями, производящими ценные фитохимические вещества. Солодка (*Glycyrrhiza glabra*), принадлежит к семейству бобовых [1]. Считается, что *G. glabra* возникла в Ираке [2]. *G. glabra*, наиболее широко распространенный вид, встречается в Италии, Испании, Турции, на Кавказе, в западном Китае и Центральной Азии. Другой вид растения, *G. uralensis*, встречается от Центральной Азии до Китая и Монголии [3]. Ее выращивают в Италии, Испании, Греции, Франции, Иране, Ираке, Турции, Туркменистане, Узбекистане, Сирии, Афганистане, Азербайджане, Индии, Китае, США и Англии [4,5]. Солодка является одним из наиболее коммерчески ценных растений в мире, имеющих широкий спектр применения в табачной, косметической, пищевой промышленности и фармацевтике [6]. Фитохимический и фармацевтический анализ солодки малоизучен [3,7–10]. В традиционной китайской медицине *G. glabra* считается «основным растительным лекарством». Согласно поверью традиционной китайской медицины, «девять из десяти формул лекарств содержат солодку», а *G. glabra* является одним из наиболее эффективных растительных лекарственных средств для снижения токсичности и повышения эффективности других растительных лекарственных средств при совместном использовании. *G. glabra* также может быть продуктом здорового питания и натуральным подсластителем, т. к. это растительное лекарственное средство с «пищевой гомологией» [11]. *G. glabra*, один из примерно 30 видов солодки, широко используется в кормах и продуктах питания [12]. Аминокислоты, белки, простые сахара, полисахариды, минеральные соли, пектин, крахмалы, стеролы, камеди и смолы содержатся в *G. glabra* [13].

Изоликирритигенин (2',4',4'-тригидроксисалкон, ISL), экстрагированный из корня *G. glabra*, имеет структуру халкона, которая проявляет сильный противораковый эффект. Глицирризин, глицирризиновая кислота, изоликирритин и глицирризиновая кислота являются другими основными химическими веществами в этом растении с антиатерогенными, противораковыми, антидиабетическими, противомикробными, спазмолитическими, противовоспалительными и противоастматическими свойствами [14]. Также было установлено, что *G. glabra* помогает при усталости и истощении. Кроме того, *G. glabra* действует как противовоспалительное средство, уменьшая аллергические реакции и предотвращая повреждение печени. По данным Всемирной организации здравоохранения, *G. glabra* используется как успокаивающее средство при ангине и как отхаркивающее

средство при астме и кашле [15]. До сих пор не было сообщений о потенциально токсичных соединениях из таксонов, которые были изучены. Однако признаются некоторые неблагоприятные последствия, такие как использование высоких доз в течение длительного периода, что приводит к серьезным заболеваниям. Тем не менее, растение можно применять в лечебных целях в небольших дозах при тяжелых заболеваниях, в этом случае побочных эффектов не наблюдается.

Судя по литературным данным, в последние годы *G. glabra* привлекает внимание многих исследователей, изучающих ее активные компоненты и механизм их действия. Флавоноиды *G. glabra* являются одним из экстрактов стебля и корня *G. glabra*, эти природные вещества показали многообещающую биологическую активность. Известно фармакологическое использование *G. glabra*, ее фитохимическая, биологическая активность, клинические данные и токсикология *G. glabra*, которые послужат источником для будущих клинических и фундаментальных исследований. Кроме того, основное внимание ученых уделяется молекулярному механизму действия экстрактов *G. glabra* и их четырем флавоноидам (изоликирритигенин, ликирритигенин, лихалокоин и глабридин), а также их фармакологической активности. *G. glabra* может стать естественной альтернативой существующей терапии для устранения новых возникающих заболеваний. В данной работе будет описан химический состав и свойства этого древнего растения для дальнейшей разработки и клинического применения.

Целью данного исследования являлось изучение состава и свойств экстрактов *Glycyrrhiza glabra*, выращенной в Калининградской области, а также определение перспектив ее применения.

2. Объекты и методы

2.1. Реагенты

Все химические вещества (NaOH, трихлоруксусная кислота, метанол, этилацетат и сверхчистая вода), использованные в исследовании, были реагентами класса ACS (Sigma Aldrich, США). Все растворы были приготовлены с использованием очищенной деионизированной воды MilliQ (MilliporeSigma, США).

2.2. Сырье *G. glabra* для экстракции

Образцы были собраны в период июнь — август 2021 г. *G. glabra* (солодку) собирали вручную в п. Ягодное Калининградской области, затем растение высушивали и измельчали. Видовая принадлежность биоматериала была подтверждена

заведующим гербарием Института живых систем Балтийского федерального университета им. И. Канта А. Пунгиным (протокол № 13/2021). Для проведения анализа химического состава исследуемых образцов *G. glabra* использовали листья зрелых растений.

2.3. Определение химического состава растений *G. glabra*

В ходе исследований изучали химический состав. В качестве основных показателей, выбрали массовую долю сырого протеина, массовую долю клетчатки, массовую долю жира (сырой жир), массовую долю золы, целлюлозы, а также содержание витаминов, минеральных элементов и вторичных метаболитов фенольной природы (БАВ).

Определение содержания сырого жира проводили методом Сокслета. Навеску солодки массой 5 г тщательно измельчали и подсушивали при температуре 100–105 °С в сушильном шкафу Memmert UF30 (ООО «ДВ-Эксперт», Россия) в течение 2 ч. Патрон с навеской помещали в экстрактор Сокслета с приемной колбой и холодильником. В колбу предварительно наливали до 2/3 ее объема высушенного перегнанного серного эфира. В холодильник пускали воду и нагревали колбу с серным эфиром на водяной бане GFL 1002 (ООО «ДВ-Эксперт», Россия) с температурой воды не более 60 °С. Жир экстрагировали в течение 10–12 ч. После окончания экстракции остаток жира в колбе высушивали в сушильном шкафу Memmert UF30 до постоянной массы при температуре 100–105 °С и взвешивали.

Количество сырого жира в% (X) рассчитывали по формуле:

$$X = \frac{(G - G_1) \cdot 100}{g} \quad (1),$$

где:

G — масса колбы с жиром, г;
 G_1 — масса пустой колбы, г;
 g — навеска солодки, г.

Метод определения содержания золы основан на полном сжигании органических веществ, удалении продуктов их сгорания и определении оставшейся минеральной составной части (золы) исследуемого материала. Для этого навеску солодки массой 5 г помещали в предварительно прокаленный до постоянной массы фарфоровый тигель, подсушивали при температуре 100–105 °С в сушильном шкафу Memmert UF30 в течение 2 ч. Озольное навески проводили в муфельной печи FPX-03 (ООО «ДВ-Эксперт», Москва, Россия) при температуре 300–400 °С, повышая ее к концу процесса озольного до 500 °С (начало темно-бурого каления). По окончании озольного тигель охлаждали в эксикаторе и взвешивали.

Содержание золы X (в %) рассчитывали по формуле:

$$X = \frac{(m_2 - m_1) \cdot 100}{m} \quad (2),$$

где:

m_2 — масса тигля с золой, г;
 m_1 — масса пустого тигля, г;
 m — масса солодки, г.

Для определения содержания сырого протеина в лекарственных растениях использовали метод Кьельдаля. Количество сырого протеина в образце на абсолютно сухое вещество (а. с. в.) определяли по методу Кьельдаля [16]. Метод основан на минерализации органических веществ серной кислотой в присутствии катализатора, в результате чего образуется сульфат аммония. Также этот метод базируется на разрушении сульфата аммония щелочью, из-за чего выделяется аммиак, и на последующей отгонке аммиака с парами воды в раствор серной или борной кислоты с титро-

ванием. На следующем этапе рассчитывали массовую долю азота и содержание сырого протеина (с умножением на коэффициент 6,25) [16].

Содержание клетчатки определяли путем кипячения продукта со слабыми кислотами и щелочами по методу Геннеберга-Штомана. Сущность его состоит в следующем. В стеклянную бюксу помещали фильтр, сложенный четверо (как для фильтрации), крышку устанавливали на ребро бюксы и ставили в сушильный шкаф Memmert UF30 на 1 ч при температуре 100–105 °С для подсушивания. В химический стакан помещали 4 г измельченного образца солодки, заливали 200 см³ раствора серной кислоты и кипятили 30 мин на электрической плитке ПЛП-03. По окончании кипячения проводили отмывку кислоты и щелочи, отсасывая жидкость из стакана на фильтр. Клетчатку на фильтре промывали по 2 раза 96%-м спиртом и эфиром, затем фильтр вместе с воронкой подсушивали в сушильном шкафу Memmert UF30, после чего фильтр с клетчаткой помещали в ту же бюксу и высушивали в сушильном шкафу Memmert UF30 при 100–105 °С до постоянной массы.

Содержание клетчатки (X, %) рассчитывали по формуле:

$$X = \frac{b}{a} \cdot 100 \quad (3),$$

где:

b — масса сырой клетчатки (разница между постоянной массой бюксы с фильтром и клетчаткой и бюксы с фильтром), г;
 a — навеска солодки, взятой на анализ, г.

Для изучения химического состава все исследуемые образцы измельчали на лабораторной мельнице с металлическим стаканом ЛЗМ-М1/М2 (ООО «НВ-Лаб», Россия) до размера 0,1–0,3 см. Во избежание ошибок и минимизации погрешности каждый эксперимент повторяли три раза. В качестве результата эксперимента принимали среднее значение трех повторностей.

Определение содержания витаминов проводили методом электрофореза, основанным на миграции и разделении ионных форм водорастворимых витаминов под действием электрического поля вследствие их различной электрофоретической подвижности. Выявление массовой концентрации водорастворимых витаминов осуществляли при длине волны 200 нм с использованием системы капиллярного электрофореза «Капель-105» (ООО «Люмэкс-маркетинг», Россия).

2.4. Получение экстрактов *G. glabra*

С целью анализа содержания вторичных метаболитов фенольной природы на первом этапе проводили подбор параметров экстракции по методу Сокслета. Для этого проводили экстракцию при различных значениях pH и с применением различных органических экстрагентов (метанол, метанол в кислой среде, метанол в щелочной среде). Для создания кислой среды использовали трифторуксусную (ТФУ) и муравьиную кислоты, для создания щелочной среды — гидроксид натрия и аммиак. В результате растительные экстракты *G. glabra* были получены 6-ю различными способами:

- ☐ экстракция метанолом по методу Сокслета;
- ☐ экстракция метанолом методом мацерации;
- ☐ экстракция метанолом в среде 0,1 н гидроксида натрия методом мацерации (pH = 12,5);
- ☐ экстракция метанолом в среде 0,1 н раствора аммиака методом мацерации (pH = 10,9);
- ☐ экстракция метанолом в среде 0,1 н трифторуксусной кислоты методом мацерации (pH = 1,2);
- ☐ экстракция метанолом в среде 0,1 н муравьиной кислоты методом мацерации (pH = 3,2).

Экстракцию метанолом по методу Сокслета проводили в течение 8 часов (15 циклов) при температуре кипения растворителя. Однако, согласно литературным данным, повышение температуры может вызывать разрушение термолабильных биологически активных веществ (БАВ) [17], поэтому для сравнения экстракцию методом мацерации проводили без нагревания. Экстракция методом мацерации проводилась в течение 8 часов при комнатной температуре при постоянном перемешивании, модуль экстракции составлял 1:40. В ходе эксперимента оценивали максимальный выход сухого экстракта.

2.5. Количественное определение содержания БАВ в экстрактах *G. glabra* методом ВЭЖХ

ВЭЖХ проводили на хроматографе LC-20AB Shimadzu Prominence (Shimadzu, Япония) с бинарным насосом. Детектор с диодной матрицей SPD-M20A (Shimadzu, Япония). Колонка Zorbax 300SB-C18 4,6x250 мм 5 мкм (Agilent, США). Разделение проводили при температуре 40 °С в режиме градиентного элюирования. Подвижная фаза: элюент А — 0,1% ТФУ в бидистиллированной воде, Б — ацетонитрил. Объем образца составлял 5 мкл. Скорость потока — 1 мл/мин, длина волны анализа — 254, 280 и 325 нм.

Компоненты идентифицировали по временам удерживания и спектрам индивидуальных стандартных веществ. Были использованы следующие аналитические стандарты: хлорогеновая кислота (хлорогеновая кислота, CAS327–97–9, ≥ 95,0%), кофейная кислота (транс-кофейная кислота, CAS501–16–6, аналитический стандарт), п-кумаровая кислота (р-кумаровая кислота, CAS501–98–4, ≥ 98,0%), феруловая кислота (транс-феруловая кислота, CAS537–98–4, аналитический стандарт), цикловая кислота (цикориновая кислота, CAS6537–80–0, ≥ 95,0% (ВЭЖХ)), розмариновая кислота (розмариновая кислота, CAS20283–92–5, 96,0%), апигенин-7-О-глюкозид (апигенин-7-О-глюкозид, CAS578–74–5, 93,47%), акацетин (акацетин, CAS480–44–4, ≥ 95% (ВЭЖХ)), 3,4-дигидроксibenзойная кислота (протокатеховая кислота) CAS99–50–3, ≥ 97,0%), кверцетин-3D-глюкозид (кверцетин-3-D-глюкозид, CAS482–35–9, ≥ 90,0% (ВЭЖХ)), лютеолин-7-глюкозид (цинарозид) (лютеолин-7-О-глюкозид, CAS5373–11–5, аналитический стандарт), гиперозид (гиперозид, CAS482–36–0, аналитический стандарт), рутин (гидрат рутина, CAS207671–50–9, ≥ 98,0%), астрагалин (кемпферол-3-глюкозид) (кемпферол-3-глюкозид, CAS480–10–4, 92,5%), катехин ((+)-катехин, CAS154–23–4, ≥ 99,0% (ВЭЖХ)), гесперетин (гесперетин-7-О-α-L-рамнопиранозид, CAS66513–83–5, аналитический стандарт).

Все стандарты и реактивы чистотой не ниже х. ч. поставлял АО «Аналитэксперт», Россия.

Концентрацию соединений рассчитывали по градуировочным уравнениям. Погрешность определения концентрации составляла 3–5%.

2.6. Определение антимикробной активности экстрактов *G. glabra*

Экстракт *G. glabra*, полученный методом мацерации 0,1 н метанольным раствором муравьиной кислоты, исследовали на антимикробную активность. При получении экстрактов на 100 мл растворителя приходилось 2,5 г растительного сырья. Растворители из экстрактов удаляли при помощи вакуумного ротационного испарителя IKA RV 8 V (ООО «ДВ-Эксперт», Россия). Затем экстракты высушивали с помощью установки лиофильной сушки Triad (Labconco Corporation, США). Условия сушки: вакуум — 0,037 мБар, температура охладителя — минус 80 °С. Экстракты, полученные из 2,5 г растительного сырья, растворяли в 100 мл смеси метанола с водой (9:1 соответственно).

Антимикробную активность экстрактов и индивидуальных БАВ *G. glabra* изучали диско-диффузионным методом. Для исследования использовали четыре штамма микроорганизмов: грамположительные бактерии *Bacillus subtilis* и грамотрицательные бактерии *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* на агаризованной среде LB, а также дрожжеподобные грибы рода *Candida albicans* на агаризованной среде Рингера. Концентрация микробной суспензии составляла $1,5 \cdot 10^8$ КОЕ/мл. Диаметр дисков равнялся 6 мм, а толщина слоя агара — $4,0 \pm 0,5$ мм. В качестве контроля использовали антибиотик канамицин концентрацией 50 мкг/диск (для бактерий) и флуконазол 500 мкг/диск (для дрожжеподобных грибов). Сравнение проводили со смесью, состоящей из 1%-й ТФУ (31%) и ацетонитрила (69%), в которых растворяли индивидуальные БАВ. Проводили 3 параллельных измерения. За результат измерения принимали среднее значение.

2.7. Выделение производного апигенина из экстрактов *G. glabra*

Из растительного экстракта лекарственного растения *G. glabra* выделяли производное апигенина. Для этого метанольный экстракт солодки разделяли на стеклянной хроматографической колонке (Agilent, США), собирали фракции метанол: уксусная кислота = 99:1, затем из полученной фракции с помощью коллектора фракций выделяли пик 15,495 мин, который по спектру поглощения определили как производное апигенина (вероятно, гликозид). Полученный образец сушили с помощью лиофильной сушки Triad (Labconco Corporation, США). Выход БАВ определяли гравиметрически.

2.8. Определение антиоксидантной активности экстрактов *G. glabra*

При определении антиоксидантной активности *G. glabra* по методу DPPH 20 мкл экстракта, раствора индивидуального соединения или стандартного раствора (тролокса) смешивали с 300 мкл свежеприготовленного 0,1 мМ раствора 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила. Смесь инкубировали в темноте при комнатной температуре в течение 30 мин. Уменьшение оптической плотности по сравнению с контролем, состоящим из 0,1 мМ раствора 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила и соответствующего растворителя, используемого для экстракции или при выделении фракций и индивидуальных соединений, регистрировали при 515 нм.

При определении антиоксидантной активности по методу ABTS предварительно готовили раствор ABTS-радикала. ABTS-радикал генерировали смешиванием аликвот 7,0 мМ раствора ABTS и 2,45 мМ раствора персульфата калия. Раствор выдерживали в течение 16 часов в темноте при комнатной температуре. Для проведения реакции к 300 мкл подготовленного раствора катион-радикала ABTS⁺ добавляли 20 мкл экстракта, раствора индивидуального соединения или стандарта (тролокса). Оптическую плотность измеряли при 734 нм после инкубации смеси в течение 15 мин при 37 °С в темноте. В качестве контрольной использовали пробу с ABTS-реактивом и соответствующим растворителем, используемым для экстракции индивидуальных соединений.

Для определения восстанавливающей силы экстрактов использовали свежеприготовленный реактив FRAP, приготовленный смешиванием 10 частей 0,3 М ацетатного буфера (pH 3,6), одной части 10 мМ раствора 2,4,6-трипиридил-*s*-триазина в 40 мМ HCl и одной части водного 20 мМ раствора хлорида железа FeCl₃·6H₂O. Реакцию запускали смешиванием 300 мкл FRAP-реактива и 20 мкл исследуемого экстракта, раствора индивидуального соединения или

раствора стандарта (тролокса). Время реакции составляло 10 мин при 37 °С в темноте. Оптическую плотность измеряли при 593 нм. В качестве контроля использовали пробу с FRAP-реактивом и соответствующим растворителем, используемым для экстракции или при выделении фракций и индивидуальных соединений.

При измерении антиоксидантной активности с использованием DPPH, ABTS и FRAP методов в качестве стандартного раствора использовали растворы тролокса (6-гидрокси-2,5,7,8-тетраметилхроман-2-карбоновой кислоты) известной концентрации. При анализе экстрактов результаты анализов выражали в мкмоль эквивалентов тролокса на грамм сухой массы растения (мкмоль экв. тролокса/г); при анализе фракций и/или индивидуальных соединений антиоксидантную активность выражали ммоль эквивалентов тролокса на грамм индивидуального соединения (ммоль экв. тролокса/г).

Все спектрофотометрические измерения проводили с использованием микропланшетного ридера CLARIOstar (BMG Labtech, Германия).

2.9. Статистическая обработка данных

Данные подвергали дисперсионному анализу (ANOVA) с использованием Statistica 10.0 (StatSoft Inc., 2007, США). Апостериорный анализ (критерий Дункана) проводился для выявления образцов, существенно отличающихся друг от друга. Равенство дисперсий извлеченных выборок проверяли с помощью теста Левена. Различия между средними считались значимыми, когда доверительный интервал был меньше 5% ($p < 0,05$).

3. Результаты и обсуждение

3.1. Химический состав солодки

Результаты изучения химического, элементного и витаминного составов образцов сырья (листьев) лекарственного растения *G. glabra* представлены в Таблице 1 и на Рисунке 1.

Таблица 1. Химический, элементный и витаминный состав образцов лекарственного растения *G. glabra* (сырья)

Table 1. Chemical, elementary and vitamin composition of the samples of medicinal herb *G. glabra* (raw materials)

№ п/п	Показатель	Значение
Химический состав, %		
1.	Зола	4,605±0,13
2.	Сырой жир	2,284±0,06
3.	Клетчатка	20,377±0,61
4.	Сырой протеин	9,844±0,29
Содержание макро- и микроэлементов, мг/кг		
5.	Mn	18,00±0,54
6.	Ni	–
7.	Zn	23,00±0,69
8.	Br	–
9.	Sr	165,00±4,95
10.	Rb	–
11.	Fe	289,00±8,67
12.	Ca	89,00±0,6
Содержание витаминов, мг/кг		
13.	B ₂	49,59±1,48
14.	B ₅	–
15.	B ₆	21,99±0,66
16.	C	121,75±3,62

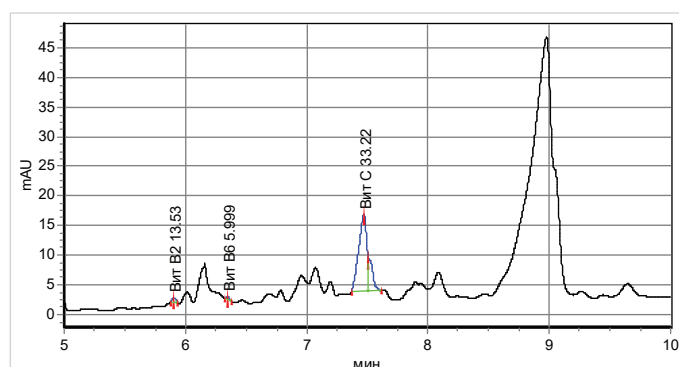


Рисунок 1. Электрофореграмма сырья *G. glabra*
Figure 1. Electropherogram of *G. glabra* raw materials

В результате проведенных экспериментов определен химический состав сырья *G. glabra*. Анализируя данные Таблицы 1, можно сделать вывод о том, что сырье *G. glabra* (листья) содержало значительное количество клетчатки — 20,377±0,61% и примерно в 10 раз меньше сырого жира — 2,284±0,06%. Количество сырого протеина составило 9,844±0,29%, содержание золы — 4,605±0,13%. Среди макро- и микроэлементов наибольшее количество обнаружено Fe — 289,00±8,67 мг/кг, Sr — 165,00±4,95 мг/кг и Ca — 89,00±0,6 мг/кг. Mn и Zn присутствуют в количествах 18,00±0,54 мг/кг и 23,00±0,69 мг/кг соответственно. Таких элементов, как Ni, Br и Rb в сырье солодки не обнаружено. Что касается витаминного состава, то в сырье *G. glabra* содержится большое количество водорастворимых витаминов: витамина C — 121,75±3,62 мг/кг, а также B₂ и B₆ — 49,59±1,48 мг/кг и 21,99±0,66 мг/кг соответственно. Аналогично нашим результатам, в исследовании [18] показано, что целое растение *G. glabra* (корень, стебли, листья), произрастающее в Узбекистане, содержит около 20% клетчатки, около 10% сырого протеина, около 3% сырого жира, около 5% золы. В золе содержится минеральная часть сырья *G. glabra* (K, Ca, Fe, Si, Sn, Mn, Zn и др.).

3.2. Тотальный выход экстрактов

Тотальный выход различных экстрактов *G. glabra* представлен в Таблице 2.

Таблица 2. Тотальный выход различных экстрактов солодки

Table 2. Total yield of different licorice extracts

Наименование	Выход экстракта, масс. %					
	Метод Сокслета		Метод мацерации			
	Метанол	Метанол	Метанол + NaOH	Метанол + NH ₄ OH	Метанол + ТФУ	Метанол + HCOOH
<i>G. glabra</i>	21,31±0,64	13,35±0,40	16,19±0,51	15,84±0,47	18,41±0,55	15,66±0,47

Наибольший выход экстракта наблюдался в процессе применения метода экстракции метанолом по Сокслету, в связи с этим далее приводятся хроматограммы для экстрактов *G. glabra*, полученных по методу Сокслета с метанолом в качестве экстрагента.

Данные Таблицы 2 показывают, что наибольший выход экстракта *G. glabra* получается при использовании метода экстракции по Сокслету с метанолом (выход экстракта 21,31±0,64 масс.%), немного уступает данному методу мацерация с использованием смесей метанол + NaOH и метанол + NH₄OH (16,19±0,51 масс.% и 15,84±0,47 масс.% соответственно). Далее следует метод мацерации со смесью растворителей метанол и ТФУ (18,41±0,55 масс.%). Наименьший

выход экстракта солодки показал метод мацерации с метанолом ($13,35 \pm 0,40$ масс.%), промежуточное положение занимает метод мацерации со смесью экстрагентов метанол + HCOOH ($15,66 \pm 0,47$ масс.%).

3.3. Анализ БАВ экстрактов *G. glabra*

Результаты количественного анализа БАВ метанольных экстрактов *G. glabra*, полученных по методу Сокслета, представлены на Рисунке 2.

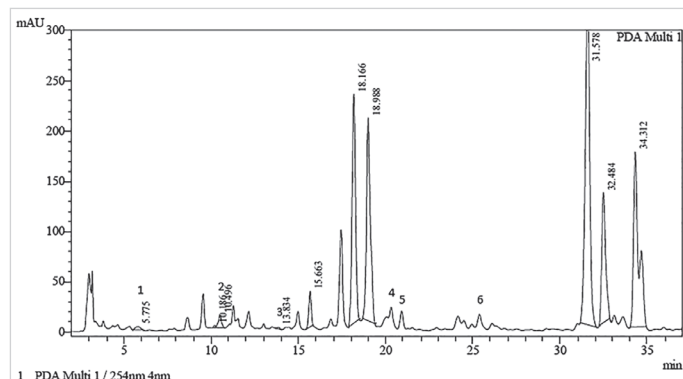


Рисунок 2. Хроматограмма ВЭЖХ метанольного экстракта *G. glabra* (метод Сокслета).

1–3,4-дигидроксibenзойная кислота, 2 — хлорогеновая кислота, 3 — кумаровая кислота, 4 — лютеолин-7-глюкозид, 5 — цикориевая кислота, 6 — апигенин-7-О-глюкозид, 7 — акацетин (54,95 мин, на хроматограмме не показано)

Figure 2. HPLC chromatogram of the methanol *G. glabra* extracts (Soxhlet method). 1–3,4-dihydroxybenzoic acid, 2 — chlorogenic acid, 3 — coumaric acid, 4 — luteolin-7-glucoside, 5 — chicoric acid, 6 — apigenin-7-O-glucoside, 7 — acacetin (54.95 min, not shown on the chromatogram)

В Таблице 3 представлено содержание БАВ в метанольных экстрактах *G. glabra*, полученных методом Сокслета и методами мацерации с различными растворителями. Именно эти экстракты исследовались на содержание БАВ, т. к. их выход был наибольшим.

Сравнение экспериментальных данных о содержании БАВ в метанольных экстрактах *G. glabra*, полученных методом Сокслета и представленных в Таблице 3, показывает, что в экстракте *G. glabra* с применением чистого метанола

в качестве экстрагента было идентифицировано наибольшее количество БАВ: 3,4-дигидроксibenзойная кислота ($3,68 \pm 0,11$ мг/кг), п-кумаровая кислота ($1,00 \pm 0,03$ мг/кг), лютеолин-7-глюкозид ($0,88 \pm 0,03$ мг/кг), акацетин ($15,45 \pm 0,46$ мг/кг), апигенин-7-О-глюкозид ($2,10 \pm 0,06$ мг/кг), цикориевая кислота ($5,43 \pm 0,16$ мг/кг) и гесперетин ($1,75 \pm 0,05$ мг/кг). При использовании метода мацерации с использованием смеси растворителей метанол + NaOH идентифицировано значительное количество розмариновой кислоты — $53,21 \pm 1,59$ мг/кг. При использовании метода мацерации с использованием смеси растворителей метанол + ТФУ обнаружено рекордное количество катехина — $1468,43 \pm 44,05$ мг/кг.

Таблица 3. Содержание БАВ в метанольных экстрактах *G. glabra*, полученных методом Сокслета и методами мацерации

Table 3. BAS content in the *G. glabra* methanol extracts obtained by the Soxhlet method and maceration methods

Наименование БАВ	Экстракция по Сокслету	Мацерация	
	Метанол	Экстрагент	
		Метанол + NaOH	Метанол + ТФУ
		Содержание БАВ, мг/кг	
3,4-дигидроксibenзойная кислота	3,68±0,11	–	–
Кофейная кислота	следы	–	–
Хлорогеновая кислота	следы	–	–
п-кумаровая кислота	1,00±0,03	–	следы
Феруловая кислота	следы	–	следы
Гиперозид	–	–	–
Рутин	следы	–	–
Кверцетин-3D-глюкозид	–	–	–
Лютеолин-7-глюкозид	0,88±0,03	следы	–
Астрагалин	следы	–	–
Розмариновая кислота	следы	53,21±1,59	–
Акацетин	15,45±0,46	–	следы
Апигенин-7-О-глюкозид	2,10±0,06	–	–
Кафтаровая кислота	–	–	–
Цикориевая кислота	5,43±0,16	–	следы
Катехин	следы	следы	1468,43±44,05
Гесперетин	1,75±0,05	–	–
Оноотин В	–	–	–

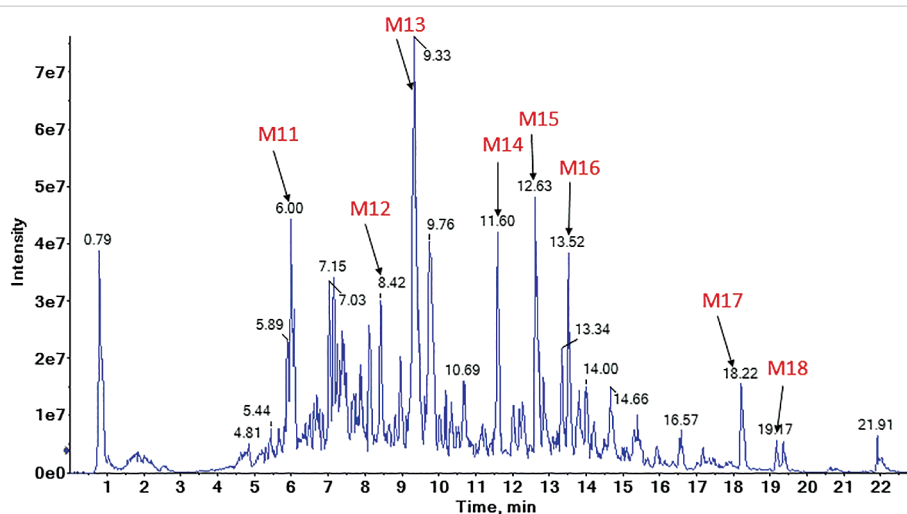


Рисунок 3. Хроматограммы общего ионного тока метанольного экстракта *G. glabra*, полученного методом экстракции по Сокслету, в режиме регистрации отрицательно заряженных ионов. Отмечены хроматографические сигналы вторичных метаболитов, выбранных для анализа структуры с помощью МС/МС

Figure 3. Total ion current chromatograms of the *G. glabra* methanol extract obtained by the Soxhlet extraction method under negative ion mode. Chromatographic signals of secondary metabolites chosen for structure analysis by MS/MS are indicated

В растительном экстракте лекарственного растения *G. glabra*, полученном методом экстракции по Сокслету, идентифицированы ликвиритин апиозид (Рисунок 3, пик M11), сапонин солодки G2 (Рисунок 3, пик M12), глицирризин (Рисунок 3, пик M13), димеры ликофлавона А (Рисунок 3, пик M14) и производного ликофлавона (Рисунок 3, пик M15), димер глаброла или гиспаглабридина (Рисунок 3, пик M16), димеры линолевой (Рисунок 3, пик M17) и пальмитиновой кислот (Рисунок 3, пик M18), димер ононина (Рисунок 4, пик M19), формонетин (Рисунок 4, пик M20). Количество данных веществ представлено в Таблице 4.

Согласно данным масс-спектрометрического анализа метаболитов *G. glabra*, полученным с помощью ВЭЖХ с масс-спектрометрией и представленным в Таблице 4, определены вторичные метаболиты со следующими химическими формулами: $C_{52}H_{60}O_{26}$, $C_{26}H_{30}O_{13}$, $C_{42}H_{62}O_{17}$, $C_{42}H_{62}O_{16}$, $C_{40}H_{36}O_8$, $C_{40}H_{40}O_8$, $C_{50}H_{56}O_8$, $C_{36}H_{64}O_4$, $C_{32}H_{64}O_4$, $C_{44}H_{46}O_{18}$ и $C_{16}H_{14}O_4$.

При фракционировании экстрактов *G. glabra* по Сокслету методом ВЭЖХ идентифицировано производное апигенина, выход которого составил $1 \cdot 10^2$ мг/кг при времени удер- живания 15,495 мин.

3.4. Антибактериальная активность экстрактов солодки

Антимикробная активность экстрактов *G. glabra*, полу- ченных по методу Сокслета и методами мацерации со сме- сями растворителей, представлена в Таблице 5.

Для экстрактов по методу Сокслета, проявивших актив- ность против указанных микроорганизмов, с целью уста- новления минимальной ингибирующей концентрации были приготовлены разбавления в 2 и в 5 раз. Однако ни один из разбавленных экстрактов не проявили активности в отношении *P. aeruginosa*, *C. albicans*, *E. coli*, *B. subtilis*.

При изучении антибактериальной активности (Табли- ца 5) экстрактов *G. glabra*, полученных по методу Сокслета с метанолом и методами мацерации со смесью растворите- лей, установлено, что данный экстракт по Сокслету с мета- нолом проявляет значительную антибактериальную актив- ность по отношению ко всем тест-штаммам. Зоны задержки роста тест-микроорганизмов составили: $13,6 \pm 0,41$ мм для *E. coli*, $10,8 \pm 0,32$ мм для *P. aeruginosa*, $16,1 \pm 0,48$ мм для *B. subtilis* и $13,2 \pm 0,39$ мм для *C. albicans*. Таким обра- зом, экстракт *G. glabra*, полученный экстракцией с мета- нолом по Сокслету, проявляет антимикробную активность

Таблица 4. Данные масс-спектрометрического анализа метаболитов экстрактов солодки по Сокслету

Table 4. Data of mass-spectrometric analysis of metabolites of the licorice extract obtained by the Soxhlet method

Мета- болит	tR, мин	Тип иона	Масса молекулярного иона (m/z), экспериментальная	Масса молекулярного иона (m/z), рассчитанная	Точность массы, ppm	Химическая формула	Фрагментация	Идентификация
M11	6	[M-H]-	1099,3402 димер/549,17	1099,33 димер/549,1614	9,20	$C_{52}H_{60}O_{26}$ димер/ $C_{26}H_{30}O_{13}$	417,1217, 255,0676	ликвиритин апиозид
M12	8,4	[M-H]-	837,3984	837,3914	8,84	$C_{42}H_{62}O_{17}$	–	сапонин солодки G2
M13	9,3	[M-H]-	821,401	821,3965	5,48	$C_{42}H_{62}O_{16}$	351,0578	глицирризин
M14	11,6	[M-H]-	643,2335	643,2337	0,31	$C_{40}H_{36}O_8$	321,113	димер ликофлавона А
M15	12,6	[M-H]-	647,2715	647,265	10,00	$C_{40}H_{40}O_8$	323,1311	димер производного ликофлавона
M16	13,5	[M-H]-	783,3919	783,3902	2,17	$C_{50}H_{56}O_8$	391,1904, 203,0739, 187,1152	димер глаброла или димер гиспаглабридина
M17	18,2	[M-H]-	559,4728	559,4732	0,71	$C_{36}H_{64}O_4$	279,2328	димер линолевой кислоты
M18	19,2	[M-H]-	511,4706	511,4732	5,08	$C_{32}H_{64}O_4$	255,2318	димер пальмитиновой кислоты
M19	7,3	[M+H]+	861,2611	861,26	1,28	$C_{44}H_{46}O_{18}$	431,1351, 269,0812	димер ононина
M20	9,8	[M+H]+	269,0809	269,0808	0,37	$C_{16}H_{14}O_4$	–	формонетин

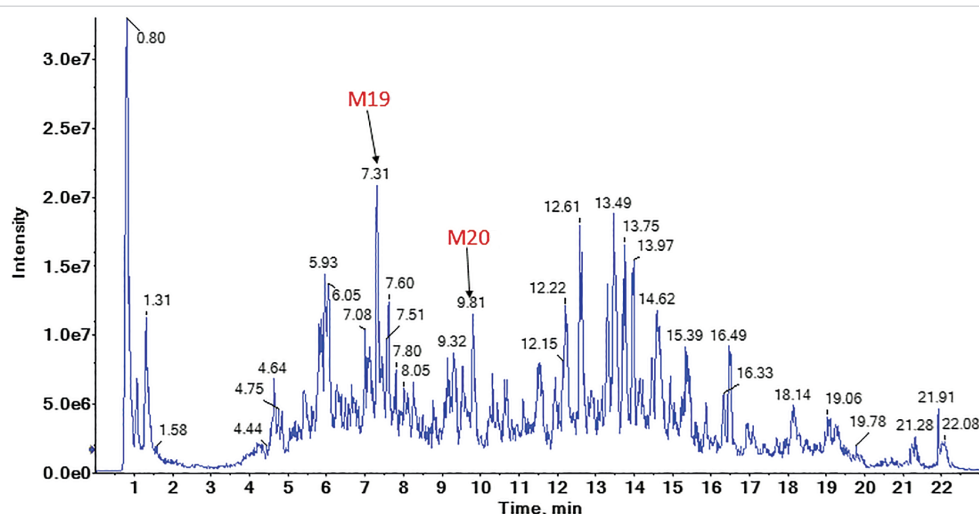


Рисунок 4. Хроматограммы общего ионного тока метанольного экстракта *G. glabra*, полученного методом экстракции по Сокслету, в режиме регистрации положительно заряженных ионов. Отмечены хроматографические сигналы вторичных метаболитов, выбранных для анализа структуры с помощью MS/MS

Figure 4. Total ion current chromatograms of the *G. glabra* methanol extract obtained by the Soxhlet extraction method under positive ion mode. Chromatographic signals of secondary metabolites chosen for structure analysis by MS/MS are indicated

по отношению ко всем тест-штаммам микроорганизмов. Предполагается, что наличие антимикробной активности данного экстракта объясняется присутствием в его составе таких БАВ, как полифенольные соединения и флавоноиды: 3,4-дигидроксibenзойная кислота, п-кумаровая кислота, лютеолин-7-глюкозид, акацетин, апигенин-7-О-глюкозид, цикориевая кислота и гесперетин. Розмариновая кислота, содержащаяся в экстракте *G. glabra*, полученном методом мацерации со смесью растворителей метанол + NaOH, оказывает антибактериальное воздействие только на *E. coli* и *B. subtilis* (зона задержки роста тест-организмов составила $6,7 \pm 0,20$ мм и $8,6 \pm 0,26$ мм соответственно). Против тест-штаммов *P. aeruginosa*, *B. subtilis* и *C. albicans* антибактериальную активность проявляют экстракты *G. glabra*, полученные методом мацерации со смесью растворителей метанол + ТФУ (зона задержки роста тест-организмов составила $6,4 \pm 0,19$ мм, $10,2 \pm 0,26$ мм и $6,6 \pm 0,26$ мм соответственно).

Таблица 5. Антимикробная активность экстрактов солодки, полученных по методу Сокслета и методами мацерации со смесями растворителей

Table 5. Antimicrobial activity of the licorice extracts obtained by the Soxhlet method and maceration methods with solvent mixtures

Наименование экстракта	Диаметры зон задержки роста тест-микроорганизмов, мм			
	<i>E. coli</i>	<i>P. aeruginosa</i>	<i>B. subtilis</i>	<i>C. albicans</i>
Экстракция по Сокслету с метанолом	$13,6 \pm 0,41^a$	$10,8 \pm 0,32^a$	$16,1 \pm 0,48^a$	$13,2 \pm 0,39^a$
Мацерация метанол + NaOH	$6,7 \pm 0,20^b$	–	$8,6 \pm 0,26^b$	–
Мацерация метанол + ТФУ	–	$6,4 \pm 0,19^b$	$10,2 \pm 0,26^b$	$6,6 \pm 0,26^b$
Канамицин 50 мкг	$17,3 \pm 0,52^a$	$12,7 \pm 0,38^a$	$28,4 \pm 0,85^a$	–
Флуконазол 500 мкг	–	–	–	$20,5 \pm 0,62^a$

* – зона угнетения роста;

Значения в столбцах, за которыми следует одна и та же буква, существенно не различаются ($p < 0,05$) при оценке с помощью апостериорного теста (критерия Дункана). Данные представлены как среднее значение $\pm$ стандартное отклонение ($n = 3$).

Учитывая наибольшую антибактериальную активность метанольных экстрактов *G. glabra* по Сокслету и при помощи выделения индивидуального БАВ — производного апигенина, антиоксидантную активность определяли для данных образцов.

3.5. Антиоксидантная активность экстрактов *G. glabra* и индивидуальных БАВ

Антиоксидантная активность экстрактов *G. glabra* по Сокслету и БАВ производного апигенина представлена в Таблице 6.

Таблица 6. Антиоксидантная активность экстрактов солодки по Сокслету и БАВ производного апигенина

Table 6. Antioxidant activity of the licorice extracts obtained by the Soxhlet method and BAS of the apigenin derivative

Наименование	Антиоксидантная активность, мкмоль экв. тролокса/г		
	ABTS	DPPH	FRAP
Экстракт <i>G. glabra</i>	$117,62 \pm 7,91^a$	$58,16 \pm 3,90^a$	$23,91 \pm 1,12^a$
Производное апигенина	$12,08 \pm 0,62^b$	$2,42 \pm 0,13^b$	$0,031 \pm 0,002^b$

Значения в столбцах, за которыми следует одна и та же буква, существенно не различаются ($p < 0,05$) при оценке с помощью апостериорного теста (критерия Дункана). Данные представлены как среднее значение $\pm$ стандартное отклонение ($n = 3$).

При исследовании антиоксидантной активности экстрактов *G. glabra*, полученных по методу Сокслета, и биологически активного производного апигенина, выделенного

из экстрактов методом ВЭЖХ, которые представлены в Таблице 6, можно сделать вывод о значительной антиоксидантной активности экстрактов. Антиоксидантная активность экстрактов *G. glabra* по Сокслету по методу ABTS составила наибольшее значение: $117,62 \pm 7,91$ мкмоль экв. тролокса/г. Наименьшее значение было достигнуто по методу FRAP: $23,91 \pm 1,12$ мкмоль экв. тролокса/г. Антиоксидантная активность экстрактов по методу DPPH составила промежуточное значение: $58,16 \pm 3,90$ мкмоль экв тролокса/г.

Биологически активное производное апигенина показало самую большую антиоксидантную активность, хотя и значительно меньшую, чем для полного экстракта *G. glabra*, по Сокслету: показатель активности по методу ABTS составил $12,08 \pm 0,62$ мкмоль экв тролокса/г. Самое низкое значение антиоксидантной активности производное апигенина показало по методу FRAP: $0,031 \pm 0,002$ мкмоль экв тролокса/г. Антиоксидантная активность производного апигенина по методу DPPH составила $2,42 \pm 0,13$ мкмоль экв тролокса/г.

4. Выводы

Таким образом, в работе изучен химический состав и биологическая активность различных экстрактов *G. glabra*. Установлено, что сырье *G. glabra* (листья) содержит протеин, жир, клетчатку, золу: $9,844 \pm 0,29\%$, $2,284 \pm 0,06\%$, $20,377 \pm 0,61\%$ и $4,605 \pm 0,13\%$ соответственно. В сырье солодки обнаружены минеральные компоненты, такие, как Fe — $289,00 \pm 8,67$ мг/кг, Sr — $165,00 \pm 4,95$ мг/кг, Ca — $89,00 \pm 0,6$ мг/кг, Mn — $18,00 \pm 0,54$ мг/кг и Zn — $23,00 \pm 0,69$ мг/кг. Показано, что в сырье *G. glabra* содержатся витамины С — $121,75 \pm 3,62$ мг/кг, В2 — $49,59 \pm 1,48$ мг/кг и В6 — $21,99 \pm 0,66$ мг/кг. При проведении процесса экстракции наибольший выход экстракта *G. glabra* получается при использовании метода экстракции по Сокслету с метанолом (выход экстракта $21,31 \pm 0,64$ масс.%). В метанольных экстрактах *G. glabra*, полученных методом Сокслета, было идентифицировано наибольшее количество БАВ: 3,4-дигидроксibenзойная кислота ($3,68 \pm 0,11$ мг/кг), п-кумаровая кислота ($1,00 \pm 0,03$ мг/кг), лютеолин-7-глюкозид ($0,88 \pm 0,03$ мг/кг), акацетин ($15,45 \pm 0,46$ мг/кг), апигенин-7-О-глюкозид ($2,10 \pm 0,06$ мг/кг), цикориевая кислота ($5,43 \pm 0,16$ мг/кг) и гесперетин ($1,75 \pm 0,05$ мг/кг). При использовании метода мацерации с применением смеси растворителей метанол + NaOH идентифицировано значительное количество розмариновой кислоты — $53,21 \pm 1,59$ мг/кг.

Экстракты *G. glabra*, полученные по методу Сокслета с метанолом, проявляют значительную антибактериальную активность по отношению ко всем тест-штаммам. Зоны задержки роста тест-микроорганизмов составили: $13,6 \pm 0,41$ мм для *E. coli*, $10,8 \pm 0,32$ мм для *P. aeruginosa*, $16,1 \pm 0,48$ мм для *B. subtilis* и $13,2 \pm 0,39$ мм. Наличие антимикробной активности данного экстракта объясняется присутствием в его составе таких БАВ, как полифенольные соединения и флавоноиды.

Антиоксидантная активность экстрактов *G. glabra* по Сокслету по методу ABTS составила наибольшее значение: $117,62 \pm 7,91$ мкмоль экв. тролокса/г, наименьшее — по методу FRAP: $23,91 \pm 1,12$ мкмоль экв. тролокса/г. Антиоксидантная активность экстрактов по методу DPPH составила промежуточное значение: $58,16 \pm 3,90$, мкмоль экв тролокса/г.

В исследовании [19] описана антимикробная активность *G. glabra*. Анализировали спиртовой и водный экстракты листьев *G. glabra* для оценки антимикробной активности. Метод серийного разведения и метод оценки с помощью бумажного диска применялись для измерения минимальной ингибирующей концентрации (МИК) и минимальной

концентрации бактерий (МБК) для проверки противомикробной активности *G. glabra* против *Klebsiella pneumoniae*, *Candida albicans*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* и *Enterococcus faecalis*. Результаты подтвердили, что спиртовой экстракт *G. glabra* обладает антимикробным потенциалом против *C. albicans* и грамположительных бактерий в зависимости от дозы. Спиртовой экстракт листьев *G. glabra* эффективен против грамположительных бактерий, поэтому он может быть вероятным альтернативным лекарством против различных штаммов бактерий [19].

Антиоксидантная активность *G. glabra* является одной из основных причин использования этого растения. Содержание фенолов, вероятно, отвечает за наблюдаемую мощную антиоксидантную активность [20]. Эта активность приписана флавоноидам и изофлавонам, таким как глабридин, гиспаглабридин А и 30-гидрокси-4-О-метилглабридин. Местное применение экстракта *G. glabra* может иметь ценность в инновационных кожных и косметических продуктах, поскольку он противодействует окислительному стрессу, поддерживая гомеостаз кожи благодаря высокому содержанию антиоксидантов [20].

Исследователи сообщили, что *C. albicans* чувствителен к экстрактам *G. glabra* из-за богатого содержания в них ликиритигенина, ликиритина, ликохалкона А и глабридина. Тем не менее, согласно [20], на антимикробную активность могут влиять условия окружающей среды, от которых может зависеть содержание химических соединений, а также биологическая активность.

В результате проведенных исследований доказано, что экстракты солодки, произрастающей на территории Калининградской области, обладают антибактериальной и антиоксидантной активностью, которая проявляется за счет полифенольных соединений и флавоноидов, содержащихся в метанольном экстракте *G. glabra* по Сокслету. Данные БАВ и их биологическая активность метанольных экстрактов *G. glabra*, произрастающей в Северо-Западном округе России, впервые определены в результате представленных исследований. Установлено, что именно такой экстракт *G. glabra* может стать естественной альтернативой существующей терапии для устранения антибактериальных заболеваний и возникающего за счет свободных радикалов раннего старения, окислительного стресса организма человека.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Fiore, C., Eisenhut, M., Ragazzi, E., Zanchin, G., Armanini, D. (2005). A history of the therapeutic use of liquorice in Europe. *Journal of Ethnopharmacology*, 99(3), 317–324. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2005.04.015>
- Mamedov, N. A., Egamberdieva, D. (2019). Phytochemical constituents and pharmacological effects of licorice: A review. *Plant and Human Health*, 3, 1–21.
- Hayashi, H., Yokoshima, K., Chiba, R., Fujii, I., Fattokhov, I., Saidov, M. (2019). Field survey of *Glycyrrhiza* plants in Central Asia. Chemical characterization of *G. bucharica* Collected in Tajikistan. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 67(6), 534–539. <https://doi.org/10.1248/cpb.c18-00881>
- Wahab, S., Annadurai, S., Abullais, S. S., Das, G., Ahmad, W., Ahmad, M. F. et al. (2021). *Glycyrrhiza glabra* (Licorice): A comprehensive review on its phytochemistry, biological activities clinical evidence and toxicology. *Plants*, 10(12), Article 2751. <https://doi.org/10.3390/plants10122751>
- Jiang, M., Zhao, S., Yang, S., Lin, X., He, X., Wei, X. et al. (2020). An “essential herbal medicine” — licorice: A review of phytochemicals and its effects in combination preparations *Journal of Ethnopharmacology*, 249, Article 112439. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2019.112439>
- Esmaili, H., Karami, A., Hadian, J., Nejad Ebrahimi, S., Otto, L.-G. (2020). Genetic structure and variation in Iranian licorice (*Glycyrrhiza glabra* L.) populations based on morphological, phytochemical and simple sequence repeats markers. *Industrial Crops and Products*, 145, Article 112140. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112140>
- Pastorino, G., Cornara, L., Soares, S., Rodrigues, F., Oliveira, M. B. P. P. (2018). Licorice (*Glycyrrhiza glabra*): A phytochemical and pharmacological review. *Phytotherapy Research*, 32(12), 2323–2339. <https://doi.org/10.1002/ptr.6178>
- Wang, L., Yang, R., Yuan, B., Liu, Y., Liu, C. (2015). The antiviral and antimicrobial activities of licorice, a widely-used Chinese herb. *Acta Pharmaceutica Sinica B*, 5(4), 310–315. <https://doi.org/10.1016/j.apsb.2015.05.005>
- Rizzato, G., Scalabrini, E., Radaelli, M., Capodaglio, G., Piccolo, O. (2017). A new exploration of licorice metabolome. *Food Chemistry*, 221, 959–968. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.068>
- Xiaoying, W., Han, Z., Yu, W. (2017). Sustained Energy for Enhanced Human Functions and Activity. *Glycyrrhiza glabra* (Licorice). Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2017.
- Alsayari, A., Wahab, S. (2021). Genus *Ziziphus* for the treatment of chronic inflammatory diseases. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(12), 6897–6914. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.07.076>
- Bao, F., Bai, H.-Y., Wu, Z.-R., Yang, Z.-G. (2021). Phenolic compounds from cultivated *Glycyrrhiza uralensis* and their PD-1/PD-L1 inhibitory activities. *Natural Product Research*, 35(4), 562–569. <https://doi.org/10.1080/14786419.2019.1586698>
- Batiha, G. E.-S., Beshbishy, A. M., El-Mleeh, A., Abdel-Daim, M. M., Devkota, H. P. (2020). Traditional uses, bioactive chemical constituents, and pharmacological and toxicological activities of *Glycyrrhiza glabra* L. (Fabaceae). *Biomolecules*, 10(3), Article 352. <https://doi.org/10.3390/biom10030352>
- Richard, S. A. (2021). Exploring the pivotal immunomodulatory and anti-inflammatory potentials of glycyrrhizic and glycyrrhetic acids. *Mediators of Inflammation*, 2021, Article 6699560. <https://doi.org/10.1155/2021/6699560>
- Thakur, A. K., Raj, P. (2017). Pharmacological perspective of *Glycyrrhiza glabra* Linn.: A Mini-Review. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 5(5), Article 00156. <https://doi.org/10.15406/japlr.2017.05.00156>
- Montegiove, N., Pellegrino, R. M., Emiliani, C., Pellegrino, A., Leonardi, L. (2021). An alternative approach to evaluate the quality of protein-based raw materials for dry pet food. *Animals*, 11(2), Article 458. <https://doi.org/10.3390/ani11020458>
- Vazquez-Morado, L. E., Robles-Zepeda, R. E., Ochoa-Leyva, A., Arvizu-Flores, A. A., Garibay-Escobar, A., Castillo-Yañez, F. et al. (2021). Biochemical characterization and inhibition of thermolabile hemolysin from *Vibrio parahaemolyticus* by phenolic compounds. *PeerJ*, 9, Article e10506. <https://doi.org/10.7717/peerj.10506>
- Кароматов, И. Д., Юсупова, Г. С. (2018). Нейропродуктивные свойства солодки. *Биология и интерактивная медицины*, 8(25), 79–90.
- Chen, K., Yang, R., Shen, F.-Q., Zhu, H.-L. (2019). Advances in pharmacological activities and mechanisms of glycyrrhizic acid. *Current Medicinal Chemistry*, 27(36), 6219–6243. <https://doi.org/10.2174/092986732566619101115407>
- Leite, C. D. S., Bonafé, G. A., Carvalho Santos, J., Martinez, C. A. R., Ortega, M. M., Ribeiro, M. L. (2022). The anti-inflammatory properties of licorice (*Glycyrrhiza glabra*) — derived compounds in intestinal disorders. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(8), Article 4121. <https://doi.org/10.3390/ijms23084121>
- Fiore, C., Eisenhut, M., Ragazzi, E., Zanchin, G., Armanini, D. (2005). A history of the therapeutic use of liquorice in Europe. *Journal of Ethnopharmacology*, 99(3), 317–324. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2005.04.015>
- Mamedov, N. A., Egamberdieva, D. (2019). Phytochemical constituents and pharmacological effects of licorice: A review. *Plant and Human Health*, 3, 1–21.
- Hayashi, H., Yokoshima, K., Chiba, R., Fujii, I., Fattokhov, I., Saidov, M. (2019). Field survey of *Glycyrrhiza* plants in Central Asia. Chemical characterization of *G. bucharica* Collected in Tajikistan. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 67(6), 534–539. <https://doi.org/10.1248/cpb.c18-00881>
- Wahab, S., Annadurai, S., Abullais, S. S., Das, G., Ahmad, W., Ahmad, M. F. et al. (2021). *Glycyrrhiza glabra* (Licorice): A comprehensive re-

REFERENCES

7. Pastorino, G., Cornara, L., Soares, S., Rodrigues, F., Oliveira, M. B. P. P. (2018). Liquorice (*Glycyrrhiza glabra*): A phytochemical and pharmacological review. *Phytotherapy Research*, 32(12), 2323–2339. <https://doi.org/10.1002/ptr.6178>
8. Wang, L., Yang, R., Yuan, B., Liu, Y., Liu, C. (2015). The antiviral and antimicrobial activities of licorice, a widely-used Chinese herb. *Acta Pharmaceutica Sinica B*, 5(4), 310–315. <https://doi.org/10.1016/j.apsb.2015.05.005>
9. Rizzato, G., Scalabrin, E., Radaelli, M., Capodaglio, G., Piccolo, O. (2017). A new exploration of licorice metabolome. *Food Chemistry*, 221, 959–968. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.068>
10. Xiaoying, W., Han, Z., Yu, W. (2017). Sustained Energy for Enhanced Human Functions and Activity. *Glycyrrhiza glabra* (Licorice). Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2017.
11. Alsayari, A., Wahab, S. (2021). Genus Ziziphus for the treatment of chronic inflammatory diseases. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(12), 6897–6914. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.07.076>
12. Bao, F., Bai, H.-Y., Wu, Z.-R., Yang, Z.-G. (2021). Phenolic compounds from cultivated *Glycyrrhiza uralensis* and their PD-1/PD-L1 inhibitory activities. *Natural Product Research*, 35(4), 562–569. <https://doi.org/10.1080/14786419.2019.1586698>
13. Batiha, G. E.-S., Beshbishy, A. M., El-Mleeh, A., Abdel-Daim, M. M., Devkota, H. P. (2020). Traditional uses, bioactive chemical constituents, and pharmacological and toxicological activities of *Glycyrrhiza glabra* L. (Fabaceae). *Biomolecules*, 10(3), Article 352. <https://doi.org/10.3390/biom10030352>
14. Richard, S. A. (2021). Exploring the pivotal immunomodulatory and anti-inflammatory potentials of glycyrrhizic and glycyrrhetic acids. *Mediators of Inflammation*, 2021, Article 6699560. <https://doi.org/10.1155/2021/6699560>
15. Thakur, A. K., Raj, P. (2017). Pharmacological perspective of *Glycyrrhiza glabra* Linn.: A Mini-Review. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 5(5), Article 00156. <https://doi.org/10.15406/japlr.2017.05.00156>
16. Montegiove, N., Pellegrino, R.M., Emiliani, C., Pellegrino, A., Leonardi, L. (2021). An alternative approach to evaluate the quality of protein-based raw materials for dry pet food. *Animals*, 11(2), Article 458. <https://doi.org/10.3390/ani11020458>
17. Vazquez-Morado, L. E., Robles-Zepeda, R. E., Ochoa-Leyva, A., Arvizu-Flores, A. A., Garibay-Escobar, A., Castillo-Yañez, F. et al. (2021). Biochemical characterization and inhibition of thermolabile hemolysin from *Vibrio parahaemolyticus* by phenolic compounds. *PeerJ*, 9, Article e10506. <https://doi.org/10.7717/peerj.10506>
18. Karomatov, I. J., Yusupova, G. S. (2018). Neuroprotective properties of the glycyrrhiza. *Biology and Integrative Medicine*, 8(25), 79–90. (In Russian)
19. Chen, K., Yang, R., Shen, F.-Q., Zhu, H.-L. (2019). Advances in pharmacological activities and mechanisms of glycyrrhizic acid. *Current Medicinal Chemistry*, 27(36), 6219–6243. <https://doi.org/10.2174/0929867325666191011115407>
20. Leite, C. D. S., Bonafé, G. A., Carvalho Santos, J., Martinez, C. A. R., Ortega, M. M., Ribeiro, M. L. (2022). The anti-inflammatory properties of licorice (*Glycyrrhiza glabra*) — derived compounds in intestinal disorders. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(8), Article 4121. <https://doi.org/10.3390/ijms23084121>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Бабич Ольга Олеговна — доктор технических наук, доцент, директор Научно-образовательного центра, Балтийский Федеральный университет им. И. Канта 236041, г. Калининград, ул. А. Невского, 14 Тел.: +7–906–922–09–92 E-mail: olich.43@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0002-4921-8997	Olga O. Babich , Doctor of Technical Sciences, Docent, Director of the Scientific and Educational Center, Immanuel Kant Baltic Federal University 14, A. Nevsky str., 236041, Kaliningrad, Russia Тел.: +7–906–922–09–92 E-mail: olich.43@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0002-4921-8997
Ульрих Елена Викторовна — доктор технических наук, заместитель директора Института агроинженерии и пищевых систем по научной и международной деятельности, Калининградский государственный технический университет 236022, г. Калининград, проспект Советский, 1 Тел.: +7–904–960–94–96 E-mail: elen.ulrich@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0003-4107-7277 * автор для контактов	Elena V. Ulrikh , Doctor of Technical Sciences, Deputy Director of the Institute of Agroengineering and Food Systems for Scientific and International Activities, Kaliningrad State Technical University 1, Prospekt Sovetskiy, 236022, Kaliningrad, Russia Тел.: +7–904–960–94–96 E-mail: elen.ulrich@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0003-4107-7277 * corresponding author
Ларина Виктория Викторовна — младший научный сотрудник, Институт живых систем, Балтийский Федеральный университет им. И. Канта 236041, г. Калининград, ул. А. Невского, 14 Тел.: +7–996–522–72–04 E-mail: surinac@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0003-2012-2438	Victoria V. Larina , Junior Researcher, Institute of Living Systems, Immanuel Kant Baltic Federal University 14, A. Nevsky str., 236041, Kaliningrad, Russia Тел.: +7–996–522–72–04 E-mail: surinac@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0003-2012-2438
Бахтиярова Алина Халимовна — студент, Институт живых систем, кафедра биотехнологии, Балтийский Федеральный университет им. И. Канта 236041, г. Калининград, ул. А. Невского, 14 Тел.: +7–931–245–26–77 E-mail: bakhtiarova.allina@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5521-6907	Alina K. Bakhtiarova , Student, Institute of Living Systems, Department of Biotechnology, Immanuel Kant Baltic Federal University 14, A. Nevsky str., 236041, Kaliningrad, Russia Тел.: +7–931–245–26–77 E-mail: bakhtiarova.allina@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5521-6907
Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism.
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.