

Выделение и идентификация агликонов флавоноидов некоторых видов рода *Astragalus* L. флоры Поволжья

У. А. Матвиенко¹✉, Н. А. Дурнова¹, А. М. Полуянов², Н. В. Бобкова², В. Н. Туренко²,
В. В. Смирнов², Г. В. Раменская²

¹ ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет имени В. И. Разумовского» Министерства здравоохранения Российской Федерации (ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ имени В. И. Разумовского» Минздрава России), 410012, Россия, г. Саратов, ул. Б. Казачья, д. 112

² ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И. М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский университет), 119991, Россия, г. Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2

✉ Контактное лицо: Матвиенко Ульяна Андреевна. E-mail: matvienko.ulia2104@gmail.com

ORCID: У. А. Матвиенко – <https://orcid.org/0000-0002-1714-9165>; Н. А. Дурнова – <https://orcid.org/0000-0003-4628-9519>;

А. М. Полуянов – <https://orcid.org/0000-0002-9960-6699>; Н. В. Бобкова – <https://orcid.org/0000-0003-1591-4019>;

В. Н. Туренко – <https://orcid.org/0000-0003-1817-0844>; В. В. Смирнов – <https://orcid.org/0000-0002-8232-6682>; Г. В. Раменская – <https://orcid.org/0000-0001-8779-3573>.

Статья поступила: 05.09.2022

Статья принята в печать: 23.01.2023

Статья опубликована: 24.02.2023

Резюме

Введение. Перспективными источниками биологически активных соединений (БАС) являются экстракты, полученные из различных морфологических частей растений многочисленного рода *Astragalus* L. Одними из основных групп БАС, выделенных из растений этого рода, являются флавоноиды, сапонины и полисахариды. Достаточно изученными являются *Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bunge и *Astragalus mongholicus* Bge., экстракты которых обладают широким спектром фармакологической активности. Расширение номенклатуры лекарственного растительного сырья и исследование групп БАС, определяющих основные фармакологические эффекты, являются актуальными исследованиями в фармакогнозии. С этой точки зрения представляют интерес малоизученные виды астрагала (*Astragalus henningii* (Stev.) Klok., *Astragalus testiculatus* Pall., *Astragalus varius* S.G. Gmel., *Astragalus dasyanthus* Pall.), массово произрастающие на территории Поволжья.

Цель. Выделение и идентификация 5-ти агликонов флавоноидов в гидролизатах водно-спиртовых извлечений из травы астрагала: *A. henningii*, *A. testiculatus*, *A. varius*, *A. dasyanthus* методом ВЭЖХ/УФ.

Материалы и методы. Объектами исследования являлась трава четырех видов астрагала (*A. henningii*, *A. testiculatus*, *A. varius*, *A. dasyanthus*), заготовленная в период массового цветения на территории Саратовской области и высушенная до воздушно-сухого состояния. Для изучения состава фенольных соединений проводили экстракцию 70%-м этиловым спиртом в соотношении сырье:экстрагент (1:10) путем настаивания в течение 7 дней. Кислотный гидролиз проводили хлористоводородной кислотой 37 % при нагревании в течение 40 минут. Полученные гидролизаты анализировали на хроматографе Agilent 1260 (Agilent Technologies, США) с диодно-матричным детектором, ручным вводом проб (ручной инжектор Agilent G1328C, Agilent Technologies США) и системой для сбора и обработки хроматографических данных Agilent OpenLab CDS по индивидуально подобранному градиенту элюирования подвижной фазы (0,1%-й раствор ортофосфорной кислоты/ацетонитрил). Соединения в гидролизатах идентифицировали по временам удерживания и УФ-спектрам смеси стандартных образцов (СО): кверцетина, изорамнетина, лютеолина, кемпферола и апигенина.

Результаты и обсуждение. Подобран градиент элюирования для одновременного определения 5 агликонов флавоноидов с единичным временем анализа 13 минут. Данные условия позволили идентифицировать соединения в гидролизатах водно-спиртовых извлечений четырех видов астрагала. Лютеолин, кверцетин и апигенин обнаружены в гидролизатах *A. henningii*, *A. testiculatus*, *A. varius*, изорамнетин и кемпферол обнаружены в *A. henningii* и *A. varius*. Ни один из анализируемых агликонов не найден в гидролизате *A. dasyanthus*.

Заключение. После предварительного подбора оптимальных условий хроматографического разделения смеси 5 агликонов флавоноидов были проанализированы гидролизаты четырех видов астрагала. Полученные данные указывают на перспективность дальнейшего изучения химического состава астрагалов и подтверждают целесообразность их использования для получения новых фитопрепаратов.

Ключевые слова: трава, *A. henningii*, *A. testiculatus*, *A. varius*, *A. dasyanthus*, водно-спиртовые извлечения, ВЭЖХ, агликоны флавоноидов

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. У. А. Матвиенко, Н. А. Дурнова, Н. В. Бобкова, В. В. Смирнов, Г. В. Раменская планирование эксперимента. У. А. Матвиенко, А. М. Полуянов, В. Н. Туренко осуществляли проведение экспериментальных исследований. У. А. Матвиенко, Н. А. Дурнова, А. М. Полуянов, Н. В. Бобкова, В. В. Смирнов, Г. В. Раменская участвовали в написании текста статьи, в том числе заключения и обсуждения результатов.

Для цитирования: Матвиенко У. А., Дурнова Н. А., Полуянов А. М., Бобкова Н. В., Туренко В. Н., Смирнов В. В., Раменская Г. В. Выделение и идентификация агликонов флавоноидов некоторых видов рода *Astragalus* L. флоры Поволжья. *Разработка и регистрация лекарственных средств*. 2023;12(1):106–113. <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2023-12-1-106-113>

Isolation and Identification of Aglicones of Flavonoids of Some Species of the Genus *Astragalus* L. of the Volga Region Flora

Uliana A. Matvienko¹✉, Natalya A. Durnova¹, Andrey M. Poluyanov², Natalya V. Bobkova²,
Vladislav N. Turenko², Valery V. Smirnov², Galina V. Ramenskaya²

© Матвиенко У. А., Дурнова Н. А., Полуянов А. М., Бобкова Н. В., Туренко В. Н., Смирнов В. В., Раменская Г. В., 2023

© Matvienko U. A., Durnova N. A., Poluyanov A. M., Bobkova N. V., Turenko V. N., Smirnov V. V., Ramenskaya G. V., 2023

¹ Saratov State Medical University named after V. I. Razumovsky (Razumovsky University), 112, B. Kazachya str., Saratov, 410012, Russia

² I. M. Sechenov First MSU of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University), 8/2, Trubetskaya str., Moscow, 119991, Russia

✉ Corresponding author: Uliana A. Matvienko. E-mail: matvienko.ulia2104@gmail.com

ORCID: Uliana A. Matvienko – <https://orcid.org/0000-0002-1714-9165>; Natalya A. Durnova – <https://orcid.org/0000-0003-4628-9519>; Andrey M. Poluyanov – <https://orcid.org/0000-0002-9960-6699>; Natalya V. Bobkova – <https://orcid.org/0000-0003-1591-4019>; Vladislav N. Turenko – <https://orcid.org/0000-0003-1817-0844>; Valery V. Smirnov – <https://orcid.org/0000-0002-8232-6682>; Galina V. Ramenskaya – <https://orcid.org/0000-0001-8779-3573>.

Received: 05.09.2022

Revised: 23.01.2023

Published: 24.02.2023

Abstract

Introduction. Promising sources of biologically active compounds (BAS) are extracts obtained from various morphological parts of plants of the numerous genus *Astragalus* L. One of the main groups of BAS isolated from plants of this genus are flavonoids, saponins, and polysaccharides. Sufficiently studied are *Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bunge and *Astragalus mongholicus* Bge., whose extracts have a wide range of pharmacological activity. Expansion of the nomenclature of medicinal plant materials and the study of BAS groups that determine the main pharmacological effects are topical studies in pharmacognosy. From this point of view, little-studied species of *Astragalus* (*Astragalus henningii* (Stev.) Klok., *Astragalus testiculatus* Pall., *Astragalus varius* S.G. Gmel., *Astragalus dasyanthus* Pall.), massively growing in the Volga region, are of interest.

Aim. Isolation and identification of 5 aglycones of flavonoids in hydrolysates of water-alcohol extracts from *Astragalus* herb: *A. henningii*, *A. testiculatus*, *A. varius*, *A. dasyanthus* by HPLC/UV.

Materials and methods. The objects of the study were the herb of four types of *Astragalus* (*A. henningii*, *A. testiculatus*, *A. varius*, *A. dasyanthus*), harvested during the period of mass flowering in the Saratov region and dried to an air-dry state. To study the composition of phenolic compounds, extraction was carried out with 70 % ethanol in the ratio of raw material: extracting agent 1:10 by infusion for 7 days. Acid hydrolysis was carried out with hydrochloric acid 37 % with heating for 40 min. The resulting hydrolysates were analyzed on an Agilent 1260 chromatograph (Agilent Technologies, USA) with a diode array detector, manual sample injection (Agilent G1328C manual injector, Agilent Technologies, USA) and an Agilent OpenLab CDS chromatographic data collection and processing system using an individually selected elution gradient of the mobile phase (0.1 % solution of orthophosphoric acids/acetonitrile). Compounds in the hydrolysates were identified by the retention times and UV spectra of a mixture of reference standards (RS) of quercetin, isorhamnetin, luteolin, kaempferol, and apigenin.

Results and discussion. An elution gradient was selected for one time determination of 5 aglycones of flavonoids with a single analysis time of 13 minutes. These conditions made it possible to identify compounds in the hydrolysates of water-alcohol extracts of four types of *Astragalus*. Luteolin, quercetin and apigenin were found in hydrolysates of *A. henningii*, *A. testiculatus* and *A. varius*; isorhamnetin and kaempferol were found in *A. henningii* and *A. varius*. None of the analyzed aglycones was found in the *A. dasyanthus* hydrolyzate.

Conclusion. After preliminary selection of the optimal conditions for the chromatographic separation of a mixture of 5 aglycones of flavonoids, hydrolysates of four types of *Astragalus* were analyzed. The data obtained indicate the prospects for further study of the chemical composition of *Astragalus* and confirm the expediency of their use for obtaining of new herbal remedies.

Keywords: grass, *A. henningii*, *A. testiculatus*, *A. varius*, *A. dasyanthus*, hydroalcoholic extracts, HPLC/UV, flavonoid aglycones

Conflict of interest. The authors declare that they have no obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Contribution of the authors. Uliana A. Matvienko, Natalya A. Durnova, Natalya V. Bobkova, Valery V. Smirnov, Galina V. Ramenskaya planning of the experiment. Uliana A. Matvienko, Andrey M. Poluyanov, Vladislav N. Turenko carried out experimental studies. Uliana A. Matvienko, Natalya A. Durnova, Andrey M. Poluyanov, Natalya V. Bobkova, Valery V. Smirnov, Galina V. Ramenskaya participated in writing the text of the article, including the conclusion and discussion of the results.

For citation: Matvienko U. A., Durnova N. A., Poluyanov A. M., Bobkova N. V., Turenko V. N., Smirnov V. V., Ramenskaya G. V. Isolation and identification of aglycones of flavonoids of some species of the genus *Astragalus* L. of the Volga region flora. *Drug development & registration*. 2023;12(1):106–113. (In Russ.) <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2023-12-1-106-113>

ВВЕДЕНИЕ

Род Астрагал (*Astragalus* L.), принадлежащий к семейству *Fabaceae*, включает около 3000 видов, распространенных по всему миру [1]. Многочисленные исследования растений рода *Astragalus* указывают на большой интерес к его представителям, как к источникам биологически активных веществ. Экстракты астрагала перепончатого (*Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bunge) и астрагала монгольского (*Astragalus mongholicus* Bge.), а также индивидуальные компоненты, выделенные из различных частей этих растений, широко применяются в научной и народной ме-

дицине на северо-востоке, севере и северо-западе Китая, а также в Монголии и Корее [2]. Корень астрагала перепончатого включен в Китайскую фармакопею и применяется как тонизирующее и мочегонное средство [3]. Последние исследования показывают, что экстракты корня астрагала перепончатого обладают выраженной биохимической и фармакологической активностью, включая иммуномодулирующую, нейропротекторную [4], противоопухолевую [5, 6], кардиопротекторную, антиоксидантную и другие активности [7, 8]. Известно применение настоя травы астрагала шерстистоцветкового (*Astragalus dasyanthus* Pall.) в качестве антигипертензивного средства [9].

Однако трава астрагала шерстистоцветкового не включена в ГФ XIV издания, а качество сырья регламентируется устаревшей НД (ФС 42-533-72).

Вторичные метаболиты лекарственных растений играют важную роль в их адаптации к окружающей среде, а также определяют их биологическую активность. У некоторых видов астрагала были найдены и идентифицированы вещества различной химической природы: флавоноиды, сапонины, полисахариды, органические кислоты, аминокислоты, микро- и макроэлементы [10–13]. Однако большая часть видов до сих пор остается не изученной в химическом отношении.

Одним из интересных направлений исследований рода *Astragalus* L. является скрининг фенольных соединений, в частности флавоноидов, обладающих различной биологической активностью [10]. Перспективными в этом отношении могут являться некоторые виды астрагала, широко произрастающие на территории Поволжья (астрагал Хеннинга, астрагал яйцеплодный, астрагал изменчивый и астрагал шерстистоцветковый). Оценка суммарного содержания флавоноидов методом дифференциальной спектрофотометрии в траве указанных видов показала, что наибольшее содержание флавоноидов найдено в водно-спиртовом извлечении из травы астрагала Хеннинга, а наименьшее – в извлечении из травы астрагала яйцеплодного [14]. Согласно литературным данным извлечения астрагала изменчивого содержат кверцетин, кемпферол, астрагалин, нарциссин, популин, изорамнетин-3-О-β-D-глюкопиранозид, изокверцетрин [10], у астрагала шерстистоцветкового были найдены кверцетин, кемпферол, изорамнетин, нарциссин, гиперозид [10], в извлечении из травы астрагала яйцеплодного был найден только астрагалин, данные о фенольном составе травы астрагала Хеннинга не найдены. Отсутствие актуальных данных, полученных современными физико-химическими методами, указывает на перспективность настоящего исследования состава фенольных соединений астрагалов.

Цель работы. Выделение и идентификация агликонов флавоноидов (кверцетина, изорамнетина, лютеолина, кемпферола и апигенина) в водно-спиртовых извлечениях из травы астрагала Хеннинга, астрагала яйцеплодного, астрагала изменчивого и астрагала шерстистоцветкового методом ВЭЖХ/УФ после кислотного гидролиза.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы. СО: кверцетина ($\geq 95,0\%$, USP RS, Китай, номер партии R120FO, USP Catalog № 1592409, годен до 06.2022); изорамнетина (99,06 %, Vestenbergsreuth, Германия, номер партии 100004356, годен до 09.2022 г.); лютеолина ($\geq 98,0\%$, Sigma-Aldrich, США, номер партии 0000084920, CAS № 491-70-3, годен до 12.2022 г.); кемпферола (99,67 %, Vestenbergsreuth, Германия, номер партии 97791112, годен до

01.2023 г.) и апигенина ($\geq 95,0\%$, Sigma-Aldrich, США, номер партии 445301/1, CAS № 520-36-5, годен до 12.2022 г.), спирт (ГОСТ Р 51652-2000). Вода деионизированная, ацетонитрил для высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) (gradient grade, $\geq 99,9\%$, CAS № 75-05-8), кислота ортофосфорная (х.ч., ООО «Авилон-КомпаниХим», Россия), кислота хлористоводородная 37 % (х.ч., ООО «Сигма Тек», Россия).

Объектом исследования являлась высушенная образцы травы астрагала Хеннинга (*A. henningii* (Stev.) Klok.), астрагала яйцеплодного (*A. testiculatus* Pall.), астрагала изменчивого (*A. varius* S.G. Gmel.), астрагала шерстистоцветкового (*A. dasyanthus* Pall.), заготовленные Татищевском районе Саратовской области в июле 2021 года согласно правилам заготовки ЛРС данной морфологической группы. Определение видов проведено по ключу, приведенному в монографии «Флора Нижнего Поволжья. Т.2.» [15]. Сырье было высушено до остаточной влажности не более 12 %. Влажность высушенного сырья была определена с помощью влагомера термогравиметрического (Sartorius AG, Германия).

Для изучения фенольных соединений получали водно-спиртовые извлечения (70 % этиловый спирт) из травы анализируемых видов астрагала путем мацерации в соотношении сырье:экстрагент (1:10) в течение 7 дней при комнатной температуре, затем полученные извлечения фильтровали (красная лента). Полученные экстракты представляли собой извлечения темно-зеленого цвета с характерным запахом.

Методы. Качественное обнаружение агликонов флавоноидов проводили методом ВЭЖХ (Agilent 1260, Agilent Technologies, США), снабженным диодно-матричным детектором, ручным вводом проб (ручной инжектор Agilent G1328C, Agilent Technologies США) и системой для сбора и обработки хроматографических данных Agilent OpenLab CDS.

Хроматографические условия. Колонка Symmetry C18, 5 мкм, 4,6 × 250 мм (Waters Corporation, США). Соотношение компонентов подвижной фазы 0,1%-го раствора ортофосфорной кислоты/ацетонитрила варьировали для лучшего разрешения компонентов смеси, скорость потока элюента изменяли в пределах 0,8–1,0 мл/мин, температура колонки 30 °С, объем вводимой пробы – 20 мкл. Детектирование осуществляли при длине волны $\lambda = 365,4$ нм.

Приготовление стандартных растворов (СО).

Растворы готовили путем растворения в 96 % этиловом спирте. Содержимое флакона СО переносили в мерную колбу соответствующего объема и доводили до метки 96 % этиловым спиртом. Растворы перемешивали. Получали растворы с содержанием стандартного вещества 1 мг/мл (исходные растворы). Стандартные растворы готовили непосредственно перед анализом путем разбавления исходных растворов водой деионизированной до концентраций 0,1 мг/мл.

Для подбора оптимальных условий хроматографического разрешения компонентов готовили смесь стандартных образцов (СО) индивидуальных веществ: кверцетина, изорамнетина, лютеолина, кемпферола и апигенина с конечной концентрацией каждого из компонентов 0,02 мг/мл.

Подготовка пробы анализируемых образцов.

Все водно-спиртовые извлечения подвергали кислотному гидролизу. Для проведения кислотного гидролиза 10 мл извлечения каждого образца помещали в колбу объемом 50 мл, добавляли 2 мл хлористоводородной кислоты 37 % (рН 1,2) и нагревали на электрической плитке в течение 40 минут. После охлаждения растворы фильтровали, доводили натрия гидроксидом до значения рН 11-12, смешивали со смесью растворителей диэтиловый эфир (3 части):этилацетат (1 часть) в соотношении 2:6 и экстрагировали, органический слой переносили в чашки для выпаривания и выпаривали на электрической плитке при температуре 40 °С. Полученные сухие остатки смывали 2,5 мл этилового спирта 96 %.

Идентификацию индивидуальных соединений проводили на основе соответствия временам удерживания и УФ-спектрам стандартных образцов. Анализ смеси СО и каждого анализируемого образца повторяли пятикратно. Ввиду того, что обнаружение агликонов флавоноидов проводили после их кислотного гидролиза, количественную оценку найденных веществ не выполняли.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Был подобран оптимальный режим градиентного элюирования (таблица 1) для разделения и идентификации кверцетина, изорамнетина, лютеолина, кемпферола и апигенина в смеси СО (рисунок 1) с общим временем единичного анализа пробы 13 минут.

Таблица 1. Схема градиентного элюирования фенольных соединений

Table 1. The gradient elution mode of phenolic compounds

Время (мин) Time (min)	А (0,1 % раствор ортофосфорной кислоты) (%) A (0.1% phosphoric acid solution) (%)	В (ацетонитрил) (%) B (acetonitrile) (%)	Поток (мл/мин) Flow (ml/min)
0,00	70,00	30,00	1,00
1,00	70,00	30,00	1,00
2,00	60,00	40,00	0,90
5,00	60,00	40,00	0,80
10,00	70,00	30,00	1,00
10,50	30,00	70,00	1,00
11,00	70,00	30,00	1,00
13,00	70,00	30,00	1,00

Для разработанной методики были определены параметры пригодности хроматографической системы (таблица 2).

Подобранная методика также может быть использована для качественной и количественной оценки агликонов флавоноидов в комплексных экстрактах. Количественная оценка агликонов в гидролизатах не дает объективно точного содержания данных веществ в экстрактах, так как при пробоподготовке нельзя точно рассчитать глубину протекания гидролиза, степень перехода агликонов в органические растворители и т. д. Ввиду этого проводили исследование в гидролизатах только качественного состава флавоноидных агликонов.

Обнаружено, что гидролизаты водно-спиртовых извлечений из травы четырех видов астрагала имеют различия в составе фенольных соединений (таблица 3, рисунок 2).

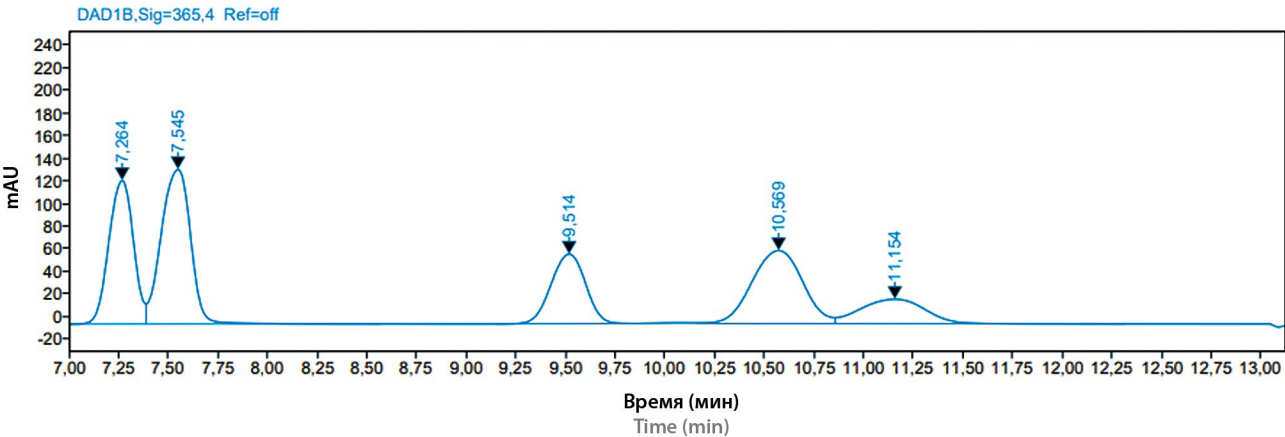


Рисунок 1. Хроматограмма смеси стандартных образцов:

1 – лютеолин (7,256); 2 – кверцетин (7,550); 3 – апигенин (9,508); 4 – кемпферол (10,559); 5 – изорамнетин (11,137)

Figure 1. Chromatogram of a mixture of reference standards:

1 – luteolin (7.256); 2 – quercetin (7.550); 3 – apigenin (9.508); 4 – kaempferol (10.559); 5 – isorhamnetin (11.137)

Таблица 2. Параметры пригодности
хроматографической системы

Table 2. Chromatography system suitability parameters

№	Соединение Compound	Время удерживания (мин) Retention time (min)	Разрешение USP USP approval	Количество теоретических тарелок USP Theoretical plates USP	Коэффициент симметрии Symmetry factor
1	Лютеолин Luteolin	7,256	–	13905	1,30075
2	Кверцетин Quercetin	7,550	1,00992	11248	1,44998
3	Апигенин Apigenin	9,502	5,70840	8222	1,30780
4	Кемпферол Kaempferol	10,560	2,41660	6296	1,41362
5	Изорамнетин Isorhamnetin	11,150	1,01579	5254	1,42015

Лютеолин, кверцетин и апигенин присутствуют в гидролизатах *A. henningii*, *A. testiculatus*, *A. varius*, кемпферол и изорамнетин найдены в гидролизатах *A. henningii*, *A. varius*.

Найденные агликоны флавоноидов в гидролизатах могут указывать на наличие в нативных экстрактах гликозидов исследуемых соединений, что перспективно с точки зрения их фармакологической активности. Одним из самых ценных агликонов является кемпферол (обнаружен в *A. henningii* и *A. varius*), так как его гликозид астрагалин является биологически активным флавоноидом и проявляет разнообразные фармакологические свойства, например, противовоспалительные, антиоксидантные, нейропротекторные, кардиозащитные, противостеопорозные, противоопухолевые, противоязвенные и противодиабетические [16].

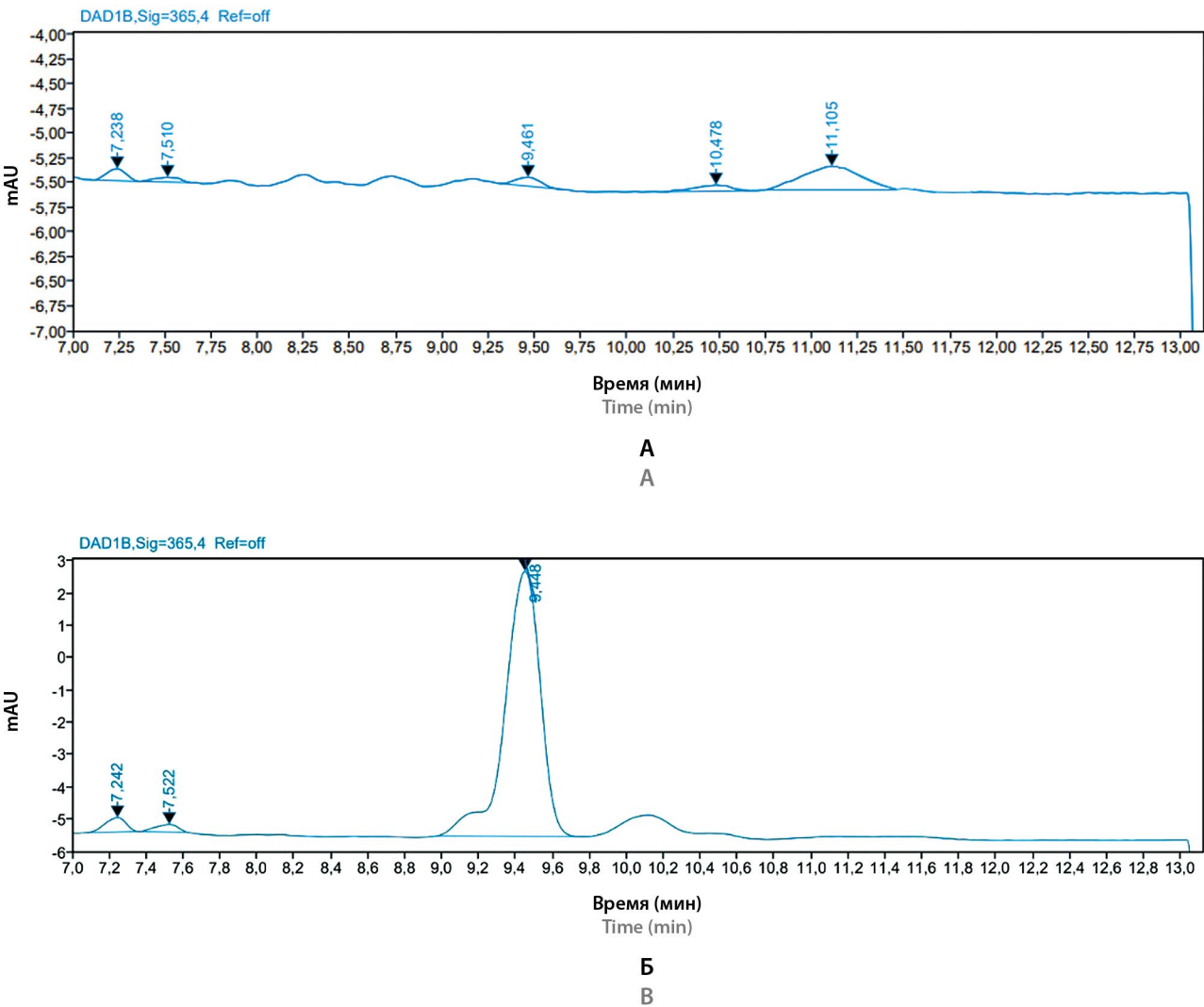
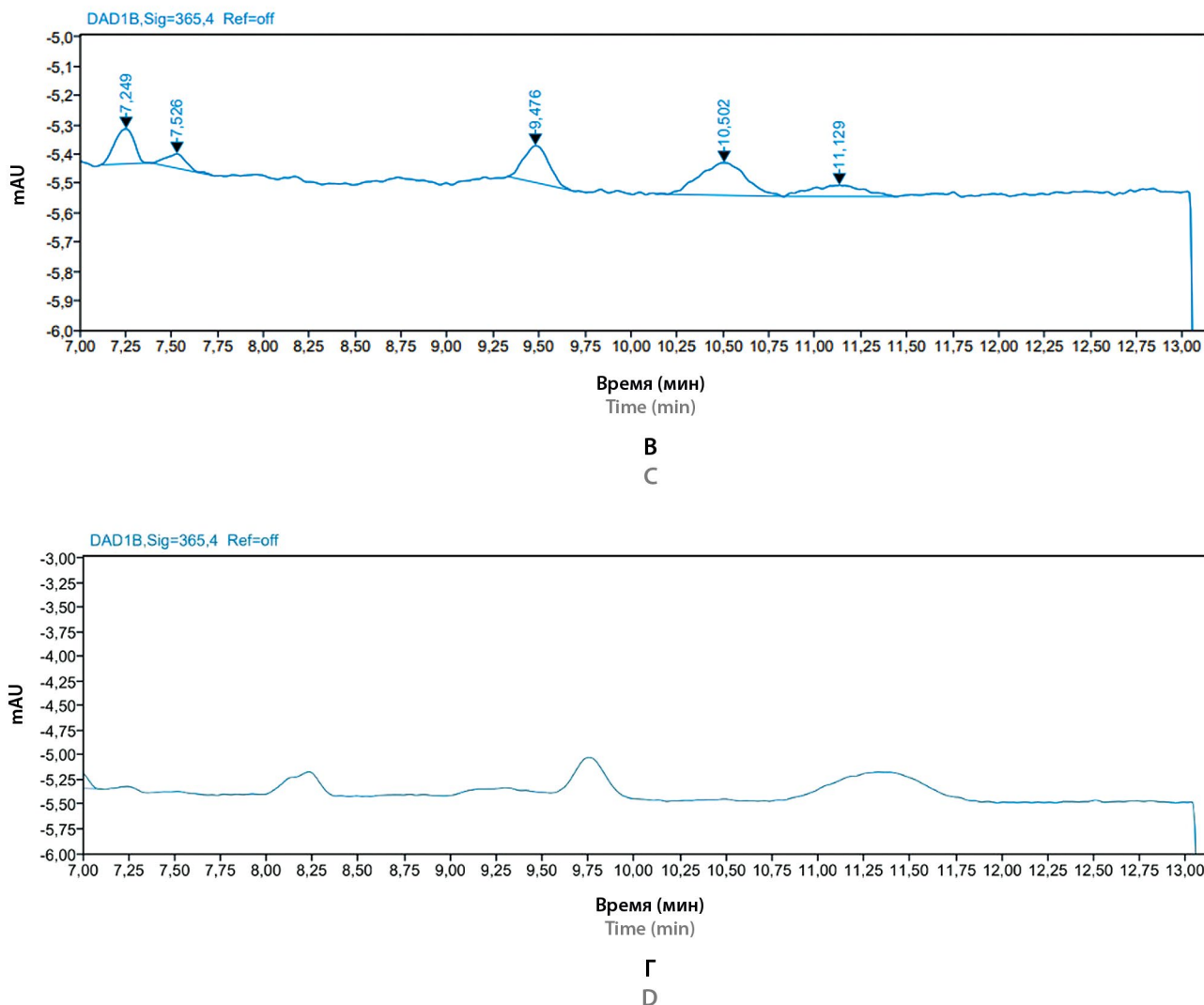


Рисунок 2. Хроматограммы гидролизатов водно-спиртовых извлечений из травы:

А – астрагал Хеннинга; Б – астрагал яйцеплодный

Figure 2. Chromatograms of hydrolysates of water-alcohol extracts from of herb:

А – *A. henningii*; Б – *A. testiculatus*



Продолжение рисунка 2

В – астрагал изменчивый; г – астрагал шерстистоцветковый при 365 нм в системе растворителей. По оси абсцисс – время удерживания, мин; по оси ординат – сигнал детектора, единица оптической плотности

Continuation of figure 2

С – *A. varius*; D – *A. dasyanthus* at 365 nm in a solvent system. Abscissa – retention time, min; along the y-axis, the detector signal, the unit of optical density

Обнаружение у астрагала изменчивого кемпферола и кверцетина согласуется с ранее полученными данными [10], а лютеолин, изорамнетин и апигенин выявлены впервые. Обнаруженные ранее у астрагала шерстистоцветкового изорамнетин, кверцетин, кемпферол [10] не найдены при данных условиях выделения, очистки и хроматографирования, однако обнаружены другие соединения, которые не удалось идентифицировать в соответствии со стандартными образцами.

Полученные данные открывают перспективность дальнейшего изучения экстрактов астрагалов (астрагал Хеннинга, астрагал яйцеплодный, астрагал изменчивый и астрагал шерстистоцветковый) и подтверждают целесообразность изучения их фармакологической активности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований методом ВЭЖХ/УФ с помощью индивидуально подобранного градиентного режима элюирования для одновременного определения в смеси 5 агликонов флавоноидов получены и проанализированы гидролизаты четырех водно-спиртовых извлечений травы астрагалов, произрастающих на территории Поволжья. В гидролизате водно-спиртового извлечения травы астрагала Хеннинга впервые обнаружены и идентифицированы лютеолин, кверцетин, апигенин, кемпферол и изорамнетин; астрагала яйцеплодного – лютеолин, кверцетин, апигенин; астрагала изменчивого – лютеолин, изорамнетин и апигенин. В

Таблица 3. Характеристика агликонов флавоноидов, обнаруженных в гидролизатах четырех видов астрагала
Table 3. Characteristics of flavonoid aglycones found in hydrolysates of four Astragalus species

№	Соединение Compound	Спектральная характеристика, λ_{max} (нм) Spectral characteristic, λ_{max} (nm)	Время удерживания (мин) Retention time (min)			
			A. henningii	A. testiculatus	A. varius	A. dasyanthus
1	Лютеолин Luteolin	253, 267, 291 пл., 350	7,238	7,242	7,249	–
2	Кверцетин Quercetin	255, 299 пл., 372	7,510	7,522	7,526	–
3	Апигенин Apigenin	268, 338	9,461	9,448	9,476	–
4	Кемпферол Kaempferol	265, 322 пл., 367	10,478	–	10,502	–
5	Изорамнетин Isorhamnetin	255,326 пл., 370	11,105	–	11,129	–

Примечание. «–» соединение не найдено.
Note. «–» compound not found.

гидролизате водно-спиртового извлечения из травы астрагала шерстистоцветкового данные агликоны не были обнаружены.

ЛИТЕРАТУРА

1. Rundel P.W., Huggins T.R., Prigge B.A., Rasoul Sharifi M. Rarity in *Astragalus*: a California perspective. *Aliso: A Journal of Systematic and Floristic Botany*. 2015;33(2):111–120. DOI: 10.5642/aliso.20153302.04.

2. Fu J., Wang Z., Huang L., Zheng S., Wang D., Chen S., Zhang H., Yang S. Review of the botanical characteristics, phytochemistry, and pharmacology of *Astragalus membranaceus* (Huangqi). *Phytotherapy Research*. 2014;28(9):1275–1283. DOI: 10.1002/ptr.5188.

3. Sun H., Kang B., Chai Z., Sun H., Du H., Gao J., Feng Q., Zhang C., Cao Q., Guo L. Characterization of root-associated microbiota in medicinal plants *Astragalus membranaceus* and *Astragalus mongholicus*. *Annals of Microbiology*. 2017;67(9):587–599. DOI: 10.1007/s13213-017-1285-z.

4. Abd Elkader H.-T., Essawy A. E., Al-Shami A. S. *Astragalus* species: Phytochemistry, biological actions and molecular mechanisms underlying their potential neuroprotective effects on neurological diseases. *Phytochemistry*. 2022;202:113293. DOI: 10.1016/j.phytochem.2022.113293.

5. Berezutsky M. A., Matvienko U. A., Karetnikova A. Yu., Durnova N. A. Anti-cancer activity of *Astragalus membranaceus* – A Review. *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2021;13(3):206–215. DOI: 10.31838/ijpr/2021.13.03.003.

6. Li S., Sun Y., Huang J., Wang B., Gong Y., Fang Y., Guo Y. Anti-tumor effects and mechanisms of *Astragalus membranaceus* (AM) and its specific immunopotential: status and prospect. *Journal of ethnopharmacology*. 2020;258:112797. DOI: 10.1016/j.jep.2020.112797.

7. Березуцкий М. А., Якубова Л. Р., Дурнова Н. А., Романтеева Ю. В., Белоногова Ю. В., Комарова Е. Э., Шереметьева А. С. Фармакологические свойства препаратов, созданных на основе экстракта астрагала (обзор). *Химико-фармацевтический журнал*. 2020;54(4):20–25. DOI: 10.30906/0023-1134-2020-54-4-20-25.

8. Zhang J., Wu C., Gao L., Du G., Qin X. Astragaloside IV derived from *Astragalus membranaceus*: a research review on the pharmacological effects. *Advances in Pharmacology*. 2020;87:89–112. DOI: 10.1016/bs.apha.2019.08.002.

9. Сергалиева М. У., Мажитова М. В., Самотруева М. А. Растения рода Астрагал: перспективы применения в фармации. *Астраханский медицинский журнал*. 2015;10(2):17–31.

10. Bratkov V. M., Shkondrov A. M., Zdraveva P. K., Krasteva I. N. Flavonoids from the genus *Astragalus*: phytochemistry and biological activity. *Pharmacognosy Reviews*. 2016;10(19):11–32. DOI: 10.4103/0973-7847.176550.

11. Ionkova I., Shkondrov A., Krasteva I., Ionkov T. Recent progress in phytochemistry, pharmacology and biotechnology of *Astragalus* saponins. *Phytochemistry reviews*. 2014;13(2):343–374. DOI: 10.1007/s11101-014-9347-3.

12. Gorai D., Jash S. K., Roy R. Flavonoids from *Astragalus* genus. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 2016;7(7):2732–2747. DOI: 10.13040/IJPSR.0975-8232.7(7).2732-47.

13. Li X., Qu L., Dong Y., Han L., Liu E., Fang S., Zhang Y. A review of recent research progress on the *astragalus* genus. *Molecules*. 2014;19(11):18850–18880. DOI: 10.3390/molecules191118850.

14. Матвиенко У. А., Фомина Ю. А., Шестопалова Н. Б., Березуцкий М. А., Дурнова Н. А. Спектрофотометрическое определение суммы флавоноидов некоторых видов рода астрагал. *Фармация*. 2021;70(3):11–16. DOI: 10.29296/25419218-2021-03-02.

15. Решетникова Н. М., ред. Флора Нижнего Поволжья. Раздельно-лепестные цветковые двудольные растения (*Crassulaceae-Cornaceae*). Т. 2. Ч. 2. М.: Товарищество научных изданий КМК; 2018. 519 с.

16. Riaz A., Rasul A., Hussain G., Zahoor M. K., Jabeen F., Subhani Z., Selamoglu Z. Astragalin: a bioactive phytochemical with potential therapeutic activities. *Advances in pharmacological sciences*. 2018;2018:15. DOI: 10.1155/2018/9794625.

REFERENS

1. Rundel P.W., Huggins T.R., Prigge B.A., Rasoul Sharifi M. Rarity in *Astragalus*: a California perspective. *Aliso: A Journal of Systematic and Floristic Botany*. 2015;33(2):111–120. DOI: 10.5642/aliso.20153302.04.

2. Fu J., Wang Z., Huang L., Zheng S., Wang D., Chen S., Zhang H., Yang S. Review of the botanical characteristics, phytochemistry, and pharmacology of *Astragalus membranaceus* (Huangqi). *Phytotherapy Research*. 2014;28(9):1275–1283. DOI: 10.1002/ptr.5188.

3. Sun H., Kang B., Chai Z., Sun H., Du H., Gao J., Feng Q., Zhang C., Cao Q., Guo L. Characterization of root-associated microbiota in medicinal plants *Astragalus membranaceus* and *Astragalus*

- mongholicus*. *Annals of Microbiology*. 2017;67(9):587–599. DOI: 10.1007/s13213-017-1285-z.
4. Abd Elkader H.-T., Essawy A. E., Al-Shami A. S. *Astragalus* species: Phytochemistry, biological actions and molecular mechanisms underlying their potential neuroprotective effects on neurological diseases. *Phytochemistry*. 2022;202:113293. DOI: 10.1016/j.phytochem.2022.113293.
5. Berezutsky M. A., Matvienko U. A., Karetnikova A. Yu., Durnova N. A. Anti-cancer activity of *Astragalus membranaceus* – A Review. *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2021;13(3):206–215. DOI: 10.31838/ijpr/2021.13.03.003.
6. Li S., Sun Y., Huang J., Wang B., Gong Y., Fang Y., Guo Y. Anti-tumor effects and mechanisms of *Astragalus membranaceus* (AM) and its specific immunopotential: status and prospect. *Journal of ethnopharmacology*. 2020;258:112797. DOI: 10.1016/j.jep.2020.112797.
7. Berezuckij M. A., Jakubova L. R., Durnova N. A., Romanteeva Ju. V., Belonogova Ju. V., Komarova E. Je., Sheremet'eva A. S. Drugs based on *astragalus* extract and their pharmacological properties (review). *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2020;54(4):20–25. (In Russ.) DOI: 10.30906/0023-1134-2020-54-4-20-25.
8. Zhang J., Wu C., Gao L., Du G., Qin X. Astragaloside IV derived from *Astragalus membranaceus*: a research review on the pharmacological effects. *Advances in Pharmacology*. 2020;87:89–112. DOI: 10.1016/bs.apha.2019.08.002.
9. Sergaliev M. U., Mazhitova M. V., Samotruieva M. A. Plants of the genus *astragalus*: prospects of application in pharmacy. *Astrakhanskii meditsinskii zhurnal*. 2015;10(2):17–31. (In Russ.)
10. Bratkov V. M., Shkondrov A. M., Zdraveva P. K., Krasteva I. N. Flavonoids from the genus *Astragalus*: phytochemistry and biological activity. *Pharmacognosy Reviews*. 2016;10(19):11–32. DOI: 10.4103/0973-7847.176550.
11. Ionkova I., Shkondrov A., Krasteva I., Ionkov T. Recent progress in phytochemistry, pharmacology and biotechnology of *Astragalus* saponins. *Phytochemistry reviews*. 2014;13(2):343–374. DOI: 10.1007/s11101-014-9347-3.
12. Gorai D., Jash S. K., Roy R. Flavonoids from *Astragalus* genus. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 2016;7(7):2732–2747. DOI: 10.13040/IJPSR.0975-8232.7(7).2732-47.
13. Li X., Qu L., Dong Y., Han L., Liu E., Fang S., Zhang Y. A review of recent research progress on the *astragalus* genus. *Molecules*. 2014;19(11):18850–18880. DOI: 10.3390/molecules191118850.
14. Matvienko U. A., Fomina Ju. A., Shestopalova N. B., Berezuckij M. A., Durnova N. A. Spectrophotometric determination of the amount of flavonoids in some *Astragalus* species. *Farmatsiya*. 2021;70(3):11–16. (In Russ.) DOI: 10.29296/25419218-2021-03-02.
15. Reshetnikova N. M., editor. Flora of the Lower Volga region. Separate-petaled flowering dicotyledonous plants (*Crassulaceae-Cornaceae*). V. 2. P. 2. Moscow: Tovarihshestvo nauchnyh izdanij KMK; 2018. 519 p. (In Russ.)
16. Riaz A., Rasul A., Hussain G., Zahoor M. K., Jabeen F., Subhani Z., Selamoglu Z. Astragalin: a bioactive phytochemical with potential therapeutic activities. *Advances in pharmacological sciences*. 2018;2018:15. DOI: 10.1155/2018/9794625.