

**СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ
PENTAPHYLLOIDES PARVIFOLIA (ROSACEAE) В СВЯЗИ С УСЛОВИЯМИ
ПРОИЗРАСТАНИЯ В ЦЕНТРАЛЬНОМ АЛТАЕ**

Е.П. Храмова¹, С.Я. Сыева²

¹Центральный сибирский ботанический сад СО РАН,
630090, Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101, e-mail: khramova@ngs.ru

²Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
Горно-Алтайский научно-исследовательский институт сельского хозяйства,
649100, Республика Алтай, с. Майма, ул. Катунская, 2, e-mail: serafima-altai@mail.ru

Исследованы состав и содержание фенольных соединений надземных органов *Pentaphylloides parvifolia* в связи с условиями произрастания в Горном Алтае. Установлено, что вне зависимости от органа растения и местообитания качественный состав фенольного комплекса *P. parvifolia* сходен. Наибольшее суммарное содержание фенольных соединений свойственно растениям *P. parvifolia* с наименьшей длиной побега, небольшой биомассой и высотой, обитающим на скалистых склонах, подверженных антропогенной нагрузке и с повышением абсолютной высоты произрастания над уровнем моря. Отмечена высокая доля эллагических веществ в суммарном содержании фенольных соединений в надземных органах *P. parvifolia*.

Ключевые слова: *Rosaceae*, *Pentaphylloides parvifolia*, фенольные соединения, Центральный Алтай.

**COMPOSITION AND CONTENT OF PHENOLIC COMPOUNDS
PENTAPHYLLOIDES PARVIFOLIA (ROSACEAE) GROWING
IN THE CENTRAL ALTAI**

E.P. Khramova¹, S.Ya. Syeva²

¹Central Siberian Botanical Garden, SB RAS,
630090, Novosibirsk, Zolotodolinskaya str., 101, e-mail: khramova@ngs.ru

²Federal State Budget Scientific Institution Gorno-Altai Research Institute of Agriculture,
649100, Altai Republic, Maima, Katunskaya str., 2, e-mail: serafima-altai@mail.ru

Composition and content of phenolic compounds aboveground organs *Pentaphylloides parvifolia* growing in the Altai Mountains were studied. It has been established qualitative composition of a complex phenolic *P. parvifolia* is similar regardless of the plants and habitats. The highest total content of phenolic compounds tend to the plants *P. parvifolia* with the shortest flight, height and biomass of small plants growing on rocky slopes exposed to anthropogenic load and increasing absolute altitude. There are high values ellagic tannin substances in the total content of phenolic compounds in the above-ground organs *P. parvifolia*.

Key words: *Rosaceae*, *Pentaphylloides parvifolia*, phenolic compounds, Central Altai.

ВВЕДЕНИЕ

Pentaphylloides parvifolia (Fischer ex Lehm.) Soják. (= *Dasiphora parvifolia* (Fischer ex Lehm.) Juz., *Potentilla fruticosa* var. *parvifolia* (Fischer) Th. Wolf) – пятилистник мелколистный, невысокий, распростертый или нередко прямостоячий растопыренно-ветвистый кустарник, 15–80 см высотой. Вид сходен с *P. fruticosa*, но характеризуется большей ксерофитностью: более мелкими и сильно опушенными листочками. *P. parvifolia* встречается на речных галечниках, в степях, на скалах, каменистых склонах, в арчевниках. Растет единично или группами на каменисто-щебнистых почвах, иногда

образует обширные заросли. Он является довольно полиморфным видом. Ареал включает Алтай, Южное Забайкалье и Туву (Флора СССР, 1941; Флора Сибири, 1988).

В литературе имеются данные о наличии в листьях пятилистника кверцетина и кемпферола (Чайка, Минаева, 1973). В побегах *P. parvifolia* обнаружены оксикоричные кислоты (коричная, кофейная, цикориевая), гесперидин, дигидрокумарин, апигенин, гиперозид, рутин, витексин, дигидрокверцетин (Николаева, 2007). В надземных органах *P. parvifolia* установлены гиперозид,

изокверцитрин, рутин, авикулярин, астрагалин, эллаговая кислота и ее гликозид (Храмова, 2013). Однако сведений по накоплению фенольных соединений *P. parvifolia* в связи с условиями произрастания нами не обнаружено.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Растения *P. parvifolia* собраны из пяти ценопуляций (ЦП) в Центральном Алтае (Республика Алтай, Онгудайский район) в каменистой кустарниковой степи по долинам рек Чуя и Катунь и на скалистых крутых склонах с выходами коренных пород. Территория относится к среднегорному лесостепному поясу. В среднегорных расширенных участках речных долин (Катуни и Чуи) сформированы своеобразные горно-степные и сухостепные каштановидные маломощные почвы, образующие изолированные друг от друга участки на различных высотных уровнях от 750 до 1300 м над ур. м. Каштановые почвы на террасах р. Катунь в районе с. Малый Яломан и в устье Чуи имеют незначительные запасы гумуса и характеризуются неоднородностью минерального состава (Почвы..., 1973). Распространение сухостепных почв ограничено нижней и средней частями южных склонов, где создаются засушливые условия за счет высокого физического испарения влаги из почв. Выходящие на поверхность коренные породы, преимущест-

венно хлоритовые сланцы, подвергаясь интенсивной физической дезинтеграции при выветривании, служат постоянным источником для формирования рыхлых денудационных отложений – маломощных сильнокаменистых (элювио-делювиальных) суглинков (Почвы..., 1973). Описание мест отбора образцов приведено в табл. 1.

Образцы растений *P. parvifolia* из ценопуляций 1–4 отобраны 9 июля 2011 г. в период массового цветения кустарников, образцы из ЦП 5 – в период массового цветения кустарников (2 августа 2009 г.).

Для определения содержания фенольных соединений (суммарного содержания по группам и отдельным компонентам) в каждой из ценопуляций с 30–50 растений равномерно по всей кроне отбирали по 5–10 годичных побегов, которые разделяли на листья, цветки, стебли, и для каждого органа формировали среднюю пробу. Точную навеску свежеобранного растительного материала (0.5 г) заливали 96%-м этанолом, настаивали 20–

20

Таблица 1

Места сбора *Pentaphylloides parvifolia* в Онгудайском районе Центрального Алтая

№ ЦП	Место расположения	Доминанты
1	Устье р. Чуя, вторая надпойменная терраса, каменистая кустарниково-разнотравная степь, заросли, почва горная сухостепная каштановидная, высота – 850 м над ур. м.	<i>Pentaphylloides parvifolia</i> , <i>Diplachne squarosa</i> (Trin.) Keng, <i>Koeleria gracilis</i> (L.) Pers., <i>Festuca sulcata</i> (Hack.) Nym., <i>Stipa capillata</i> L., <i>S. orientalis</i> Trin., <i>Agropyron cristatum</i> (L.) Gaertn., <i>Convolvulus ammannii</i> Desr., <i>Allium tenuissimum</i> L., <i>Ptilotrichum canescens</i> (DC.) C.A. Mey.
2	Устье р. Чуя, окр. с. Иня, лог Ак-Узюк, вторая надпойменная терраса, южный скалистый склон, петрофитно-кустарниково (<i>Caragana pigmaea</i> , <i>Pentaphylloides parvifolia</i> , <i>Brahantemum baranovii</i> , <i>Spiraea trilobata</i>)-ковыльно-разнотравная степь, почва горная сухостепная каштановидная, высокая пастбищная нагрузка, высота – 940 м над ур. м.	<i>P. parvifolia</i> , <i>Caragana pigmaea</i> (L.) DC. s. str., <i>Brahantemum baranovii</i> (Krasch. et Poljak.) Krasch., <i>Spiraea trilobata</i> L., <i>Stipa capillata</i> , <i>S. pennata</i> L. s. str., <i>Cleistogenes squarrosa</i> (Trin.) Keng, <i>Carex duriuscula</i> C.A. Meyer, <i>Hedysarum gmelinii</i> Ledeb. subsp. <i>setigerum</i> (Turcz. ex Fischer et Meyer) Kurbatsky, <i>Potentilla acaulis</i> L., <i>Gueldenstaedtia monophylla</i> Fisch.
3	Долина р. Катунь, устье р. Малый Яломан, вторая терраса, кустарниково-разнотравная степь, почва горная сухостепная каштановидная, высокая пастбищная нагрузка, высота – 750 м над ур. м.	<i>P. parvifolia</i> , <i>Artemisia frigida</i> Willd., <i>Potentilla acaulis</i> , <i>Festuca pseudovina</i> Hackel ex Wiesb., <i>Hedysarum gmelinii</i> , <i>Allium tenuissimum</i> , <i>Veronica incana</i> L.
4	Долина р. Катунь, устье р. Малый Яломан, выходы скал, каменистый склон юго-западной экспозиции, кустарниково (<i>Caragana pigmaea</i> , <i>Berberis sibirica</i> , <i>Rhododendron dauricum</i>)-злаково-разнотравная каменистая степь, почва щебнистая, высота – 800 м над ур. м.	<i>P. parvifolia</i> , <i>Caragana pigmaea</i> , <i>Berberis sibirica</i> Pallas, <i>Rhododendron dauricum</i> L., <i>Agropyron cristatum</i> , <i>Festuca pseudovina</i> , <i>Carex duriuscula</i> C.A. Meyer, <i>Cleistogenes squarrosa</i> , <i>Artemisia frigida</i> , <i>Hedysarum gmelinii</i> , <i>Potentilla acaulis</i> , <i>Thymus altaicus</i> Klokov et Shost., <i>Pimpinella saxifraga</i> L., <i>Echinops meyeri</i> (DC.) Kozuharov
5	Место слияния рек Чуя и Катунь, вторая надпойменная терраса, участок подвержен сильной антропогенной нагрузке (туристический маршрут), каменистая кустарниково-разнотравная степь, почва щебнистая, высота – 900 м над ур. м.	<i>P. parvifolia</i> , <i>Astra alpinus</i> L., <i>Pulsatilla patens</i> (L.) Mill., <i>P. turczaninowii</i> Kryl. et Serg., <i>Diplachne squarrosa</i> , <i>Koeleria gracilis</i> , <i>Festuca sulcata</i> , <i>Stipa capillata</i> , <i>S. orientalis</i> , <i>Agropyron cristatum</i> , <i>Convolvulus ammannii</i> , <i>Allium tenuissimum</i> , <i>Ptilotrichum canescens</i>

30 дней, затем исчерпывающе экстрагировали 70%-м и 96%-м этанолом при нагревании на водяной бане при $T = 60-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Минаева, 1978). Подробное описание методики пробоподготовки приведено нами ранее (Храмова, Комаревцева, 2008).

Анализ фенольных соединений (ФС) *P. parvifolia* выполняли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на жидкостном хроматографе Agilent 1100 (Agilent Technologies, США) с УФ-спектрофотометрическим детектором и программным обеспечением обработки хроматографических данных ChemStation. Условия хроматографирования: колонка, заполненная обращенно-фазовым сорбентом Диасфер-110-С18 (ЗАО "БиоХимМак"), 2×150 мм, 6 мкм. Изократическое элюирование в системе метанол – 0.1 % H_3PO_4 (31:69) в течение 27 мин, далее хроматографировали, применяя градиентный режим элюирования. 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. Скорость потока элюента – 0.3 мл/мин., температура колонки – $26\text{ }^{\circ}\text{C}$, объем вводимой пробы – 5 мкл, длина волны – 360 нм.

Количественное определение индивидуальных компонентов в образцах пятилистника мелколистного проводили по методу внешнего стандарта как наиболее оптимальному для хроматографического анализа многокомпонентных смесей (van Beek, 2002).

Суммарное содержание ФС оценивали по сумме площадей хроматографических пиков на

$\lambda = 360$ нм, так как для многих наиболее активных флавоноидов максимумы поглощения находятся в длинноволновой области (362 ± 14 нм), что позволяет легко отличить их от других классов веществ.

Для определения флавонолгликозидов (гликозидов кверцетина и кемпферола в отдельности) методом ВЭЖХ проводили анализ свободных агликонов – кверцетина и кемпферола, образующихся после кислотного гидролиза соответствующих гликозидов (Юрьев и др., 2003; van Beek, 2002). Для проведения кислотного гидролиза к 0.5 мл водно-этанольного извлечения прибавляли 0.5 мл HCl (2н) и нагревали на кипящей водяной бане в течение 2 часов. После охлаждения разбавленный экстракт пропускали через концентрирующий патрон Диапак С16 (ЗАО "БиоХимМак"), агликоны смывали 96%-м этанолом. Далее хроматографировали, применяя градиентный режим элюирования. В подвижной фазе содержание метанола в водном растворе ортофосфорной кислоты (0.1 %) изменялось от 45 до 48 % за 18 мин.

Суммарное содержание флавонолгликозидов (отдельно гликозидов кверцетина и кемпферола) в образцах рассчитывали по содержанию свободных агликонов, образующихся после кислотного гидролиза, применяя известные из литературных данных коэффициенты для пересчета концентрации агликona на соответствующий гликозид: 2.504 – для кверцетина и 2.588 – для кемпферола (Юрьев и др., 2003; van Beek, 2002). Содержание флавонолов определяли как сумму флавонолгликозидов и агликонов – кверцетина и кемпферола.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

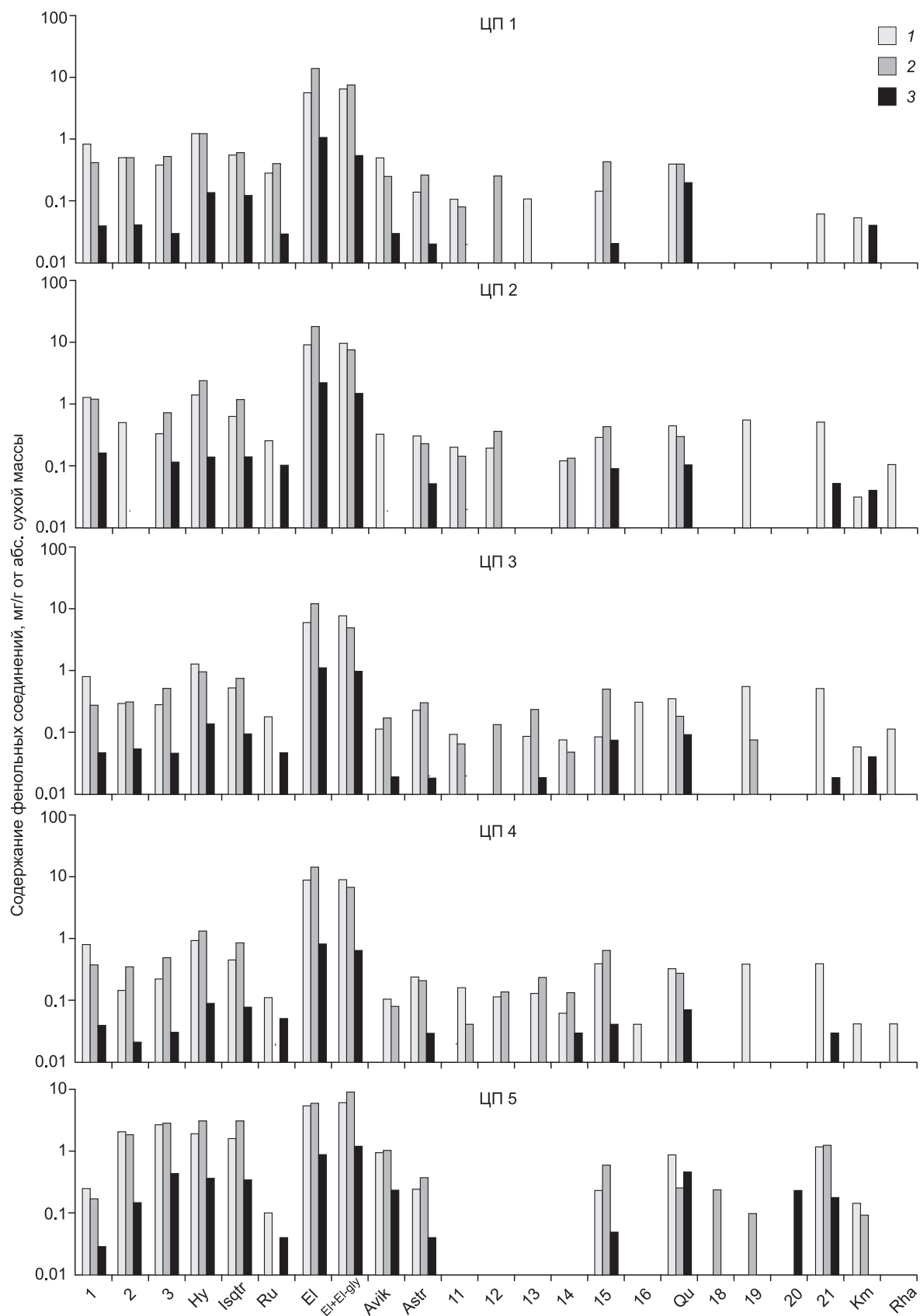
Анализ морфологических показателей *P. parvifolia* из различных условий произрастания в Центральном Алтае показал, что растения из ценопопуляций в кустарниково-ковыльно-разнотравной степи (ЦП 1 и ЦП 3) характеризуются более высокими значениями высоты (45.5–38.4 см) и длины годичного побега (0.51–0.40 см) (табл. 2). Генеративных побегов больше у растений из ценопопуляций на скалистых склонах (ЦП 2), где отмечена пастбищная нагрузка, и из ценопопуляции 3 в окрестности с. Малый Яломан, которая

подвергается также пастбищной нагрузке. Кроме того, у растений из этих популяций (ЦП 2 и ЦП 3) наблюдается наибольшее количество цветков на 1 ось – 20.6–24.0 штук. Возможно, из-за частого надкусывания побегов животными стимулируется нарастание дочерних осей возобновления. Наибольшая масса побегов обнаружена у растений из ценопопуляции 1 (16.4 г). Таким образом, наибольшими значениями некоторых биолого-морфологических характеристик отличаются растения *P. parvifolia*, произрастающие в кустарниково-

Таблица 2

Морфологические показатели растений *Pentaphylloides parvifolia* в различных условиях произрастания в Центральном Алтае

№ ЦП	Биомасса (побеги с листьями), г	Высота растений, см	Длина побега, см	Число осей		Число на 1 оси	
				вегетативных	генеративных	листьев	цветков
1	16.4 ± 6.8	45.5 ± 10.2	0.51 ± 0.18	6.0 ± 1.7	10.0 ± 3.4	105.5 ± 16.8	19.5 ± 5.8
2	12.6 ± 4.3	32.3 ± 4.3	0.28 ± 0.12	9.06 ± 2.4	15.0 ± 3.0	87.0 ± 19.6	24.0 ± 9.3
3	10.2 ± 3.8	38.4 ± 6.2	0.40 ± 0.17	11.2 ± 2.2	13.5 ± 2.8	69.8 ± 15.5	20.6 ± 8.1
4	14.5 ± 3.0	26.1 ± 7.0	0.31 ± 0.18	8.0 ± 2.1	10.0 ± 3.0	90.3 ± 17.6	15.0 ± 6.1



Содержание фенольных соединений в листьях (1), цветках (2) и стеблях (3) *Pentaphylloides parvifolia* из разных ценопопуляций Горного Алтая.

Компоненты: Hy – гиперозид, Isqtr – изокверцитрин, Ru – рутин, El – эллаговая кислота, El-gly – гликозид эллаговой кислоты, Avik – авикулярин, Astr – астрагалин, Qu – кверцетин, Km – кемпферол, Rha – рамнетин, остальные – компоненты флавоноидной природы.

ковильно-разнотравной степи на надпойменных террасах Чуи и Катуня, по сравнению с обитающими на скалистых склонах.

Исследование фенольного состава методом ВЭЖХ показало, что в экстрактах различных органов *P. parvifolia* (листья, цветки и годичные побеги) из разных мест произрастания содержалось не менее 23 соединений фенольной структуры (см. рисунок).

На основании полученных спектральных данных (УФ- и масс-спектропии) и сопоставления времен удерживания пиков веществ на хроматограммах анализируемых образцов с временами удерживания пиков стандартных образцов установлены пять флавонолгликозидов – гиперозид, изокверцитрин, рутин, авикулярин и астрагалин, три агликона – кверцетин, кемпферол и рамнетин, а также эллаговая кислота и ее гликозид. УФ-спектры компонентов (1–3, 11–16, 18–21), зарегистрированные в режиме “on-line” в процессе хроматографирования, содержат две полосы, одна из которых находится в низковолновой (250–290 нм) части (полоса II), другая – в более длинноволновой (340–380 нм) (полоса I). На основании этих данных все компоненты отнесены к флавоноидным структурам.

Установлено, что хроматографический профиль (число пиков, их относительное расположение на хроматограмме и соотношение площадей или высот) изменялся незначительно в зависимости от места произрастания и времени сбора. Компоненты 1–3, 15, гиперозид, изокверцитрин, рутин, эллаговая кислота, ее гликозид, авикулярин, астрагалин и кверцетин свойственны всем образцам *P. parvifolia* вне зависимости от органа и места произрастания (см. рисунок). В надземных органах пятилистника мелколистного не обнаружен кверцитрин, что отличает данный вид от *P. fruticosa*. В образцах *P. parvifolia* из ЦП 5 не выявлены либо находятся в следовых количествах компоненты 11–14. Рамнетин определен только в листьях *P. parvifolia* из ЦП 2–4, но не найден в листьях растений из ЦП 1 и 5. В цветках растений 2011 г. сбора не выявлен кемпферол. Однако фенольный комплекс листьев, цветков и стеблей из разных мест произрастания сходен (см. рисунок). При этом установлены существенные различия в количественном содержании ФС в зависимости от органа растения, места произрастания и времени сбора растительного материала.

Наибольшее суммарное содержание ФС отмечено в цветках, наименьшее – в стеблях вне зависимости от условий произрастания, что отличает данный вид от *P. fruticosa*, у которого, напротив, ФС в большем количестве накапливаются в листьях (на 10–20 %), чем в цветках (Хромова, 2014) (см. табл. 2). Так, суммарное содержание ФС в цветках *P. parvifolia* на 20 % выше, чем в листьях,

и в 6–8 раз больше, чем в стеблях. Содержание рутина, кверцетина и кемпферола в листьях в 1.7–3.6 раза выше, чем в цветках, и в 3–15 раз – по сравнению со стеблями. Однако цветки накапливают в 1.3–1.8 раза больше гиперозид, изокверцитрина, эллаговой кислоты, чем листья. В стеблях содержание отдельных компонентов практически на порядок меньше, чем в листьях и цветках, за исключением, рутина и кверцетина, количество которых снизилось лишь в 1.4–3.4 раза.

Наибольшее суммарное содержание ФС выявлено у *P. parvifolia* из ценопопуляции на скалистых склонах (ЦП 2) на высоте 940 м. Скорее всего, это обусловлено особенностями условий произрастания: абсолютной высотой над уровнем моря (Хромов, 1983), избытком УФ-радиации, гидротермическим стрессом (Запрометов, 1993), низким плодородием почв, повышенной пастбищной нагрузкой и другими факторами. УФ-облучение, синергически дополненное засухой, повышает секрецию флавоноидов (Chaves et al., 1987; Sprayd et al., 2002). Также на содержание ФС влияет плодородие почв – оно возрастает в растениях, произрастающих на обедненной азотом почве, по сравнению с почвами, богатыми этим элементом (Bryant et al., 1983; Keinänen et al., 1999). При увеличении пастбищной нагрузки изменяются условия произрастания, связанные с увеличением доступа солнечного света к поверхности почвы, что также способствует увеличению содержания ФС в листьях растений (Бускунова, 2009). Кроме того, повышенное содержание ФС косвенно подтверждает их участие в защите от травоядных животных, что подробно изучено Дж. Харборном (1985), М.Н. Запрометовым (1993) и рядом других исследователей. Возможно, суммарное содержание ФС в надземных органах *P. parvifolia* из ЦП 2 увеличилось по сравнению с другими исследуемыми образцами под воздействием комплекса факторов – высоты местообитания над уровнем моря, маломощности почв, пастбищной нагрузки и др.

В окрестностях с. Малый Яломан (ЦП 3) также отмечалась пастбищная нагрузка, но суммарное содержание ФС в надземных органах *P. parvifolia* на 20 % ниже, чем в образцах растений из ЦП 2, что, по-видимому, связано с понижением высоты места произрастания, типом почв, изменением габитуса растений. Растения из ЦП 3 отличались более высокими значениями высоты растений (38.4 см) и длины годичного побега (0.4 см) по сравнению с растениями из ценопопуляции 2 (табл. 3).

Особи из ЦП 1 (устье Чуи, каменистая кустарниково-разнотравная степь, высота 850 м над ур. м.) выделялись по наибольшей массе побегов, высоте куста и длине побега, но содержание ФС в листьях при этом минимально (17.7 мг/г) по сравнению с остальными образцами.

Содержание фенольных соединений (в сумме и по группам) в надземной части растений *Pentaphylloides parvifolia* (мг/г от абс. сухой массы)

Фенольные соединения (ФС)	Орган растения	Ценопопуляция				
		ЦП 1 (H = 850 м)	ЦП 2 (H = 940 м)	ЦП 3 (H = 750 м)	ЦП 4 (H = 800 м)	ЦП 5 (H = 900 м)
Суммарное содержание ФС	Листья	17.7	24.9	20.4	22.0	21.4
	Цветки	25.6	31.4	22.0	24.6	27.0
	Стебли	2.3	4.7	3.0	1.9	4.4
<i>В том числе гликозиды:</i>						
кверцетина	Листья	4.21	4.56	3.61	2.7	8.62
	Цветки	3.93	5.28	3.11	3.29	10.83
	Стебли	0.43	0.72	0.48	0.31	1.5
кемпферола	Листья	0.31	0.97	0.86	0.77	1.29
	Цветки	0.33	0.36	0.38	0.25	1.46
	Стебли	0.02	0.1	0.04	0.06	0.22
рамнетина	Листья	–	0.9	0.94	0.89	–
	Цветки	–	–	–	–	–
	Стебли	–	–	–	–	–
Сумма агликонов	Листья	0.45	0.45	0.43	0.38	0.91
	Цветки	0.41	0.28	0.19	0.27	0.32
	Стебли	0.24	0.13	0.12	0.07	0.45
Сумма флавонолов	Листья	5.0	6.9	5.8	4.7	10.8
	Цветки	4.8	5.9	3.4	3.8	12.6
	Стебли	0.7	0.9	0.6	0.4	2.17
Сумма эллаговых соединений	Листья	12.44	17.67	14.19	16.97	10.34
	Цветки	20.33	24.59	17.3	19.78	13.53
	Стебли	1.58	3.67	2.23	1.44	1.94

Примечание. Прочерк – содержание компонента ниже предела обнаружения (0.01 мг/г от абс. сухой массы).

В образцах *P. parvifolia*, собранных из ЦП 5 в 2009 г., суммарное содержание ФС в надземных органах практически соответствовало таковому в особях из ЦП 2 и 4. Однако суммарное содержание по группам и отдельным компонентам значительно различалось по сравнению с образцами из ценопопуляций 1–4, что может быть связано как с более поздним периодом вегетации во время сбора растительного материала из ЦП 5 по сравнению с остальными образцами, так и с высокой антропогенной нагрузкой – наличием туристической тропы.

По результатам анализа свободных агликонов, образующихся после кислотного гидролиза гликозидов, установлены три агликona: кверцетин, кемпферол и рамнетин. В листьях *P. parvifolia*

ценопопуляций 2–4, кроме гликозидов кверцетина и кемпферола, обнаружены гликозиды рамнетина. Гликозиды кверцетина в надземной части *P. parvifolia* преобладали по сравнению с гликозидами кемпферола и рамнетина вне зависимости от условий произрастания (табл. 4). При этом отмечено, что доля производных кверцетина в листьях *P. parvifolia* из ценопопуляций 2–4 меньше, чем в таковых из ЦП 1.

Наибольшее содержание гликозидов кверцетина и кемпферола установлено в листьях и цветках *P. parvifolia*, собранных в 2009 г. в условиях повышенной антропогенной нагрузки – туристической тропы (ЦП 5). Наименьшее количество гликозидов кверцетина содержится в листьях особей из ценопопуляции с каменистого склона

Таблица 4

Соотношение кверцетина : кемпферола : рамнетина в гидролизатах листьев, цветков и стеблей *Pentaphylloides parvifolia* из разных ценопопуляций Центрального Алтая

Часть растения	Ценопопуляция				
	1	2	3	4	5
Листья	93:07:0	71:15:14	67:16:17	62:18:20	87:13:0
Цветки	92:08:0	94:06:0	89:11:0	93:07:0	88:12:0
Стебли	96:04:0	88:12:0	92:08:0	84:16:0	87:13:0

(ЦП 4), гликозидов кемпферола – из ценопопуляции в каменистой кустарниково-разнотравной степи (ЦП 1). При этом интересно отметить, что биомасса и число листьев на одном побеге у *P. parvifolia* из этих ценопопуляций выше по сравнению с другими исследованными образцами. Гликозиды рамнетина, обнаруженные в листьях растений из ценопопуляций 2–4, находились практически на одном уровне (0.9 мг/г). В стеблях всех исследованных образцов содержание гликозидов кверцетина и кемпферола минимально по сравнению с листьями и цветками.

Сумма свободных агликонов (кверцетина и кемпферола) в листьях *P. parvifolia* из ЦП 1–3 практически равнозначна и составила 0.43–0.45 мг/г, несколько ниже в листьях растений из ЦП 4 (0.38 мг/г). Однако в листьях растений, собранных в 2009 г., содержание агликонов выше в 2 раза по сравнению с таковыми в 2011 г. Возможно, это связано с фазой вегетации и условиями произрастания.

В целом доля флавонолов в суммарном содержании фенольных соединений в листьях *P. parvifolia* составляет от 22 до 51 %, в цветках – от 15 до 47 %, в стеблях – от 22 до 50 % в зависимости от местообитания и времени сбора образцов (см. табл. 3). Так, доля флавонолов в суммарном содержании фенольных соединений в растениях сбора

2009 г. выше в 2.5–3 раза, чем в таковых сбора 2011 г., и составляет 47–51 % в зависимости от органа. При этом доля эллаговых веществ, напротив, значительно снижена в надземных органах *P. parvifolia*, собранных в 2009 г., и составляет 44–50 %. Наибольшее содержание эллаговых соединений установлено в надземных органах *P. parvifolia* из ценопопуляции 2, расположенной на скалистых склонах в наивысшей точке отбора образцов (высота 940 м над ур. м.).

На основании сравнительного анализа отдельных компонентов в различных органах *P. parvifolia* выявлено, что наибольшее содержание эллаговой кислоты и ее гликозида, астрагалина, компонентов 11, 12 и 15 в растениях из ценопопуляции 2, что, возможно, связано с абсолютной высотой произрастания над уровнем моря, южным скалистым склоном, повышенной пастбищной нагрузкой и габитусом растений. Максимум рутина обнаружен в листьях и цветках особей из ЦП 1. В листьях, цветках и стеблях растений из ЦП 5 преимущественно накапливались компоненты 2, 3, гиперозид, изокверцитрин, авикулярин, астрагалин, кверцетин, кемпферол и компонент 21 на фоне пониженного синтеза эллаговых веществ и рутина, что может быть связано с высотой произрастания над уровнем моря, фазой вегетации, антропогенной нагрузкой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования определены состав и содержание фенольных соединений в различных органах *Pentaphylloides parvifolia* в связи с различными условиями произрастания в Горном Алтае.

Установлено, что качественный состав фенольного комплекса *P. parvifolia* из разных местообитаний сходен. Идентифицированы пять флавонолгликозидов (гиперозид, изокверцитрин, рутин, авикулярин, астрагалин), три агликона – кверцетин, кемпферол и рамнетин, а также эллаговая кислота и ее гликозид.

Наибольшее суммарное содержание фенольных соединений установлено в цветках *P. parvifolia*, на 8–40 % меньше в листьях, в стеблях снижено практически на порядок.

Максимальное суммарное содержание фенольных соединений свойственно растениям *Pentaphylloides parvifolia* с наименьшей длиной побега, небольшой биомассой и высотой особи, обитающим на скалистых склонах, подверженным антропогенной нагрузке, с повышением абсолютной высоты произрастания над уровнем моря.

Отмечена значительная доля эллаговых веществ на фоне понижения доли флавонолов в суммарном содержании фенольных соединений в надземных органах *P. parvifolia* 2011 г. сбора по сравнению с растениями, собранными в 2009 г., что может быть связано с сезонными изменениями и с неодинаковыми метеорологическими условиями в наблюдаемые годы.

ЛИТЕРАТУРА

- Бускунова Г.Г.** Экологические и биохимические особенности *Achillea nobilis* L. в условиях степной зоны Южного Урала: Автореф. дис. ... канд. биол. наук, 2009. 23 с.
- Запратов М.Н.** Фенольные соединения: Распространение, метаболизм и функции в растениях. М., 1993. 272 с.
- Минаева В.Г.** Флавоноиды в онтогенезе растений и их практическое использование. Новосибирск, 1978. 253 с.
- Николаева И.Г.** Полифенольные соединения *Pentaphylloides fruticosa* и *P. parvifolia* // Химия природных соединений. 2007. № 4. С. 390–391.
- Почвы** Горно-Алтайской автономной области / Под ред. Р.В. Ковалева. Новосибирск, 1973. 351 с.
- Флора** Сибири. *Rosaceae* / Под ред. А.В. Положий, Л.И. Малышева. Новосибирск, 1988. Т. 8. 198 с.
- Флора** СССР. М.; Л., 1941. Т. 10. С. 68–73.
- Харборн Дж.** Введение в экологическую биохимию. М., 1985. 312 с.

- Храмова Е.П.** Хемотаксономическое исследование сибирских видов рода *Pentaphylloides* Hill // Turczaninowia. 2013. Т. 16, № 4. С. 55–62.
- Храмова Е.П.** Фенольные соединения надземной части *Pentaphylloides fruticosa* (Rosaceae), произрастающего в Горном Алтае // Раст. ресурсы. 2014. Т. 50, вып. 4. С. 123–135.
- Храмова Е.П., Комаревцева Е.К.** Изменчивость флавоноидного состава листьев *Potentilla fruticosa* (Rosaceae) разных возрастных состояний в условиях Горного Алтая // Раст. ресурсы. 2008. Т. 44, вып. 3. С. 96–102.
- Хромов С.П.** Метеорология и климатология для географических факультетов. Изд. 3, перераб. Л., 1983. 456 с.
- Чайка В.М., Минаева В.Г.** Лапчатки Юго-Восточного Алтая – перспективные лекарственные растения // Успехи изучения лекарственных растений Сибири. Томск, 1973. С. 82.
- Юрьев Д.В., Эллер К.И., Арзамасцев А.П.** Анализ флавонолгликозидов в препаратах и БАД на основе экстракта *Gingo biloba* // Фармация. 2003. № 2. С. 7–9.
- Bryant J.P., Chapin F.S., Klein D.R.** Carbon/nutrient balance of boreal plants in relation to vertebrate herbivory // Oikos. 1983. V. 40. P. 357–368.
- Chaves N., Escuredo J.C., Gutierrez-Merino C.** Role of ecological variables in the seasonal variation of flavonoid content of *Cistus ladanifer* exudate // J. Chem. Ecol. 1987. V. 23, No. 3. P. 579–603.
- Keinänen M., Julkunen-Tiitto R., Mutikainen P., Walls M., Ovaska J., Vapaavuori E.** Trade-offs in phenolic metabolism of silver birch: effects of fertilization, defoliation, and genotype // Ecology. 1999. V. 80. P. 1970–1986.
- Spayd S., Tarara J., Mee D., Ferguson J.** Separation of sunlight and temperature effects on the composition of *Vitis vinifera* cv. Merlot berries // Am. J. Enol. Vitic. 2002. V. 53. P. 171–182.
- Van Beek T.A.** Chemical analysis of *Gingo biloba* leaves and extracts // J. Chromatogr. A. 2002. No. 967. P. 21–35.