



Фенольные соединения в систематике рода *Spiraea* L.

Phenolic compounds in taxonomy of the genus *Spiraea* L.

Е.А. Карпова, Н.П. Лаптева

E.A. Karpova, N.P. Lapteva

Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, 630090, Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101.
Central Siberian botanical garden of Siberian Branch of RAS, RF-630090, Zolotodolinskaya st., 101, Novosibirsk, Russia.
E-mail: karyevg@mail.ru

Ключевые слова: *Spiraea*, фенолкарбоновые кислоты, коричная кислота, флавоноиды, флавонолы, кверцетин, кемпферол, изорамнетин.

Key words: *Spiraea*, phenolic acids, cinnamic acid, flavonoids, flavonols, quercetin, kaempferol, isorhamnetin.

Аннотация. Методом ВЭЖХ изучены состав и содержание фенолкарбоновых кислот и агликонов флавоноидов в гидролизованных экстрактах листьев *Spiraea salicifolia* L., *S. humilis* Pojark., *S. humilis* × *S. sp.*, *S. douglasii* Hook., *S. × billardii* Herincq. (*S. douglasii* × *S. salicifolia*), *S. betulifolia* Pall., *S. japonica* L. f., *S. japonica* ‘*Macrophylla*’, *S. albiflora* (Miq.) Zab., *S. media* Fr. Schmidt, *S. sericea* Turcz., *S. flexuosa* Fisch. ex Cambess., *S. ussuriensis* Pojark., *S. elegans* Pojark., *S. chamaedryfolia* L., *S. × schinabeckii* Zab. (*S. chamaedryfolia* × *S. trilobata* L.), *S. crenata* L., *S. nipponica* Maxim., *S. hypericifolia* L., *S. trilobata*, *S. × vanhouttei* (Briot) Zab. (*S. cantoniensis* Lour. × *S. trilobata*) из природных и интродукционных популяций. Содержание суммы фенольных соединений в образцах составило 3–7% от абсолютно сухой массы, содержание флавоноидов 1–2%. Представители подрода *Protospiraea* характеризуются относительно однородным составом фенольных соединений, объединяющим фенолкарбоновые кислоты и флавоноиды, в которых от 50% до 90% составляет кверцетин. Остальная часть флавоноидов представлена кемпферолом, у некоторых видов – кемпферолом и изорамнетином. По составу фенольных соединений исходными, наиболее примитивными видами подрода *Metaspiraea* являются *S. media* и *S. flexuosa* как наиболее близкие к видам подрода *Protospiraea*. Наиболее эволюционно продвинутыми представляются *S. ussuriensis*, *S. elegans*, *S. trilobata*, *S. crenata*, содержащие агликон АП или коричную кислоту. Соотношение кверцетина, кемпферола и коричной кислоты рассматривается в качестве основного маркерного признака

естественных групп внутри подрода *Metaspiraea*. В образцах *S. chamaedryfolia*, *S. ussuriensis*, *S. flexuosa* и *S. elegans* выявлено четыре типа состава фенольных соединений: с доминированием кверцетина (*S. ussuriensis*), кемпферола (*S. elegans*), коричной кислоты (*S. chamaedryfolia*) и без явного доминирования (*S. flexuosa*). Это дает основания считать все четыре таксона самостоятельными видами. Обнаружены значимые отличия в составе фенольных соединений *S. humilis* и *S. salicifolia*, позволяющие рассматривать *S. humilis* в качестве самостоятельного вида. Не найдено признаков видовой самостоятельности *S. sericea*. Не выявлено признаков секции *Glomerati*, отделяющих *S. hypericifolia* от остальных исследованных видов подрода *Metaspiraea*. У вида *S. nipponica* обнаружены признаки секции *Chamaedryon*.

Summary. The composition and contents of phenolic acids and flavonoids aglycones in the hydrolyzed extracts of leaves of *S. salicifolia* L., *S. humilis* Pojark., *S. humilis* × *S. sp.*, *S. douglasii* Hook., *S. × billardii* Herincq. (*S. douglasii* × *S. salicifolia* L.), *S. betulifolia* Pall., *S. japonica* L. f., *S. japonica* ‘*Macrophylla*’, *S. albiflora* (Miq.) Zab., *S. media* Fr. Schmidt, *S. sericea* Turcz., *S. flexuosa* Fisch. ex Cambess., *S. ussuriensis* Pojark., *S. elegans* Pojark., *S. chamaedryfolia* L., *S. × schinabeckii* Zab. (*S. chamaedryfolia* × *S. trilobata* L.), *S. crenata* L., *S. nipponica* Maxim., *S. hypericifolia* L., *S. trilobata*, *S. × vanhouttei* (Briot) Zab. (*S. cantoniensis* Lour. × *S. trilobata*) from natural and introduced populations were studied by HPLC. The total phenolic content of samples ranged from 3 to 7% of dry weight, flavonoids

content was 1–2%. The representatives of the subgenus *Protospiraea* are characterized a relatively uniform phenolic composition combining phenolic acids and flavonoids, from 50% to 90% of the latter is quercetin. The rest of the flavonoids is kaempferol, in some species there are kaempferol and isorhamnetin. The baseline and the most primitive species of the subgenus *Metaspiraea* on phenolic composition are *S. media* and *S. flexuosa* as the most similar to the species of the subgenus *Protospiraea*. *Spiraea ussuriensis*, *S. elegans*, *S. trilobata*, *S. crenata* seem as the most highly evolved species, these contain aglycone AII or cinnamic acid. The ratio of quercetin, kaempferol and cinnamic acid is considered as the main marker of natural groups within the subgenus *Metaspiraea*. Four types of phenolic composition in the samples of *S. chamaedryfolia*, *S. ussuriensis*, *S. flexuosa* and *S. elegans* are revealed: the composition with the dominance of quercetin (*S. ussuriensis*), kaempferol (*S. elegans*), cinnamic acid (*S. chamaedryfolia*) and without obvious dominance (*S. flexuosa*). This is the reason to consider all four taxa as independent species. Significant differences in the phenolic composition of *S. humilis* and *S. salicifolia* were found to give consideration to *S. humilis* as separate species. Any characters of unique for *S. sericea* is not found. Any characters of the section *Glomerati* separating the *S. hypericifolia* from other studied species of the subgenus *Metaspiraea* is not revealed. In *S. nipponica*, the characters of the section *Chamaedryon* are found.

Виды рода *Spiraea* L. распространены в районах умеренного климата Северного полушария. На территории России и сопредельных государств в естественных условиях, по данным разных авторов, произрастает 18–25 видов рода *Spiraea* (Poyarkova, 1939; Shulgina, 1954; Svyazeva, 1969). Ареал рода простирается от Карпат до берегов Тихого океана, от Чукотки до Монголии, Китая, Японии. Виды рода *Spiraea* встречаются на Кавказе, Копет-Даге, Памиро-Алае и Тянь-Шане (Slavkina, 1972).

К началу XX вв. большинство видов *Spiraea* было описано и систематизировано. В 1916 г. японский ботаник Т. Накаи предложил вариант естественной классификации рода на основе эволюционно-морфологического подхода. Он разделил род на два подрода *Protospiraea* Nakai и *Metaspiraea* Nakai. Подрод *Metaspiraea* Накаи подразделил на три секции: *Glomerati*, *Chamaedryon* и *Metachamaedryon* (Nakai, 1916).

Во Флоре СССР А.И. Пояркова (Poyarkova, 1939) также подразделила род на два подрода, но в составе подрода *Metaspiraea* рассматривала только одну секцию *Chamaedryon* Ser., состоящую из 7 рядов.

Синтетическим вариантом, сочетающим элементы систем Т. Накаи и А.И. Поярковой, является система китайских ученых (Yü, Kuan, 1963). Эта система считается наиболее естественной, однако не включает некоторые виды, не являющиеся автохтонными в Китае (Businský, Businská, 2002).

Региональные флористические сводки значительно различаются. Часть авторов взяли за основу систему А.И. Поярковой (Ovczinnikova, 2012). М.Г. Попов во «Флоре Средней Сибири», так же как и А.И. Пояркова, указал в подроде *Metaspiraea* единственную секцию *Chamaedryon*, но внутрисекционную группировку произвел не по признакам соцветий и цветков, а по признакам ветвей и листьев (Popov, 1957). Аналогичный подход был использован во «Флоре Средней Европы» (Huber, 1975). В некоторых сводках не проведено разделения рода на подроды и секции (Peshkova, 1979; Polozhij, 1988).

Таким образом, имеющиеся варианты системы рода *Spiraea* во многом противоречат друг другу. Большая часть противоречий связана со структурой подрода *Metaspiraea*. Не решен вопрос о целесообразности выделения секции *Glomerati* в его составе, поэтому таксономическое положение ряда видов, отличающихся соцветиями в виде сидячих зонтиков, в том числе *S. hypericifolia*, определено нечетко. Выделение секции *Glomerati* проведено в системе (Yü, Kuan, 1963), а также в классификациях рода В.В. Шульгиной (Shulgina, 1954) и Т.И. Славкиной (Slavkina, 1972), широко используемых в интродукции.

Другим видом с неопределенным систематическим положением является *S. nipponica* Maxim. В природе он встречается на территории Кореи и Японии и не всегда рассматривался в классификациях российских и китайских исследователей. Его относят как к секции *Chamaedryon* (Shulgina, 1954), так и к секции *Calospira* (Slavkina, 1972).

Самостоятельность некоторых видов, таких как *S. humilis* Pojark., *S. sericea* Turcz., *S. ussuriensis* Pojark., *S. flexuosa* Fisch. ex Cambess., *S. elegans* Pojark. нередко подвергается сомнению из-за высокого сходства по морфологическим признакам с полиморфными широкоареальными видами *S. salicifolia* L., *S. media* Fr. Schmidt и *S. chamaedryfolia* L. (Krylov, 1933; Nedoluzhko, 1995; Popov, 1957; Yakubov, 1996).

Таким образом, очевидно, что изученные системы морфологических признаков в полной

мере не описывают естественного разнообразия видов рода *Spiraea*. Исследования природных и интродукционных популяций по признакам, связанным с составом и содержанием фенольных соединений, открывающие новый аспект биологического разнообразия рода *Spiraea*, необходимы для дальнейшего расширения системы признаков рода и уточнения его таксономической структуры.

Фенольные соединения видов рода *Spiraea* изучены недостаточно, особенно в хемотаксономическом аспекте. Из листьев *S. hypericifolia* выделены апигенин, лютеолин (Storozhenko, 1977). В листьях *S. chamaedryfolia*, *S. crenata*, *S. salicifolia*, *S. media* найдены кверцетин, кемпферол, сиреневая, ванилиновая, гентизиновая, коричневая, п-кумаровая, кофейная и феруловая кислоты (Карпова, Polyakova, 2009). В листьях *S. media* обнаружен изорамнетин (Rastitelnye resursy ..., 1987), в листьях *S. salicifolia* – производные коричневой кислоты (Ahn et al., 1996).

Цель исследования – сравнительное изучение содержания агликонов флавоноидов и фенолкарбоновых кислот в гидролизованных экстрактах листьев растений видов рода *Spiraea* из природных и интродукционных популяций в связи с систематикой рода.

В настоящее время считается доказанным, что состав агликонов является в высокой степени консервативным признаком, очень слабо зависит от условий произрастания и отражает специфичность таксонов на уровне родов и секций (Vysochina, 2002).

Материалы и методы

Состав и содержание фенольных соединений в листьях растений *S. salicifolia*, *S. humilis*, *S. humilis* × *S. sp.*, *S. douglasii* Hook., *S. × billardii* Herincq. (*S. douglasii* × *S. salicifolia*), *S. betulifolia* Pall., *S. japonica* L. f., *S. japonica* ‘Macrophylla’, *S. albiflora* (Miq.) Zab., *S. media*, *S. sericea*, *S. flexuosa*, *S. ussuriensis*, *S. elegans*, *S. chamaedryfolia*, *S. × schinabeckii* Zab. (*S. chamaedryfolia* × *S. trilobata* L.), *S. crenata* L., *S. nipponica*, *S. hypericifolia* L., *S. trilobata*, *S. × vanhouttei* (Briot) Zab. (*S. cantoniensis* Lour. × *S. trilobata*) определяли в образцах из Иркутской области, Приморского края, Хабаровского края, Амурской области, Забайкальского края, Республики Алтай, Алтайского края, а также из коллекций Амурского филиала Ботанического сада-института ДВО РАН и Центрального сибирского ботанического сада СО РАН (табл. 1), собранных в мае-сентябре 2003–2012 гг. Видовые названия

Таблица 1

Краткая характеристика исследованных образцов растений рода *Spiraea*

№	Вид, популяция	Местонахождение образцов	Происхождение посадочного материала	Фаза вегетации
Подрод PROTOSPIRAEA				
Секция Spiraria				
1	<i>S. salicifolia</i> 1	Амурская обл., Зейский р-н	-	Ц
2	<i>S. salicifolia</i> 2	Приморский край, Спасский р-н	-	Ц
3	<i>S. salicifolia</i> 3	Амурская обл., Благовещенский р-н, ст. Широтная	Приморский кр., Анучинский р-н	П
4	<i>S. salicifolia</i> 4	Новосибирск, дендрарий ЦСБС	Приморский кр., бухта Ольги, репродукция	П
5	<i>S. humilis</i> 1	Хабаровский край, Комсомольский р-н	-	П
6	<i>S. humilis</i> 2	Амурская обл., Благовещенский р-н, ст. Широтная	Хабаровский кр., Комсомольский р-н	Ц
7	<i>S. humilis</i> × <i>S. sp.</i>	Новосибирск, дендрарий ЦСБС	Рига, семена, репродукция	Ц
8	<i>S. × billardii</i>	Новосибирск, дендрарий ЦСБС	Каунас, семена	П
9	<i>S. douglasii</i> 1	Новосибирск, дендрарий ЦСБС	Рига, семена	П
10	<i>S. douglasii</i> 2	Новосибирск, дендрарий ЦСБС	Душанбе, семена	П
Секция Calospira				
11	<i>S. betulifolia</i> 1	Амурская обл., Благовещенский р-н, ст. Широтная	Приморский кр., Шкотовский р-н	Ц
12	<i>S. betulifolia</i> 2	Новосибирск, дендрарий ЦСБС	ЦСБС, репродукция	Ц
13	<i>S. japonica</i> 1	Амурская обл., Благовещенский р-н, ст. Широтная	Новосибирск, ЦСБС	Ц
14	<i>S. japonica</i> ‘Macrophylla’	Новосибирск, дендрарий ЦСБС	Минск, летние черенки	Ц

Окончание таблицы 1

15	<i>S. japonica</i> 2	Новосибирск, дендрарий ЦСБС	Екатеринбург, саженцы	Ц
16	<i>S. albiflora</i>	Новосибирск, дендрарий ЦСБС	Абакан, летние черенки	П
Подрод METASPIRAEA				
Секция Chamaedryon				
17	<i>S. flexuosa</i> 1	Иркутская обл., окр. г. Слюдянка	-	П
18	<i>S. flexuosa</i> 2	Хабаровский кр., окр. г. Комсомольск-на-Амуре	-	П
19	<i>S. flexuosa</i> 3	Приморский кр., Дальнегорский р-н	-	П
20	<i>S. flexuosa</i> 4	Амурская обл., Благовещенский р-н, пос. Мухинка	Респ. Алтай, Улаганский р-н	Ц
21	<i>S. ussuriensis</i> 1	Приморский край, Уссурийский р-н	-	П
22	<i>S. ussuriensis</i> 2	Приморский край, Ольгинский р-н	-	П
23	<i>S. ussuriensis</i> 3	Хабаровский край, окр. с. Верх. Эжонь	-	П
24	<i>S. ussuriensis</i> 4	Приморский край, Дальнегорский р-н	-	П
25	<i>S. ussuriensis</i> 5	Приморский край, Тернейский р-н	-	П
26	<i>S. ussuriensis</i> 6	Новосибирск, дендрарий ЦСБС	Приморский кр., пос. Кавалерово	Ц
27	<i>S. elegans</i>	Читинская обл., Могочинский р-н	-	П
28	<i>S. sericea</i> 1	Амурская обл., Благовещенский р-н, ст. Широкая	Приморский край, Ольгинский р-н	Ц
29	<i>S. sericea</i> 2	Новосибирск, питомник ЦСБС	Абакан, летние черенки	Ц
30	<i>S. media</i> 1	Восточный Казахстан, Катон-Карагайский р-н	-	П
31	<i>S. media</i> 2	Новосибирск, дендрарий ЦСБС	Дендрарий ЦСБС, семена	П
32	<i>S. media</i> 3	»» --- »» --- »» --- »»	ЦСБС, семена, репродукция	П
33	<i>S. media</i> 4	»» --- »» --- »» --- »»	Екатеринбург, семена	П
34	<i>S. media</i> 5	»» --- »» --- »» --- »»	Хабаровский кр., пос. Дуки, семена	П
35	<i>S. × vanhouttei</i>	»» --- »» --- »» --- »»	Днепропетровск	П
36	<i>S. trilobata</i> 1	Алтайский кр., тур. комплекс «Бирюзовая Катунь»	-	П
37	<i>S. trilobata</i> 2	Респ. Алтай, р. Чемал	-	П
38	<i>S. schinabeckii</i>	Новосибирск, дендрарий ЦСБС	Иркутск	П
39	<i>S. chamaedryfolia</i> 1	»» --- »» --- »» --- »»	ЦСБС, репродукция	П
40	<i>S. chamaedryfolia</i> 2	Новосибирск, питомник ЦСБС	Дендрарий ЦСБС	П
41	<i>S. chamaedryfolia</i> 3	Алтайский кр., тур. комплекс «Бирюзовая Катунь»	-	П
42	<i>S. chamaedryfolia</i> 4	»» --- »» --- »» --- »»	-	П
43	<i>S. crenata</i> 1	Новосибирск, дендрарий ЦСБС	Алма-Ата	Ц
44	<i>S. crenata</i> 2	Алтайский край, с. Гуселетово, окр. оз. Горькое	-	П
45	<i>S. nipponica</i>	Новосибирск, дендрарий ЦСБС	Абакан	П
46	<i>S. hypericifolia</i>	Новосибирск, дендрарий ЦСБС	ЦСБС, семена	П

приведены в соответствии с системой А.И. Поляковой (Polyarkova, 1939).

Состав фенолкарбоновых кислот гидролизованных экстрактов листьев изучали методом хроматографии на бумаге и тонкослойной хроматографии. Хроматографирование в тонком слое сорбента выполняли на пластинках «Силуфол» размером 15x15 см в системе растворителей: хлороформ – этилацетат – муравьиная кислота 75:35:1. Обнаружение зон адсорбции фенольных соединений производили после высушивания хроматограмм в ультрафиолетовом свете при обработке парами аммиака и в видимом свете при обработ-

ке 1%-ным спиртовым раствором хлорида железа (III) с последующим нагреванием до 100 °С.

Для хроматографии на бумаге использовали системы: бутанол-1-уксусная кислота – вода 40:12:28 и 2%-ная уксусная кислота.

Состав и содержание фенольных соединений определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на аналитической ВЭЖХ-системе, состоящей из жидкостного хроматографа «Agilent 1200» с диодноматричным детектором и системы для сбора и обработки хроматографических данных ChemStation. Разделение проводили на колонке Zorbax SB-C18

размером $4,6 \times 150$ мм с диаметром частиц 5 мкм при градиентном режиме метанола, подкисленного ортофосфорной кислотой (0,1%): для фенолкарбоновых кислот – от 32 до 100% метанола за 54 мин., для агликонов флавоноидов – от 50 до 100% метанола за 17 мин.

Скорость подачи элюента 1 мл/мин. Перед использованием подвижную фазу фильтровали через мембранный фильтр с диаметром пор 0,45 мкм. Детектирование осуществляли при 255, 270, 290, 325, 340, 350, 360 и 370 нм. Идентификацию известных соединений осуществляли сравнением с аутентичными образцами.

Результаты исследования и обсуждение

Содержание фенольных соединений. В составе фенольных соединений гидролизованных

экстрактов видов обнаружено около 30 веществ, из которых удалось идентифицировать галловую, протокатеховую, п-оксибензойную, ванилиновую, сиреневую, салициловую, коричную, хлорогеновую, кофейную, п-кумаровую, феруловую, о-кумаровую кислоты, кверцетин, кемпферол, изорамнетин.

Среднее содержание суммы фенольных соединений у большей части видов составило 3–4%, у видов *S. trilobata*, *S. chamaedryfolia*, *S. hypericifolia* – выше 5%, у *S. nipponica* – выше 7% (рис. 1).

Во всех образцах обнаружены галловая, протокатеховая, п-оксибензойная, хлорогеновая, кофейная, п-кумаровая кислоты. Содержание протокатеховой, хлорогеновой и кофейной кислот

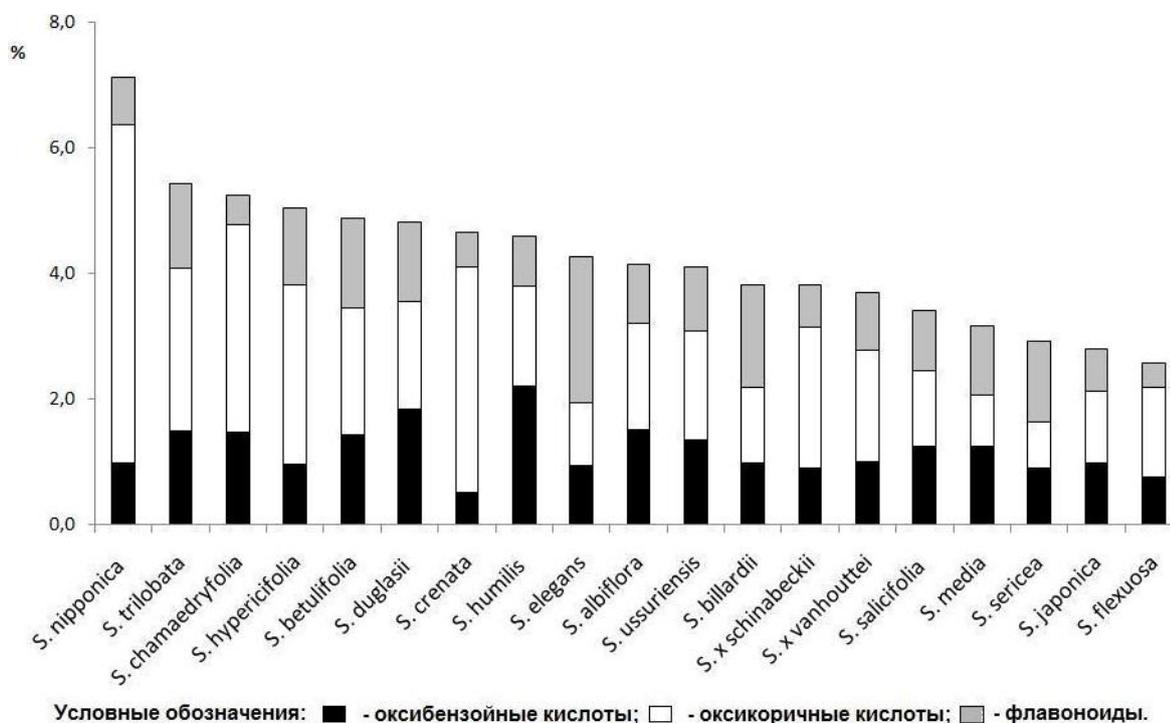


Рис. 1. Содержание флавоноидов и фенолкарбоновых кислот в гидролизатах листьев *Spiraea*, % от абсолютно сухой массы (среднее по популяциям).

составляет 0,2–0,5%, п-кумаровой – до 0,9%, галловой кислоты – около 0,1%, п-оксибензойной кислоты – 0,05–0,1%. Значимых отличий таксонов по сумме фенольных соединений, сумме фенолкарбоновых кислот и по большинству индивидуальных кислот не удалось обнаружить.

Существенные отличия найдены только по содержанию коричной кислоты. У большинства видов она выявлена в минорных количествах (0,002%–0,3%). При этом у некоторых видов из секции *Chamaedryon* коричная кислота доминирует в составе фенольных соединений, и ее содержание достигает 2–3% (рис. 2).

Содержание флавоноидов варьировало от 0,2% до 1%, в некоторых образцах (*S. trilobata*, *S. x billardii*, *S. douglasii*, *S. betulifolia*, *S. ussuriensis*, *S. elegans*, *S. sericea*) достигало 1,5–2%, что составляло 30–60% от суммы фенольных соединений.

Наибольшее содержание флавоноидов в сумме фенольных соединений обнаружено в образцах *S. sericea* (66,3%), *S. ussuriensis* (56%) и *S. elegans* (53%), наименьшее – у видов *S. chamaedryfolia* (до 10%), *S. crenata* (до 16%), *S. nipponica* (до 18%). Основными флавоноидными компонентами видов являются кверцетин и кемпферол (табл. 2).

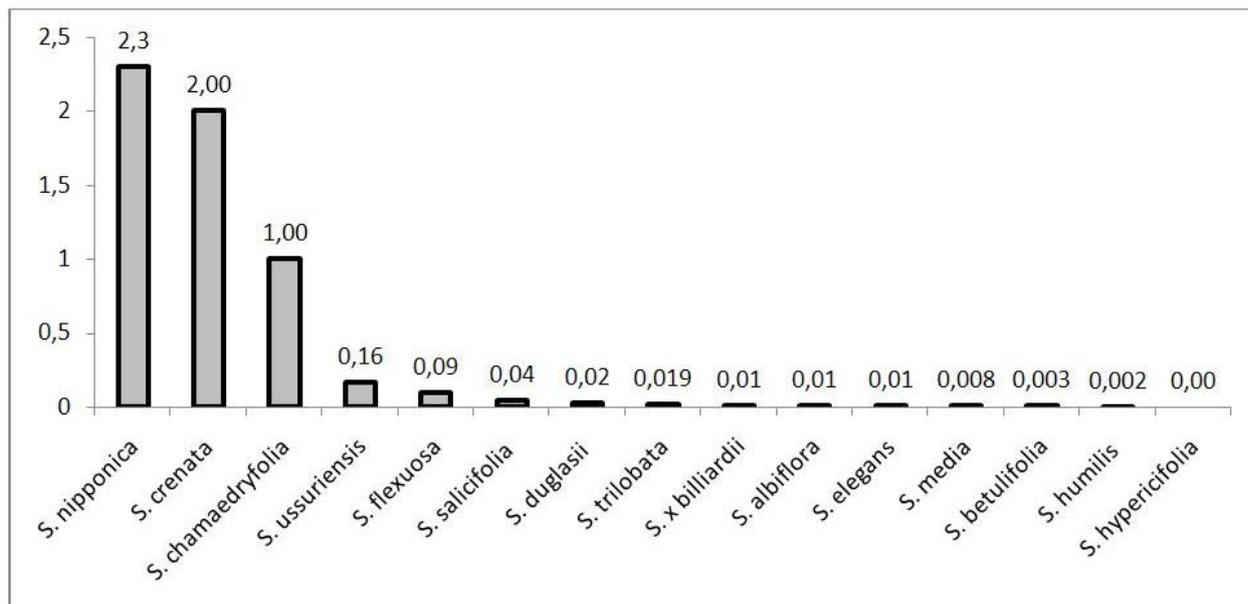


Рис. 2. Содержание коричной кислоты в гидролизатах листьев *Spiraea*, % от абсолютно сухой массы (среднее по популяциям).

Высокое содержание кверцетина обнаружено у *S. trilobata* (2,3%), кемпферола – у *S. ussuriensis* (до 1,8%) и *S. elegans* (1,6%) (табл. 3). Только в образцах двух последних видов и *S. flexuosa* в сумме агликонов преобладал кемпферол.

Значительные величины отношения кверцетин/кемпферол обнаружены в образцах *S. douglasii* (более 20), *S. x billiardii* (45) и *S. media* (до 47). В гидролизатах листьев некоторых видов из секции *Chamaedryon* (*S. trilobata*, *S. hypericifolia*, *S. nipponica*) кемпферол не был найден.

В составе гидролизатов представителей секции *Chamaedryon*: *S. ussuriensis*, *S. elegans*, *S. trilobata*, *S. x vanhouttei*, выявлен также неидентифицированный агликон А II (λ_{\max} 255,370 нм), который по спектральным свойствам отнесен к флавонолам (табл. 2).

Изорамнетин обнаружен в образцах *S. salicifolia*, *S. betulifolia*, *S. albiflora*, *S. ussuriensis*, *S. media*, *S. sericea*, во всех образцах *S. flexuosa* (0,04%) и *S. crenata* (до 0,16%).

Следует отметить, что флавоны апигенин и лютеолин, выявленные Н.Д. Стороженко (1977)

у *S. hypericifolia*, нами не были найдены.

Таким образом, по составу фенольных соединений исследованные образцы можно отнести к нескольким типам (табл. 4). По основному компоненту гидролизатов образцы разделились на 3 группы: с преобладанием кверцетина, кемпферола и коричной кислоты.

Кверцетин обнаружен во всех образцах. Наличие всех четырех агликонов отмечено только в образцах *S. ussuriensis* 1 и 3. Только один агликон кверцетин обнаружен у двух видов – *S. hypericifolia* и *S. nipponica*. В остальных видах найдено по два или три агликона.

Состав фенольных соединений спорных видов. При сравнении гидролизованных экстрактов образцов видов *S. salicifolia* и *S. humilis*, близких по морфологическим признакам, по составу фенольных соединений обнаружено, что диапазоны варьирования величин содержания флавоноидов и фенокарбоновых кислот образцов *S. salicifolia* и *S. humilis* близки. Гибрид *S. humilis* × *S. sp.* значительно превосходит остальные

Таблица 2

Хроматографические и спектральные характеристики агликонов флавоноидов гидролизатов листьев *Spiraea*

Номер пика	Вещество	Время удерживания, мин	λ_{\max} , нм
21	Кверцетин	6,5	254, 371
23	Агликон II	8,9	255, 370
25	Кемпферол	10,9	267, 365
26	Изорамнетин	12,4	255, 370

Таблица 3

Содержание агликонов флавоноидов в гидролизатах листьев *Spiraea*
(% от абсолютно сухой массы)

Вид	Q	К	I	А II	Соотношение Q/К
Секция <i>Spiraria</i>					
<i>S. salicifolia</i> 1	0,45	0,03	0,0	0,0	15,1
<i>S. salicifolia</i> 2	0,91	0,08	0,09	0,0	11,0
<i>S. salicifolia</i> 3	0,69	0,10	0,04	0,0	6,8
<i>S. salicifolia</i> 4	1,07	0,24	0,2	0,0	4,4
<i>S. humilis</i> 1	0,17	0,18	0,0	0,0	0,96
<i>S. humilis</i> 2	0,45	0,32	0,0	0,0	1,4
Гибрид <i>S. humilis</i> × <i>S. sp.</i>	0,97	0,32	0,0	0,0	3,1
<i>S</i> × <i>billardii</i>	1,60	0,03	0,0	0,0	45,7
<i>S. douglasii</i> 1	1,67	0,08	0,0	0,0	21,0
<i>S. douglasii</i> 2	0,77	0,03	0,0	0,0	25,2
Секция <i>Calospira</i>					
<i>S. betulifolia</i> 1	0,73	0,24	0,07	0,0	3,1
<i>S. betulifolia</i> 2	1,02	0,73	0,06	0,0	1,4
<i>S. japonica</i> 1	0,78	0,14	0,0	0,0	5,6
<i>S. japonica</i> 'Macrophylla'	0,18	0,21	0,0	0,0	0,9
<i>S. japonica</i> 2	0,46	0,26	0,0	0,0	1,8
<i>S. albiflora</i>	0,77	0,13	0,02	0,0	5,8
Секция <i>Chamaedryon</i>					
<i>S. flexuosa</i> 1	0,41	0,17	0,05	0,0	2,5
<i>S. flexuosa</i> 2	0,07	0,21	0,03	0,0	0,4
<i>S. flexuosa</i> 3	0,25	0,33	0,03	0,0	0,8
<i>S. flexuosa</i> 4	0,08	0,29	0,2	0,0	0,3
<i>S. ussuriensis</i> 1	0,03	1,4	0,11	0,17	0,02
<i>S. ussuriensis</i> 2	0,08	0,02	0,0	0,05	3,3
<i>S. ussuriensis</i> 3	0,31	0,12	0,01	0,08	2,7
<i>S. ussuriensis</i> 4	0,12	0,89	0,0	0,0	0,14
<i>S. ussuriensis</i> 5	0,04	1,8	0,0	0,03	0,02
<i>S. ussuriensis</i> 6	0,74	0,05	0,11	0,10	13,5
<i>S. elegans</i>	0,24	1,55	0,0	0,51	0,15
<i>S. sericea</i> 1	0,25	0,05	0,0	0,0	4,72
<i>S. sericea</i> 2	1,45	0,25	0,26	0,0	5,81
<i>S. media</i> 1	0,13	0,09	0,25	0,0	14,1
<i>S. media</i> 2	1,18	0,08	0,14	0,0	14,8
<i>S. media</i> 3	1,12	0,02	0,0	0,0	47,4
<i>S. media</i> 4	0,67	0,06	0,0	0,0	11,00
<i>S. media</i> 5	0,26	0,02	0,0	0,0	12,6
<i>S.</i> × <i>vanhouttei</i>	0,88	0,0	0,0	0,04	-
<i>S. trilobata</i> 1	0,56	0,0	0,0	0,07	-
<i>S. trilobata</i> 2	2,35	0,0	0,0	0,02	-
<i>S.</i> × <i>schinabeckii</i>	0,60	0,04	0,0	0,0	16,8
<i>S. chamaedryfolia</i> 1	0,03	0,003	0,0	0,0	11,2
<i>S. chamaedryfolia</i> 2	0,18	0,0	0,0	0,0	-
<i>S. chamaedryfolia</i> 3	0,59	0,31	0,0	0,0	1,9
<i>S. chamaedryfolia</i> 4	0,65	0,05	0,0	0,0	12,2
<i>S. crenata</i> 1	0,35	0,14	0,08	0,0	2,6
<i>S. crenata</i> 2	0,13	0,06	0,03	0,0	2,2
<i>S. nipponica</i>	0,49	0,0	0,0	0,0	-
<i>S. hypericifolia</i>	1,29	0,0	0,0	0,0	-

Примечание: Q - кверцетин, К - кемпферол, I – изорамнетин, А II – агликон А II.

Таблица 4

Основные типы состава фенольных соединений образцов *Spiraea*

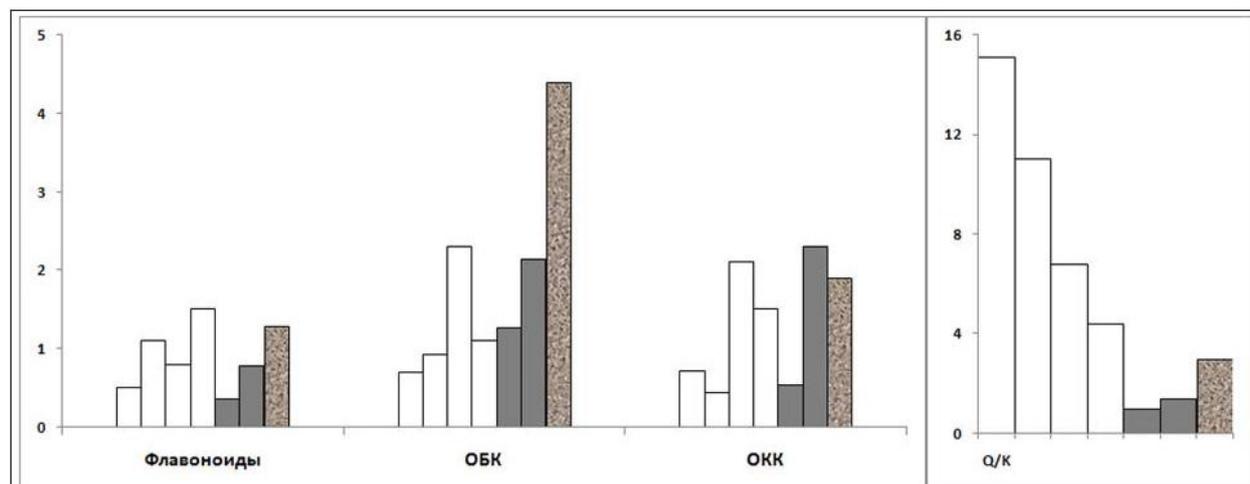
Основные компоненты состава фенольных соединений	Содержание агликонов флавоноидов			Виды
	К	I	A II	
Кверцетин	+	+	-	<i>S. salicifolia</i> , <i>S. betulifolia</i> , <i>S. albiflora</i> , <i>S. media</i> , <i>S. flexuosa</i> 1
			-	<i>S. ussuriensis</i> 2, 6
		-	<i>S. humilis</i> , <i>S. duglasii</i> , <i>S. billardii</i> , <i>S. japonica</i>	
	-	-	+	<i>S. trilobata</i>
			-	<i>S. hypericifolia</i>
Кемпферол	+	+	+	<i>S. ussuriensis</i> 1
			-	<i>S. flexuosa</i> 2, 3
	-	-	+	<i>S. ussuriensis</i> 5, <i>S. elegans</i>
			-	<i>S. ussuriensis</i> 4
Коричная кислота	+	+	+	<i>S. ussuriensis</i> 3
			-	<i>S. crenata</i> , <i>S. flexuosa</i> 4
	-	-	-	<i>S. chamaedryfolia</i>
			-	<i>S. nipponica</i>

образцы по содержанию оксибензойных кислот. Соотношение Q/K в образцах *S. salicifolia* выше по сравнению с образцами *S. humilis* (рис. 3).

Наличие изорамнетина в образцах *S. salicifolia* и отсутствие его в образцах *S. humilis* (табл. 3, 4) дает основание считать эти виды различными. Так как *S. humilis* содержит меньшее количество флавоноидных компонентов, он представляется исходным. Однако здесь, вероятнее всего, имеет место потеря агликона в процессе эволюции, то есть *S. humilis* является производным от *S. salicifolia*.

S. salicifolia – вид с обширным ареалом. Основная часть ареала – сибирско-дальневосточная (от р. Оби до Тихого океана и от северного полярного круга до Северной Монголии, Северо-Восточного Китая, севера п-ва Кореи, Японии). Вторая часть ареала находится в Средней Европе (юг Польши, Болгария) (Slavkina, 1972).

Spiraea humilis распространен преимущественно на Сахалине и в Хабаровском крае (Polyakova, 2004a). В.А. Недолужко рассматривает *S. humilis* как подвид *S. salicifolia* (*S. salicifolia* subsp. *humilis* (Pojark.) Nedoluzhko)



Условные обозначения: ОБК – оксибензойные кислоты, ОКК – оксикоричные кислоты, Q – кверцетин, К - кемпферол, □ - *S. salicifolia* 1, 2, 3, 4; ■ - *S. humilis* 1, 2; ▨ - *S. humilis* x *S.sp.*

Рис. 3. Содержание групп фенольных соединений в образцах *S. salicifolia* и *S. humilis*.

(Nedoluzhko, 1995). В результате углубленных исследований комплекса морфологических признаков природных популяций этих видов Т.А. Поляковой была доказана их самостоятельность (Polyakova, 2004b). Дальневосточный ареал *S. humilis* предполагает возможность видообразования под воздействием тихоокеанских видов.

Спорными видами считаются также *S. ussuriensis*, *S. flexuosa* и *S. elegans*. По морфологическим признакам *S. ussuriensis*, *S. elegans* и *S. flexuosa* являются близкими и не всегда отличимыми от *S. chamaedryfolia* (Polyakova, 2004b). Это послужило основанием для объединения всех четырех видов и рассмотрения *S. ussuriensis*, *S. elegans* и *S. flexuosa* в качестве подвидов *S. chamaedryfolia* (Krylov, 1933; Nedoluzhko, 1995). Другие авторы, например В.В. Якубов (Yakubov, 1996), *S. elegans* рассматривал как подвид *S. ussuriensis*, а *S. flexuosa* – как самостоятельный вид.

В системе А.И. Поярковой четыре самостоятельных вида (*S. chamaedryfolia*, *S. ussuriensis*, *S. flexuosa*, *S. elegans*) отнесены к первому и второму рядам секции *Chamaedryon* – *Chamaedryfoliae* Pojark. и *Elegantes* Pojark., то есть *S. elegans* выделен в отдельный ряд.

В системе Yü, Kuan (1963) *S. ussuriensis* не рассматривается. *Spiraea chamaedryfolia* и *S. flexuosa* также отнесены к ряду *Chamaedryfoliae* A. Pojark., а *S. elegans* – к ряду *Trilobatae* Pojark.

Анализ комплекса морфологических признаков образцов *S. chamaedryfolia*, *S. ussuriensis* и *S. flexuosa* из 18 популяций, проведенный Т.А. Поляковой (Polyakova, 2004b), не показал четкого деления на видовые группы, также не было выделено признаков отличия *S. ussuriensis* и *S. elegans*.

В исследованных нами образцах *S. chamaedryfolia* в качестве основного компонента содержалась коричная кислота, обнаружены кверцетин в значительных количествах и кемпферол в незначительных или следовых количествах (табл. 3).

В образцах *S. ussuriensis*, *S. elegans* и *S. flexuosa* можно выделить три четко различающихся типа состава фенольных соединений в зависимости от доминирующего компонента (табл. 4):

1) с преобладанием кверцетина в составе фенольных соединений – *S. ussuriensis* 2 и 6, *S. flexuosa* 1;

2) с преобладанием кемпферола – *S. ussuriensis* 1, 4, 5, *S. elegans*, *S. flexuosa* 2, 3;

3) с преобладанием коричной кислоты – *S. chamaedryfolia*, *S. ussuriensis* 3, *S. flexuosa* 4.

Только два образца (*S. ussuriensis* 3 и *S. flexuosa* 4) имеют общий признак со *S. chamaedryfolia* – в качестве основного компонента фенольных соединений содержат коричную кислоту. При этом образцы существенно отличаются по составу агликонов флавоноидов: образец *S. ussuriensis*, в отличие от всех образцов *S. chamaedryfolia*, содержит агликон А II, а образец *S. flexuosa* содержит изорамнетин. Таким образом, степень сходства *S. chamaedryfolia* с образцами *S. ussuriensis*, *S. flexuosa* и *S. elegans* не выше, чем с морфологически отличными от *S. chamaedryfolia* образцами *S. crenata* и *S. nipponica*.

Образец *S. ussuriensis* 3 имеет признаки и *S. chamaedryfolia* (высокое содержание коричной кислоты), и *S. ussuriensis* (наличие агликона А II и изорамнетина). Это может свидетельствовать о гибридном происхождении образца *S. chamaedryfolia* × *S. ussuriensis*.

В образце *S. flexuosa* 4 доминирование коричной кислоты сочетается с незначительным содержанием кверцетина по сравнению с кемпферолом, что также заставляет предположить гибридное происхождение.

Образец *S. elegans* не несет дополнительных признаков по сравнению с подобными образцами *S. ussuriensis* (1, 4, 5), что дает основание считать его подвидом *S. ussuriensis*.

Полученные данные не согласуются с точкой зрения В.А. Неждолужко на *S. ussuriensis*, *S. flexuosa* и *S. elegans* как подвиды *S. chamaedryfolia*, но не противоречат системе А.И. Поярковой, в которой *S. ussuriensis*, *S. elegans* и *S. flexuosa* считаются самостоятельными видами, и системе В.В. Якубова, рассматривающего *S. elegans* подвидом *S. ussuriensis*.

Спорным видом является также *S. sericea*. В системе А.И. Поярковой (1939) самостоятельные виды *S. media* и *S. sericea* образуют цикл *Mediae* Pojark. Основным признаком *S. sericea* является ярко выраженное опушение листьев, не свойственное *S. media*, сохраняющееся в условиях культуры (Poyarkova, 1939). Некоторые исследователи рассматривают *S. sericea* как разновидность *S. media* var. *sericea* (Turz.) Regel (Yakubov, 1996) или в качестве синонима *S. media* (Vstovskaya, Koropachinsky, 2005).

Состав фенольных соединений образцов представителей цикла *Mediae* варьирует слабо. Для него характерны высокое содержание кверцетина (около 1%), незначительное содержание кемпферола (около 0,1%) и коричной кислоты (около 0,01%). Изорамнетин обнаружен в одном

образце *S. sericea* и в двух образцах *S. media*. Отсутствие отличий *S. sericea* от *S. media* по основным компонентам дает основание для рассмотрения *S. sericea* в качестве разновидности *S. media*.

Хемотаксономия видов подрода *Metaspiraea*. Вопросы эволюции рода *Spiraea* до настоящего времени являются дискуссионными. Род берет начало от палеогеновой субтропической флоры, занимавшей в третичный период всю Арктику. В результате охлаждения в неогеновое время эта флора мигрировала в южном направлении по берегам Атлантического и Тихого океанов в Евразию и Северную Америку. Согласно современным исследованиям, ареалы наиболее древних видов рода *Spiraea* находятся на западе Северной Америки (Potter, 2007; Slavkina, 1972).

Наиболее древней в роде *Spiraea* является секция *Spiraria*. Она образовалась на путях отступления арктотретичных видов в северные области Европы и Америки. Ископаемые виды представителей этой секции не обнаружены. В Европе секция представлена криофильным видом таежной провинции – *S. salicifolia*, остальные виды обитают в Северной Америке. Виды секции *Spiraria* относятся к мезофитам.

Виды секции *Calospira* образовались при движении арктотретичной флоры через горы Китая и Северной Америки, они относятся к мезоксерофитам.

Секция *Chamaedryon* имеет более позднее происхождение. Ареал ее охватывает юг Европы, Западную, Восточную и Центральную Азию. В Северной Америке виды секции отсутствуют, что подтверждает предположение о более позднем их происхождении. Ксерофитные виды секции *Chamaedryon* (*S. hypericifolia*, *S. trilobata*, *S. crenata*) считаются наиболее эволюционно продвинутыми. Ископаемые остатки этих видов известны только из четвертичного периода (Slavkina, 2007).

На территории Евразии виды рода *Spiraea* характеризуются ареалами, разорванными на территории европейской части (*S. salicifolia*, *S. media*, *S. chamaedryfolia*) и сплошными (*S. crenata*, *S. hypericifolia*). На территории Азии выделяют восточноазиатские ареалы (*S. betulifolia*, *S. ussuriensis*, *S. elegans*, *S. flexuosa*) и центрально-азиатские (*S. trilobata*) (Рояркова, 1939; Svyazeva, 1969). Таким образом, ареалы видов определяют вектор эволюции рода в направлении с севера на юг Евразии.

Важным шагом на пути создания естественной классификации рода *Spiraea* являются исследования нуклеотидных последовательностей ядерных и хлоропластных генов. В результате филогенетического анализа трибы *Spiraeae* по признакам ITS и *trnL-trnF* последовательностей было показано четкое обособление видов подрода *Metaspiraea* (в том числе *S. hypericifolia*, *S. trilobata*, *S. crenata*, *S. nipponica*) от остальных видов, но при этом обособившаяся группа содержала несколько видов, относимых систематиками к секции *Calospira*.

Д. Поттер обратил внимание на отсутствие прямой связи между признаками первичных метаболитов (нуклеотидных последовательностей) и типом соцветия. Было отмечено, что простой зонтик и метелка характерны только для отдельных, четко обособившихся групп, тогда как сложный щиток, типичный для секции *Calospira*, обнаружен и в нескольких других группах внутри рода. Авторы предположили, что тип соцветия не может быть индикатором филогенетических связей (Potter et al., 2007).

В анализе эволюционных событий и реконструкции филогенеза исследованных видов мы в первую очередь опирались на сравнение состава фенольных соединений видов, признанных наиболее древними, и относительно более молодых. При исследовании эволюции фенольных соединений рода *Spiraea* исходным следует считать состав фенольных соединений видов подрода *Protospiraea*, объединяющий фенолкарбоновые кислоты и флавоноиды (до 30% суммы фенольных соединений), в которых от 50% до 90% составляет кверцетин. Остальная часть флавоноидов представлена кемпферолом, у некоторых видов – кемпферолом и изорамнетином. Такой состав обнаружен у всех представителей секций *Spiraria* и *Calospira*.

У представителей подрода *Metaspiraea* такой состав найден у видов цикла *Mediae* (*S. media* и *S. sericea*), в образцах *S. ussuriensis* 2, 6 и *S. flexuosa* 1. Его можно считать исходным для видов подрода *Metaspiraea*. Далее прослеживаются четыре основных эволюционных линии: 1) увеличение содержания кемпферола при уменьшении содержания кверцетина (*S. ussuriensis*, *S. elegans*); 2) уменьшение и практически полная редукция кемпферола (*S. hypericifolia*, *S. trilobata*); 3) появление в составе флавоноидов агликона А II при высоком (*S. elegans*) и крайне низком содержании кемпферола (*S. trilobata*); 4) уменьшение содержания флавоноидов (3–15% от суммы

фенольных соединений) при возрастании содержания коричной кислоты (*S. chamaedryfolia*, *S. crenata*, *S. nipponica*).

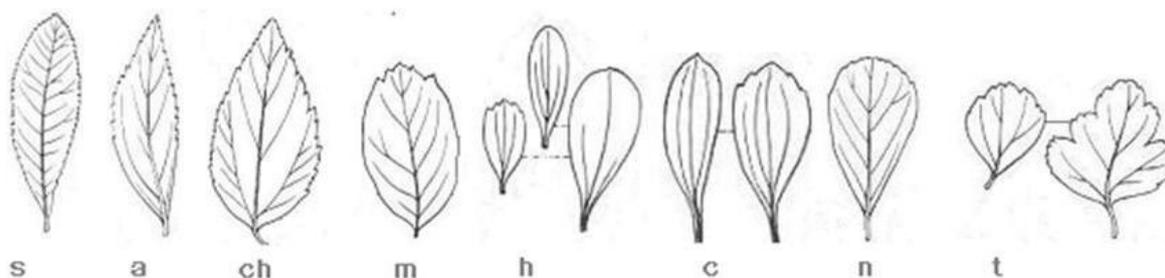
Изорамнетин обнаружен в гидролизатах представителей всех субтаксонов рода *Spiraea*, в том числе у некоторых представителей подрода *Protospiraea* (*S. salicifolia*, *S. betulifolia*, *S. albiflora*). Среди представителей подрода *Metaspiraea* изорамнетин обнаружен у четырех видов: *S. media*, *S. ussuriensis*, *S. flexuosa* и *S. crenata*. Следовательно, можно предположить, что признак «наличие-отсутствие изорамнетина», подобно морфологическим признакам соцветия, является лабильным, и в течение филогенеза несколько раз происходила реверсия этого признака, то есть «потеря» этого агликона. Подобное сокращение агликонового состава в процессе филогенеза показано для агликонов антрахинонов Г.И. Высочиной (Vysochina, 2004).

Полученные нами данные в целом соответствуют системе А.И. Поярковой без выделения в отдельную секцию *S. hypericifolia*, так как отличия этого вида от остальных представителей подрода *Metaspiraea* не более значительны, чем у всех остальных видов между собой. Более всего этот вид сходен с *S. trilobata* и *S. nipponica*, так как в составе гидролизатов всех этих трех видов не обнаруживается кемпферол,

однако с *S. trilobata* сходство выше. В отличие от *S. hypericifolia* и *S. trilobata*, *S. nipponica* имеет очень высокое содержание коричной кислоты. Однако *S. trilobata*, в отличие от *S. hypericifolia*, содержит агликон А II.

Характер сходства и различия видов по составу фенольных соединений в целом соответствует морфологическому сходству и различию. Наиболее значительно отличающимися от остальных исследованных видов в отношении фенольного метаболизма являются *S. hypericifolia*, *S. crenata*, *S. nipponica* и *S. trilobata*. Именно эти виды существенно отличаются от остальных исследованных видов и по форме листьев. Максимальное отличие у *S. trilobata* – листья почти округлые, трех- или слабо пятилопастные. У *S. hypericifolia*, *S. crenata* и *S. nipponica* листья от эллиптических до ланцетных. Листья всех этих видов цельнокрайные или только в верхней части зубчатые. У видов из подрода *Protospiraea*, *S. chamaedryfolia* и представителей рядов *Chamaedryfoliae* и *Elegantes* – от основания, середины или выше зубчатые. Для *S. media* и *S. sericea* характерны листья цельнокрайные с немногочисленными зубцами на вершине.

Spiraea crenata, *S. nipponica* и *S. trilobata* отличаются не только краем листовой пластинки,



Условные обозначения: s – *S. salicifolia*, a – *S. albiflora*, ch – *S. chamaedryfolia*, m – *S. media*, h – *S. hypericifolia*, c – *S. crenata*, n – *S. nipponica*, t – *S. trilobata*.

Рис. 4. Схематическое изображение типичных листьев видов *Spiraea* (Huber, 1975).

но и характером жилкования. Все они имеют несколько хорошо заметных боковых жилок. Листьях *S. hypericifolia* удлиненные, и боковые жилки видны не всегда, иногда отмечается наличие только 3 главных жилок (рис. 4).

Таким образом, в целом проявляется тенденция: чем значительнее отклонение формы листовой пластинки от исходного типа (*S. salicifolia*), тем существеннее различия в составе фенольных соединений. Однако этого нельзя сказать о *S.*

chamaedryfolia, по форме листьев более близком ряду видов из подрода *Protospiraea*, а по составу фенольных соединений сходным со *S. crenata* и *S. nipponica*.

Возникает вопрос, как объяснить филогенетическую связь, выражающуюся в сходстве *S. chamaedryfolia* с видами *S. crenata* и *S. nipponica* по составу фенольных соединений? Факт морфологической близости *S. chamaedryfolia*, *S. ussuriensis*, *S. flexuosa* и *S. elegans* свидетель-

ствует о наличии несомненной генетической связи между ними.

В соответствии с расположением ареалов, *S. chamaedryfolia* является первым видом, имеющим высокое содержание коричной кислоты в составе фенольных соединений. Далее этот признак развивается у ксерофитного вида *S. crenata*, считающегося наиболее продвинутым.

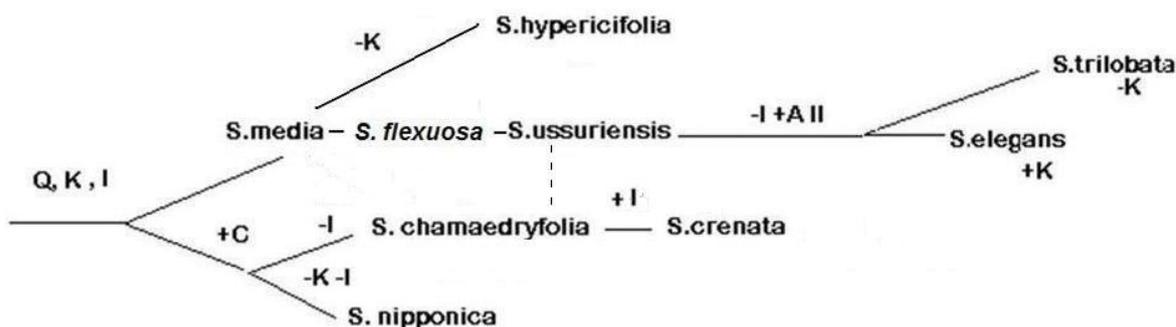
Наличие доминирования кемпферола над кверцетином в отсутствии коричной кислоты, выявленное только у *S. elegans* и *S. ussuriensis*, свидетельствует об отдельном видообразовании без участия *S. chamaedryfolia*, а наличие обоих признаков (коричной кислоты и преобладания кемпферола) в некоторых популяциях *S. ussuriensis* и *S. flexuosa* – о возможной гибридизации.

Гибридогенное происхождение таксонов с образованием нотовидов, по-видимому, не является редким явлением в роде *Spiraea*. Н.Н. Цвелёв (Tzvelev, 2008) предположил наличие такого

типа видообразования для некоторых дальневосточных таксонов из секции *Calospira*.

Очень высокое сходство видов *S. crenata* и *S. nipponica* также непросто объяснить, так как ареалы этих видов значительно удалены друг от друга. На востоке Азии ареал *S. crenata* ограничен Западной Сибирью и уходит в Среднюю Азию вплоть до Ирана. *Spiraea nipponica* произрастает только на островах Кореи и Японии. Единственным предположением может быть только появление признака «высокое содержание коричной кислоты» у ранних предковых форм, произрастающих на широкой территории Евразии вплоть до Тихого океана. Далее в процессах оледенения и изменения климата произошла глубокая изоляция популяций друг от друга с образованием самостоятельных видов.

Таким образом, в соответствии с полученными данными о составе фенольных соединений, можно предположить что исходным, наиболее



Условные обозначения: Q – кверцетин, K – кемпферол, I – изорамнетин, C – коричная кислота, АII – агликон II.

Рис. 5. Схема филогенетических связей исследованных видов *Spiraea* подрода *Metaspiraea*.

примитивным видом подрода *Metaspiraea* следует считать *S. media* как наиболее близкий к видам подрода *Protospiraea* (рис. 5). *Spiraea hypericifolia* близок к *S. media* (отличается только отсутствием кемпферола у *S. hypericifolia*).

Наиболее эволюционно продвинутыми следует признать *S. ussuriensis*, *S. elegans* и *S. trilobata*. Они содержат агликон А II, не обнаруженный ни в одном из других исследованных видов. Т.Т. Yü, К.С. Kuan (1963) отнесли *S. elegans* и *S. trilobata* к ряду *Trilobatae*. Однако *S. elegans* и *S. trilobata* имеют значительное отличие в содержании кемпферола: флавоноиды *S. elegans* представлены главным образом кемпферолом, а флавоноиды *S. trilobata* – кверцетином. Поэтому объединение этих видов не представляется целесообразным.

Нельзя отрицать и высокий эволюционный статус вида *S. crenata* с характерным составом фенольных соединений, отличным от большинства видов рода.

Приведенная схема филогенетических связей в целом совпадает со схемой Поттера с соавт. (Potter et al., 2007), построенной на основе близости состава нуклеотидных последовательностей. *Spiraea trilobata* и *S. crenata* также наиболее филогенетически удалены от *S. salicifolia* и представителей подрода *Protospiraea*, а *S. hypericifolia* наиболее близок к ним. *Spiraea nipponica* по составу нуклеотидных последовательностей проявил родство со *S. hypericifolia*, а по составу фенольных соединений – со *S. crenata* (по составу фенолкарбоновых кислот) и *S. hypericifolia* (по составу флавоноидов).

Следует отметить, что ранее корейскими учеными (Kim, Lee, 1993) была отмечена отдельная группировка, представляющая собой независимую линию развития – *S. chamaedryfolia* var. *ulmifolia* Maxim. с видом *S. trichocarpa* Nakai, очень близким к *S. nipponica*. По морфологическим признакам и составу флавоноидов было исследовано 15 таксонов *Spiraea* из разных секций, в том числе *S. salicifolia* и *S. media*. А.И. Полякова считала *S. chamaedryfolia* L. var. *ulmifolia* синонимом *S. chamaedryfolia*, а *S. trichocarpa* по ряду признаков близка *S. nipponica* и некоторыми исследователями рассматривается как один вид (Slavkina, 1972).

Таким образом, анализ состава фенольных соединений позволил выявить наличие определенных групп видов внутри подрода *Metaspiraea*.

Выводы

Представители подрода *Protospiraea* характеризуются относительно однородным составом фенольных соединений, объединяющим фенолкарбоновые кислоты и флавоноиды, в которых от 50% до 90% составляет кверцетин. Остальная часть флавоноидов представлена кемпферолом, у некоторых видов – кемпферолом и изорамнетинном.

Исходными, наиболее примитивными видами подрода *Metaspiraea* следует считать *S. media* и *S. flexuosa* как наиболее близкие по составу фенольных соединений к видам подрода *Protospiraea*. Наиболее эволюционно продвинутыми следует признать *S. ussuriensis*, *S. elegans*, *S. trilobata*, *S. crenata*, содержащие агликон АП или коричную кислоту. Соотношение кверцетина, кемпферола и коричной кислоты рассматривается в качестве основного маркерного призна-

ка естественных групп внутри подрода *Metaspiraea*.

В образцах *S. chamaedryfolia*, *S. ussuriensis*, *S. flexuosa* и *S. elegans* выявлено четыре типа состава фенольных соединений с доминированием кверцетина (*S. ussuriensis*), кемпферола (*S. ussuriensis* и *S. elegans*), коричной кислоты (*S. chamaedryfolia*) и без явного доминирования (*S. flexuosa*). Это дает основания считать все четыре таксона самостоятельными видами.

S. chamaedryfolia по составу фенольных соединений имеет сходство с морфологически отличными от него *S. crenata* и *S. nipponica*. Максимальное содержание коричной кислоты у *S. nipponica* и отсутствие ее у представителей секции *Calospira* подтверждает статус данного вида как представителя секции *Chamaedryon*.

Значимые отличия в составе фенольных соединений от *S. salicifolia* позволяют считать *S. humilis* самостоятельным видом.

Отсутствие отличий *S. sericea* от *S. media* по основным компонентам дает основание для рассмотрения *S. sericea* в качестве разновидности *S. media*.

Признаков секции *Glomerati*, отделяющих вид *S. hypericifolia* от остальных исследованных видов подрода *Metaspiraea*, не обнаружено.

Благодарности. Выражаем глубокую признательность старшему научному сотруднику института общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, к. б. н. Т.А. Поляковой, младшему научному сотруднику лаборатории дендрологии ЦСБС СО РАН, к. б. н. Т.И. Киселевой за предоставленные для исследования образцы растений и главному научному сотруднику лаборатории дендрологии ЦСБС СО РАН, д. б. н. Т.Н. Встовской за консультации в идентификации видов *Spiraea*.

ЛИТЕРАТУРА

- Ahn B.T., Oh K.J., Park S.K., Chung S.G., Cho E.H., Kim J.G., Ro J.S., Lee K.S. Phenolic compounds from leaves of *Spiraea salicifolia* // Saengyak Hakhoechi, 1996. – Vol. 27, № 3. – P. 178–183.
- Businský R., Businská L. The genus *Spiraea* in cultivation in Bohemia, Moravia and Slovakia // Acta Průhoniciana, 2002. – Vol. 72. – P. 1–165.
- Ovczinnikova S.V. Rosaceae // Conspectus florae Rossiae Asiaticae: plantae vasculares / K.S. Baikov (ed.). – Novosibirsk: Nauka, 2005. – P. 199–206, 218–226 [in Russian]. (Овчинникова С.В. Rosaceae // Конспект флоры Азиатской России: сосудистые растения / Под ред. К.С. Байкова. – Новосибирск: Наука, 2005. – С. 199–206, 218–226).
- Huber H. *Spiraea* L. // Hegi G. Illustrierte Flora von Mitteleuropa. Dicotyledones. – Bd. 4. – T. 2A. – Berlin, Hamburg, 1975. – S. 249–262.
- Karpova E.A., Polyakova T.A. Content of phenolic compounds and potential of biological activity of Siberian and Russian Far Eastern species of the genus *Spiraea* L. (Rosaceae Juss.) // Rastitel'nyj Mir Aziatskoj Rossii [Plant World of Asian Russia], 2009. – № 2 (4). – P. 79–88 [in Russian]. (Карпова Е.А. Поля-

кова Т.А. Содержание фенольных соединений и потенциал биологической активности сибирских и дальневосточных видов рода *Spiraea* (Rosaceae Juss.) // Растительный мир Азиатской России, 2009. – № 2 (4). – С. 79–88.

Kim T.W., Lee Y.M. Taxonomic studies on the genus *Spiraea* in Korea based on flavonoid characteristics // Seoul National University. Bulletin of Kwanak Arboretum. – 1993. – № 13. – P. 17–36.

Krylov P.N. Flora Zapadnoj Sibiri [Flora of West Siberia]. – Vol. 7. – Tomsk, 1933. – P. 1449–1818 [in Russian]. (Крылов П.Н. Флора Западной Сибири. – Вып. 7. – Томск, 1933. – С. 1449–1818).

Nakai T. Flora Sylvatica Koreana (Trib. *Spiraeae* Maxim.). – Vol. 4. – Seoul, 1916. – P. 11–24.

Nedoluzhko V.A. Conspect dendroflori rossijskogo Dalnego Vostoka [Conspect of the dendroflora of the Russian Far East]. – Vladivostok: Dalnauka, 1995. – 207 p. [in Russian]. (**Недолужко В.А.** Конспект дендрофлоры российского Дальнего Востока. – Владивосток: Дальнаука, 1995. – 207 с).

Peshkova G.A. Rosaceae // Flora Central'noj Sibiri [Flora of Central Siberia]. – Vol. 2. / Ed. by L.I. Malyshev, G.A. Peshkova. – Novosibirsk, 1979. – P. 541–585 [in Russian]. (**Пешкова Г.А.** Семейство Rosaceae // Флора Центральной Сибири. – Т. 2. / Под ред. Л.И. Малышева, Г.А. Пешковой. – Новосибирск, 1979. – С. 541–585).

Pojarkova A.I. *Spiraea* L. // Flora SSSR [Flora of the USSR] / Ed by V.L. Komarov. – Vol. 9. – Moscow & Leningrad, 1939. – P. 283–305 [in Russian]. (**Пояркова А.И.** Род Таволга – *Spiraea* L. // Флора СССР / Под ред. В.Л. Комарова. – Т. 9. – М.-Л., 1939. – С. 283–305).

Polozhij A.V. Rosaceae // Flora of Siberia. – Vol. 8. Ed by A.V. Polozhij, L.I. Malyshev. – Novosibirsk, 1988. – P. 10–20 [in Russian]. (**Положий А.В.** Семейство Rosaceae // Флора Сибири. – Т. 8. Под ред. А.В. Положий, Л.И. Малышева. – Новосибирск, 1988. – С. 10–20).

Polyakova T.A. O nakhodkakh dvukh redkikh vidov *Spiraea* (Rosaceae) na Dal'nem Vostoke Rossii [About discovery of two rare species of *Spiraea* (Rosaceae) in Russian Far East] // Bot. Zhurn., 2004a. – Vol. 89, № 8. – P. 1370–1372 [in Russian]. (**Полякова Т.А.** О находках двух редких видов *Spiraea* (Rosaceae) на Дальнем Востоке России // Бот. журн., 2004а. – Т. 89, № 8. – С. 1370–1372).

Polyakova T.A. Vnutrividovaya izmenchivost' dal'nevostochnykh i sibirskikh vidov roda *Spiraea* L. [Intraspecific diversity of Far Eastern and Siberian species of genus *Spiraea* L.]: Avtoref. dis. ... cand. biol. science. – Novosibirsk, 2004b [in Russian] (**Полякова Т.А.** Внутривидовая изменчивость дальневосточных и сибирских видов рода *Spiraea* L.: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 2004б).

Popov M.G. Flora of Middle Siberia. – Vol. 1. – Moscow & Leningrad, 1957. – 554 p. [in Russian]. (**Понов М.Г.** Флора Средней Сибири. – Т. 1. – М.-Л., 1957. – 554 с).

Potter D., Still S.M., Grebenc T., Ballian D., Božič G., Franjic J., Kraigher H. Phylogenetic relationships in Tribe *Spiraeae* (Rosaceae) inferred from nucleotide sequence data // Plant Systematics and Evolution, 2007. – Vol. 266. – P. 105–118.

Rastitelnye resursy SSSR: tsvetkovye rasteniya, ikh khimicheskij sostav, ispol'zovaniye. Semejstva Hydraginaceae – Haloragaceae. [Plant resources of the USSR: Flowering plants, its chemical contents, utilization. Families Hydraginaceae – Haloragaceae]. – Leningrad, 1987. – 328 p. [in Russian]. (Растительные ресурсы СССР: Цветковые растения, их химический состав, использование. Семейства Hydraginaceae – Haloragaceae. – Л., 1987. – 328 с.).

Shulgina V.V. *Spiraea* L. // Derevyia i kustarniki SSSR [Trees and shrubs of USSR] / Ed. by S.Ya. Sokolov. – Vol. 3. – Moscow & Leningrad, 1954. – P. 286–332 [in Russian]. (**Шульгина В.В.** Род Таволга – *Spiraea* L. // Деревья и кустарники СССР / Под ред. С.Я. Соколова. – Т. 3. – М.-Л., 1954. – С. 286–332).

Slavkina T.I. Vidy roda *Spiraea*, introduzcirovannye Botanicheskim sadom AN UzSSR [Species of the genus *Spiraea* introduced in the Botanical Garden of UzSSR] // Dendrologiya Usbekistana [Dendrology of Uzbekistan]. – Tashkent, 1972. – P. 196–304 [in Russian]. (**Славкина Т.И.** Виды рода *Spiraea*, интродуцированные Ботаническим садом АН УзССР // Дендрология Узбекистана. Розоцветные. – Ташкент, 1972. – С. 196–304).

Storozhenko N.D. Polyfenol'nye soedineniya tavolgi zveroboelistnoj [Polyphenolic compounds of the *Spiraea hypericifolia* L.]: Avtoref. dis. ... cand. chem. science. – Irkutsk, 1977 [in Russian]. (**Стороженко Н.Д.** Полифенольные соединения таволги зверобоелистной (*S. hypericifolia* L. Автореф. дисс. ... канд. хим. наук. – Иркутск, 1977).

Svyazeva O.A. Estestvennye arealy nekotorykh vidov *Spiraea* L. [Natural areas of some species of genus *Spiraea* L.] // Bulletin' GBS [Bulletin of MBG RAS], 1969. – Vol. 72. – P. 3–7 [in Russian]. (**Связева О.А.** Естественные и культурные ареалы некоторых видов *Spiraea* L. // Бюллетень ГБС, 1969. – Вып. 72. – С. 3–7).

Tzvelev N.N. O vidah spirei (*Spiraea* L., Rosaceae) sekczii *Calospira* C. Koch na Dal'nem Vostoke Rossii [About species of *Spiraea* of the section *Calospira* C. Koch in Russian Far East] // Novosti Sist. Vyssh. Rast. [Novit. Syst. Pl. Vasc.], 2008. – Vol. 40. – P. 76–83 [in Russian]. (**Цвелёв Н.Н.** О видах спиреи (*Spiraea* L., Rosaceae) секции *Calospira* C. Koch на Дальнем Востоке России // Новости сист. высш. раст., 2008. – Т. 40. – С. 76–83).

Vstovskaya T. N., Koropachinsky I. Yu. Woody plants of the Central Siberian Botanical Garden. – Novosibirsk: SB RAS Publishing House, «Geo» affiliation, 2005. – 235 p. [in Russian]. (**Встовская Т.Н., Коропачинский И.Ю.** Древесные растения Центрального сибирского ботанического сада. – Новосибирск: «Гео», 2005. – 235 с).

Vysochina G.I. Fenol'nye soedineniya v systematike i phylogeniyei semejstva grechishnykh (Polygonaceae Juss.) [Phenolic compounds in systematics and phylogeny of the family Polygonaceae Juss.]: Avtoref. dis. ... doct. biol. science. – Novosibirsk, 2002 [in Russian]. (**Высочина Г.И.** Фенольные соединения в систематике и филогении семейства гречишных (Polygonaceae Juss.): Автореф. дис. ... докт. биол. наук. – Новосибирск, 2002).

Vysochina G.I. Fenol'nye soedineniya v systematike i phylogeniyei semejstva grechishnykh. [Phenolic compounds in systematics and phylogeny of the family Polygonaceae Juss.]. – Novosibirsk, 2004. – 240 p. [in Russian]. (**Высочина Г.И.** Фенольные соединения в систематике и филогении семейства гречишных. – Новосибирск, 2004. – 240 с).

Yakubov V.V. *Spiraea* L. // Sosudistye rasteniya sovetskogo Dal'nego Vostoka [Vascular plants of Soviet Far East] / Ed. by S.S. Harkevitch. – Leningrad: Nauka, 1996. – Vol. 8. – P. 127–134 [in Russian]. (**Якубов В.В.** Род Таволга – *Spiraea* L. // Сосудистые растения Советского Дальнего Востока / Под ред. С.С. Харкевича. – Л.: Наука, 1996. – Т. 8. – С. 127–134).

Yü T.T., Kuan K.C. Taxa nova Rosacearum Sinicarum // Acta Phytotax. Sinica, 1963. – Vol. 8, № 3. – P. 202–234.