

Chemotaxonomic study of *Spiraea aemiliana* compared to the closely species *S. betulifolia* and *S. beauverdiana*

V.A. Kostikova

Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch
Russian Academy of Science, Tomsk State University

A.A. Kuznetsov

Tomsk State University

E.D. Tishchenko

Tomsk State University, Novosibirsk State University

A.N. Fayzylkhakova

Tomsk State University, Novosibirsk State University

The composition and content of phenolic compounds in the leaves of *Spiraea aemiliana* Schneid. from 2 natural populations growing on the Island of Kunashir were studied by HPLC. The chromatographic profiles of *S. aemiliana* and closely related species *S. betulifolia* Pall and *S. beauverdiana* Schneid. were compared. Nineteen compounds were detected in 40 % water-ethanol extracts from the leaves of *S. aemiliana*. Of these, chlorogenic, p-coumaric and cinnamic acids, quercetin, kaempferol, hyperoside, isoquercitrin rutin, avicularin, astragaline and dihydroquercetin (taxifolin) were identified. A specific compound in the leaves of *S. aemiliana* is isoquercitrin, not identified in other closely related species. The chromatographic profiles of *S. aemiliana* and *S. betulifolia* are generally very similar. This is additional evidence of the opinion of scientists about the taxonomic rank of *S. aemiliana* as a subspecies, variation, or form of *S. betulifolia*. *S. aemiliana* (the sum of phenolic compounds varies from 16.4 to 23.88 mg/g) is more similar to *S. beauverdiana* in the quantitative content of phenolic compounds. Leaves of *S. aemiliana* contain a lot of hyperoside (up to 9.50 mg/g), which is almost twice as much as that of *S. beauverdiana* (up to 4.3 mg/g) and 6 times that of *S. betulifolia* (up to 1.55 mg/g). The revealed difference in the hyperoside content between the three *Spiraea* taxa is statistically significant.

Chemotaxonomic study of *Spiraea aemiliana* compared to the closely species *S. betulifolia* and *S. beauverdiana*

V.A. Kostikova^{1,2} *, A.A. Kuznetsov², E.D. Tishchenko^{2,3}, A.N. Fayzylkhakova^{2,3}

¹ Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch Russian Academy of Science, Zolotodolinskaya St. 101, 630090, Novosibirsk, Russia. E-mail:

² Tomsk State University, Lenin Ave, 36, 634050, Tomsk, Russia

³ Novosibirsk State University, Pirogova St. 2, 630090, Novosibirsk, Russia

The composition and content of phenolic compounds in the leaves of *Spiraea aemiliana* Schneid. from 2 natural populations growing on the Island of Kunashir were studied by HPLC. The chromatographic profiles of *S. aemiliana* and closely related species *S. betulifolia* Pall. and *S. beauverdiana* Schneid. were compared. Nineteen compounds were detected in 40 % water-ethanol extracts from the leaves of *S. aemiliana*. Of these, chlorogenic, p-coumaric and cinnamic acids, quercetin, kaempferol, hyperoside, isoquercitrin, rutin, avicularin, astragaline and dihydroquercetin (taxifolin) were identified. A specific compound in the leaves of *S. aemiliana* is isoquercitrin, not

identified in other closely related species. The chromatographic profiles of *S. aemiliana* and *S. betulifolia* are generally very similar. This is additional evidence of the opinion of scientists about the taxonomic rank of *S. aemiliana* as a subspecies, variation, or form of *S. betulifolia*. *Spiraea aemiliana* (the sum of phenolic compounds varies from 16.4 to 23.88 mg/g) is more similar to *S. beauverdiana* in the quantitative content of phenolic compounds. Leaves of *S. aemiliana* contain a lot of hyperoside (up to 9.50 mg/g), which is almost twice as much as that of *S. beauverdiana* (up to 4.3 mg/g) and 6 times that of *S. betulifolia* (up to 1.55 mg/g). The revealed difference in the hyperoside content between the three *Spiraea* taxa is statistically significant.

Key words: *Spiraea aemiliana*; *S. betulifolia*; *S. beauverdiana*; phenolic compounds; high performance liquid chromatography (HPLC); chemotaxonomy

Хемотаксономическое изучение *Spiraea aemiliana*

в сравнении с близкородственными видами

S. betulifolia* и *S. beauverdiana

Костикова В.А. ^{1,2} *, **Кузнецов А.А.** ² , **Тищенко Э.Д.** ^{2,3} , **Файзылхакова А.Н.** ^{2,3}

¹Центральный сибирский ботанический сад СО РАН

ул. Золотодолинская, 101, Новосибирск, 630090, Россия. E-mail :

² Томский государственный университет, пр. Ленина, 36, г. Томск, 634050, Россия

³ Новосибирский государственный университет

ул. Пирогова, 2, г. Новосибирск, 630090, Россия

Ключевые слова: *Spiraea aemiliana*; *S. betulifolia*; *S. beauverdiana*; фенольные соединения; высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ); хемотаксономия

Введение

Фенольные соединения широко применяются в хемотаксономических исследованиях из-за их повсеместного распространения в растениях, структурной изменчивости и химической стабильности (Vysochina, 2014; Singh, 2016). С помощью применения более новых биохимических методов изучения вторичных метаболитов, таких как метод высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) или ВЭЖХ – масс-спектрометрии, появляются возможности создания точных хроматографических профилей. Хемотаксономические исследования помимо фундаментального имеют и прикладное значение, поскольку все вторичные метаболиты обладают той или иной биологической активностью и используются для лечения и профилактики различных заболеваний. Кроме этого хроматографические профили растений («отпечатки пальцев», фингерпринты) широко применяются для оценки качества фармацевтического сырья в России и, особенно, за рубежом (Pavlova, 2015; Sharma et al., 2016).

В отношении взаимосвязи *S. betulifolia* Pall. и близких к ней *S. beauverdiana* Schneid. и *S. aemiliana* Schneid. ещё много неясного, что происходит, вероятно, как из различий в понимании объема вида, так и из-за выбора дискриминантных признаков, по которым можно различать эти виды. При изучении изменчивости морфологических признаков подтверждено, что у *S. betulifolia* – голые либо редко опущенные цветоножки и прямой носик листовки, а у *S.*

S. beauverdiana – густое опушение цветоножек и листовок, изогнутый носик листовки (Kostikova, Polyakova 2014, 2018). *Spiraea aemiliana* отличается от них низкой высотой до 30 см и округлыми монетковидными листьями. По габитусу более близка к *S. beauverdiana*, однако у *S. aemiliana* голые веточки соцветий. За пределами России *S. aemiliana* произрастает в Японии (Vorobyev, 1968; Yakubov, 1996).

Spiraea betulifolia проявляет антимикробную активность, на Чукотке используется как суррогат чая, а также она имеет кормовое значение. Сок листьев проявляет фитонцидную активность (Rastitelnyye resursy, 1987; Kiseleva et al., 2011). Листья и цветки *S. betulifolia* и *S. beauverdiana* содержат различные биологически активные вещества и проявляют антиоксидантную и противовирусную активность (Kostikova et al., 2016; Kostikova, Shaldaeva, 2017). Выявлена видоспецифичность качественного состава фенольных соединений в водно-этанольных экстрактах из листьев *S. betulifolia* и *S. beauverdiana*. Обнаружены хеморассы исследуемых спирей (Kostikova, Polyakova, 2018). Состав фенольных соединений *S. aemiliana* не изучен.

Цель настоящего исследования – изучение состава и содержания фенольных соединений в листьях *S. aemiliana* и сравнение её с другими близкородственными видами рода *Spiraea* секции *Calospira* C. Coch, произрастающими в России.

Материалы и методы

Объектом исследования послужили листья *S. betulifolia* (22 популяции), *S. beauverdiana* (8 популяций) и *S. aemiliana* (2 популяции). Материал был собран в 2003 – 2017 гг. в Амурской, Магаданской, Сахалинской и Камчатской обл., в Еврейской автономной обл., в Хабаровском и Приморском кр. и Респ. Якутия. В данное исследование включены особи, строго попадающие под определение *S. betulifolia*, *S. beauverdiana* и *S. aemiliana*, чтобы выявить специфические различия в составе и содержании фенольных соединений. Особи и выборки со спорным таксономическим статусом, а также особи гибридного происхождения в настоящее исследование не включались. Все сборы проводились в июле – августе, во время созревания листовок. Сырьё высушивали на воздухе в затенённом месте. После сушки сырьё измельчали до 2 – 3 мм и отбирали репрезентативную пробу.

Для изучения фенольных соединений использовали водно-этанольные извлечения (40 % этиловый спирт) из листьев спирей, полученные экстракцией на водяной бане (Kostikova, 2017). Точную навеску (0.5000 г) измельчённого воздушно-сухого материала экстрагировали дважды: сначала 30 мл – в течение 30 минут, затем 20 мл – в течение 20 минут. После фильтрации остаток в колбе и на фильтре промывали 5 мл 40 % этилового спирта. Далее объединенный экстракт концентрировали в фарфоровых чашечках до 10 – 15 мл (точный объём). Анализ проводили в двух повторностях.

1 мл водно-этанольного экстракта разбавляли бидистиллированной водой до 5 мл и пропускали через концентрирующий патрон Диапак С16 (ЗАО «БиоХимМак»). Вещества смывали с патрона небольшим количеством (3 мл) 40 % водно-этанольного раствора, а затем 2 мл 96 % этанола. Объединенный элюат пропускали через мембранный фильтр с диаметром пор 0,45 мкм.

Анализ фенольных соединений, содержащихся в элюате, проводили на аналитической ВЭЖХ-системе, состоящей из жидкостного хроматографа «Agilent 1200» (США) с диодно-матричным детектором, автосамплером и системой для сбора и обработки хроматографических данных ChemStation, модифицировав методику T.A. Van Beek (2002). Колонка Zorbax SB-C18, 4.6×150 мм, 5 мкм. Разделение проводили в следующих условиях: градиент от 31 до 33 % метанола, подкисленного в ортофосфорной кислоте (0.1 %) в течение 27 мин., далее в подвижной фазе содержание метанола в водном растворе ортофосфорной кислоты (0.1 %) изменялось от 33 до

46 % за 11 мин., затем от 46 до 56 % за следующие 12 мин. и от 56 до 100 % за 4 мин. Скорость потока элюента 1 мл/мин. Температура колонки 26°C. Объем вводимой пробы 10 мкл. Детектирование осуществляли при длинах волн $\lambda = 255, 270, 290, 340, 360$ и 370 нм.

Количественное определение индивидуальных компонентов в образцах растений проводили по методу внешнего стандарта при $\lambda = 360$ нм (Van Beek, 2002). Для приготовления стандартных образцов использовали кофейную и коричную кислоты («Serva»), хлорогеновую и *n*-кумаровую кислоты, кверцетин («Sigma-Aldrich») эллаговую кислоту, изокверцитрин, рутин, авикулярин, астрагалин и гиперозид («Fluka»). Стандартные растворы готовили в концентрации 10 мкг/мл.

Относительное стандартное отклонение повторяемости при определении фенольных компонентов составило $\sigma_{\text{отн}} = 0,011$, относительное стандартное отклонение по времени удерживания у метода ВЭЖХ - 0,0018.

Математический анализ данных выполнен в ПСП Statistica 10. Изучение сходства и различия спирей по качественному составу фенольных веществ проводили методом кластерного анализа (Ayvazyan et al., 1989). Для проверки статистически достоверных различий в количественном содержании фенольных соединений среди исследованных таксонов использовали односторонний анализ ANOVA и многократный сравнительный тест Шеффе, Scheffe (Glants, 1998; Grzhibovskiy et al., 2016).

Результаты и обсуждение

В водно-этанольных экстрактах из листьев *S. betulifolia* и *S. beauverdiana* методом ВЭЖХ обнаружено 24 фенольных соединения. Из них идентифицированы эллаговая кислота, коричная кислота и оксикоричные кислоты хлорогеновая и *n*-кумаровая, флавонолы кверцетин, кемпферол, гиперозид, рутин, авикулярин, астрагалин и дигидрофлавонол таксифолин (Kostikova, Polyakova, 2018). Кроме этих соединений в листьях *S. aemiliana* идентифицирован ещё один флавонол - изокверцитрин (рис. 1, табл. 1). Состав фенольных соединений из листьев исследуемых спирей в основном представлен флавонолами и фенолкарбоновыми кислотами. Обнаружен в листьях исследуемых спирей также один флавонол (табл. 1).

Общими соединениями, присутствующими в водно-этанольных экстрактах всех исследуемых видов рода *Spiraea* секции *Calospira*, являются гиперозид, астрагалин, кверцетин, флавонолы № 6 и № 17, флавонол № 11. Практически у всех растений встречаются хлорогеновая, *n*-кумаровая и коричная кислоты и флавонолы № 16 и № 20.

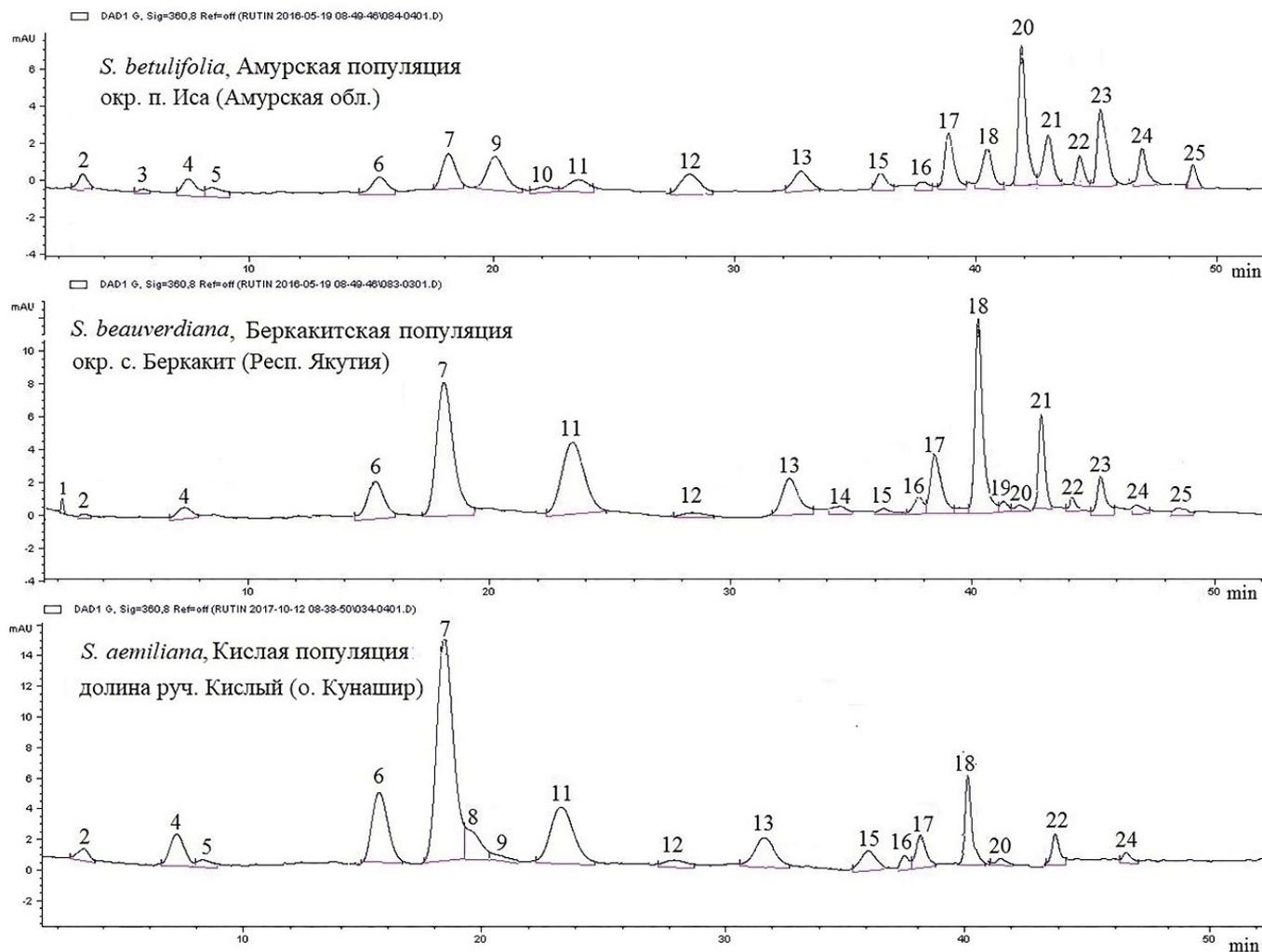


Figure 1. Хроматограммы 40 % водно-этанольных экстрактов из листьев растений рода *Spiraea* секции *Calospira* при 360 нм. Chromatograms of 40 % water-ethanol extracts of leaves of the species of the genus *Spiraea*, *Calospira* section detected by HPLC-DAD at 360 nm. По оси абсцисс – время удерживания, мин; по оси ординат – сигнал детектора, е.о.п. On the X-axis – retention time, min; on the Y-axis – the detector signal, unit of the optical density.

Разнообразие состава фенольных соединений в экстрактах из листьев *S. aemiliana* (16–17 соединений) такое же, как и в листьях *S. betulifolia* (от 9 до 22 соединения) и *S. beauverdiana* (от 14 до 21 компонента).

Spiraea betulifolia отличается от *S. beauverdiana* наличием рутина, авикулярина и эллаговой кислоты в водно-этанольных экстрактах из листьев, а также неидентифицированного соединения № 3. В листьях *S. beauverdiana* в следовых количествах обнаружен рутин только в растениях из Магаданской обл. и Хабаровского кр., а авикулярин – только у растений из респ. Якутия. Специфичными соединениями в экстрактах из листьев *S. beauverdiana* являются фенолокислоты № 1 и № 19, которые отсутствуют у *S. betulifolia* (Kostikova, Polyakova, 2018). В листьях *S. aemiliana* идентифицирован изокверцитрин, не выявленный у других видов. Во всех образцах *S. aemiliana* обнаружены специфичные соединения для *S. betulifolia* рутин и авикулярин, однако отсутствуют эллаговая кислота и соединение № 3. В листьях *S. aemiliana* не выявлены фенолокислоты № 1 и № 19, которые являются маркерными для *S. beauverdiana*.

№ пика	Соединение	Время удерживания (tR), мин	Спектральная характеристика λmax, нм
1	фенолокислота*	2,3	230, 320

2	хлорогеновая кислота	3,2	244, 300 пл, 330
3	компонент 3	5,9	-
4	п-кумаровая кислота	7,9	226, 293 пл, 320
5	таксифолин (дигидрокверцетин)	8,5	290
6	флавонол*	15,2	250, 265 пл, 355
7	гиперозид	18,0	255, 268 пл., 355
8	изокверцитрин	19,3	259, 266 пл., 358
9	рутин	20,0	256, 358
10	эллаговая кислота	22,0	255, 300 пл, 370
11	флавонол*	23,8	250, 340
12	авикулярин	28,4	260, 270 пл, 360
13	астрагалин	32,5	265, 300 пл., 350
14	фенолокислота*	34,2	240, 300 пл., 330
15	коричная кислота	35,9	216, 270
16	флавонол*	37,8	260, 300 пл., 360
17	флавонол*	38,1	265, 300 пл., 355
18	кверцетин	40,6	255, 372
19	фенолокислота*	41,5	225, 300 пл, 315
20	флавонол*	42,0	255, 300 пл, 355
21	фенолокислота*	43,1	255, 265, 315
22	фенолокислота*	44,0	235, 300 пл, 315
23	флавонол*	45,7	270, 300 пл, 350
24	кемпферол	46,9	266, 370
25	флавонол*	48,3	250, 300 пл, 360

Table 1. Характеристика фенольных соединений, обнаруженных в экстрактах из листьев растений рода *Spiraea* секции *Calospira* Characterization of phenolic compounds in extracts from leaves of the species of the genus *Spiraea*, *Calospira* section «-» - вещество не идентифицировано. * - группа веществ определена по спектральным характеристикам (Zaprometov, 1974; Klyshev et al., 1978).

Проведён кластерный анализ всех исследуемых образцов видов рода *Spiraea* секции *Calospira* по составу фенольных соединений (рис. 2, табл. 2). *Spiraea betulifolia* и *S. beauverdiana* хорошо отличаются по составу фенольных соединений. Ранее выявлены по 2 хеморасы этих видов (Kostikova, Polyakova, 2018). *Spiraea aemiliana* по хроматографическому профилю более сходна с *S. betulifolia*. Исследованные образцы *S. aemiliana* на дендрограмме образуют отдельный подкластер в кластере *S. betulifolia* и более сходны с образцами *S. betulifolia* из Охотской, Шикотанской и Курильской популяций. Поэтому по составу фенольных соединений признать видовую самостоятельность таксона *S. aemiliana* невозможно. Однако некоторые морфологические отличия *S. aemiliana* (высота растения до 30 см и округлая монетковидная листовая пластинка) и наличие изокверцитрина в ее листьях подтверждает мнение некоторых учёных о таксономическом ранге *S. aemiliana* как подвида, разновидности или формы *S. betulifolia*. Например, G. Koidzumi (1909) придал *S. aemiliana* ранг разновидности *S. betulifolia* Pall. var. *aemiliana* (C.K. Schneid.) Koidz., считая её синонимом *S. beauverdiana*. Этой же точки зрения придерживался J. Ohwi (1965) во «Flora of Japan». H. Hara (1952) перевел этот таксон в ранг подвида *Spiraea betulifolia* Pall. subsp. *aemiliana* (C.K. Schneid.) H. Hara. В.В. Якубов (1996) отмечает, что на Южных Курильских островах довольно часто встречается форма *S. betulifolia* с мелкими монетковидными листьями, внешне похожая на близкий вид *S. beauverdiana*, но отличающаяся от неё совершенно голыми веточками соцветий.

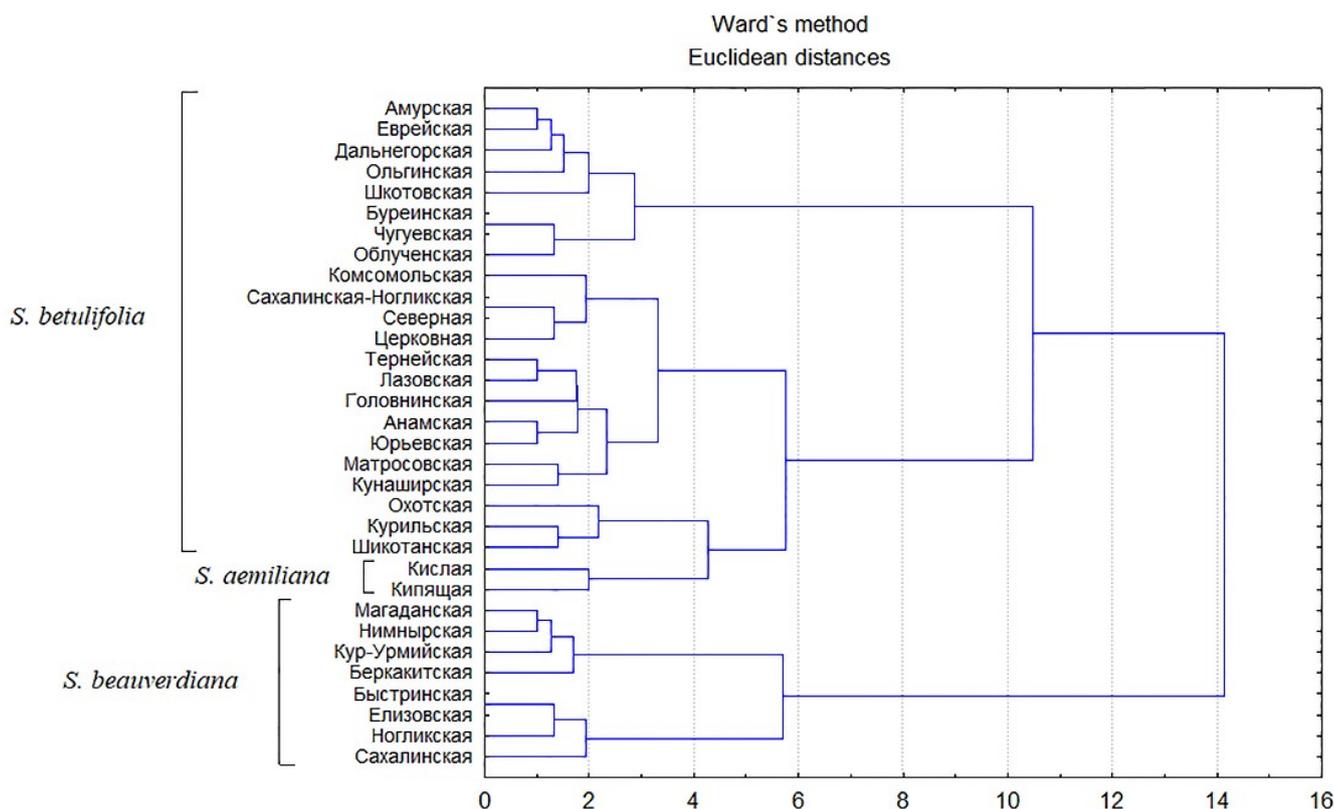


Figure 2. Дендрограмма сравнения растений рода *Spiraea* секции *Calospira* по составу фенольных соединений в листьях. Dendrogram of comparison of the species of the genus *Spiraea*, *Calospira* section by composition of phenolic compounds in leaves.

В зависимости от места произрастания близкородственные виды могут накапливать разные вещества. *Spiraea betulifolia* занимает равнинно-низкогорные лесные территории средних и южных областей Азиатской России (Yakubov, 1996; Koropachinskiy, Vstovskaya, 2002). Мажорными соединениями в листьях *S. betulifolia* являются рутин (до 6,93 мг/г) и авикулярин (до 3,05 мг/г) (табл. 2). По содержанию этих компонентов *S. betulifolia* статистически достоверно отличается от двух других видов (при $P \leq 0,05$). *Spiraea beauverdiana* и *S. aemiliana* содержат меньше рутина и авикулярина в листьях и по результатам теста Шеффе не различаются между собой по их содержанию. *Spiraea beauverdiana* приобрела новые адаптационные признаки (густое опушение органов, тенденция к общему сокращению размеров растения), что позволило ей расселиться в более высокогорные (гольцовые) тундровые территории северной части ареала (Koropachinskiy, Vstovskaya, 2002; Kostikova, Polyakova 2014, 2018). В листьях *S. beauverdiana* повышается содержание многих идентифицированных веществ – гиперозида (до 4,3 мг/г), кверцетина (до 4,88 мг/г), кемпферола (до 0,84 мг/г), астрагалина (до 2,45 мг/г), *n*-кумаровой кислоты (до 1,58 мг/г) (табл. 2). Выявлена статистически достоверная разница между содержанием этих веществ у *S. beauverdiana* и *S. betulifolia*. Исследованные популяции *S. aemiliana* собраны в хвойных фитоценозах: в стланиковых зарослях – «Кипящая» популяция и в еловом замшелом лесу – «Кислая» популяция. *Spiraea aemiliana* подвергается действию сольфатарных полей, где большинство экологических факторов находятся в высокой степени напряжённости (Vatserionova, Koranina, 2016). По количественному содержанию фенольных соединений *S. aemiliana* более сходна с *S. beauverdiana* (табл. 2). Листья *S. aemiliana* содержат много гиперозида от 3,19 до 9,50 мг/г, что практически в два раза больше, чем у *S. beauverdiana* (до 4,3 мг/г) и в 6 раз у *S. betulifolia* (до 1,55 мг/г). Тест Шеффе показал достоверную разницу в содержании гиперозида у трёх изученных видов (табл. 2). Спиреи статистически достоверно различаются также и по содержанию кверцетина, количество которого в листьях *S. aemiliana* в два с половиной раза меньше (до 1,90 мг/г), чем у *S. beauverdiana* (до 4,88 мг/г), но выше чем

у *Sbetulifolia* (до 1,06 мг/г). Содержание изокверцитрина, обнаруженного только в листьях *S. aemiliana*, варьирует от 0,63 до 1,06 мг/г. Содержание в листьях *S. aemiliana* и *S. beauverdiana* астрагалина, *n*-кумаровой кислоты и кемпферола практически одинаковое. Статистически достоверно больше содержится этих веществ в листьях *S. aemiliana* и *S. beauverdiana*, по сравнению с *S. betulifolia*. По содержанию хлорогеновой и коричной кислот и дигидрокверцетина не выявлено разницы между тремя видами спирей (табл. 2).

Суммарное содержание всех фенольных соединений в листьях *S. aemiliana* лежит в пределах суммарного содержания фенольных соединений у *S. beauverdiana* (12,7–24,52 мг/г) и составило от 16,4 до 23,88 мг/г. Разницы в содержании суммы фенольных соединений между *S. beauverdiana* и *S. aemiliana* не выявлено. Сумма фенольных соединений в листьях *S. betulifolia* (5,44–15,75 мг/г) ниже и статистически достоверно отличается от других исследуемых видов.

Соединение	Содержание, мг/г		
	<i>S. betulifolia</i> (n* = 22)	<i>S. beauverdiana</i> (n = 8)	<i>S. aemiliana</i> (n = 2)
хлорогеновая кислота	0 – 0,56**0,24 ± 0,04а***	0,05 – 0,970,40 ± 0,10а	0,14 – 0,400,27 ± 0,13а
<i>n</i> -кумаровая кислота	0 – 0,770,29 ± 0,04b	0,29 – 1,580,73 ± 0,15а	0,56 – 1,260,91 ± 0,35а
дигидрокверцетин	0 – 0,340,15 ± 0,03а	0 – 0,630,12 ± 0,08а	0 – 0,570,29 ± 0,29а
гиперозид	0,13 – 1,550,63 ± 0,09с	1,03 – 4,302,19 ± 0,41b	3,19 – 9,506,35 ± 3,16а
изокверцитрин	–	–	0,63 – 1,060,85 ± 0,22
рутин	0,52 – 6,932,60 ± 0,37а	0 – 0,470,10 ± 0,07b	0,16 – 0,250,21 ± 0,05b
эллаговая кислота	0 – 1,010,25 ± 0,05	–	–
авикулярин	0,28 – 3,051,26 ± 0,15а	0 – 0,250,03 ± 0,03b	0,30 – 0,490,40 ± 0,10а,b
астрагалин	0,27 – 1,200,55 ± 0,05b	0,45 – 2,451,45 ± 0,26а	0,75 – 1,811,28 ± 0,53а,b
коричная кислота	0 – 0,400,14 ± 0,02а	0 – 0,780,19 ± 0,09а	0,08 – 0,910,50 ± 0,42а
кверцетин	0 – 1,060,30 ± 0,07с	2,27 – 4,883,25 ± 0,37а	1,34 – 1,901,62 ± 0,28b
кемпферол	0 – 0,500,09 ± 0,03b	0,22 – 0,840,49 ± 0,07а	0,23 – 0,730,48 ± 0,25а

Table 2. Различия в содержании идентифицированных фенольных соединений в экстрактах из листьев трёх видов рода *Spiraea*. Differences in the content of the identified phenolic compounds in extracts from leaves of three species of the genus *Spiraea* «–» – вещество не обнаружено. * = *n* – количество проанализированных образцов. Значения: ** = минимум-максимум; *** = среднее ± ошибка среднего, далее результаты сравнения по тесту Шеффе ($P \leq 0,05$).

Заключение

Изучены состав и содержание фенольных соединений в листьях *S. aemiliana* из 2 природных популяций, произрастающих на острове Кунашир. Проведено сравнение хроматографических профилей *S. aemiliana* и близкородственных видов *S. betulifolia* и *S. beauverdiana*. В экстрактах из листьев *S. aemiliana* методом ВЭЖХ выявлено 19 соединений. Из них идентифицированы хлорогеновая, *n*-кумаровая и коричная кислоты, кверцетин, кемпферол, гиперозид, изокверцитрин, рутин, авикулярин, астрагалин и дигидрокверцетин. Специфическим соединением в листьях *S. aemiliana* является изокверцитрин, не идентифицированный у других близких видов. Хроматографические профили *S. aemiliana* и *S. betulifolia* в целом оказались очень сходными. Это является дополнительным доказательством мнения учёных о таксономическом ранге *S. aemiliana* как подвида, вариации или формы *S. betulifolia*.

Мажорными компонентами в листьях *S. betulifolia* являются рутин (до 6,93 мг/г) и авикулярин (до 3,05 мг/г). В листьях *S. beauverdiana* повышается содержание гиперозида (до 4,3 мг/г), кверцетина (до 4,88 мг/г), кемпферола (до 0,84 мг/г), астрагалина (до 2,45 мг/г) и *n*-кумаровой кислоты (до 1,58 мг/г), тогда как содержание рутина и авикулярина незначительно. По количественному содержанию фенольных соединений *S. aemiliana* (16,4 до 23,88 мг/г) более сходна с *S. beauverdiana*. Листья *S. aemiliana* содержат много гиперозида (до 9,50 мг/г), что практически в два раза больше, чем у *S. beauverdiana* (до 4,3 мг/г) и в 6 раз у *S. betulifolia* (до

1,55 мг/г).

Благодарности

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-34-00106 мол_а.

References

Ayvazyan S. A. (1989). Prikladnaya statistika: klassifikatsiya i snizheniye razmernosti. Moscow. 607 p. (in Russian).

Glants S. (1998). Mediko-biologicheskaya statistika. Moscow. 459 p. (in Russian).

Grzhibovskiy A.M., Ivanov S.V., Gorbatova M.A. (2016). Sravneniye kolichestvennykh dannykh trekh i boleye nezavisimyykh vyborok s ispolzovaniyem programmogo obespecheniya Statistica i SPSS: parametricheskiye i neparametricheskiye kriterii. Nauka i zdorovye. Metodologiya nauchnykh issledovaniy, 4, 5–36. (in Russian).

Hara H. (1952). *Spiraea betulifolia* Pall. subsp. *aemiliana*. (C.K.Schneid.) H. Hara. J. Fac. Sci. Univ. 3, 6, 77.

Kiseleva T.I. Chindyayeva L.N., Tsybulya N.V. (2011). Biologicheskiye osobennosti i antimikrobnyye svoystva vidov roda *Spiraea* L. v Novosibirsk. Vestnik Irkut. gosudar. selskokhoz. akad., 44-1, 65–72. (in Russian).

Klyshev L.K. Bandyukova V.A., Alyukina L.S. (1978). Flavonoidy rasteniy, Alma-Ata, 220 p. (in Russian).

Koidzumi G. (1909). Notes on Japanese Rosaceae. Subfam. I. Spiraeoideae. Bot. Mag., 23, 165–168.

Koropachinskiy I.Yu. & Vstovskaya T.N. (2002). Drevesnyye rasteniya Aziatskoy Rossii. Novosibirsk, 707 p. (in Russian).

Kostikova V.A. & Shaldaeva T.M. (2017). The Antioxidant Activity of the Russian Far East Representatives of the Genus *Spiraea* L. (Rosaceae Juss.). Russian Journal of Bioorganic Chemistry, 43 (7), 100–104. DOI: 10.1134/S1068162017070081

Kostikova V.A. (2017). Opredeleniye optimalnykh usloviy ekstraktsii dlya issledovaniya sostava fenolnykh soyedineniy *Spiraea betulifolia* Pall. metodom HPLC. Khimiya rastitelnogo syria, 1, 159–162. DOI: 10.14258/jcprm.2017011417. (in Russian).

Kostikova V.A., Polyakova T.A. (2014). Eco - Geographical Variability of *Spiraea betulifolia* Pall. and *S. beauverdiana* Schneid. on the Morphological and Biochemical Markers. Contemporary Problems of Ecology, 7(3), 315–323.

Kostikova V.A., Filippova E.I., Vysochina G.I., Mazurkova N.A. (2016). Protivovirusnaya aktivnost rasteniy roda *Spiraea* (Rosaceae), proizrastayushchikh v aziatskoy chasti Rossii. Proceed. Int. Conf. dedicated to 70 years of CSBG SO RAN “Sokhraneniye raznoobraziya rastitelnogo mira v botanicheskikh sadakh: traditsii. sovremennost. Perspektivy”, Novosibirsk, 156–157. (in Russian).

Kostikova V.A., Polyakova T.A. (2018). Morfologicheskaya i biokhimicheskaya izmenchivost rasteniy roda *Spiraea* L. sektsii *Calospira* C. Koch. v rossiyskoy chasti areala. Byulleten MOIP, 4, 50–65 (in Russian).

Ohwi J. (1965). Flora of Japan. Washington, 1067 p.

Pavlova L.V. (2015). Ekstraktsionno-khromatograficheskoye opredeleniye fiziologicheskii-aktivnykh komponentov tsvetkov "Romashki aptechnoy" i listyev "Evkalipta prutovidnogo". Thesis of Doctoral Dissertation. Samara, 176 p. (in Russian).

Polozhiy A.V. (1988). Rod *Spiraea* L. – Tavolga. In Flora Sibiri, 8, 10-20 (in Russian).

Rastitelnyye resursy SSSR: Tsvetkovyye rasteniya. ikh khimicheskiiy sostav. ispolzovaniye; Semeystva Hydraginaceae – Haloragaceae. (1987). Leningrad, 99-101. (in Russian).

Sharma D.K., Kim S.G., Lamichhane R., Lee K.H., Poudel A., Jung H.J. (2016). Development of UPLC fingerprint with multicomponent quantitative analysis for quality consistency evaluation of herbal medicine "Hyangsapyeongwisan". J. Chromatogr. Sci., 54(4), 536-546. DOI:

Singh R. (2016). Chemotaxonomy: A Tool for Plant Classification. Journal of Medicinal Plants Studies, 4(2), 90-93.

Van Beek TA. (2002). Chemical analysis of *Ginkgo biloba* leaves and extracts. J Chromatogr A, 967, 21-35.

Vatserionova E.O., Kopanina A.V. (2016). Osobennosti struktury molodykh stebley *Spiraea beauverdiana* v usloviyakh solfatarnykh poley kaldery vulkana Golovnina, ostrov Kunashir. Byulleten Botanicheskogo sada-instituta, 15, 8-10. (in Russian).

Vorobyev D.P. (1968). Dikorastushchiye derevia i kustarniki Dalnego Vostoka. Opredelitel. Leningrad, 278 p. (in Russian).

Vysochina G.I. (2004). Fenolnyye soyedineniya v sistematike i filogenii semeystva grechishnykh. Novosibirsk, 240 p. (in Russian).

Yakubov V.V. (1996). Rod Tavolga – *Spiraea* L. In Sosudistyye rasteniya Sovetskogo Dalnego Vostoka. Sankt-Petersburg, 8, 130-136 (in Russian).

Zaprometov M.N. (1974). Osnovy biokhimii fenolnykh soyedineniy. Moscow, 213 p. (in Russian).

Citation:

Kostikova, V.A., Kuznetsov, A.A., Tishchenko, E.D., Fayzylkhakova, A.N. (2019). Chemotaxonomic study of *Spiraea aemiliana* compared to the closely species *S. betulifolia* and *S. beauverdiana*. *Acta Biologica Sibirica*, 5 (3), 15-21.

Submitted: 02.05.2019. **Accepted:** 10.06.2019

© 2019 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).