



УДК 582.736:577.13

DOI <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2018.24.3>

Фенольные соединения *Astragalus rytuensis* Stepantsova и других видов рода *Astragalus* L. из мест совместного произрастания на северо-западном побережье озера Байкал

О. В. Коцупий¹, Н. В. Степанцова², Г. И. Высочина¹, А. А. Петрук¹

¹Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск

²Иркутский государственный университет, Иркутск

E-mail: olnevaster@gmail.com

Аннотация. С использованием метода высокоэффективной жидкостной хроматографии исследован состав и содержание агликонов флавоноидов и проведено сравнение состава фенольных соединений (ФС) *Astragalus rytuensis* Stepantsova, а также *A. austrosibiricus* Schischk., *A. inopinatus* Boriss., *A. versicolor* Pall. из мест совместного произрастания на северо-западном побережье озера Байкал. Наряду с агликонами флавонолов (кверцетин, кемпферол, изорамнетин), общими для изучаемых видов, в гидролизатах экстрактов листьев *A. rytuensis* обнаружены лютеолин и апигенин – агликоны флавонов. *A. rytuensis* достоверно отличим от других совместно произрастающих видов астрагалов по содержанию кверцетина, от комплекса *A. austrosibiricus* – *A. inopinatus* – по содержанию изорамнетина и суммы флавонолов. Состав ФС водно-спиртовых экстрактов *A. rytuensis* отличается от состава ФС *A. versicolor* и от группы *A. austrosibiricus* – *A. inopinatus*, хотя и имеет общие с ними компоненты. Хлорогеновая кислота обнаружена у *A. rytuensis* и *A. austrosibiricus*, кверцитрин в большом количестве – у *A. rytuensis* и в небольшом – у *A. versicolor*. Гиперозид, изокверцитрин, рутин и астрагалин характерны для *A. rytuensis*, *A. austrosibiricus* и *A. inopinatus*. Дендрограмма, построенная по 38 компонентам фенольного комплекса, показала наибольшее сходство между ценопопуляциями *A. rytuensis* и *A. versicolor*. Изученные отличия в составе и содержании агликонов флавоноидов в гидролизатах и отличия в составе ФС негидролизованного экстракта вносят свой вклад в доказательство самостоятельности нового таксона *A. rytuensis* и его обособленности от совместно произрастающих *A. versicolor*, *A. inopinatus* и *A. austrosibiricus*.

Ключевые слова: фенольные соединения, флавоноиды, флавонолы, флавоны, агликоны, *A. rytuensis* Stepantsova, *A. austrosibiricus* Schischk., *A. inopinatus* Boriss., *A. versicolor* Pall., побережье Байкала.

Для цитирования: Фенольные соединения *Astragalus rytuensis* Stepantsova и других видов рода *Astragalus* L. из мест совместного произрастания на северо-западном побережье озера Байкал / О. В. Коцупий, Н. В. Степанцова, Г. И. Высочина, А. А. Петрук // Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология. 2018. Т. 24. С. 3–15. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2018.24.3>

Введение

Astragalus rytuensis Stepantsova описан как новый вид с мыса Рытый на северо-западном побережье Байкала (Ольхонский район Иркутской области), где располагается его устойчивая многочисленная популяция [Степан-

цова, Кривенко, 2015]. Отдельные экземпляры, также отнесённые к этому виду, собраны с прилегающих участков западного побережья Байкала – мысов Отто-Хушун и Кочериково. Авторы считают, что морфологические признаки *A. rytuensis* указывают на его промежуточное положение между произрастающими совместно с ним видами: *A. versicolor* Pall., с одной стороны, *A. inopinatus* Boriss. и *A. austrosibiricus* Schischk. – с другой. С *A. versicolor* наиболее схожи генеративные органы *A. rytuensis*, с *A. inopinatus* и *A. austrosibiricus* – вегетативные. Кроме того, многие признаки нового таксона имеют промежуточные параметры.

Таксономический ранг *A. austrosibiricus* и *A. inopinatus* из секции *Onobrychium* Bunge подрода *Cercidothrix* оценивается ботаниками неоднозначно. В разное время эти таксоны рассматривали как единый с *A. adsurgens* вид [Положий, 1964] либо в ранге подвидов *A. adsurgens* [Попов, 1957]. Авторы, признающие таксоны самостоятельными видами, указывают, что в местах их совместного произрастания существуют переходные формы [Пешкова, 1979; Флора Сибири, 1994]. Главным дихотомическим признаком для разделения на виды указывается окраска венчика. У *A. austrosibiricus* она от бледно-сиреневого до ярко-пурпурного, редко белая, у *A. inopinatus* в южных степных районах – светло-жёлтая, в северных лесных – грязно-белая с фиолетовым оттенком [Пешкова, 1979].

A. versicolor – вид секции *Hemiphaca* Gontsch. подрода *Astragalus*. От видов секции *Onobrychium* отличается простым опушением, розовым, при сушке становящимся фиолетовым венчиком, рыхлым соцветием, удлиняющимся в период плодоношения, более узкими листочками и голыми двугнездными бобами.

На материале с м. Рытый были определены следующие хромосомные числа: *A. austrosibiricus* $2n = 4x = 32$, *A. inopinatus* $2n = 4x = 32$, *A. versicolor* $2n = 2x = 16$, *A. rytuensis* $2n = 6x = 48$ [Степанцова, Кривенко, 2015]. Гексаплоидность нового таксона может быть как результатом внутривидового скрещивания (автополиплоидия), так и межвидовой гибридизации. Из большинства местонахождений *A. versicolor* в Прибайкалье для него получено диплоидное число хромосом $2n = 16$ и лишь однажды выявлен образец $2n = 6x = 48$ (м. Онхой, Ольхонский р-н, Иркутская область, северо-западное побережье оз. Байкал) [Степанцова, Кривенко, 2015; Кривенко, 2015]. Эти растения морфологически идентичны диплоидным образцам вида и, по мнению автора, являются автополиплоидом. Из Хакасии и Красноярского края приводится число $2n = 42-50$ и $2n = 48$, соответственно [Пленник, Ростовцева, 1977; Степанов, 1994].

Анализируя морфологические признаки и кариологические данные, авторы пришли к выводу, что диплоидная хромосомная раса *A. versicolor* $2n = 16$ с м. Рытый является одним из родителей межсекционного гибридного вида *A. rytuensis* [Степанцова, Кривенко, 2015].

Ранее в ходе хемотаксономических исследований видов секции *Onobrychium* нами были изучены агликоны флавоноидов растений *A. austrosibiricus* и *A. inopinatus* из разных мест произрастания. В гидролизатах

экстрактов листьев растений обнаружены кверцетин, кемпферол, рамноцитрин и изорамнетин и определено их содержание [Коцупий, Храмова, Высочина, 2012]. Другими исследователями в надземной части *A. austrosibiricus* обнаружены гликозиды изорамнетина и кемпферола [Полякова, Ершова, 1996], в надземной части *A. inopinatus* – апигенин [Secondary metabolites ... , 2001]. В листьях растений обоих видов – кемпферол, гликозиды кверцетина и изорамнетина [Кадырова, 1989].

Целью настоящего исследования явилось изучение состава и содержания фенольных соединений нового вида *A. rytyensis* и его предполагаемых родителей – *A. inopinatus*, *A. austrosibiricus* (секция *Onobrychium*) и *A. versicolor* (секция *Hemiphaca*), принадлежащих к разным под родам и совместно произрастающих на м. Рытый на северо-западном побережье Байкала.

Материалы и методы

В работе исследованы образцы (средние и индивидуальные пробы) листьев генеративных растений в фазах цветения – начала плодоношения ценопопуляций *A. rytyensis* (R1, R2), *A. inopinatus* (I1, I2, I2s) и *A. versicolor* (V) из мест совместного произрастания на северо-западном побережье оз. Байкал (Иркутская обл., Ольхонский район, м. Рытый, 2013 г.). Для образцов растений *A. inopinatus* введены следующие обозначения: растения с белыми венчиками цветков из разных частей ценопопуляции имеют коды I1 и I2. Отдельно обозначили группу растений с южной части конуса выноса с синюющими при высыхании венчиками: I2s. В 2013 г. были собраны также средние пробы и индивидуальные образцы листьев *A. austrosibiricus* (A1, A2) из двух ценопопуляций с м. Покойники (табл. 1).

Таблица 1

Происхождение образцов
Astragalus rytyensis, *A. austrosibiricus*, *A. inopinatus*, *A. versicolor*

Вид	Код	Место произрастания
Иркутская область, Ольхонский район, м. Рытый		
<i>A. rytyensis</i>	R1	средняя часть конуса выноса, сухое песчано-галечное русло р. Рытой
	R2	южная часть конуса выноса, периферийный участок, луг астрагалово-разнотравно-злаковый
<i>A. inopinatus</i>	I1	нижняя часть склона над южной частью конуса выноса, лиственничная лесостепь
	I2	южная часть конуса выноса, периферийный участок, сухой луг
	I2s	южная часть конуса выноса, периферийный участок, сухой луг
<i>A. versicolor</i>	V	нижняя часть склона над южной частью конуса выноса, лиственничная лесостепь
Иркутская область, Ольхонский район, м. Покойники		
<i>A. austrosibiricus</i>	A1	северная часть мыса, галечный береговой вал между оз. Байкал и лагунным озером
	A2	южная часть мыса, окраина травяного лиственничника

Состав и содержание ФС определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Для извлечения суммы ФС проводили исчерпывающую экстракцию 50%-ным этанолом при нагревании на водяной бане. После охлаждения разбавленный экстракт пропускали через концентрирующий патрон С18 (Диапак, Россия), смывали 70%-ным этанолом. Анализ компонентов проводили на жидкостном хроматографе Agilent 1200 (Agilent Technologies, США) с диодноматричным детектором и системой для сбора и обработки хроматографических данных ChemStation. Вещества разделяли на колонке Zorbax SB-C18 (Agilent Technologies, США), размером 4,6×150 мм, с диаметром частиц 5 мкм, применив градиентный режим элюирования. В подвижной фазе (система I) содержание метанола в водном растворе ортофосфорной кислоты (0,1 %) изменялось от 32 до 33 % за 27 мин, далее до 46 % к 38 мин, затем до 56 % – к 50 мин. Скорость потока элюента 1 мл/мин, температура колонки 26 °С, объём вводимой пробы 10 мкл. Детектирование осуществляли на аналитических волнах $\lambda = 255, 270, 290, 340, 350, 360, 370$ нм. Для приготовления подвижных фаз использовали метиловый спирт, ортофосфорную кислоту (оба ос. ч.), бидистиллированную воду. В качестве метчиков использовали стандартные образцы хлорогеновой кислоты, кверцетина, кемпферола, изорамнетина, лютеолина, апигенина, рутина, изокверцитрина и астрагалина (Sigma, Германия; Fluka США). Анализ каждого образца проводили в двукратной повторности.

Для проведения кислотного гидролиза к 0,5 мл водно-этанольного извлечения прибавляли 0,5 мл HCl (2 н) и нагревали на кипящей водяной бане в течение двух часов. После охлаждения разбавленный гидролизат пропускали через концентрирующий патрон, агликоны смывали 96%-ным этанолом. Далее компоненты хроматографировали в системе II, где в подвижной фазе содержание метанола в водном растворе ортофосфорной кислоты (0,1 %) изменялось от 50 до 52 % за 15 мин.

Содержание индивидуальных компонентов ($C_x, \%$) в пересчёте на абсолютно-сухое сырьё вычисляли по формуле:

$$C_x = \frac{C_{cm} \cdot S_1 \cdot V_1 \cdot V_2 \cdot 100}{S_2 \cdot M \cdot 10 \cdot (100 - B)},$$

где C_{cm} – концентрация соответствующего стандартного раствора флавоноида, мкг/мл; S_1 – площадь пика флавоноида в анализируемой пробе, ед. о. п.; S_2 – площадь пика стандартного флавоноида, ед. о. п.; V_1 – объём элюата после вымывания флавоноида с концентрирующего патрона, мл; V_2 – общий объём экстракта, мл; M – масса навески, мг; B – влажность сырья, %.

Расчёт содержания агликонов флавоноидов производили по кверцетину.

На основании полученных данных вычисляли средние значения содержания агликонов флавоноидов – кверцетина, кемпферола, изорамнетина, их сумму, соотношение суммы кемпферола и изорамнетина к кверцетину ($(Kf+Is)/Qw$), соотношение изорамнетина к кверцетину (Is/Qw), содержание лютеолина и апигенина.

Статистическая обработка данных (вычисление средней величины признака (M), её ошибки (m_M), дисперсионный (ANOVA, тест Дункана), метод главных компонент и кластерный анализы) проведена с помощью пакета прикладных программ Statistica 10.

Результаты и обсуждение

В составе агликонов флавоноидов листьев растений у *A. versicolor*, *A. inopinatus* и *A. austrosibiricus* обнаружены флавонолы кверцетин, кемпферол и изорамнетин, у *A. rytyensis* найдены флавонолы кверцетин, кемпферол и изорамнетин, флавоны лютеолин и апигенин (табл. 2).

Таблица 2

Спектральные характеристики агликонов флавоноидов в гидролизатах экстрактов листьев растений *A. rytyensis*, *A. austrosibiricus*, *A. inopinatus*, *A. versicolor*

Время удерживания (t_R), мин	Спектральные характеристики соединения, λ_{\max} , нм	Идентифицируемое соединение, λ_{\max} , нм
6,8	Кверцетин (255, 299 пл., 372)	255, 370
8,7	Лютеолин (253, 267, 291 пл., 350)	255, 270, 355
11,5	Кемпферол (265, 322 пл., 367)	265, 370
12,6	Изорамнетин (255, 326 пл., 370)	255, 370
14	Апигенин (268, 338)	270, 340

Примечание. Пл. – плечо.

В рамках хемотаксономического исследования растений секций *Cen-antrum* и *Onobrychium* рода *Astragalus* было показано, что независимо от фаз развития и эколого-географических условий существует постоянный для вида состав, а иногда и содержание агликонов флавоноидов [Сиднева, 2005; Коцупий, Храмова, Высочина, 2012]. Агликоны флавоноидов достаточно консервативный признак и могут служить в качестве биохимических маркеров, начиная с уровня секций [Высочина, 2004]. Наличие у *A. rytyensis* агликонов флавонов, не свойственных видам астрагалов, произрастающим совместно с ним на северо-западном побережье оз. Байкал, указывает на его таксономическую самостоятельность.

Содержание агликонов флавоноидов и их различные соотношения приведены в табл. 3. При доверительном интервале $p = 0,05$ по содержанию кверцетина *A. rytyensis* достоверно отличим от видов *A. versicolor*, *A. austrosibiricus* и *A. inopinatus*. По содержанию кемпферола не существует достоверных отличий *A. rytyensis* от *A. versicolor* и *A. inopinatus* П. Разница в содержании изорамнетина и в сумме агликонов между *A. rytyensis* и *A. versicolor* недостоверна, но достоверна между каждым из них и комплексом *A. austrosibiricus* – *A. inopinatus*. Среди соотношений агликонов флавонолов достоверно отличимо только соотношение изорамнетина к кверцетину внутри комплекса *A. austrosibiricus* – *A. inopinatus*. Интересно, что в одной ценопопуляции *A. austrosibiricus* (в северной части м. Покойники) имеются достоверные отличия по содержанию индивидуальных агликонов флавонолов и по их сумме.

Таблица 3

Содержание агликонов флавоноидов в листьях растений
A. rytyensis, *A. austrosibiricus*, *A. inopinatus*, *A. versicolor*

Код образ-ца	N	Кверцетин Qw	Кемпферол Kf	Изорамнетин Is	Сумма флавонолов	Соотношение (Kf+Is)/Qw	Соотношение Is/Qw	Лютеолин Lu	Апигенин Ap
R1	10	0,02± 0,007 ^d	0,007± 0,002 ^{fd}	0,006± 0,002 ^d	0,04± 0,009 ^c	1,06± 0,40 ^a	0,32± 0,11 ^{bc}	0,01± 0,003 ^a	0,03± 0,007 ^a
R2	9	0,01± 0,002 ^d	0,002± 0,0005 ^f	0,006± 0,0003 ^d	0,02± 0,002 ^c	0,63± 0,21 ^{ab}	0,32± 0,09 ^b	0,006± 0,0006 ^a	0,02± 0,005 ^a
A1	6	0,60± 0,09 ^a	0,06± 0,01 ^a	0,05± 0,08 ^a	1,12± 0,14 ^a	0,98± 0,29 ^{ab}	0,86± 0,24 ^a		
A2	10	0,30± 0,03 ^{bc}	0,02± 0,002 ^{bc}	0,21± 0,03 ^{bc}	0,53± 0,04 ^b	0,96± 0,22 ^{ab}	0,86± 0,21 ^a		
I1	4	0,29± 0,11 ^{bc}	0,02± 0,005 ^{cd}	0,12± 0,03 ^c	0,43± 0,14 ^b	0,56± 0,11 ^{ab}	0,48± 0,10 ^{bc}		
I2	3	0,35± 0,06 ^b	0,02± 0,004 ^c	0,12± 0,02 ^c	0,49± 0,04 ^b	0,45± 0,15 ^{ab}	0,37± 0,12 ^{bc}		
I2s	5	0,30± 0,06 ^b	0,04± 0,01 ^b	0,25± 0,09 ^b	0,59± 0,13 ^b	1,00± 0,02 ^a	0,87± 0,30 ^a		
V	12	0,17± 0,03 ^c	0,006± 0,001 ^{fd}	0,006± 0,001 ^d	0,18± 0,03 ^c	0,10± 0,02 ^b	0,04± 0,006 ^b		

Примечание. Средние значения в столбцах, за которыми следуют одинаковые буквы, не имеют значимого отличия друг от друга в соответствии с тестом Дункана, при $p = 0,05$ (ANOVA).

Внутри- и межпопуляционная изменчивость изучаемых таксонов по количественным признакам графически представлена на диаграмме рассеяния, построенной методом главных компонент. Были исследованы девять признаков: содержание кверцетина, кемпферола, изорамнетина, лютеолина и апигенина, сумма флавонолов, соотношение флавонолов к флавонам, соотношение суммы кемпферола и изорамнетина к кверцетину, соотношение изорамнетина к кверцетину. Наиболее значимые коэффициенты корреляции, отмеченные для первого фактора – содержание кверцетина, кемпферола, изорамнетина, сумма флавонолов, содержание лютеолина и апигенина, соотношение флавонолов к флавонам. Второй фактор коррелирует с соотношениями кемпферола и изорамнетина к кверцетину, изорамнетина к кверцетину.

A. versicolor, *A. rytyensis* и комплекс *A. austrosibiricus* – *A. inopinatus* показали достаточно чёткую дискриминацию в двумерной диаграмме рассеяния, построенной по первому и второму факторам (рис. 1). Компактная область рассеяния *A. versicolor* дискриминируется и от комплекса *A. austrosibiricus* – *A. inopinatus* и от *A. rytyensis* по двум факторам. Две ценопопуляции *A. rytyensis* наиболее удалены от *A. versicolor* по второму фактору и имеют лишь несколько особей с близкими значениями содержания агликонов флавоноидов по первому фактору, а также значимо дискриминированы от комплекса *A. austrosibiricus*–*A. inopinatus* по первому фактору, что позволяет иметь на графике собственную область рассеивания. Комплекс *A. austrosibiricus* – *A. inopinatus* отделен от *A. rytyensis* и *A. versicolor* по первому фактору и не имеет разделения внутри комплекса ни по одному из двух главных факторов.

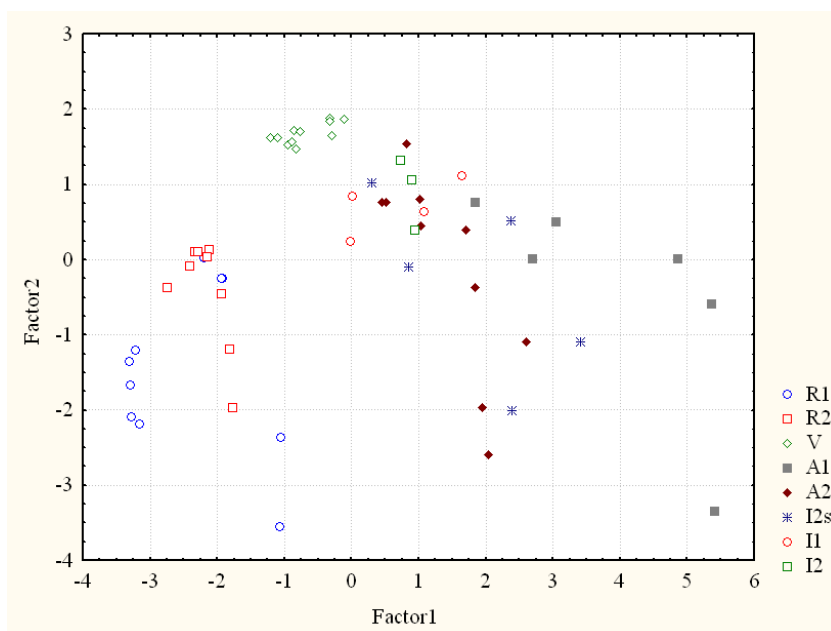


Рис. 1. Результаты анализа с применением метода главных компонент при распределении ценопопуляций *A. rytuensis* (R1, R2), *A. austrosibiricus* (A1, A2), *A. inopinatus* (I1, I2, I2s), *A. versicolor* (V) по 9 количественным признакам: содержание кверцетина, кемпферола, изорамнетина, лютеолина и апигенина, соотношение флавонолов к флавонам, сумма флавонолов, соотношение кемпферола и изорамнетина к кверцетину, соотношение изорамнетина к кверцетину

Итак, присутствие флавонов (апигенина и лютеолина) отличает *A. rytuensis* от *A. versicolor* и двух видов секции *Onobrychium*. Кроме этого, вклад в доказательство самостоятельности ценопопуляций нового таксона от совместно произрастающих ценопопуляций *A. versicolor*, *A. inopinatus* и *A. austrosibiricus* вносят некоторые отличия в содержании общих для всех изучаемых видов флавонолов.

В результате исследования водно-этанольных экстрактов листьев растений методом ВЭЖХ были получены профили фенольных соединений изученных таксонов. Максимальное количество компонентов (29) обнаружено в средней пробе из ценопопуляции I2s (*A. inopinatus* с синеющими при сушке венчиками). В листьях растений ценопопуляций *A. austrosibiricus* зарегистрировано по 24 пика ФС, *A. rytuensis* – по 19, в ценопопуляциях *A. inopinatus* I1 и I2 – 19 и 18 соответственно, *A. versicolor* – 13 ФС. Хроматограммы *A. rytuensis* двух ценопопуляций с м. Рытый не имеют отличий в качественном составе. Для этого вида характерно высокое содержание кверцетина, который обнаружен и в *A. versicolor*, но в гораздо меньших количествах (рис. 2).

В таблице 4 представлены главные компоненты всех изученных таксонов. Общие для *A. rytuensis* и комплекса *A. austrosibiricus* – *A. inopinatus* компоненты – гиперозид, изокверцитрин, рутин, астрагалин, компоненты 6

и 10; для *A. rutyensis* и *A. austrosibiricus* – хлорогеновая кислота и компонент 16. От остальных видов *A. rutyensis* отличается отсутствием соединений 3 и 15, от комплекса *A. austrosibiricus*–*A. inopinatus* – 4 и 11. Вещество 17 обнаружено только у *A. versicolor* (табл. 4).

Таблица 4

Спектральные характеристики главных ФС в экстрактах листьев растений видов *A. rutyensis*, *A. austrosibiricus*, *A. inopinatus*, *A. versicolor*

№ пика	Время удерживания (t_R), мин	Спектральные характеристики соединения, λ_{max} , нм	Идентифицируемое соединение, λ_{max} , нм	<i>A. rutyensis</i>	<i>A. austrosibiricus</i>	<i>A. inopinatus</i>	<i>A. versicolor</i>
1	3,2	Хлорогеновая кислота (217, 244 пл., 298 пл., 328)	217, 244, 325	+	+		
2	4,7		325	+	+	+	+
3	6,1		255, 350		+	+	+
4	10,7		260, 356		+	+	
5	13		272, 353	+	+	+	+
6	16,4		255, 290 пл., 360	+	+	+	
7	18,5	Гиперозид (257; 269 пл.; 362)	255, 360	+	+	+	
8	19,5	Изокверцитрин (255,5; 360)	255, 360	+	+	+	+
9	21	Рутин (256; 272 пл.; 357)	255, 360	+	+	+	
10	24,6		255, 350	+	+	+	
11	26		255,350		+	+	
12	30,6	Кверцитрин (275,5; 352,5)	269, 349	+			+
13	32,5	Астрагалин (267, 300 пл., 351)	266, 347	+	+	+	
14	34,4		255, 350	+	+	+	+
15	35,8		255, 350		+	+	+
16	38		255, 350	+	+		
17	38		325				+

Примечание. Пл. – плечо. Плюс означает наличие вещества.

Дендрограмма, построенная по качественному составу фенольных соединений экстрактов листьев (38 компонентов), показывает наибольшую близость *A. rutyensis* к *A. versicolor* (рис. 3).

Дендрограмма состоит из двух кластеров, один из которых объединяет *A. versicolor* и *A. rutyensis*, второй – *A. inopinatus* и *A. austrosibiricus*. Полученное разбиение на кластеры сохранялось во всех методах иерархической классификации и различалось только уровнем внутригрупповых различий, при котором объекты были впервые объединены в один кластер. В этом варианте дендрограммы *A. rutyensis* находится на одном расстоянии и с *A. versicolor*, и с комплексом *A. inopinatus* – *A. austrosibiricus*.

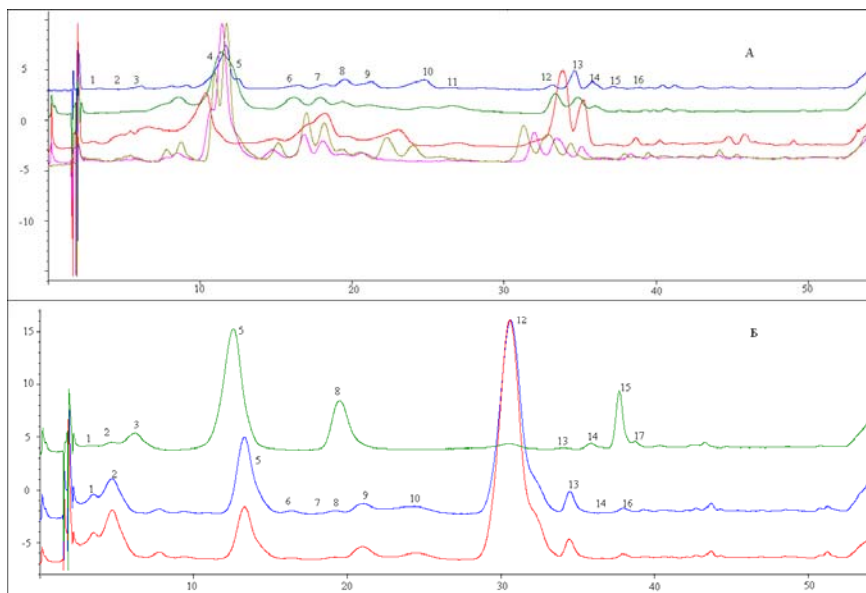


Рис. 2. Хроматограммы экстрактов листьев растений *A. rytuensis*, *A. austrosibiricus*, *A. inopinatus*, *A. versicolor*. А – синим цветом обозначен *A. austrosibiricus* (A2), зелёным – *A. inopinatus* (I1), красным – *A. austrosibiricus* (A1), коричневым – *A. inopinatus* (I2s), малиновым – *A. inopinatus* (I2). Б – зелёным цветом обозначен *A. versicolor* (V), синим и красным – *A. rytuensis* (R1 и R2, соответственно). Цифровые обозначения компонентов (1–17) см. табл. 4. По оси абсцисс – время удерживания (мин), по оси ординат – сигнал детектора (е. о. п.)

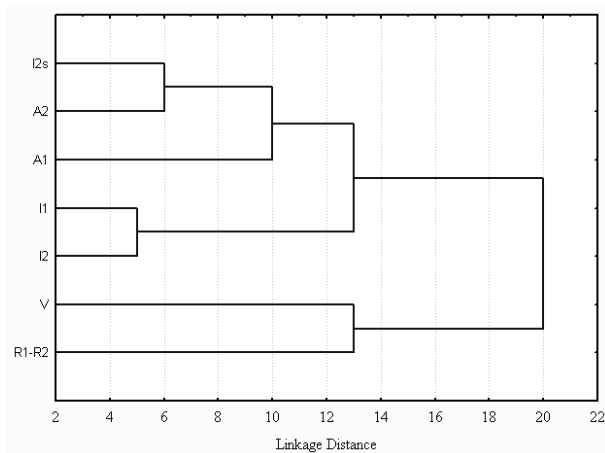


Рис. 3. Дендрограмма межвидовых различий *A. rytuensis*, *A. austrosibiricus*, *A. inopinatus*, *A. versicolor* по 38 ФС, построенная по методу «полной связи». По оси ординат – видовая принадлежность и код образца (см. табл. 1). По оси абсцисс – коэффициент «манхэттенское расстояние» (Manhattan distances)

Таким образом, состав ФС экстрактов листьев *A. rytuensis* подтверждает самостоятельность вида и наиболее близкое сходство с *A. versicolor*.

Выводы

1. Методом ВЭЖХ изучены состав и содержание агликонов флавоноидов в гидролизатах экстрактов листьев и состав фенольных соединений в нативных экстрактах листьев *A. rutyensis* и совместно произрастающих с ним на северо-западном побережье оз. Байкал *A. austrosibiricus*, *A. inopinatus* и *A. versicolor*.

2. В гидролизатах экстрактов листьев *A. rutyensis* в минорных количествах были найдены агликоны флавонов – лютеолин и апигенин, не обнаруженные у *A. austrosibiricus*, *A. inopinatus* и *A. versicolor*. По содержанию кверцетина *A. rutyensis* достоверно отличим от совместно произрастающих видов, по содержанию изорамнетина и суммы флавонолов – от комплекса *A. austrosibiricus* – *A. inopinatus*.

3. Состав ФС *A. rutyensis* таксоноспецифичен, он отличается от *A. versicolor* и от группы *A. austrosibiricus* – *A. inopinatus*, хотя и имеет общие с ними компоненты. По этим характеристикам *A. rutyensis* наиболее близок к *A. versicolor*.

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

Список литературы

- Высочина Г. И. Фенольные соединения в систематике и филогении семейства гречишных. Новосибирск : Наука, 2004. 240 с.
- Кадырова Р. Б. Флавоноидный состав некоторых сибирских видов *Astragalus* L. // Растит. ресурсы. 1989. Т. 25, № 4. С. 552–557.
- Коцупий О. В., Храмова Е. П., Высочина Г. И. Сравнительно-морфологическое и хемотаксономическое изучение видов *Onobrychium* Bunge рода *Astragalus* L. (Fabaceae Lindl.) // Растит. мир Азиат. России. 2012. № 1 (9). С. 33–38.
- Кривенко Д. А. Эндемики Прибайкалья *Astragalus olchonensis* Gontch. и *Astragalus sericeocanus* Gontch. (Fabaceae): эколого-биологические особенности ценопопуляций, вопросы филогении, охрана : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Томск : Том. гос. ун-т, 2015. 18 с.
- Пешкова Г. А. Семейство Fabaceae, или Leguminosae – Бобовые // Флора Центральной Сибири. Новосибирск : Наука, 1979. Т. 2. С. 597–601.
- Пленник Р. Я., Ростовцева Т. С. К изучению чисел хромосом у бобовых Южной Сибири // Растительные ресурсы Южной Сибири и пути их освоения. Новосибирск : Наука, 1977. С. 80–84.
- Положий А. В. Флорогенетический анализ среднесибирских астрагалов // Изв. Том. отд-ния Всесоюз. бот. о-ва. Красноярск, 1964. Т. 5. С. 61–75.
- Полякова Л. В., Ершова Э. А. Флавоноидный комплекс *Astragalus austrosibiricus* Schischk. в природных популяциях Алтая. Сообщ. 1. Внутривидовая изменчивость в степных сообществах // Растит. ресурсы. 1996. Т. 32, № 1–2. С. 81–87.
- Попов М. Г. Флора Средней Сибири. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1957. Т. 1. 556 с.
- Сиднева О. В. Биохимическая специфичность сибирских видов секции *Cenantrum* Koch рода *Astragalus* L. (Fabaceae) // Turczaninowia. 2005. № 8 (4). С. 73–82.
- Степанов Н. В. Числа хромосом некоторых таксонов высших растений флоры Красноярского края // Бот. журн. 1994. Т. 79, № 2. С. 135–139.

Степанцова Н. В., Кривенко Д. А. Новый вид *Astragalus* (Fabaceae) с западного побережья Байкала (Иркутская область) // Turczaninowia. 2015. № 18 (1). С. 44–55. <https://doi.org/10.14258/turczaninowia.18.1.5>.

Флора Сибири. Fabaceae (Leguminosae) / А. В. Положий, С. Н. Выдрина, В. И. Курбатский, О. Д. Никифорова. Новосибирск : Наука, 1994. Т. 9. 280 с.

Secondary metabolites of *Astragalus danicus* Retz. and *A. inopinatus* Boriss. / A. S. Gromova, V. I. Lutsky, J. G. Cannon, D. Li, N. L. Owen // Russ. Chem. Bull. 2001. Vol. 50, N 6. P. 1107–1112. <https://doi.org/10.1023/A:1011302309943>

Phenolic Compounds in *Astragalus rytyensis* Stepantsova and Other Species of the *Astragalus* L. Genus from Joint Growth Places on the North-Western Coast of Lake Baikal

O. V. Kotsupiy¹, N. V. Stepantsova², G. I. Vysochina¹, A. A. Petruk¹

¹ Central Siberian Botanical Garden SB RAS, Novosibirsk

² Irkutsk State University, Irkutsk

Abstract. The composition and content of flavonoid aglycons and the composition of phenolic compounds (PhC) in *Astragalus rytyensis* Stepantsova, *A. austrosibiricus* Schischk., *A. inopinatus* Boriss., *A. versicolor* Pall. from the places of co-growth on the North-Western coast of lake Baikal by the method of high-performance liquid chromatography (HPLC). Luteolin and apigenin (the flavone aglycones) detected in hydrolysed extracts of leaves of *A. rytyensis*, along with the flavonol aglycons (quercetin, kaempferol, isorhamnetin), common to the studied species. *A. rytyensis* has significant differences of from other growing together *Astragalus* species on the contents of quercetin, away *A. austrosibiricus* – *A. inopinatus* – on the content of isorhamnetin and sum of flavonols. The composition of PhC water-alcohol extracts *A. rytyensis* differs from the composition of PhC *A. versicolor* and from the group *A. austrosibiricus* – *A. inopinatus*, although it has common components. Chlorogenic acid is detected in *A. rytyensis* and *A. austrosibiricus*, quercitrin in large quantity is in *A. rytyensis* and small – from *A. versicolor*. Hyperoside, isoquercitrin, rutin and astragalins is characteristic of *A. rytyensis*, *A. austrosibiricus* and *A. inopinatus*. The dendrogram constructed according to the 38 components of the phenolic complex showed the greatest similarity between the coenopopulations of *A. rytyensis* and *A. versicolor*. Studied differences in the composition and content of flavonoid aglycons in the hydrolysates and differences in the composition of PhC in non-hydrolysed extract contribute to the proof of the independence of the new taxon *A. rytyensis* and its isolation from *A. versicolor*, *A. inopinatus* and *A. austrosibiricus* vegetating jointly with the above species.

Keywords: phenolic compounds, flavonoids, flavonols, flavones, aglycones, *A. rytyensis* Stepantsova, *Astragalus austrosibiricus* Schischk., *A. inopinatus* Boriss., *A. versicolor* Pall., coast of Baikal.

For citation: Kotsupiy O.V., Stepantsova N.V., Vysochina G.I., Petruk A.A. Phenolic Compounds in *Astragalus rytyensis* Stepantsova and Other Species of the *Astragalus* L. Genus from Joint Growth Places on the North-Western Coast of Lake Baikal. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Biology. Ecology*, 2018, vol. 24, pp. 3-15. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2018.24.3> (in Russian)

References

Kadyrova R.B. Flavonoidnyi sostav nekotorykh sibirskikh vidov *Astragalus* L. [Flavonoid composition of some of the Siberian species of *Astragalus* L.]. *Rastitel'nye resursy* [Plant Resources], 1989, vol. 25, pp. 552-557. (in Russian)

Kotsupiy O.V., Khranova E.P., Vysochina G.I. Sravnitelno-morfologicheskoe i khemotaksonomicheskoe izuchenie vidov *Onobrychium* Bunge roda *Astragalus* L. (Fabaceae Lindl.) [Comparative morphological and chemotaxonomic study of *Onobrychium* Bunge species of the genus *Astragalus* L. (Fabaceae Lindl.)]. *Rastitelnyi mir Aziatskoj Rossii* [Flora of Asian Russia], 2012, vol. 9, pp. 33–38. (in Russian)

Krivenko D.A. *Endemiki Pribajkal'ya Astragalus olchonensis* Gontch. i *Astragalus sericeocanus* Gontch. (Fabaceae): ekologo-biologicheskie osobennosti tsenopulyatsii, voprosy filogenii, okhrana [Endemics of the Baikal region *Astragalus olchonensis* Gontch. and *Astragalus sericeocanus* Gontch. (Fabaceae): ecological and biological features of the cenopopulations, phylogeny, protection: Candidate in Biology dissertation abstract], Tomsk, Tomsk St. Univ., 2015, 18 p. (in Russian)

Peshkova G.A. Semeistvo Fabaceae, ili Leguminosae – Bobovyje [The Family Fabaceae, or Leguminosae – Legume]. *Flora Tsentral'noi Sibiri* [Flora of Central Siberia]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1979, vol. 2, pp. 597–601. (in Russian)

Plennik R.Ya., Rostovtseva T.S. K izucheniyu chisel khromosom u bobovykh Yuzhnoi Sibiri [To the study of chromosome numbers in legumes of Southern Siberia]. *Rastitel'nye resursy Yuzhnoi Sibiri i puti ikh osvoeniya* [Plant resources of southern Siberia and ways of their development]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1977, pp. 80–84. (in Russian)

Polozhii A.V. Florogeneticheskii analiz srednesibirskikh astragalov [Close genetic analysis of the Central Siberian astragals]. *Izv. Tomsk. otd. Vsesoyuzn. bot. obshch.-va* [Bull. of Tomsk Branch of all-Union Botanical Society]. Krasnoyarsk, 1964, vol. 5, pp. 61–75. (in Russian)

Polozhij A.V., Vydrina S.N., Kurbatsky V.I., Nikiforova O.D. *Flora Sibiri* [Flora of Siberia]. Vol. 9. Fabaceae (Leguminosae). Novosibirsk, Nauka Publ., 1994, vol. 9, 280 p. (in Russian)

Polyakova L.V., Ershova E.A. Flavonoidnyi kompleks *Astragalus austrosibiricus* Schischk. v prirodnykh populyaciyakh Altaya. Soobshch. 1. Vnutripopulyacionnaya izmenchivost' v stepnykh soobshchestvakh [Flavonoid complex of *Astragalus austrosibiricus* Schischk. in natural populations of the Altai. Report 1. Intrapopulation variability in steppe communities]. *Rastitelnye resursy* [Plant Resources], 1996, vol. 32, pp. 81–87. (in Russian)

Popov M.G. *Flora Srednei Sibiri* [Flora of Middle Siberia]. Moscow, St.-Petersb., AN USSR Publ., 1957, vol. 1, 556 p. (in Russian)

Sidneva O.V. Biokhimicheskaya spetsifichnost' sibirskikh vidov seksii *Cenantrum* Koch roda *Astragalus* L. (Fabaceae) [Biochemical specificity of Siberian species of *Cenantrum* Koch section of the genus *Astragalus* L. (Fabaceae)]. *Turczaninowia*, 2005, vol. 8 (4), pp. 73–82. (in Russian)

Stepanov N.V. Chisla khromosom nekotorykh taksonov vysshikh rastenii flory Krasnoyarskogo kraja [Numbers of chromosomes of some taxa of higher plants flora of Krasnoyarsk region]. *Bot. zhurnal* [Bot. Journal], 1994, vol. 79, pp. 135–139. (in Russian)

Stepancova N.V., Krivenko D.A. Novyi vid *Astragalus* (Fabaceae) s zapadnogo poberezh'ya Baikala (Irkutskaya oblast') [A New species of *Astragalus* (Fabaceae) from the West coast of Baikal (Irkutsk oblast')]. *Turczaninowia*, 2015, vol. 18, pp. 44–55. (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.14258/turczaninowia.18.1.5>. (in Russian)

Vysochina G.I. *Fenolnye soedineniya v systematike I phylogeniye semejstva grechishnykh* [Phenolic compounds in systematics and phylogeny of the family Polygonaceae Juss.]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2004, 240 p. (in Russian)

Gromova A.S., Lutsky V.I., Cannon J.G., Li D., Owen N.L. Secondary metabolites of *Astragalus danicus* Retz. and *A. inopinatus* Boriss. *Russ. Chem. Bul.*, 2001, vol. 50, pp. 1107–1112. <https://doi.org/10.1023/A:1011302309943>.

Коцупий Ольга Викторовна
кандидат биологических наук,
научный сотрудник
Центральный сибирский ботанический
сад СО РАН
Россия, 630090, г. Новосибирск,
ул. Золотодолинская, 101
тел.: (383) 339–98–18
e-mail: olnevaster@gmail.com

Kotsupiy Ol'ga Viktorovna
Candidate of Sciences (Biology),
Research Scientist
Central Siberian Botanical Garden SB RAS
101, Zolotodolinskaya st., Novosibirsk,
630090, Russian Federation
tel.: (383) 339–98–18
e-mail: olnevaster@gmail.com

Степанцова Надежда Васильевна
кандидат биологических наук,
ведущий инженер
Иркутский государственный университет
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
тел.: (3952) 24–18–70
e-mail: nadia@irk.ru

Stepantsova Nadezhda Vasilyevna
Candidate of Sciences (Biology),
Leading Engineer
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,
Russian Federation
tel.: (3952) 24–18–70
e-mail: nadia@irk.ru

Высочина Галина Ивановна
доктор биологических наук, заведующий
лабораторией, главный научный сотрудник
Центральный сибирский ботанический
сад СО РАН
Россия, 630090, г. Новосибирск,
ул. Золотодолинская, 101
тел.: (383) 339–98–10
e-mail: vysochina_galina@mail.ru

Vysochina Galina Ivanovna
Doctor of Sciences (Biology), Head
of Laboratory, Chief Research Scientist
Central Siberian Botanical Garden SB RAS
101, Zolotodolinskaya st., Novosibirsk,
630090, Russian Federation
tel.: (383) 339–98–10
e-mail: vysochina_galina@mail.ru

Петрук Анастасия Андреевна
кандидат биологических наук,
научный сотрудник
Центральный сибирский ботанический
сад СО РАН
Россия, 630090, г. Новосибирск,
ул. Золотодолинская, 101
тел.: (383) 339–98–18
e-mail: pet.a@mail.ru

Petruk Anastasia Andreevna
Candidate of Sciences (Biology),
Research Scientist
Central Siberian Botanical Garden SB RAS
101, Zolotodolinskaya st., Novosibirsk,
630090, Russian Federation
tel.: (383) 339–98–18
e-mail: pet.a@mail.ru