

Физиология и биохимия растений / Plant Physiology and Biochemistry

Научная статья

Original article

DOI: [10.12731/2658-6649-2026-18-2-1784](https://doi.org/10.12731/2658-6649-2026-18-2-1784)EDN: [KINIOY](https://www.edn.ru/KINIOY)

УДК 615.322



Изучение полифенольного состава листьев и коры *Salix alba* L. и *Populus nigra* L., произрастающих на юге России

А.Ф. Рябуха¹, И.В. Плетнева², А.Н. Гейсман², М.М. Корнеев²¹Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного
лесаоразведения Российской академии наук, Волгоград, Российская Федерация²Волгоградский государственный медицинский университет, Волгоград,
Российская Федерация

Аннотация

Обоснование. Представители семейства *Salicaceae* и *Populus nigra* являются дикорастущими растениями, которые широко распространены в Волгоградской области и других регионах России. Эти растения также активно используются в системе агролесомелиорации по восстановлению и улучшению лесных и агролесных экосистем. Обеспечение эффективного подбора материала для лесопосадки и дальнейшего выращивания растений, позволяет изучать влияние условий произрастания, особенно в условиях аридности. Приспособительные биохимические механизмы, связанные с синтезом полифенолов, играют ключевую роль в обеспечении сопротивляемости растений к абиотическим факторам и биотическим воздействиям. Изучение полифенольного состава *Salix alba* L. и *Populus nigra* L., произрастающих в условиях засушливого региона Волгоградской области, позволит выявить связь между условиями среды обитания и уровнем содержания вторичных метаболитов.

Цель – идентифицировать и количественно оценить содержание полифенольных соединений и флавоноидов в экстракционных извлечениях, полученных из листьев и коры ивы белой (*Salix alba*) и тополя черного (*Populus nigra*), произрастающих на территории острова Сарпинский Волгоградской области.

Материалы и методы. Образцы растительного сырья были собраны в июне–июле 2025 года в Волгоградской области. Экстракты получали с применением 70% этанола при температуре 60°C. Полифенольные соединения определяли методом Фолина-Чокальтеу. Содержание флавоноидов определяли методом дифференци-

альной спектрофотометрии после реакции с алюминия хлоридом. Экстракты из листьев ивы анализировали, используя жидкостной хроматограф Shimadzu с диодно-матричным УФ-детектором.

Результаты. Определено суммарное содержание полифенольных соединений в экстрактах из листьев ивы ($2,85 \pm 0,05\%$), коры ивы ($1,76 \pm 0,04\%$), листьев тополя ($1,75 \pm 0,04\%$) и коры тополя ($3,26 \pm 0,06\%$). Определено содержание флавоноидов в экстрактах из листьев ивы ($1,81 \pm 0,015\%$), коры ивы ($0,28 \pm 0,005\%$), листьев тополя ($\pm 0,04\%$) и коры тополя ($\pm 0,06\%$). Методом тонкослойной хроматографии определены рутин в извлечении из листьев ивы и производные кверцетина в извлечении из листьев тополя. Методом высокоэффективной жидкостной хроматографии в экстрактах из листьев ивы определены рутин и кверцетин.

Ключевые слова: листья; кора; ива белая, тополь черный; экстракты; полифенольные соединения

Для цитирования. Рябуха, А. Ф., Плетнева, И. В., Гейсман, А. Н., & Корнеев, М. М. (2026). Изучение полифенольного состава листьев и коры *Salix alba* L. и *Populus nigra* L., произрастающих на юге России. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 18(2), 208–225. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2026-18-2-1784>

Study of the polyphenol composition of the leaves and bark of *Salix alba* L. and *Populus nigra* L., growing in southern Russia

A.F. Ryabukha¹, I.V. Pletneva², A.N. Geisman², M.M. Korneev²

¹Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russian Federation

²Volgograd State Medical University, Volgograd, Russian Federation

Abstract

Background. Members of the *Salicaceae* family and *Populus nigra* are wild plants widely distributed in the Volgograd region and other regions of Russia. These plants are also actively used in agroforestry systems to restore and improve forest and agroforestry ecosystems. Ensuring the effective selection of material for forest planting and subsequent plant cultivation allows for the study of the influence of growing conditions, particularly in arid conditions. Adaptive biochemical mechanisms associated with polyphenol synthesis play a key role in plant resistance to abiotic factors and biotic influences. Studying the polyphenolic composition of *Salix alba* L. and *Populus nigra* L., growing in the arid conditions of the Volgograd region, will help identify the relationship between environmental conditions and secondary metabolite levels.

Purpose. Identify and quantify the polyphenolic and flavonoid content of extracts obtained from the leaves and bark of white willow (*Salix alba*) and black poplar (*Populus nigra*) growing on Sarpinsky island in the Volgograd region.

Materials and methods. Plant samples were collected in June–July 2025 in the Volgograd region. Extracts were obtained using 70% ethanol at 60°C. Polyphenolic compounds were determined using the Folin-Ciocalteu method. Flavonoid content was determined by differential spectrophotometry after reaction with aluminum chloride. Willow leaf extracts were analyzed using a Shimadzu liquid chromatograph with a diode array UV detector.

Results. The total content of polyphenolic compounds was determined in extracts from willow leaves ($2.85 \pm 0.05\%$), willow bark ($1.76 \pm 0.04\%$), poplar leaves ($1.75 \pm 0.04\%$) and poplar bark ($3.26 \pm 0.06\%$). The content of flavonoids was determined in extracts from willow leaves ($1.81 \pm 0.015\%$), willow bark ($0.28 \pm 0.005\%$), poplar leaves ($\pm 0.04\%$) and poplar bark ($\pm 0.06\%$). Rutin in the extract from willow leaves and quercetin derivatives in the extract from poplar leaves were determined using thin-layer chromatography. Rutin and quercetin were determined in the extracts from willow leaves using high-performance liquid chromatography.

Keywords: leaves; bark; white willow; black poplar; extracts; polyphenolic compounds

For citation. Ryabukha, A. F., Pletneva, I. V., Geisman, A. N., & Korneev, M. M. (2026). Study of the polyphenol composition of the leaves and bark of *Salix alba* L. and *Populus nigra* L., growing in southern Russia. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 18(2), 208–225. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2026-18-2-1784>

Введение

Волгоградская область расположена в зоне степей и полупустынь, леса занимают 4,3% от ее общей территории, поэтому здесь особенно важны работы по лесоразведению и лесовосстановлению [5, с. 4; 6, с. 10].

Представители семейства *Salicaceae* являются дикорастущими растениями Волгоградской области, а также широко используются в агролесомелиорации в южных регионах России. Ива белая (*Salix alba* L.) и тополь черный (*Populus nigra* L.) семейства *Salicaceae* широко применяются для обсадок русел водоемов, посадок по днищам балок и оврагов; в лесостепи и северной степи применяются для посадки вдоль дорог [4, с. 15].

Данные виды в качестве вторичных метаболитов содержат фенилпропаноиды – ароматические фенольные соединения, являющиеся основой для биосинтеза различных соединений, включая флавоноиды (антоцианы, проантоцианидины, флавонолы и т. д.), лигнины, кумарины и лигнаны [7, с. 23; 12, с. 48].

Полифенольные соединения, в частности флавоноиды, играют важную роль в росте и развитии растений, а также в их реакции на внешние раздра-

жители, защите от вредителей, воздействия ультрафиолета, обладая антиоксидантными свойствами, влияют по мнению ряда авторов на устойчивость растений к абиотическим и биотическим стрессам [13, p. 5, 17, p. 1].

Показано, что воздействие на растения стрессовых факторов (высокие и низкие температуры, УФ-радиация) может приводить к изменению количества полифенольных соединений, в том числе путем регуляции синтеза ферментов, влияющих на данные метаболические пути [9, с. 7]. Так, во время кратковременного воздействия низких температур на проростки кукурузы наблюдали изменения в содержании антоцианов и транскрипции генов, продукты которых участвуют в общем метаболизме фенилпропаноидов и антоцианов [14, с. 2]. У генно-модифицированных с использованием гена фенилпропаноидного метаболического пути PAL1 растений арабидопсиса увеличилась засухоустойчивость, повысилось продуцирование лигнина и салициловой кислоты, но снизились концентрации флавоноидов [19, p. 1].

Изучение полифенольного состава *Salix alba* L. и *Populus nigra* L., произрастающих в естественной среде в засушливых условиях Волгоградской области, позволит связать в дальнейшем конкретные условия местообитания растений с содержанием вторичных метаболитов, проводить правильный подбор древесных пород для защитного лесоразведения, целенаправленно проводить поиск генов, отвечающих за синтез данных соединений.

На первом этапе необходимо провести изучение содержания полифенольных веществ в различных тканях и органах ивы белой и тополя черного.

Цель исследования – определение суммы полифенольных веществ и флавоноидов в извлечениях из листьев и коры ивы белой и тополя черного, произрастающих на острове Сарпинский Волгоградской области.

Материалы и методы

Для исследования использовали высушенные листья, высушенную кору ивы белой и тополя черного. Растительное сырье собрано на острове Сарпинский, Волгоградская область (координаты: 48.590342, 44.484241).

Извлечения получали в соотношении 1:8 настаиванием при температуре 60°C в течении четырех часов.

Для обнаружения и идентификации флавоноидных соединений проводили следующие качественные реакции: с 1% спиртовым раствором железа хлорида (III) для обнаружения соединений, имеющих свободные фенольные ОН-группы; с 2% спиртовым раствором алюминия хлорида для обнаружения флавоноидов; с 10% раствором гидроксида натрия для обнаружения флавонов, флавонолов, халконов и ауранов [2, с. 32].

Количественное определение полифенольных соединений проводили методом Фолина–Чокальтеу модификации Синглетона и Росси. Метод основан на восстановлении реактива Фолина–Чокальтеу полифенолами в щелочной среде и спектрофотометрической оценке окрашенных в синий цвет комплексных соединений [21, р. 1]. Реактив Фолина–Чокальтеу разводили в 10 раз, щелочную среду создавали добавлением 7,5 % раствора натрия карбоната. Для построения калибровочного графика готовили растворы галловой кислоты в концентрации 25-200 мг/л [10, с. 72].

Количественное определение флавоноидов проводили методом дифференциальной спектрофотометрии после реакции с 2% раствором алюминия хлорида. Предварительно были построены графики зависимости оптической плотности от концентрации рутина и кверцетина. Растворы рутина готовили в концентрации 20-170 мкг/мл, добавляли раствор алюминия хлорида и доводили 70 % этанолом в мерной колбе на 5 мл до метки. Растворы кверцетина готовили в концентрации 50-500 мкг/мл, добавляли раствор алюминия хлорида и доводили 70 % этанолом в мерной колбе на 5 мл до метки. Растворы экстрактов готовили по той же схеме, как и растворы стандартных образцов [1, с. 156; 3, с. 68].

Тонкослойную хроматографию полученных экстрактов проводили на пластинах для ТСХ, 20*20 см, силикагель, на алюминиевой подложке, УФ 254, Merck в системах растворителей: 1– бутанол–уксусная кислота–хлороформ 4:1:5; 2– хлороформ–этанол 9:1 [20, р. 59].

Экстракты также анализировали методом ВЭЖХ на хроматографе Shimadzu, с диодно-матричным УФ-детектором при $\lambda_{\max}$ 350 нм для рутина и при $\lambda_{\max}$ 370 нм для лютеолина и кверцетина, колонка Supelcosil LC-18 25cm*4,6mm. Элюирование проводили в изократическом режиме, в качестве подвижной фазы использовали смесь 6% уксусной кислоты (pH 2,08) и ацетонитрила УФ-210 в соотношении 80:20. Объемная скорость потока элюента – 1,0 мл/мин, объем вводимой пробы 20 мкл, время элюирования 60 минут, $t = 20^\circ\text{C}$. Исходные растворы рутина, кверцетина и лютеолина готовили в 99% этаноле, затем методом последовательного разведения подвижной фазой доводили до концентрации 30 мкг/мл.

Результаты и обсуждение

При проведении качественного анализа 2%-м спиртовым раствором алюминия хлорида все извлечения окрашивались в желтый цвет, что свидетельствует о наличии в сырье флавоноидов. При добавлении к экстрактам 10% раствора NaOH наблюдалась ярко-желтая окраска, что свидетельству-

ет о наличии в сырье флавонов и флавонолов. Реакция с хлоридом железа продуцировала зеленое окрашивание у всех изученных экстрактов с возможной примесью коричневого цвета, что может свидетельствовать о наличии в извлечении флавоноидов с ОН- группой в положениях 3 и 5, возможно кверцетина, лютеолина или их гликозидов.

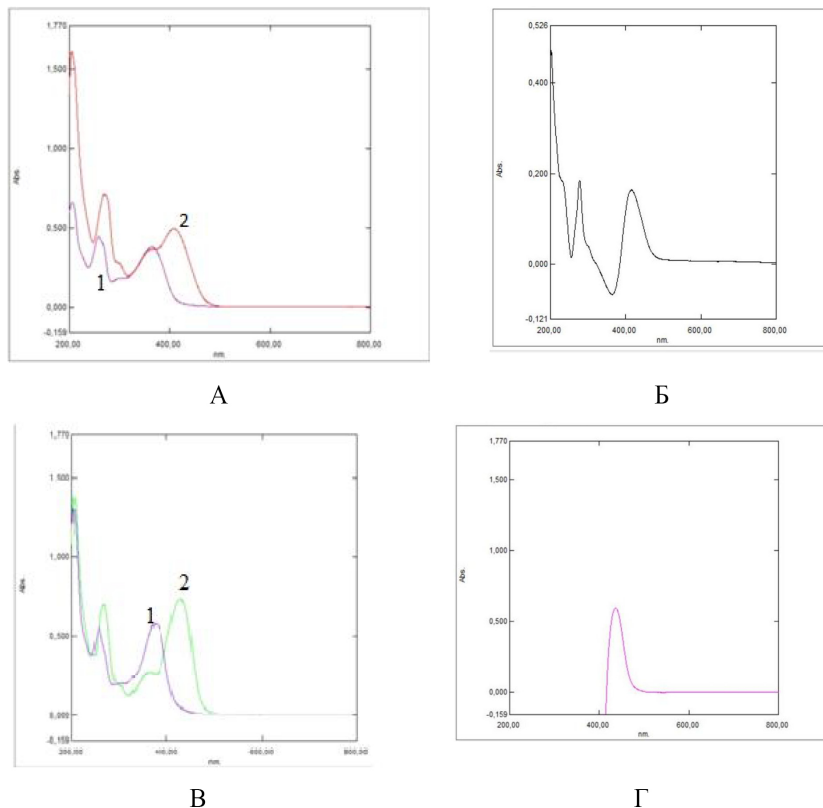
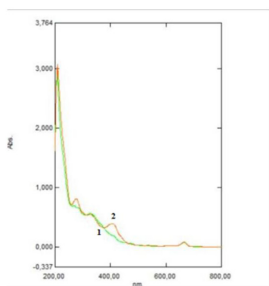


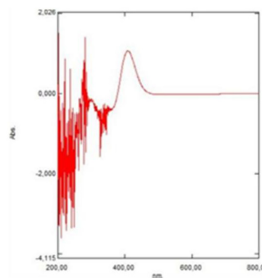
Рис. 1. А - электронный спектр рутина (1) и рутина с добавлением алюминия хлорида (2), Б - электронный дифференциальный спектр рутина после добавления алюминия хлорида, В - электронный спектр кверцетина и кверцетина с добавлением алюминия хлорида, Г - электронный дифференциальный спектр кверцетина после добавления алюминия хлорида.
Fig. 1. А – electron spectrum of rutin (1) and rutin with added aluminum chloride (2), Б – the differential electron spectrum of rutin after the addition of aluminum chloride; В – the electron spectrum of quercetin and quercetin with added aluminum chloride; Д – the differential electron spectrum of quercetin after the addition of aluminum chloride.

Предварительно были изучены спектральные характеристики растворов рутина и кверцетина, которые по данным литературы присутствуют в изучаемом сырье [12, с. 49]. Спектр раствора рутина (20 мкг/мл) – в 96 % этаноле (рис.1, А) и раствора рутина в 96 % этаноле с добавлением алюминия хлорида (рис.1, Б) и спектр растворов кверцетина в 96 % этаноле (рис.1,) и раствора рутина в 96 % этаноле с добавлением алюминия хлорида (рис.1, Б) и кверцетина с добавлением алюминия хлорида представлены на рис. 1.

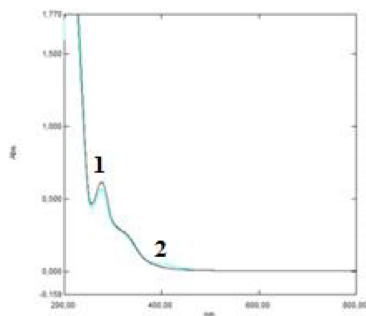
При изучении электронных спектров извлечения из листьев ивы были зарегистрированы характерные для флавоноидов две полосы поглощения с максимумами при 269 и 328 нм, при добавлении хлорида алюминия обнаруживается bathochromic сдвиг длинноволновой полосы на 70-80 нм. Экстракт из листьев тополя имел максимум поглощения при 267 нм, экстракт из коры ивы – 253 нм и 273 нм, экстракт из коры тополя- 264 нм и 284 нм (табл. 1).



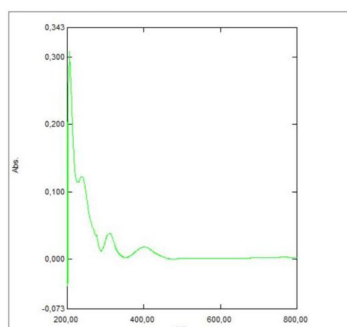
А(1,2)



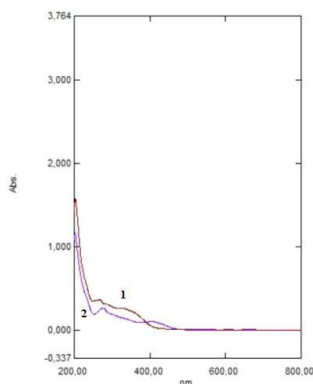
А(3)



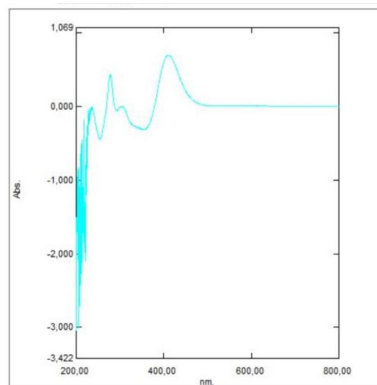
Б(1,2)



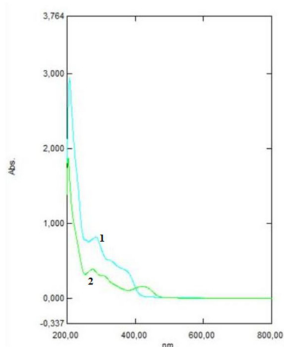
Б(3)



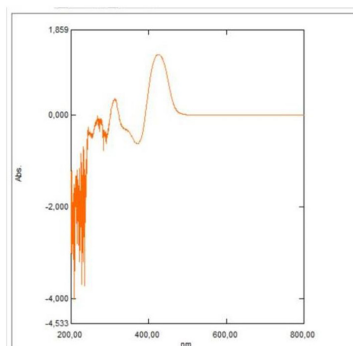
B (1,2)



B(3)



Г(1,2)



Г(3)

Рис. 2. А – настойка из листьев ивы. Б – настойка из коры ивы; В – настойка из листьев тополя; Г – настойка из коры тополя. На всех рисунках 1-спектр настойки без добавления алюминия хлорида, 2-спектр настойки с добавлением алюминия хлорида, 3-дифференциальный спектр настойки с алюминия хлоридом.

Fig. 2. A – willow leaf tincture. B – willow bark tincture; C – poplar leaf tincture; D – poplar bark tincture. In all figures: 1 – spectrum of the tincture without the addition of aluminum chloride; 2 – spectrum of the tincture with the addition of aluminum chloride; 3 – differential spectrum of the tincture with aluminum chloride.

Для устранения влияния примесей был применен метод дифференциальной спектрофотометрии, при этом максимум поглощения длинновол-

новой полосы сдвинулся на 409 нм (листья ивы), 402 нм (кора ивы), 410 нм (листья тополя), 425 нм (кора тополя) (табл. 1, рис. 2).

Методом дифференциальной спектрофотометрии после реакции с алюминия хлоридом для извлечений из листьев и коры ивы и листьев тополя установлен максимум поглощения в области 406–412 нм, что позволяет использовать для расчетов общего количества флавоноидов в сырье в качестве стандартного образца рутин, имеющий максимум поглощения дифференциального спектра при длине волны 412 ± 2 нм (рис. 1, 2, табл. 1).

Таблица 1.

Максимумы поглощения электронных спектров стандартных веществ и полученных извлечений

Table 1. Absorption maxima of the electronic spectra of standard substances and the resulting extracts

УФ-спектр поглощения	Максимум поглощения спиртового извлечения, нм	Максимум поглощения спиртового извлечения с добавлением алюминия хлорида, нм	Максимум поглощения дифференциальный спектр
Рутин	258, 365	270,408	412
Кверцетин	256, 376	268,428	430
Извлечение из листьев ивы	269,328	408	410
Извлечение из коры ивы	253, 273	273	402
Извлечение из листьев тополя	267	406	410
Извлечение из коры тополя	264,284	421	425

Извлечение из коры тополя после реакции с алюминия хлоридом имеет максимум поглощения при длине волны 425 нм (дифференциальный спектр), поэтому для расчетов общего количества флавоноидов в сырье целесообразно использовать стандартный образец кверцетин (максимум поглощения дифференциального спектра при длине волны 430 ± 2 нм (рис.1, 2, табл. 1).

Для предварительной оценки состава экстрактов был использован метод тонкослойной хроматографии (рис. 3). В системе растворителей бутанол-уксусная кислота-хлороформ 4:1:5 при 254 нм (проявление спиртовым раствором AlCl_3) в экстракте из листьев ивы с высокой долей вероятности присутствует рутин или близкие флавоноиды гликозидной природы,

в данной системе растворителей агликоны флавоноидов имеют слишком высокую подвижность и не определяются в изученных экстрактах (рис. 3А). В системе растворителей хлороформ-этанол 9:1 при 365 нм (проявление борно-салициловым реактивом) более полярные вещества (рутин) имеют слабую подвижность и не определяются в изучаемых экстрактах, в экстракте из листьев тополя присутствуют менее полярные агликоны флавоноидов, возможно производные кверцетина или лутеолина (рис. 3Б).

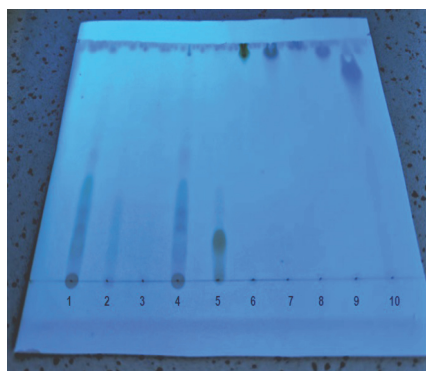


Рис. 3А. 1, 4 – экстракт листьев ивы, 2, 3 – экстракт коры ивы, 5 – рутин, 6 – кверцетин, 7 – лутеолин, 8 – апигенин, 9 – коричная кислота, 10 – галловая кислота

Fig. 3A. 1, 4 – willow leaf extract; 2, 3 – willow bark extract; 5 – rutin; 6 – quercetin; 7 – luteolin; 8 – apigenin; 9 – cinnamic acid; 10 – gallic acid

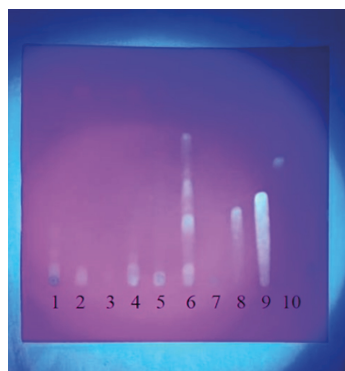


Рис. 3Б. 1, 4 – экстракт листьев ивы, 2, 3 – экстракт коры ивы, 5 – экстракт коры тополя, 6 – экстракт листьев тополя, 7 – рутин, 8 – кверцетин, 9 – лутеолин, 10 – апигенин

Fig. 3B. 1, 4 – willow leaf extract; 2, 3 – willow bark extract; 5 – poplar bark extract; 6 – poplar leaf extract; 7 – rutin; 8 – quercetin; 9 – luteolin; 10 – apigenin

Далее было рассчитано общее количество полифенольных веществ и флавоноидов в сырье по данным спектрофотометрии, результаты приведены в таблице 2.

Полученные данные свидетельствуют, что наибольшее количество полифенольных веществ содержится в листьях ивы и в коре тополя, наибольшее содержание флавоноидов также характерно для данных образцов (табл. 2).

Для наиболее точной идентификации полифенольных веществ применили метод высокоэффективной жидкостной хроматографии, в экстракте из листьев ивы удалось идентифицировать два флавоноида – рутин и кверцетин (рис. 4).

Таблица 2.

**Содержание полифенольных веществ и флавоноидов в сырье –
листьях и коре ивы, листьях и коре тополя**

**Table 2. Polyphenol and flavonoid content in raw materials – willow leaves and bark,
and poplar leaves and bark**

Образец	Содержание суммы полифенольных веществ, мг-экв. галловой кислоты/г абсолютно сухого сырья(%)	Содержание суммы флавоноидов, мг-экв. рутина/г абсолютно сухого сырья(%)	Содержание суммы флавоноидов в абсолютно сухом сырье, мг-экв. кверцетина/г абсолютно сухого сырья, (%)
Листья ивы	28,55±0,49 (2,85±0,05)	17,71±0,45 (1,81±0,01)	-
Кора ивы	17,57±0,44 (1,76±0,04)	0,173±0,003 (0,28±0,005)	-
Листья тополя	17,52±0,401 (1,75±0,04)	2,99±0,34 (0,30±0,03)	-
Кора тополя	32,58±0,57 (3,26±0,06)		6,00±0,97 (0,60±0,10)

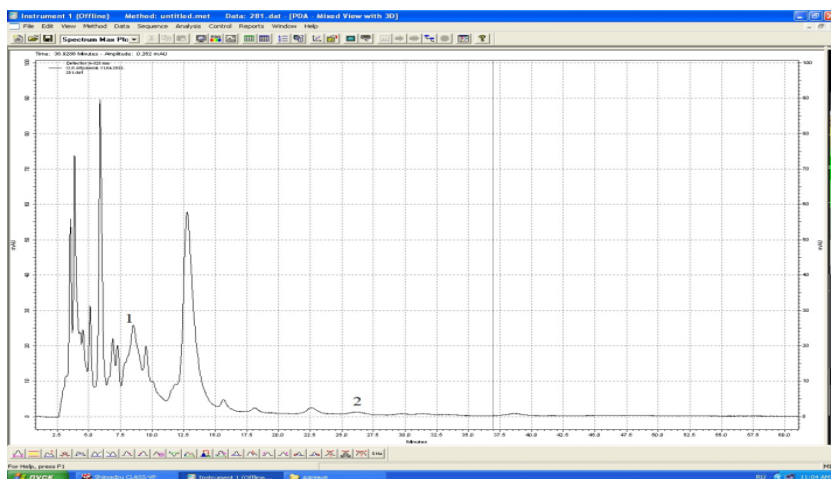


Рис. 4. Хроматограмма экстракта из листьев ивы, экстрагент – 70% этанол.

Обозначения: 1 – рутин, 2 – кверцетин

Fig. 4. Chromatogram of an extract from willow leaves; solvent: 70% ethanol.

Legends: 1 – rutin, 2 – quercetin

Как видно из представленной хроматограммы, в листьях тополя содержится гликозид кверцетина – рутин в достаточно высоких количествах и

кверцетин как минорный компонент. Проведенные ВЭЖХ-исследования экстрактов из тополя показали, что извлечения нуждаются в дополнительной очистке для точной идентификации флавоноидов и полифенольных веществ.

Заключение

1. Методом прямой и дифференциальной спектрофотометрии определено общее количество полифенольных веществ и флавоноидов в листьях и коре ивы белой, листьях и коре тополя черного, произрастающих в засушливых условиях Юга России.

2. Методом тонкослойной хроматографии установлено наличие рутина в листьях ивы и производных кверцетина в листьях тополя.

3. Методом высокоэффективной жидкостной хроматографии идентифицированы рутин и кверцетин в извлечении из листьев ивы.

4. Экстракты из тополя перед проведением качественного и количественного анализа методом ВЭЖХ нуждаются в дополнительной очистке для точной идентификации флавоноидов и полифенольных веществ.

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-24-20170, включающего региональное софинансирование от Комитета образования и науки Волгоградской области <https://rscf.ru/project/25-24-20170>.

Список литературы

1. Вагабова, Ф. А., Мамалиева, М. М., & Раджабов, Г. К. (2024). Оценка изменчивости содержания фенольных соединений в надземных органах природных образцов *Silybum marianum* (L.) Gaertn. *Юг России: экология, развитие*, 19(4), 154–163. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2024-4-13>. EDN: <https://elibrary.ru/FKIPJR>
2. Косенко, А. А., Куркина, А. В., & Куркин, В. А. (2023). Методика количественного определения суммы флавоноидов в листьях тополя белого. *Фармация*, 7(7), 30–36. <https://doi.org/10.29296/25419218-2023-07-04>. EDN: <https://elibrary.ru/XLRYYV>
3. Коруткин, Д. Ю., Абилов, Ж. А., Музычкина, Р. А., & Толстиков, Г. А. (2007). *Природные флавоноиды*. Новосибирск: Академическое издательство: Гео, 232 p. (in Russian).
4. Крючков, С. Н., Солонкин, А. В., & Соломенцева, А. С. (2024). *Селекционное семеноводство для защитного лесоразведения*. Волгоград: Федеральный на-

- учный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, 364 p. ISBN: 978-5-605-19724-9. EDN: <https://elibrary.ru/XFQNZG>
5. Кулик, К. Н., Беляев, А. И., & Пугачева, А. М. (2023). Роль защитного лесоразведения в борьбе с засухой и опустыниванием агроландшафтов. *Аридные экосистемы*, 29(1), 4–14. <https://doi.org/10.24412/1993-3916-2023-1-4-14>. EDN: <https://elibrary.ru/CSZXWA>
 6. Кулик, К. Н. (2009). Защитное лесоразведение в РФ: проблемы и стратегия развития до 2020 г. *Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса*, (1), 10–16. EDN: <https://elibrary.ru/LLJNOL>
 7. Кузьмичева, Н. А. (2009). Влияние климатических факторов на содержание флавоноидов в листьях пойменных видов ив (*Salix* sp.). *Вестник фармации*, 4(46), 21–32. EDN: <https://elibrary.ru/KZTWIF>
 8. Мальцева, Е. М., Егорова, Н. О., & Егорова, И. Н. (2011). Количественное определение суммарного содержания флавоноидов в траве кровохлебки лекарственной. *Вестник Уральской медицинской академической науки*, 3(35), 68–69. EDN: <https://elibrary.ru/YSRWSJ>
 9. Поливанова, О. Б., & Чередниченко, М. Ю. (2023). Регуляция и метаболическая инженерия центрального фенилпропаноидного метаболического пути в ответ на воздействие стрессовых факторов у растений. *Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии*, 26(5), 3–9. <https://doi.org/10.29296/25877313-2023-05-01>. EDN: <https://elibrary.ru/LKLGTE>
 10. Страх, Я. Л., & Игнатовец, О. С. (2020). Изучение содержания фенольных соединений и флавоноидов различных популяций морошки приземистой *Rubus chamaemorus* L. *Вестник фонда фундаментальных исследований*, 4(94), 69–78. EDN: <https://elibrary.ru/ORENNL>
 11. Федуреав, П. В., Скрыпник, Л. Н., & Масленников, П. В. (2017). Особенности накопления фенольных соединений в растениях некоторых видов рода *Rumex* L. *Химия растительного сырья*, (3), 123–130. <https://doi.org/10.14258/jcprm.201703755>. EDN: <https://elibrary.ru/ZFLNYL>
 12. Фролова, О. О., Компанцева, Е. В., & Дементьева, Т. М. (2016). Биологически активные вещества растений рода ива (*Salix* L.). *Фармация и фармакология*, 4(2), 41–59. [https://doi.org/10.19163/2307-9266-2016-4-2\(15\)-41-59](https://doi.org/10.19163/2307-9266-2016-4-2(15)-41-59). EDN: <https://elibrary.ru/WCNPDJ>
 13. Berreguioua, A., & Ziane, L. (2024). Ephedra alenda from the Algerian Sahara: Ethnobotanical Investigation, Evaluation of Total Polyphenols, Antioxidant Potential and Antibacterial Properties. *Indian Journal of Agricultural Research*, 59(3). <https://doi.org/10.18805/IJARE.AF-884>. EDN: <https://elibrary.ru/RMQTJJ>
 14. Christie, P. J., Alfenito, M. R., & Walbot, V. (1994). Impact of low-temperature stress on general phenylpropanoid and anthocyanin pathways: Enhancement of transcript

- abundance and anthocyanin pigmentation in maize seedlings. *Planta*, 194(4), 541–549. <https://doi.org/10.1007/bf00714468>. EDN: <https://elibrary.ru/BITSAD>
15. Fraser, C. M., & Chapple, C. (1999). The phenylpropanoid pathway in Arabidopsis. *The Arabidopsis Book*, 9, e0152.
 16. Golubkina, N., Plotnikova, U., Amagova, Z., & Sheshnitsan, S. S. (2023). Peculiarities of willow (*Salix alba*) bark mineral composition. *Trace Elements in Medicine (Moscow)*, 24(1), 47–52. <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2023-24-1-47-52>. EDN: <https://elibrary.ru/QZZDLN>
 17. Lahrizi, L., Errachidi, F., & Ghadraoui, L. El. (2024). Impact of geographical conditions on phenolic and flavonoid contents and antioxidant activity of different extracts of ajuga iva. *Indian Journal of Agricultural Research*. <https://doi.org/10.18805/ijare.af-827>. EDN: <https://elibrary.ru/GBDLTU>
 18. Niinemets, Ü. (2015). Uncovering the hidden facets of drought stress: Secondary metabolites make the difference. *Tree Physiology*, 36(2), 129–132. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpv128>. EDN: <https://elibrary.ru/WUAAXT>
 19. Qin, Y., Li, Q., & An, Q. (2022). A phenylalanine ammonia lyase from *Fritillaria unibracteata* promotes drought tolerance by regulating lignin biosynthesis and SA signaling pathway. *International Journal of Biological Macromolecules*, 213, 574–588. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.05.161>. EDN: <https://elibrary.ru/HBQHJZ>
 20. Sannikova, E. G., Popova, O. I., Frolova, O. O., & Airapetova, A. U. (2016). Determination of flavonoids of willow triandra (*Salix triandra* L.) growing in the north Caucasus. *Pharmacy & Pharmacology*, 4(3(16)), 56–67. <https://doi.org/10.19163/2307-9266-2016-4-3-56-67>. EDN: <https://elibrary.ru/WGCCMF>
 21. Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152–178. [https://doi.org/10.1016/s0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/s0076-6879(99)99017-1)

References

1. Vagabova, F. A., Mamaliev, M. M., & Radzhabov, G. K. (2024). Assessment of variability of phenolic compound content in aboveground organs of natural samples of *Silybum marianum* (L.) Gaertn. *South of Russia: Ecology, Development*, 19(4), 154–163. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2024-4-13>. EDN: <https://elibrary.ru/FKIPJR>
2. Kosenko, A. A., Kurkina, A. V., & Kurkin, V. A. (2023). Method for quantitative determination of the total flavonoids in white poplar leaves. *Pharmacy*, 7(7), 30–36. <https://doi.org/10.29296/25419218-2023-07-04>. EDN: <https://elibrary.ru/XLRYVV>

3. Korulkin, D. Yu., Abilov, Zh. A., Muzychkina, R. A., & Tolstikov, G. A. (2007). *Natural flavonoids*. Novosibirsk: Academic Publishing House: Geo, 232 p. (in Russian).
4. Kryuchkov, S. N., Solonkin, A. V., & Solomentseva, A. S. (2024). *Selective seed production for protective afforestation*. Volgograd: Federal Scientific Center for Agroecology, Comprehensive Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, 364 p. ISBN: 978-5-605-19724-9. EDN: <https://elibrary.ru/XFQNZG>
5. Kulik, K. N., Belyaev, A. I., & Pugacheva, A. M. (2023). The role of protective afforestation in combating drought and desertification of agricultural landscapes. *Arid Ecosystems*, 29(1), 4–14. <https://doi.org/10.24412/1993-3916-2023-1-4-14>. EDN: <https://elibrary.ru/CSZXWA>
6. Kulik, K. N. (2009). Protective afforestation in the Russian Federation: Problems and development strategy until 2020. *Theoretical and Applied Problems of the Agro-Industrial Complex*, (1), 10–16. EDN: <https://elibrary.ru/LLJNOL>
7. Kuzmicheva, N. A. (2009). Influence of climatic factors on the flavonoid content in leaves of floodplain willow species (*Salix* sp.). *Bulletin of Pharmacy*, 4(46), 21–32. EDN: <https://elibrary.ru/KZTWIF>
8. Maltseva, E. M., Egorova, N. O., & Egorova, I. N. (2011). Quantitative determination of the total flavonoid content in the herb of *Sanguisorba officinalis*. *Bulletin of the Ural Medical Academic Science*, 3(35), 68–69. EDN: <https://elibrary.ru/YSRWSJ>
9. Polivanova, O. B., & Cherednichenko, M. Yu. (2023). Regulation and metabolic engineering of the central phenylpropanoid metabolic pathway in response to stress factors in plants. *Issues of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry*, 26(5), 3–9. <https://doi.org/10.29296/25877313-2023-05-01>. EDN: <https://elibrary.ru/LKLGTE>
10. Strakh, Ya. L., & Ignatovets, O. S. (2020). Study of the content of phenolic compounds and flavonoids in various populations of cloudberry *Rubus chamaemorus* L. *Bulletin of the Fund for Fundamental Research*, 4(94), 69–78. EDN: <https://elibrary.ru/ORENNL>
11. Feduraev, P. V., Skrypnik, L. N., & Maslennikov, P. V. (2017). Characteristics of phenolic compound accumulation in plants of some species of the genus *Rumex* L. *Chemistry of Plant Raw Material*, (3), 123–130. <https://doi.org/10.14258/jcprm.201703755>. EDN: <https://elibrary.ru/ZFLNYL>
12. Frolova, O. O., Kompantseva, E. V., & Dementeva, T. M. (2016). Biologically active substances of plants of the willow genus (*Salix* L.). *Pharmacy and Pharmacology*, 4(2), 41–59. [https://doi.org/10.19163/2307-9266-2016-4-2\(15\)-41-59](https://doi.org/10.19163/2307-9266-2016-4-2(15)-41-59). EDN: <https://elibrary.ru/WCNPDJ>

13. Berreguioua, A., & Ziane, L. (2024). Ephedra alenda from the Algerian Sahara: Ethnobotanical Investigation, Evaluation of Total Polyphenols, Antioxidant Potential and Antibacterial Properties. *Indian Journal of Agricultural Research*, 59(3). <https://doi.org/10.18805/IJAre.AF-884>. EDN: <https://elibrary.ru/RMQTJJ>
14. Christie, P. J., Alfenito, M. R., & Walbot, V. (1994). Impact of low-temperature stress on general phenylpropanoid and anthocyanin pathways: Enhancement of transcript abundance and anthocyanin pigmentation in maize seedlings. *Planta*, 194(4), 541–549. <https://doi.org/10.1007/bf00714468>. EDN: <https://elibrary.ru/BITSAD>
15. Fraser, C. M., & Chapple, C. (1999). The phenylpropanoid pathway in Arabidopsis. *The Arabidopsis Book*, 9, e0152.
16. Golubkina, N., Plotnikova, U., Amagova, Z., & Sheshnitsan, S. S. (2023). Peculiarities of willow (*Salix alba*) bark mineral composition. *Trace Elements in Medicine (Moscow)*, 24(1), 47–52. <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2023-24-1-47-52>. EDN: <https://elibrary.ru/QZZDLN>
17. Lahrizi, L., Errachidi, F., & Ghadraoui, L. El. (2024). Impact of geographical conditions on phenolic and flavonoid contents and antioxidant activity of different extracts of *ajuga iva*. *Indian Journal of Agricultural Research*. <https://doi.org/10.18805/ijare.af-827>. EDN: <https://elibrary.ru/GBDLTU>
18. Niinemets, Ü. (2015). Uncovering the hidden facets of drought stress: Secondary metabolites make the difference. *Tree Physiology*, 36(2), 129–132. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpv128>. EDN: <https://elibrary.ru/WUAAXT>
19. Qin, Y., Li, Q., & An, Q. (2022). A phenylalanine ammonia lyase from *Fritillaria unibracteata* promotes drought tolerance by regulating lignin biosynthesis and SA signaling pathway. *International Journal of Biological Macromolecules*, 213, 574–588. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.05.161>. EDN: <https://elibrary.ru/HBQHJZ>
20. Sannikova, E. G., Popova, O. I., Frolova, O. O., & Airapetova, A. U. (2016). Determination of flavonoids of willow triandra (*Salix triandra* L.) growing in the north Caucasus. *Pharmacy & Pharmacology*, 4(3(16)), 56–67. <https://doi.org/10.19163/2307-9266-2016-4-3-56-67>. EDN: <https://elibrary.ru/WGCCMF>
21. Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152–178. [https://doi.org/10.1016/s0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/s0076-6879(99)99017-1)

ВКЛАД АВТОРОВ

Рябуха А.Ф., Плетнева И.В.: разработка концепции научной работы, анализ экспериментальных данных, оформление научной работы.

Гейсман А.Н., Корнеев М.М.: получение и обработка результатов исследования.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Anna F. Ryabukha, Irina V. Pletneva development of the research concept, analysis of experimental data, and preparation of the research paper.

Alexander N. Geisman, Mikhail M. Korneev: collection and processing of research results.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Рябуха Анна Федоровна, кандидат фармацевтических наук, ведущий научный сотрудник

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»

пр. Университетский, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация
ryabuha-af@vfanc.ru

Плетнева Ирина Владимировна, кандидат фармацевтических наук, доцент кафедры организации фармацевтического дела, фармацевтической технологии и биотехнологии

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный медицинский университет»
пл. Павших Борцов, 1, г. Волгоград, 400066, Российская Федерация
i.v.pletneva@yandex.ru

Гейсман Александр Николаевич, кандидат фармацевтических наук, доцент кафедры фармацевтической и токсикологической химии, фармакогнозии и ботаники

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный медицинский университет»
пл. Павших Борцов, 1, г. Волгоград, 400066, Российская Федерация
geisman-1@mail.ru

Корнеев Михаил Михайлович, студент 5 курса фармацевтического факультета

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный медицинский университет»
пл. Павших Борцов, 1, г. Волгоград, 400066, Российская Федерация
mikhailkorneev63@gmail.com

DATA ABOUT THE AUTHORS

Anna F. Ryabukha, PhD in Pharmacy, Leading Researcher

Federal State Budget Scientific Institution "Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences"

97, Universitetskij Ave., Volgograd, 400062, Russian Federation

ryabuha-af@vfanc.ru

SPIN-code: 8252-7295

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7659-0252>

Researcher ID: ABA-1436-2021

Scopus Author ID: 37034966800

Irina V. Pletneva, PhD in Pharmacy, Associate Professor of the Department of Organization of Pharmaceutical Business, Pharmaceutical Technology and Biotechnology
Volgograd State Medical University

1, Pavshikh Bortsov Sq., Volgograd, 400066, Russian Federation

i.v.pletneva@yandex.ru

SPIN-code: 8922-3469

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1014-7439>

Alexander N. Geisman, PhD in Pharmacy, Associate Professor of Department of Pharmaceutical and Toxicological Chemistry, Pharmacognosy and Botany
Volgograd State Medical University

1, Pavshikh Bortsov Sq., Volgograd, 400066, Russian Federation

geisman-1@mail.ru

SPIN-code: 4035-1746

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3086-7209>

ResearcherID: N-8277-2015

Scopus Author ID: 55910074800

Academia.edu: <https://independent.academia.edu/AGeisman>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Alexander-Geisman-2>

Mikhail M. Korneev, 5th year Student of the Faculty of Pharmacy
Volgograd State Medical University

1, Pavshikh Bortsov Sq., Volgograd, 400066, Russian Federation

mikhailkorneev63@gmail.com

Поступила 10.01.2026

После рецензирования 26.02.2026

Принята 28.02.2026

Received 10.01.2026

Revised 26.02.2026

Accepted 28.02.2026