

УДК 577.13:582.623.2

DOI: 10.15372/KhUR2019166

Фенольные соединения видов рода *Salix* L. мировой флоры

А. А. ПЕТРУК

Центральный сибирский ботанический сад СО РАН,
Новосибирск (Россия)

E-mail: pet.a@mail.ru

(Поступила 17.05.19; после доработки 18.07.19)

Аннотация

Выполнен обзор и анализ современных данных по содержанию фенольных соединений в растениях рода *Salix* L. Представлены работы, направленные на поиск хемотаксономических маркеров и их применение в систематике. Показано, что качественный состав фенольных соединений – неизменный, устойчивый признак для таксонов рода *Salix*. Фенольные гликозиды могут использоваться для идентификации морфологически сходных видов и гибридных форм. Особое внимание уделено отдельным видам, которым посвящены циклы исследований в разных странах: *S. babylonica* L., *S. alba* L., *S. raddeana* Laksch. ex Nasarow, *S. caprea* L. и *S. acutifolia* Willd.

Ключевые слова: *Salix* L., фенольные соединения, флавоноиды, фенольные гликозиды, хемотаксономия

ВВЕДЕНИЕ

Род *Salix* L. (Ива) – один из крупных родов семейства Salicaceae Mirb., включает 552 вида мировой флоры [1]. Для территории России и сопредельных государств указано 158 видов [2], для азиатской части России – 103 вида [3].

Имеются сведения о жаропонижающей, дезинфицирующей, вяжущей активности экстрактов коры ивы как в народной, так и в традиционной медицине [4, 5]. Проводятся научные исследования гемостатической, диуретической, антимикробной, противовоспалительной и противоопухолевой активности экстрактивных веществ растений рода *Salix* [6–10]. Кора ивы является одним из компонентов противоревматических и противохорадных лекарственных препаратов во многих странах мира [4]. Лечебные свойства ивы обусловлены наличием в сырье фенольных соединений [11, 12]. Материалы по химическому составу видов рода *Salix* и их фармакологической активности опубликованы в

работах Зузук с соавторами [4], Бонцевич [13], Хитевой [14], Фроловой с соавторами [15].

Род *Salix* представлен тремя под родами – *Salix*, *Vetrix* Dumort. и *Chamaetia* (Dumort.) Nasarow, в соответствии с традиционной классификацией, основанной на морфологических и эколого-географических характеристиках представителей рода [16, 17]. Систематическое положение видов, эколого-морфологическая характеристика приводятся согласно литературным и электронным источникам [1, 3, 16, 17]. Отдельным видам посвящены циклы исследований в разных странах в течение двух последних десятилетий: *S. babylonica* L., *S. alba* L., *S. raddeana* Laksch. ex Nasarow, *S. caprea* L. и *S. acutifolia* Willd. Сведения о фармакологической активности подробно изложены в указанных работах.

Цель настоящей работы – обзор исследований и анализ литературных современных данных по составу фенольных соединений в растениях рода *Salix*, а также оценка возможности

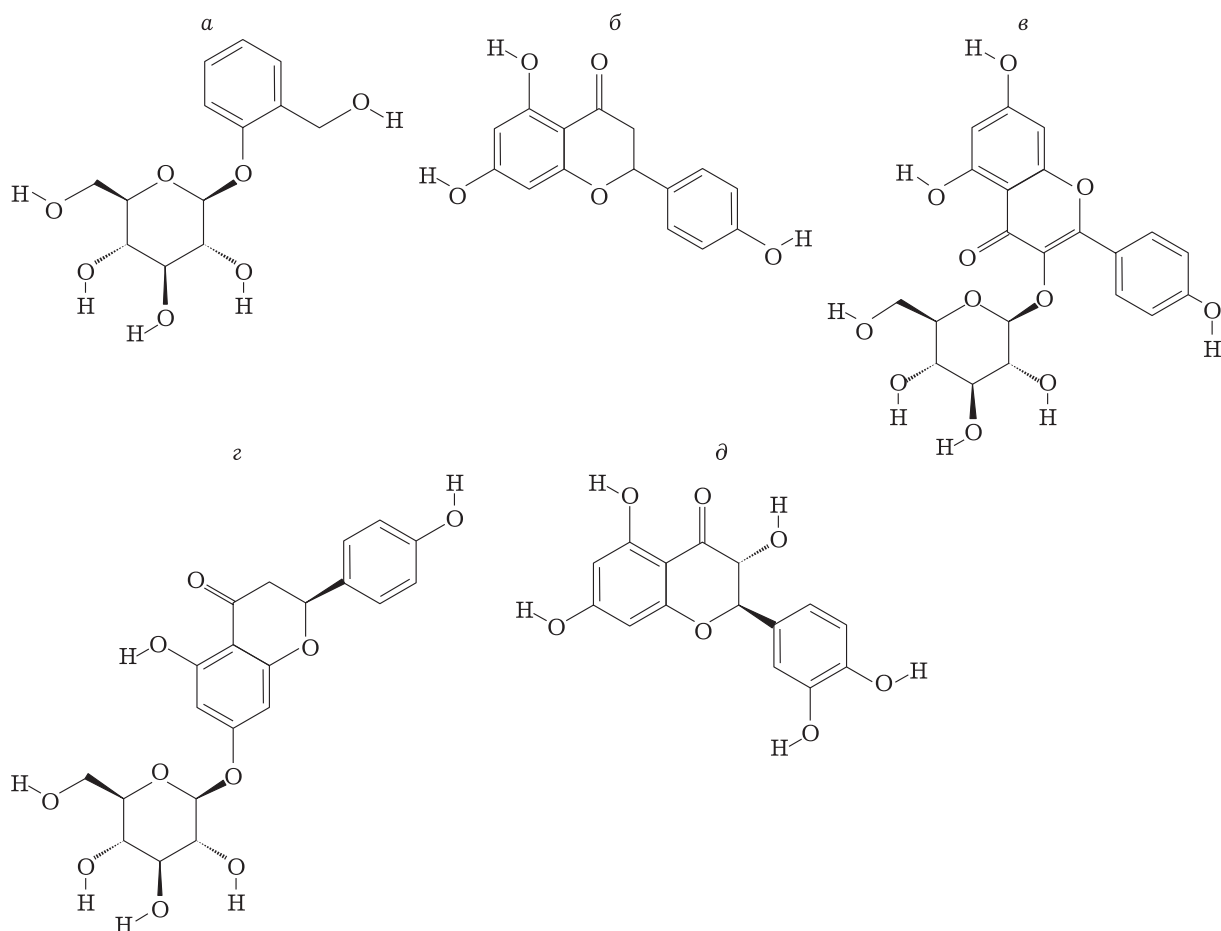


Рис. 1. Структурные формулы основных фенольных соединений рода *Salix* L: а – салицин, б – нарингенин, в – астрагалин, г – прунин, д – таксифолин.

их использования в качестве хемотаксономических маркеров.

ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Структурные формулы основных фенольных соединений, содержащихся в растениях рода *Salix* L., представлены на рис. 1 [18].

Salix babylonica

S. babylonica L. (= *S. matsudana* Koidz.) – ива вавилонская, относится к секции *Subalbae* Koidz. подрода *Salix*. Дерево высотой до 15 м. Вид широко распространен в культуре почти во всех теплоумеренных районах земного шара. Родина – аридные и полуаридные районы центрального и северного Китая.

В Китае за последние несколько лет вышли работы, посвященные изучению состава и динамики содержания фенольных соединений у растений *S. babylonica* [19–25]. Установлено, что

общее содержание флавоноидов выше в листьях, чем в ветвях и соцветиях; оно достигало своего максимума (6.044 %) в мае, а минимума (1.875 %) в июле [19]. Из метанольного экстракта листьев *S. babylonica* выделены 7-О-β-D-глюкуронид хризозериола, 7-О-β-D-галактопиранозид лютеолина, 7-О-глюкозид кемпферола, 7-О-галактозид апигенина, 4'-О-глюкозид лютеолина, салицин, трихокарпин и новый фенольный гликозид 2-О-ацетилтрихокарпин (бензиловый эфир 2-О-β-D-глюкозида гентизиновой кислоты) [20, 21]. Кроме того, в листьях *S. babylonica* впервые обнаружены β-D-глюкопирануриды апигенина, 7-О-β-D-глюкопирануриды лютеолина и 7-О-β-D-глюкопирануриды хризозериола [22]. В дальнейшем был выделен новый флавоноид – матсудон, вместе с пятью известными флавоноидами, такими как лютеолин, изокверцитрин, 7-метоксифлаван, 7-О-глюкозид лютеолина и 4',7'-дигидроксифлаван, и двумя фенольными гликозидами – леонуризида и пидеозида. Их структуры определены на основе обширных ис-

следований методами 1D- и 2D-ЯМР, масс-спектрометрического анализа и сравнения с литературными данными [23]. Изучено содержание фенольных соединений в опавших листьях у растений этого вида [24]. Показано, что при экстракции флавоноидов 60 % водным раствором этанола увеличение времени ультразвуковой обработки способствует повышению выхода флавоноидов от 3.83 до 11.23 %. Отметим, что ранее уже исследовалось содержание фенольных соединений в опавшей листве видов рода *Salix*, произрастающих в Индии. Обнаружено, что именно для отмерших листьев характерно максимальное количество флавонолов [25].

Salix alba

S. alba L. – ива белая, относится к секции *Salix* подрода *Salix*. Крупное дерево, высотой до 30 м. Вид широко распространен в культуре. Естественный ареал занимает большую часть территории Европы, имеются данные о распространении в Северной Африке, Западной и Средней Сибири, Средней Азии, Казахстане.

Ива белая – один из наиболее хорошо изученных видов, применяется в научно-практической медицине [4]. Известно о содержании в экстракте коры эриодистиола, 5,7-дигидроксихромен-4-она и нарингенина. Эти данные получены с использованием методов высокоскоростной хроматографии, масс-спектрометрии и ЯМР-спектроскопии [26]. Исследованием водных извлечений из коры ивы белой и других видов ив занимаются в Пятигорской государственной фармацевтической академии. Выявлено, что содержание экстрактивных веществ наиболее высокое в экстракте, изготовленном авторами согласно XI изданию Государственной Фармакопеи, опубликованной в 1987 г. [27]. Этот экстракт коры ивы белой обладал высокой противовоспалительной активностью.

Salix raddeana

S. raddeana Laksch. ex Nasarow – ива Радде, относится к секции *Vetrix* Dumort. подрода *Vetrix*. Высокий кустарник или дерево высотой до 6–8 м. Вид распространен в лесной, лесостепной и нижней полосах гор Восточной Сибири, на Дальнем Востоке, в северных и северо-восточных районах Монголии, Китая и Кореи.

В Китае изучению этого вида посвящено несколько работ [28–33]. Так, в 2004 г. при помощи высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) из *S. raddeana* выделен и идентифици-

рован раддеаналин (7-О-глюкопиранозид диосметина), а также предложена методика более экономичного определения содержания флавонолов [28, 29].

При помощи УФ-спектрофотометрии и масс-спектрометрии идентифицированы два новых для рода компонента: 7-О-β-*L*-арабинопиранозил(1-6)β-*D*-глюкопиранозид лютеолина и 7-О-β-*D*-ксилопиранозил(1-6)β-*D*-глюкопиранозид лютеолина. Для *S. raddeana* также приведены следующие соединения: 7-О-β-*D*-ксилопиранозил(1-6)β-*D*-глюкопиранозид диосметина, рутин, астрагалин и изокверцетин [30–33].

Salix caprea

S. caprea L. (= *S. hultenii* Flod.) – ива козья, относится к секции *Vetrix* подрода *Vetrix*. Дерево до 12–15 м высотой. Произрастает в лесах, на вырубках, опушках, у дорог. Вид широко распространен на территории Евразии.

В древесине и наростах ивы козьей найдены следующие фенольные соединения: ванилиновая кислота, катехин, галлокатехин, дигидрокемпферол, дигидромирицетин, нарингенин и таксифолин. Установлено, что для наростов и веток характерна более высокая концентрация веществ, чем для ствола того же самого дерева [34]. Разработана методика более простой и быстрой экстракции фенольных соединений на примере соцветий ивы козьей: оптимальным вариантом является применение 50 % метанола, отношение массы сырья и растворителя – 1 : 40, время кипячения – 3 ч с обратным холодильником. Выход флавоноидов достигал 26.82 мг/мл [35].

В Швеции в 2003 г. было проведено сравнительное исследование видов *S. caprea* и *S. repens* L. (подрод *Vetrix*, секция *Incubaceae* Kerner) и их гибридов [36]. Установлено, что для *S. caprea* характерен высокий уровень конденсированных танинов и низкий – фенольных гликозидов; для *S. repens*, напротив, – низкий уровень танинов и высокий – фенольных гликозидов. Гибриды по содержанию фенольных соединений занимают промежуточное положение. Подобное исследование проведено и для северо-американских видов из подрода *Vetrix*: *S. sericea* Marshall (секц. *Griseae* (Borrer) Barratt ex Hooker), *S. eriocephala* Michx. (секц. *Cordatae* Barratt ex Hooker) и их гибридов F1 [37, 38]. Для листьев *S. sericea* определено содержание саликортина и 2'-циннамоилсаликортина и отмечено низкое содержание танинов в листьях. В *S. eriocephala*

эти фенольные гликозиды не обнаружены, но зафиксировано высокое содержание в листьях конденсированных дубильных веществ. Эти черты наследуются гибридами, например, гибриды F1 имеют промежуточное значение для конденсированных дубильных веществ. Содержание фенольных гликозидов часто ниже, чем у родительских форм, но этот показатель неустойчив и, возможно, контролируется рецессивными аллелями генов. Изучены генетические изменения в наследовании фенольных гликозидов саликортина и 2'-циннамоилсаликортина в *S. sericea*. Показано, что параметры роста растений практически не коррелируют с концентрацией этих соединений, кроме того, концентрация саликортина намного выше, чем 2'-циннамоилсаликортина, степень наследования также различается – 0.2 для саликортина и 0.59 – для 2'-циннамоилсаликортина. Авторы [37, 38] пришли к заключению, что фенольные гликозиды и конденсированные дубильные вещества в *S. sericea*, *S. erioccephala* и в их гибридах F1 являются одними из генетически устойчивых признаков.

Salix acutifolia

S. acutifolia Willd. – ива остролистная, относится к секции *Daphnella* Seringeex Duby подрода *Vetrix*. Высокий кустарник или дерево, высотой до 6 м. Растет только по открытым незадерненным пескам. Вид широко распространен в Европе.

Наряду с ивой белой, это один из самых хорошо изученных видов, используемых в научно-медицинской практике. Известен ряд работ, посвященных изучению химического состава коры и листьев растений этого вида [39–42]. Наиболее высокое содержание суммы флавоноидов отмечено у *S. acutifolia* в начале плодоношения, к концу вегетации оно снижалось почти вдвое. По сравнению с ивой остролистной, у *S. triandra* L. f. *concolor* A. K. Skvortsov и *S. triandra* f. *discolor* A. K. Skvortsov содержание флавоноидов в листьях максимально в начале вегетации. В молодых листьях мужских особей содержание флавоноидов выше по сравнению с женскими особями. В фазу одревеснения побегов наблюдалась тенденция накопления танидов, при этом обнаружена отрицательная связь между их содержанием в коре ветвей и содержанием флавоноидов в листьях [39]. В коре ивы остролистной, произрастающей в Самарской области, при помощи колоночной хроматографии и с использованием УФ, ИК, ЯМР и масс-спектромет-

рии идентифицированы 14 (9 – впервые для вида) фенольных соединений, а именно: (+)-катехин, нарингенин, прунин, (–)-салипурпозид, изосалипурпозид, 6''-кумарилизосалипурпозид, изосалипурпол, триандрин, сирингин, салигенин и продукты его распада, ацилсалигенин, салицин, саликортин и тремулацин [7, 40]. Методом тонкослойной хроматографии определяли количественное содержание салицина, которое варьировало от 3 до 10 % в модельных популяциях естественных насаждений *S. acutifolia* в бассейне Средней Волги [41]. Посредством высокоэффективной жидкостной хроматографии и масс-спектрометрии (ВЭЖХ–МС) у растений *S. acutifolia* выявлен ряд фенольных метаболитов: саликортин, салицин, тремулоидин и новое соединение – гликозид бензойной кислоты, названный акутифолизидом [42].

Другие виды рода *Salix*

Как уже отмечалось, исследование химического состава экстрактов коры, листьев, соцветий растений рода ива в основном носило фармакологический характер с целью выявления различной биологической активности экстрактов и дальнейшего получения новых лекарственных препаратов. Работ, направленных на поиск хемотаксономических маркеров и их применение в систематике рода *Salix*, немного. Так, например, в работе [43] изучен флавоноидный состав 14 видов рода *Salix*, произрастающих в дендрарии ЦСБС СО РАН. Обнаружены разнообразные сочетания двух флавононов – апигенина и лютеолина и трех флавонолов – кемпферола, кверцетина и мирицетина. Отмечено, что растения одного вида имели одинаковый качественный состав. Указано также на сходство состава флавоноидов некоторых видов, например, *S. purpurea* L. и *S. gracilistyla* Miq., *S. ledebouriana* Trautv. и *S. dasyclados* Wimm., однако подчеркнуто, что для каждого вида состав гликозидов индивидуален.

В работе Förster *et al.* [44] проанализированы данные для следующих видов: *S. daphnoides* Vill., *S. pentandra* L. и *S. purpurea*, произрастающих на территории Польши и Германии. Эти виды, по мнению авторов, имели четкие отличия по составу фенольных гликозидов. Основным гликозидом *S. daphnoides* и *S. purpurea* был саликортин, основным соединением *S. pentandra* – 2'-О-ацетилсаликортин. В целом *S. daphnoides* показал самое высокое содержание салицилатов и фенольных гликозидов. Авторами

указано, что содержание фенольных соединений в коре ивы уменьшилось в течение вегетационного периода с марта по июль 2007 г. Исследование показало, что для изучения качественного и количественного состава фенольных гликозидов необходимо учитывать вид, экземпляр и время сбора материала в течение сезона [44].

Группой авторов из Польши и Бельгии [45–47] исследовано семь видов ив, произрастающих на территории Польши в естественных условиях и искусственных насаждениях: *S. alba* (clone 1100), *S. daphnoides* (clone 1095), *S. acutifolia*, *S. herbacea* L., *S. viminalis* L., *S. purpurea* и *S. triandra*. Подтверждены различия в составе фенольных соединений у всех видов. Кроме того, впервые обнаружено присутствие 29-ацетилсаликортина в *S. alba* (clone 1100).

Проведен цикл работ Riitta Julkunen-Tiitto *et al.* [47–52], а также ряд других международных проектов [53–60] по хемотаксономическому исследованию фенольных гликозидов в листьях, коре, ветвях и соцветиях более 60 видов ив. Доказано, что каждый вид обладает специфичным гликозидным составом. Традиционная классификация рода оказалась несовместима с классификацией, основанной только на фенольных гликозидах. При этом указано, что простые фенольные гликозиды могут использоваться для идентификации морфологически сходных видов и гибридных форм, в совокупности с другими признаками. Исследование закономерностей внутри- и межвидовой химической изменчивости по содержанию дубильных веществ и составу 36 фенольных компонентов проведено на примере листьев шести видов (120 образцов). Многомерный кластерный анализ данных показал, что по химическому составу внутривидовая изменчивость в среднем ниже, чем межвидовая. Сходство по фенольным соединениям слабо коррелировало с филогенией изученных видов [51].

Авторами данной работы исследованы состав и содержание фенольных соединений видов рода *Salix* с помощью метода ВЭЖХ. Апигенин найден у *S. recurvigemmis* A. K. Skvortsov и *S. saxatilis* Turcz. Ex Ledeb., лютеолин – у *S. acutifolia*, *S. vestita* Pursh, *S. berberifolia* Pall., *S. myrtilloides* L., *S. saxatilis* и *S. pyrolifolia* Ledeb., *S. alba* × *S. blanda*, *S. alba* и *S. alba* var. *vitellina* (L.) Stokes. Кемпферол идентифицирован у *S. recurvigemmis*, *S. alba* × *S. blanda* Andersson, *S. alba* и *S. alba* var. *vitellina*. Рутин обнаружен только у *S. alba* и *S. alba* var. *vitellina*, кверцетин – у *S. vestita*, *S. berberifolia*, *S. myrtilloides*, *S. nummularia* Andersson, *S. recurvigemmis*, *S. krylovii*

E. L. Wolf, *S. sphenophylla* A. K. Skvortsov, *S. alba* × *S. blanda*, *S. alba* и *S. alba* var. *vitellina*, салицин – у *S. alba*, *S. alba* × *S. blanda* и *S. alba* var. *vitellina*. Не обнаружено существенных различий по составу флавоноидов между растениями мужского и женского пола у *S. alba*. В течение вегетационного периода содержание флавоноидов в листьях *S. alba* var. *vitellina* изменяется от 0.85 до 4.60 % [61–65].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты анализа литературных данных и собственных исследований свидетельствуют о невозможности применения количественного содержания фенольных соединений в качестве хемотаксономического маркера для рода *Salix*. Качественный состав остается неизменным, генетически устойчивым признаком, поэтому его можно использовать для идентификации таксонов. Наиболее изученными в мировом масштабе таксонами для рода *Salix* являются *S. babylonica*, *S. alba*, *S. raddeana*, *S. caprea* и *S. acutifolia*.

Работа выполнена в рамках государственного задания ЦСБС СО РАН № АААА-А17-117012610051-5 по проекту “Оценка морфогенетического потенциала популяций растений Северной Азии экспериментальными методами”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 The Plant List [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.theplantlist.org/1.1/browse/A/Salicaceae/Salix/> (дата обращения: 22.01.2019)
- 2 Czerepanov S. K. Vascular Plants of Russia and Adjacent States (the former USSR). Cambridge, 1995. 516 p.
- 3 Конспект флоры Азиатской России: Сосудистые растения / под ред. Байкова К. С. Новосибирск, 2012. 640 с.
- 4 Зузук Б. М., Куцик Р. В., Недоступ А. Т., Хоменец И. З., Пермяков В. В., Федущак Н. К. Ива белая *Salix alba* L. Аналитический обзор // Провизор. 2005. № 17. С. 31–36.
- 5 Баторова С. М., Яковлев Г. П., Асеева Т. А. Справочник лекарственных растений традиционной тибетской медицины. Новосибирск, 2013. 292 с.
- 6 Hany A., Ahmed M., Mostafa I., Sohair I., Kounosuke F. The effect of willow leaf extracts on human leukemic cell in vitro // Journal of Biochemistry and Molecular Biology. 2003. Vol. 36, No. 4. P. 387–389.
- 7 Hussain H., Badawy A., Elshazly A., Elsayed A., Krohn K., Riaz M., Schulz B. Chemical constituents and antimicrobial activity of *Salix subserrata* // Records of Natural Products. 2011. Vol. 5, No. 2. P. 133–137.
- 8 Лысенко Т. А., Хитева О. О., Савенко И. А., Компанцева Е. В. Изучение противовоспалительной активности водных извлечений из коры и однолетних побегов ивы белой // Вестн. нов. мед. технологий. 2011. Т. XVIII, № 2. С. 288–290.

- 9 El-Shazly A., El-Sayed A., Fikrey E. Bioactive secondary metabolites from *Salix tetrasperma* Roxb. // Zeitschrift für Naturforschung. Biochemie, Biophysik, Biologie, Virologie. Teil C. 2012. Vol. 67, No. 7–8. P. 353–359.
- 10 Компанцева Е. В., Фролова О. О., Дементьева Т. М. Возможность использования ивы вавилонской в фармации // Фармация и фармакология. 2013. № 1. С. 4–7.
- 11 Растительные ресурсы России: Дикорастущие цветковые растения, их компонентный состав и биологическая активность / под ред. А. Л. Буданцева. СПб., 2009. Т. 2. 513 с.
- 12 Санникова Е. Г., Попова О. И., Компанцева Е. В. Ива трехтычинковая (*Salix triandra* L.) – перспективы и возможности использования в медицине и фармации // Фармация и фармакология. 2018. Т. 6, № 4. С. 318–339.
- 13 Бонцевич А. И. Фитохимическое исследование ивы остролистной: автореф. дис. ... канд. фармацевт. наук. Самара, 2007. 22 с.
- 14 Хитева О. О. Изучение некоторых видов ивы, произрастающих на Северном Кавказе: автореф. дис. ... канд. фармацевт. наук. Пятигорск, 2012. 24 с.
- 15 Фролова О. О., Компанцева Е. В., Дементьева Т. М. Биологически активные вещества растений рода Ива (*Salix* L.) // Фармация и фармакология. 2016. Т. 4, Вып. 2(15). С. 41–59.
- 16 Skvortsov A. K. Willows of Russia and adjacent countries. Taxonomical and geographical revision. Joensuu: University of Joensuu, 1999. 307 p.
- 17 Большаков Н.М. Сем. *Salicaceae* – ивовые // Флора Сибири. Новосибирск, 1992. Т. 5. С. 11–59.
- 18 Структурные формулы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov> (дата обращения: 17.07.2019).
- 19 Gao W., Zhang T., Chen H., Zheng Y., Liu K. Extracting total flavone from *Salix babylonica* by microwave extraction and its dynamic content study // Zhongguo Zhongyao Zazhi. 2007. Vol. 32, No. 3. P. 263–265.
- 20 Liu M.-X., Zheng Y.-N., Liu X.-F., Li X.-G., Xiang L. Isolation and identification of two flavone type compounds from *Salix matsudana* // Chemical Research in Chinese Universities. 1998. Vol. 14, No. 2. P. 218–220.
- 21 Liu K., Liu H., Zhou, B., Han L. Studies on chemical constituents from *Salix babylonica* L. and their stimulation on lipolysis activity // Journal of Fudan University (Natural Science). 2008. Vol. 47, No. 4. P. 520–523.
- 22 Zheng Y.-N., Zhang J., Han L.-K., Sekiya K., Kimura Y., Okuda H. Effects of compounds in leaves of *Salix matsudana* on arachidonic acid metabolism // Yakugaku Zasshi. 2005. Vol. 125, No. 12. P. 1005–1008.
- 23 Wang J.-X., Zheng S.-Z., Sun L.-P., Shen X.-W., Li Y. Studies on chemical constituents of *Salix matsudana* // Journal of the Chinese Chemical Society. 2002. Vol. 49, No. 3. P. 437–441.
- 24 Wang L., Li J., Gu Y. Ultrasonic-assisted extraction of flavonoids from leaves of *Salix matsudana* Koidz. // Chemistry and Industry of Forest Products. 2007. Vol. 27, No. S1. P. 133–136.
- 25 Sharma V., Vaid N. Age-related changes in indolic and phenolic compounds in leaves from enforced *Salix* shoot bud // Indian Journal of Plant Physiology. 1997. Vol. 2, No. 3. P. 207–210.
- 26 Du Q., Gerold J., Winterhalter P. Preparation of three flavonoids from the bark of *Salix alba* by high-speed counter-current chromatographic separation // Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies. 2004. Vol. 27, No. 20. P. 3257–3264.
- 27 Хитева О. О., Компанцева Е. В., Лысенко Т. А., Игнатенко А. И. Получение и исследование водных извлечений из коры ивы белой // Пути и формы совершенствования фармацевтического образования. Поиск новых физиологически активных веществ: матер. 4-й Всерос. научно-метод. конф. с междунар. участием “Фармобразование 2010”. Часть II. “Научные основы создания новых лекарственных средств”, Воронеж, 2010. С. 391–393.
- 28 Xu C., Zheng Y., Liu T., Wang Y. RP-HPLC Determination of raddeanal in *Salix raddeana* Laksch. // Chinese Journal of Pharmaceutical Analysis. 2004. Vol. 24, No. 6. P. 631–632.
- 29 Xu C., Zheng Y., Liu T., Wang Y. Determining the content of flavones in *Salix raddeana* using HPLC // Jilin Nongye Daxue Xuebao. 2004. Vol. 26, No. 1. P. 50–52.
- 30 Xu C., Zhang Y., Wang J., Li X., Sun G. The Structure of two flavonol glycosides from the leaves of *Salix raddeana* Laksch. // Chinese Journal of Analytical Chemistry. 2004. Vol. 32, No. 12. P. 1663–1666.
- 31 Xu C., Zheng Y., Yang X., Li X., Sun G. Studies on the structural identification of new flavonol glycoside of *Salix raddeana* Laksch. // Chinese Journal of Analytical Chemistry. 2005. Vol. 33, No. 9. P. 1311–1314.
- 32 Xu C.-L., Zheng, Y.-N., Han, L.-K., Okuda, T. Study on stimulating fat metabolism activities of alcohol extract and flavonoid constituents from leaves of *Salix raddeana* // Chinese Pharmaceutical Journal. 2005. Vol. 40. P. 753–756.
- 33 Xu C.-L., Zheng, Y.-N., Yang X.-W., Li X.-G., Li X., Chen Q.-C. Raddeanal, a new flavonoid glycoside from the leaves of *Salix raddeana* Laksh. // Journal of Asian Natural Products Research. 2007. Vol. 9, No 5. P. 415–419.
- 34 Pohjamo S. P., Hemming J. E., Willfor S. M., Reunanen M. H. T., Holmbom B. R. Phenolic extractives in *Salix caprea* wood and knots // Phytochemistry. 2003. Vol. 63, No. 2. P. 165–169.
- 35 Sun H., Ailaiti, S., Maiwulan M., Guli A. Study on total flavonoid content from *Salix caprea* // Chinese Journal of Ethnomedicine and Ethnopharmacy. 2008. Vol. 45, No. 1, P. 84–87.
- 36 Hallgren P., Ikonen A., Hjaelten J., Roininen H. Inheritance patterns of phenolics in F1, F2, and back-cross hybrids of willows: implications for herbivore responses to hybrid plants // Journal of Chemical Ecology. 2003. Vol. 29, No. 5. P. 1143–1158.
- 37 Orians C. M., Roche B. M., Fritz R. S. The genetic basis for variation in the concentration of phenolic glycosides in *Salix sericea*: an analysis of heritability // Biochemical Systematics and Ecology. Vol. 24, No. 7–8. P. 719–724.
- 38 Orians C. M., Griffiths M. E., Roche B. M., Fritz R. S. Phenolic glycosides and condensed tannins in *Salix sericea*, *S. eriocephala* and their F1 hybrids: not all hybrids are created equal // Biochemical Systematics and Ecology. 2000. Vol. 28, No. 7. P. 619–632.
- 39 Никишина В. С., Оразов О. Э. Динамика содержания суммы флавоноидов в листьях хитанидов в коре ветвей различных особей *Salix triandra* L. и *S. acutifolia* Willd. // Раст. ресурсы. 2001. Т. 37, № 3. С. 65–72.
- 40 Zapesochnaya G. G., Kurkin V. A., Braslavskii V. B., Filatova N. V. Phenolic compounds of *Salix acutifolia* bark // Chemistry of Natural Compounds. 2002. Vol. 38, No. 4. P. 314–318.
- 41 Коптина А. В., Шургин А. И., Канарский А. В., Пономарева Т. А., Сергеев П. В. Содержание салицина в экстрактах коры ивы *Salix acutifolia* L. // Химия и технология раст. веществ: Тез. докл. V Всерос. науч. конф., Сыктывкар–Уфа, 2008. С. 160.
- 42 Wu Y., Dobermann D., Beale M. H., Ward J. L. Acutifoliside, a novel benzoic acid glycoside from *Salix acutifolia* // Natural Product Research. 2016. Vol. 30, No. 15. P. 1731–1739.
- 43 Высочина Г. И., Встовская Т. Н. О таксоноспецифичности флавоноидного состава в роде *Salix* L. // Сиб. эколог. журн. 1999. № 3. С. 245–250.

- 44 Förster N., Ulrichs C., Zander M., Kätzel R., Mewis I. Influence of the season on the salicylate and phenolic glycoside contents in the bark of *Salix daphnoides*, *Salix pentandra* and *Salix purpurea* // Journal of Applied Botany and Food Quality. 2008. Vol. 82, No. 1. P. 99–102.
- 45 Poblocka-Olech L., Nederkassel A.-M., Heyden Y. V., Krauze-Baranowska M., Glod D., Baczek T. Chromatographic analysis of salicylic compounds in different species of the genus *Salix* // Journal of Separation Science. 2007. Vol. 30, No. 17. P. 2958–2966.
- 46 Krauze-Baranowska M., Poblocka-Olech L., Glod D., Wiwart M., Zielinski J., Migas P. HPLC of flavanones and chalcones in different species and clones of *Salix* // Acta Pol. Pharm. 2013. Vol. 70, No. 1. P. 27–34.
- 47 Sulima P., Krauze-Baranowska M., Przyborowski J. A. Variations in the chemical composition and content of salicylic glycosides in the bark of *Salix purpurea* from natural locations and their significance for breeding // Fitoterapia. 2017. Vol. 118. P. 118–125.
- 48 Meier B., Julkunen-Tiitto R., Tahvanainen J., Sticher O. Comparative high-performance liquid and gas-liquid chromatographic determination of phenolic glucosides in Salicaceae species // Journal of Chromatography. 1988. Vol. 442. P. 175–186.
- 49 Julkunen-Tiitto R. Phenolic constituents of *Salix*: A chemotaxonomic survey of further finnish species // Phytochemistry. 1989. Vol. 28, No. 8. P. 2115–2125.
- 50 Julkunen-Tiitto R., Meier B. The enzymatic decomposition of salicin and its derivatives obtained from Salicaceae species // Journal of Natural Products. 1992. Vol. 55, No. 9. P. 1204–1212.
- 51 Nyman T., Julkunen-Tiitto R. Chemical variation within and among six northern willow species // Phytochemistry. 2005. Vol. 66, No. 24. P. 2836–2843.
- 52 Lavola A., Maukonen M., Julkunen-Tiitto R. Variability in the composition of phenolic compounds in winter-dormant *Salix pyrolifolia* in relation to plant part and age // Phytochemistry. 2018. Vol. 153. P. 102–110.
- 53 Julkunen-Tiitto R., Virjamo V. Biosynthesis and roles of Salicaceae salicylates / Plants specialized metabolism. Genomics, biochemistry and biological functions. Arimura G., Maffei M. (Eds). Taylor & Francis Group, BocaRaton, 2017. P. 65–83.
- 54 Brereton N. J. B., Berthod N., Lafleur B., Pedneault K., Pitre F. E., Labrecque M. Extractable phenolic yield variation in five cultivars of mature short rotation coppice willow from four plantations in Quebec // Industrial Crops and Products. 2017. Vol. 97. P. 525–535.
- 55 Corradi E., Schmidt N., Räber N., De Mieri M., Hamburger M., Butterweck V., Poterat O. Metabolite profile and antiproliferative effects in HaCaT cells of a *Salix reticulata* extract // Planta Med. 2017. Vol. 83 (14/15). P. 1149–1158.
- 56 Ruuhola T., Nybakken L., Randriamanana T., Lavola A., Julkunen-Tiitto R. Effects of long-term UV-exposure and plant sex on the leaf phenoloxidase activities and phenolic concentrations of *Salix myrsinifolia* (Salisb.) // Plant Physiology Biochemistry. 2018. Vol. 126, No. 2. P. 55–62.
- 57 Nissinen K., Virjamo V., Mehtälä L., Lavola A., Valtonen A., Nybakken L., Julkunen-Tiitto R. A Seven-year study of phenolic concentrations of the dioecious *Salix myrsinifolia* // Journal of Chemical Ecology. 2018. Vol. 44, No. 4. P. 416–430.
- 58 Noleto-Dias C., Ward J. L., Bellisai A., Lomax C., Beale M. H. Salicin-7-sulfate: A new salicinoid from willow and implications for herbal medicine // Fitoterapia. 2018. Vol. 127. P. 166–172.
- 59 Noleto-Dias C., Wu Y., Bellisai A., Macalpine W., Beale M. H., Ward J. L. Phenylalkanoic glycosides (non-salicycinoids) from wood chips of *Salix triandra* × *dasyclados* hybrid willow // Molecules. 2019. Vol. 24 (6). P. 1–12.
- 60 Tyśkiewicz K., Konkol M., Kowalski R., Rój E., Warmański K., Krzyżaniak M., Gil Ł., Stolarski M. J. Characterization of bioactive compounds in the biomass of black locust, poplar and willow // Trees – Structure and Function. 2019. Vol. 33, No. 2. P. 1–29.
- 61 Петрук А. А. Фенольные соединения некоторых представителей рода *Salix* (Salicaceae) Азиатской России // Химия раст. сырья. 2011. № 4. С. 181–185.
- 62 Петрук А. А. Сезонная динамика изменения содержания флавоноидов и дубильных веществ в листьях и соцветиях *Salix alba* (Salicaceae) // Раст. мир Азиат. России. 2012а. № 1(9). С. 72–76.
- 63 Петрук А. А. Изучение состава флавоноидов у *Salix alba* и *S. alba* var. *vitellina* методом ВЭЖХ // Химия раст. сырья. 2012б. № 2. С. 151–154.
- 64 Петрук А. А. Содержание салицина в листьях и соцветиях некоторых видов рода *Salix* (Salicaceae) // Вестн. Тамбов. ун-та. Сер.: естеств. и техн. науки. 2013. Т. 18, № 3. С. 825–826.
- 65 Петрук А. А. Изучение состава и динамики содержания флавоноидов у *Salix alba* × *Salix blanda* методом ВЭЖХ // Вопросы биолог., мед. и фармацевт. химии, научно-практ. журн. 2014. № 4. с. 61.