

УДК 577.13:581.524.2.

## СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЛИСТЬЯХ ПОТЕНЦИАЛЬНО ИНВАЗИОННОГО ВИДА *PHYSOCARPUS OPULIFOLIUS* (L.) MAXIM. И ЕГО ДЕКОРАТИВНЫХ СОРТОВ

© А.П. Беланова\*, В.А. Костикова, Г.И. Высокочина

Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, ул. Золотодолинская, 101,  
Новосибирск, 630090 (Россия), e-mail: boronina.a@inbox.ru

Экспансия чужеродных видов растений в естественные сообщества в настоящее время принимает глобальные масштабы. Существующие биологические и химические средства борьбы с агрессивными адвентивными растениями пока являются малоэффективными, но поскольку большая часть инвазионных видов обладает хозяйственно-ценными свойствами, многие исследователи сходятся во мнении, что эти растения необходимо использовать в качестве новых источников биологических ресурсов. В статье представлены результаты исследования состава и содержания фенольных соединений в листьях потенциально инвазионного вида г. Новосибирска – *Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim. и его декоративных сортов *Ph. opulifolius* ‘Diabolo’, *Ph. opulifolius* ‘Luteus’ методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Впервые проведен анализ фенольных профилей интродукционных, самосевных и сортовых растений *Ph. opulifolius*. Установлено наличие 22 фенольных соединений, представленных несколькими группами веществ, из которых доминирующей являются флавонолы (гиперозид, рутин, астрагалин и кверцетин). Авикулярин обнаружен только в листьях сортовых растений. Сумма идентифицированных флавонолов сильно варьирует у различных образцов, самое высокое содержание выявлено у сорта *Ph. opulifolius* ‘Diabolo’ (14.68 мг/г) и самосевных растений *Ph. opulifolius* (14.22 мг/г). Содержание суммы идентифицированных флавонов (витексин, изовитексин, байкалин) и фенолкарбоновых кислот (хлорогеновая, кофейная) примерно на одном уровне у всех исследуемых образцов *Ph. opulifolius*. Полученные нами данные расширили представления о ресурсном потенциале агрессивного чужеродного вида и его декоративных сортов во вторичном ареале.

**Ключевые слова:** *Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim., *Ph. opulifolius* ‘Diabolo’, *Ph. opulifolius* ‘Luteus’, потенциально инвазионный вид, фенольные соединения, ВЭЖХ.

### Введение

В настоящее время многие регионы мира столкнулись с серьезной экологической проблемой – фитоинвазиями. Интенсивное неконтролируемое распространение чужеродных видов представляет угрозу аборигенным видам и естественной растительности [1–4]. Разработка и реализация мероприятий по предотвращению инвазий чужеродных видов растений отнесены к важным задачам современных научных исследований.

Ряд исследователей предлагает рассмотреть инвазионные виды как новый источник биологических ресурсов регионов, поскольку большая часть таких растений обладает хозяйственно-ценными свойствами [5–8]. Основная проблема использования ресурсного потенциала инвазионных растений заключается в недостаточном изучении биологических особенностей видов в условиях вторичного ареала. В настоящее время рекомендации по использованию биологических ресурсов агрессивных чужеродных видов немногочисленны, в Сибири подобные исследования ранее не проводились, хотя проблема фитоинвазий актуальна и для данного региона.

*Беланова Анастасия Петровна* – кандидат биологических наук, научный сотрудник, e-mail: boronina.a@inbox.ru

*Костикова Вера Андреевна* – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, e-mail: serebryakova-va@yandex.ru

*Высокочина Галина Ивановна* – доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией фитохимии, e-mail: vysochina\_galina@mail.ru

В ходе исследований инвазионной активности древесных растений в Новосибирской области североамериканский вид *Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim. был отнесен к категории потенциально инвазионных видов [9, 10]. Декоративные сорта

\* Автор, с которым следует вести переписку.

данного вида инвазионных характеристик в местных условиях не проявляют, среди них наибольшей популярностью в зеленом строительстве пользуются *Ph. opulifolius* 'Diabolo' и *Ph. opulifolius* 'Luteus'.

По имеющимся данным некоторых фитохимических исследований, *Ph. opulifolius* является перспективным объектом по созданию новых лекарственных препаратов и БАД. Растения этого вида содержат такие биологически активные вещества как кукурбитацины, фенолкарбоновые кислоты, кумарины и т.д., а также 15 аминокислот, в том числе 9 незаменимых [11–13].

Стоит отметить также, что род *Physocarpus* (Cambess.) Maxim. в систематическом отношении является одним из наименее изученных в подсемействе *Spiraeoideae* Agardh. семейства *Rosaceae* Juss, что значительно усложняет поиск информации о наборе биологически активных соединений у представителей данного рода. Корейские ученые установили, что кислоты, выделенные из коры *Ph. intermedius* (Rydb.) C. K. Schneid (бетулиновая, урсоловая, олеаноловая, кофеилолеаноловая, эускафоновая, 2-альфа-гидроксиурсоловая и маслиновая), активны против пяти культивируемых линий опухолевых клеток человека [14]. По последним таксономическим данным, *Ph. intermedius* является синонимом *Ph. opulifolius* [15], поэтому вышесказанное можно справедливо отнести к интересующему нас виду.

Цель исследования – изучение состава и содержания фенольных соединений в листьях потенциально инвазионного вида Новосибирска – *Ph. opulifolius* и его декоративных сортов *Ph. opulifolius* 'Diabolo', *Ph. opulifolius* 'Luteus'.

### Экспериментальная часть

*Physocarpus opulifolius* (syn.: *Spiraea opulifolia* L., *Opulaster alabamensis* Rydb., *O. australis* Rydb., *O. stellatus* Rydb. ex Small) – листопадный кустарник, достигающий 3 м высоты, с густой шаровидной кроной, поникающими периферийными ветвями. Естественно произрастает в восточной части Северной Америки (в штатах с континентальным и аридным климатом), в Канаде (провинция Квебек).

В условиях г. Новосибирска *Ph. opulifolius* характеризуется обильным плодоношением и возобновлением, сочетанием вегетативного и семенного размножения, формированием устойчивых популяций, способных к самоподдержанию. Он относится к часто встречаемым видам на объектах озеленения г. Новосибирска, единично встречаются самосевные экземпляры в городских лесах [9].

Объектом для исследования фенольных соединений послужили листья видовых и сортовых растений, произрастающих на коллекционном участке Центрального сибирского ботанического сада СО РАН (Академгородок, Новосибирск), а также самосевных растений *Ph. opulifolius*, встречающихся за пределами коллекционного участка (табл. 1). Для сравнения с данными, представленными в работе И.А. Сафроновой и соавторов [12], по составу и содержанию фенольных соединений листьев растений *Ph. opulifolius*, собранного во вторичном ареале на территории Курской области в фазе плодоношения, материал также собирали в этой же вегетационной фазе в 2018 г. В дальнейшем планируется проведение анализа фенольных соединений в надземных органах *Ph. opulifolius* по фазам развития растений. Биологический возраст коллекционных растений 30–35 лет, возраст самосевных растений не превышал 5 лет. Сырье высушивали на воздухе в затененном месте. После сушки сырье измельчали до 2–3 мм, перемешивали и отбирали репрезентативную пробу.

Для изучения фенольных соединений использовали водно-этанольные извлечения (50% этиловый спирт) из листьев *Ph. opulifolius*, полученные экстракцией на водяной бане. Точную навеску (0.5000 г) измельченного воздушно-сухого материала экстрагировали дважды: сначала 30 мл – в течение 30 мин, затем 20 мл – в течение 20 мин. После фильтрации остаток в колбе и на фильтре промывали 5 мл 50% этилового спирта. После этого объединенный экстракт концентрировали в фарфоровых чашечках до 10–15 мл (точный объем) [16].

Таблица 1. Образцы для биохимического исследования

Индекс растений*	Происхождение растений, вид посадочного материала, год поступление образца	Место произрастания
К-1	семена, полученные из г. Томска в 1992 г.	коллекционный участок ЦСБС СО РАН
К-2	семена, полученные из г. Омска в 1983 г.	коллекционный участок ЦСБС СО РАН
К-3	семена, полученные из г. Свердловска в 1989 г.	коллекционный участок ЦСБС СО РАН
К-4	местная репродукция, самосевные растения	произрастает в лесу за пределами коллекционного участка ЦСБС СО РАН.
К-5	местная репродукция, самосевные растения	произрастает на открытом пространстве за пределами коллекционного участка ЦСБС СО РАН.
Кд-1	местная репродукция	коллекционный участок ЦСБС СО РАН
Кж-1	неизвестно	Академгородок, просп. Академика Лаврентьева, 8/2.

\* К – *Ph. opulifolius*, Кд – *Ph. opulifolius* 'Diablo', Кж – *Ph. opulifolius* 'Luteus'

Для освобождения от примесей 1 мл водно-этанольного экстракта разбавляли бидистиллированной водой до 5 мл и пропускали через концентрирующий патрон Диапак С16 (ЗАО «БиоХимМак»). Вещества смывали с патрона небольшим количеством (3 мл) 50% водно-этанольного раствора, а затем 2 мл 96% этанола. Объединенный элюат пропускали через мембранный фильтр с диаметром пор 0.45 мкм. Методика подробно описана в работе Е.П. Храмовой и Е.К. Комаревцевой [17]. Анализ фенольных соединений, содержащихся в элюате, проводили на аналитической ВЭЖХ-системе, состоящей из жидкостного хроматографа «Agilent 1200» (США) с диодно-матричным детектором, автосамплером и системой для сбора и обработки хроматографических данных ChemStation, модифицировав методику Т.А. van Beek [18]. Колонка Zorbax SB-C18, размером 4.6×150 мм, с диаметром частиц 5 мкм. Разделение проводили в следующих условиях: градиент от 31 до 33% метанола, подкисленного в ортофосфорной кислоте (0.1%) в течение 27 мин, далее в подвижной фазе содержание метанола в водном растворе ортофосфорной кислоты (0.1%) изменялось от 33 до 46% за 11 мин, затем от 46 до 56% за следующие 12 мин и от 56 до 100% за 4 мин. Скорость потока элюента 1 мл/мин. Температура колонки 26 °С. Объем вводимой пробы 10 мкл. Для приготовления подвижных фаз использовали метиловый спирт (ос.ч.), ортофосфорную кислоту (ос.ч.), бидистиллированную деионизированную воду. Детектирование осуществляли при длинах волн  $\lambda=254, 270, 290, 340, 360$  и 370 нм. Для приготовления стандартных образцов использовали кофейную кислоту («Serva»), хлорогеновую кислоту, эскулин, кверцетин, изовитексин («Sigma-Aldrich»), рутин, гиперозид, авикулярин, астрагалин, байкалин и витексин («Fluka»). Стандартные растворы готовили в концентрации 10 мкг/мл в этиловом спирте [17, 19]. Количественное определение индивидуальных компонентов проводили по методу внешнего стандарта [18].

Содержание индивидуальных компонентов ( $C_x$ ) вычисляли по формуле (в мг/г от массы воздушно-сухого сырья):

$$C_x = C_{ст} \times S_1 \times V_1 \times V_2 / S_2 \times M \times V_3,$$

где  $C_{ст}$  – концентрация соответствующего стандартного раствора флавонола (мг/мл);  $S_1$  – площадь пика флавонола в анализируемой пробе (е.о.п.);  $V_1$  – объем элюата после вымывания флавонолов с концентрирующего патрона (мл);  $V_2$  – общий объем экстракта (мл);  $S_2$  – площадь пика стандартного флавонола (е.о.п.);  $M$  – масса навески (г);  $V_3$  – объем экстракта, взятый на анализ.

В таблице и на графике приведены количественные данные в виде среднего арифметического значения из трех параллельных определений. Относительное стандартное отклонение повторяемости при определении фенольных компонентов составило  $\sigma_{r,отн}=0.011$ , относительное стандартное отклонение по времени удерживания у метода ВЭЖХ = 0.0018. График по содержанию идентифицированных фенольных соединений в листьях *Ph. opulifolius* по группам веществ выполнен в программе «Excel».

### Обсуждение результатов

В водно-этанольных экстрактах из листьев видового *Ph. opulifolius* и его сортов *Ph. opulifolius* ‘Diablo’ и *Ph. opulifolius* ‘Luteus’ методом ВЭЖХ выявлено 22 соединения (рис. 1, табл. 2). В результате анализа методом сопоставления УФ-спектров и времен удерживания пиков веществ установлено, что фенольные соединения в листьях растений *Physocarpus* представлены несколькими группами веществ: кумарином (эскулин), фенолкарбоновыми кислотами (хлорогеновая, кофейная), флавонолами (кверцетин, гиперозид, рутин, авикулярин, астрагалин) и флавонами (байкалин, витексин и изовитексин). Остальные компоненты не идентифицированы, но в процессе хроматографирования в режиме online были зарегистрированы их УФ-спектры. Неидентифицированные соединения согласно спектральным характеристикам отнесены к флаванонам (компоненты 4 и 22), фенолкарбоновым кислотам (18), флавонолам (8, 12, 15), флавонам (5 и 6) [20, 21].

Анализ всех образцов *Ph. opulifolius* по составу фенольных соединений показал, что фенольный профиль у всех растений сходен. Различаются образцы только составом минорных соединений (табл. 2). Растения, выращенные в коллекции ЦСБС СО РАН из семян, полученных из разных городов (К-1, К-2 и К-3) и самосевные растения (К-4 и К-5) не отличаются по составу фенольных соединений. Основными веществами в экстрактах из листьев коллекционного видового *Ph. opulifolius*, самосевных и сортовых растений являются флавонолы гиперозид и рутин. В сортовых растениях обнаружен авикулярин. В видовых растениях выявлены только следы авикулярина. Сорт *Ph. opulifolius* ‘Luteus’ (Кж-1) не отличается по составу фенольных соединений от видового *Ph. opulifolius*. В составе экстракта у этого сорта не обнаружена феруловая кислота. Возможно, при анализе большего числа образцов из разных мест феруловая кислота в листьях *Ph. opulifolius* ‘Luteus’ будет выявлена. Сорт *Ph. opulifolius* ‘Diablo’ (Кд-1) отличается от видового *Ph. opulifolius* и сорта *Ph. opulifolius*

‘Luteus’ отсутствием многих соединений в составе экстрактов из листьев. Так, в листьях *Ph. opulifolius* ‘Diablo’ не обнаружены эскулин, хлорогеновая кислота, кофейная кислота, витексин, изовитексин и другие неидентифицированные соединения (табл. 2).

Доминирующей группой фенольных соединений в экстрактах из листьев видовых и сортовых растений являются флавонолы (табл. 2). По литературным данным, в растениях *Ph. opulifolius*, произрастающих на территории Курской области, из флавоноидов преобладали гликозиды кверцетина (цинарозид, гиперозид и рутин), из фенолкарбоновых кислот – хлорогеновая кислота [12]. Наши исследования показали, что во всех образцах из гликозидов флавонолов в экстрактах из листьев растений *Physocarpus* преобладали в большей степени рутин, гиперозид и астрагалин с пределами варьирования 1.77–9.29, 0.83–6.63 и 0.1–0.94 мг/г, соответственно (табл. 2). В листьях сортовых растений *Ph. opulifolius* ‘Diabolo’ и *Ph. opulifolius* ‘Luteus’ содержится авикулярин, 0.22 и 0.35 мг/г, соответственно. В остальных образцах присутствовали незначительные следы данного соединения.

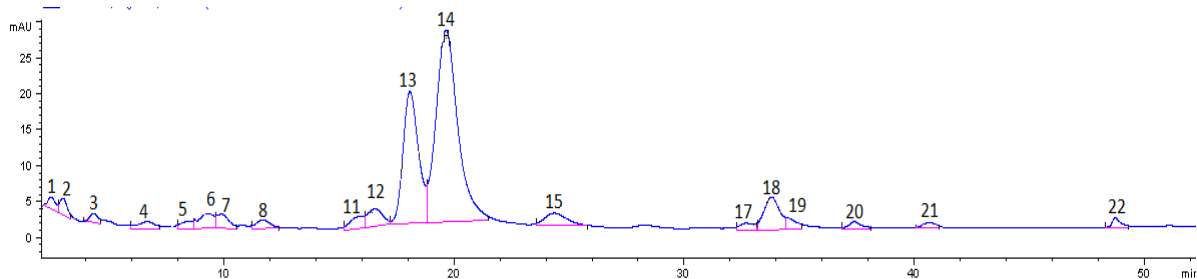


Рис. 1. ВЭЖХ-хроматограмма водно-этанольного экстракта (50%) из листьев *Ph. opulifolius* (К-5):

1 – эскулин, 2 – хлорогеновая кислота, 3 – кофейная кислота, 7 – феруловая кислота, 9 – витексин, 11 – изовитексин, 13 – гиперозид, 14 – рутин, 16 – авикулярин, 17 – астрагалин, 20 – байкалин, 21 – кверцетин; остальные вещества – неидентифицированные компоненты. По оси абсцисс – время удерживания, мин; по оси ординат – сигнал детектора, единица оптической плотности

Таблица 2. Содержание фенольных соединений в надземных органах *Ph. opulifolius* (в мг/г от массы воздушно-сухого сырья)

№	Соединение	Время удерживания (tr), мин	Спектральная характеристика $\lambda_{\max}$ , нм	Содержание, мг/г						
				К-1	К-2	К-3	К-4	К-5	Кд-1	Кж-1
1	Эскулин	2.6	225, 255 (пл), 285, 335	0.14	0.18	0.45	0.19	0.22	0	0.31
2	Хлорогеновая кислота	3.2	244, 300 пл, 330	0.11	0.2	0.45	0.18	0.28	0	0.15
3	Кофейная кислота	4.5	240, 295 пл, 325	0.2	0.13	0.1	0.22	0.18	0	0.3
4	Флаванон	6.9	280, 325	0	0.08	0.38	0.16	0.31	0.55	0.28
5	Флавонол	8.5	250, 325	0.17	0.12	0.24	0.15	0.22	0.57	0.23
6	Флавонол	9.6	250, 335	0.19	0.14	0.27	0.2	0.71	0.48	0.22
7	Феруловая кислота	10.1	240, 295 (пл), 325	0.31	0.12	0.13	0.22	0.36	0.07	0
8	Флавонол	11.5	270, 310, 350	0.1	0.15	0.62	0.08	0.28	0	0.2
9	Витексин	12.2	270, 296 пл, 340	0.1	0.23	0.41	0.24	0	0	0.16
10	–	13.3	–	0	0.21	0.69	0	0	0	0
11	Изовитексин	16.4	270, 335	0.31	0.32	0.57	0.19	0.4	0	0.15
12	Флавонол	17.5	265, 295 пл, 345	0.4	0.49	0	0.29	0.6	0	0.31
13	Гиперозид	18.5	255, 268 пл., 355	1.57	0.83	2.65	1.36	4.61	6.63	3.08
14	Рутин	20	256, 358	1.77	1.48	5.84	2.39	9.29	6.46	4.43
15	Флавонол	24.1	250, 295, 330	0.5	0.3	0.49	0.31	0.66	0.49	0.41
16	Авикулярин	28.1	–	следы	следы	следы	следы	следы	0.35	0.28
17	Астрагалин	32.6	265, 300 пл., 350	0.1	0.28	0.19	0.26	0.26	0.94	0.32
18	Фенолкарбоновая кислота	33.8	240, 260 пл, 300 пл, 330	0.45	1.0	0.81	0.43	1.47	0.41	0.93
19	–	34.5	–	0.37	0	0	0	0.20	0	0.13
20	Байкалин	37.7	240, 265, 320	0.34	0.21	0	0.12	0.24	0.25	0.19
21	Кверцетин	40.5	255, 372	0.12	0.08	0.14	0.1	0.06	0.3	0.35
22	Флаванон	48.7	275, 330	0.18	0	0	0.18	0.2	0	0

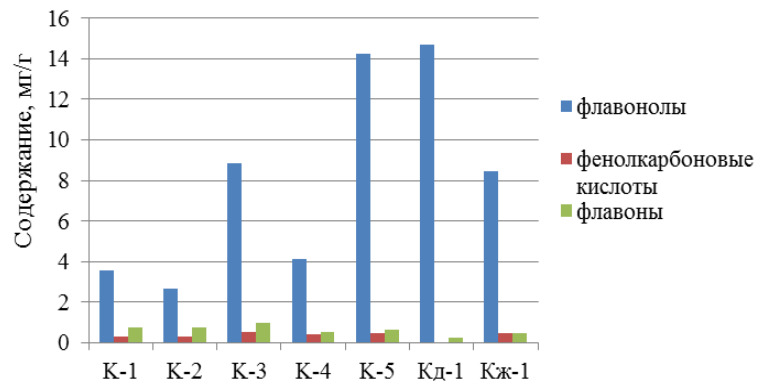
Примечание: «–» – вещество не идентифицировано; \*№ пика в таблице соответствует номеру пика на рисунке 1.

При анализе суммы идентифицированных флавонолов (рутин, гиперозид, авикулярин, астрагалин и кверцетин) было выявлено, что этот показатель сильно варьирует у растений *Physocarpus*. Самое высокое содержание суммы флавонолов в листьях сорта *Ph. opulifolius* 'Diabolo' (14.68 мг/г) (рис. 2). Этот сорт отличается высоким содержанием гиперозида (6.63 мг/г), астрагалина (0.94 мг/г) и авикулярина (0.35 мг/г) в листьях (табл. 2). Высоким значением суммы идентифицированных флавонолов характеризуются также самосевные растения *Ph. opulifolius* К-5 (14.22 мг/г), произрастающие на открытом пространстве, в отличие от самосевных растений *Ph. opulifolius* К-4 (4.11 мг/г), произрастающих под пологом леса, в экстракте которых сумма флавонолов практически в 3.5 раз меньше. Самосевные растения К-5 выделяются самым высоким содержанием рутина (9.29 мг/г) в листьях. В видовом *Ph. opulifolius* сумма флавонолов варьирует от 2.67 до 8.82 мг/г. Сумма флавонолов в листьях сортового *Ph. opulifolius* 'Luteus' (8.46 мг/г) на уровне видовых растений.

Содержание суммы идентифицированных фенолкарбоновых кислот хлорогеновой и кофейной примерно на одном уровне у видовых *Ph. opulifolius* (0.31–0.55 мг/г), самосевных образцов (0.4–0.46 мг/г) и сортовых растений (0.45 мг/г). Фенолкарбоновых кислот в экстрактах из листьев сорта *Ph. opulifolius* 'Diabolo' не выявлено (рис. 2).

Содержание суммы идентифицированных флавонов (витексин, изовитексин, байкалин), так же как и фенолкарбоновых кислот, примерно на одном уровне (рис. 2). В коллекционных видовых образцах накапливается немного больше флавонов до 0.98 мг/г, в самосевных – до 0.64 мг/г и сортовых – до 0.5 мг/г. Самое высокое содержание суммы флавонов в видовом *Ph. opulifolius* К-3, самое низкое в сортовом *Ph. opulifolius* 'Diabolo'.

Рис. 2. Содержание идентифицированных фенольных соединений в листьях *Ph. opulifolius* по группам веществ



## Выводы

В результате проведенных исследований установлен состав фенольных соединений в листьях *Ph. opulifolius* и его декоративных сортов *Ph. opulifolius* 'Diabolo' и *Ph. opulifolius* 'Luteus'. Всего в листьях данных растений обнаружено 22 фенольных соединения, представленных несколькими группами веществ. Наибольшее содержание характерно для флавонолов, при этом гиперозид, рутин, астрагалин, кверцетин встречались во всех исследуемых образцах. Авикулярин обнаружен только в листьях сортовых растений. Самое высокое содержание суммы идентифицированных флавонолов выявлено у сорта *Ph. opulifolius* 'Diabolo' (14.68 мг/г) и самосевных растений *Ph. opulifolius* (14.22 мг/г). На основе полученных данных можно предположить о наличии широкого спектра биологической активности у листьев потенциально инвазионного вида г. Новосибирска – *Ph. opulifolius* и его декоративных сортов. Необходимы дальнейшие исследования данного объекта в качестве источника биологически активных веществ.

При работе использовались материалы биоресурсной научной коллекции ЦСБС СО РАН «Коллекции живых растений в открытом и закрытом грунте» (Дендрарий), УНУ № USU\_440534.

## Список литературы

1. Callaway R.M., Aschehoug E.T. Invasive plants versus their new and old neighbors: a mechanism for exotic invasion // Science. 2000. Vol. 290. Pp. 521–523. DOI: 10.1126/science.290.5491.521.
2. Richardson D.M., Pyšek P., Rejmánek M., Barbour M.G., Panetta F.D., West C.J. Naturalization and invasion of alien plants: concept and definition // Diversity and distribution. 2000. Vol. 6. Pp. 93–107.

3. Xu S.Z., Li Z.Y., Jin X.H. DNA barcoding of invasive plants in China: A resource for identifying invasive plants // Molecular ecology resources. 2018. Vol. 18. N1. Pp. 128–136. DOI: 10.1111/1755-0998.12715.
4. Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Хорун Л.В. Черная книга флоры Средней России (Чужеродные виды растений в экосистемах Средней России). М., 2010. 494 с.
5. Виноградова Ю.К., Куклина А.Г. Ресурсный потенциал инвазионных видов растений. Возможности использования чужеродных видов. М., 2012. 186 с.
6. Шелепова О.В., Куклина А.Г., Виноградова Ю.К. Перспективы использования в фитотерапии некоторых инвазионных видов семейства Бобовые // Научный журнал КубГАУ. 2015. №14(10). С. 1–16.
7. Macel M., de Vos R.C., Jansen J.J., van der Putten W.H., van Dam N.M. Novel chemistry of invasive plants: exotic species have more unique metabolomic profiles than native congeners // Ecology and Evolution. 2014. Vol. 4. N13. Pp. 2777–2786. DOI: 10.1002/ece3.1132.
8. Wagh V.V., Jain A.K. Status of ethnobotanical invasive plants in western Madhya Pradesh, India // South African Journal of Botany. 2018. Vol. 114. Pp. 171–180. DOI: 10.1016/j.sajb.2017.11.008.
9. Беланова А.П., Эбель А.Л., Лях Е.М. Анализ инвазионной активности *Physocarpus opulifolius* в условиях лесостепной зоны Новосибирской области // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. №3. С. 87–92.
10. Chindyayeva L.N., Belanova A.P., Kiseleva T.I. Patterns of Natural Regeneration of Alien Species of Woody Plants in Novosibirsk // Russian Journal of Biological Invasions. 2018. Vol. 9. N3. Pp. 273–285. DOI: 10.1134/S207511718030025.
11. Sarker S.D., Whiting P, Šik V., Dinan L. Ecdysteroid antagonists (cucurbitacins) from *Physocarpus opulifolius* (Rosaceae) // Phytochemistry. 1999. Vol. 50. N7. Pp. 1123–1128. DOI: 10.1016/S0031-9422(98)00653-0.
12. Сафронова И.А., Яцюк В.Я., Кузьминова А.В. Изучение фенольных соединений листьев пузыреплодника калинолистного (*Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim) методом ВЭЖХ // Курский научно-практический вестник «Человек и его здоровье». 2009. №4. С. 131–139.
13. Сафронова И.А., Яцюк В.Я., Кузьминова А.В. Изучение аминокислотного состава пузыреплодника калинолистного (*Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim) // Научные ведомости БелГУ. Серия: Медицина. Фармация. 2012. №10 (129). С. 57–59.
14. Kim Y.K., Yoon S.K., Ryu S.Y. Cytotoxic triterpenes from stem bark of *Physocarpus intermedius* // Plant. Med. 2000. Vol. 66. N05. Pp. 485–486.
15. Oh S.H. Taxonomy of tribe *Neillieae* (Rosaceae): *Physocarpus* // Korean J. Pl. Taxon. 2015. Vol. 45. N4. Pp. 332–352. DOI: 10.11110/kjpt.2015.45.4.332.
16. Высочина Г.И. Фенольные соединения в систематике и филогении семейства гречишных. Новосибирск, 2004. 240 с.
17. Храмова Е.П., Комаревцева Е.К. Изменчивость флавоноидного состава листьев *Potentilla fruticosa* (Rosaceae) разных возрастных состояний в условиях Горного Алтая // Растительные ресурсы. 2008. Т. 44, вып. 3. С. 96–102.
18. van Beek T.A. Chemical analysis of *Ginkgo biloba* leaves and extracts // Journal of Chromatography A. 2002. Vol. 967. N1. Pp. 21–55. DOI: 10.1016/S0021-9673(02)00172-3.
19. Костикова В.А., Храмова Е.П., Сыева С.Я. Сравнительное исследование фенольных соединений в листьях *Sibiraea altaiensis* (Rosaceae) в природе и при интродукции // Растительные ресурсы. 2018. Т. 54, вып. 3. С. 409–419.
20. Запрометов М.Н. Фенольные соединения: распространение, метаболизм и функции в растениях. М., 1994. 240 с.
21. Корулькин Д.Ю., Абилов Ж.А., Музыкакина Р.А., Толстиков Г.А. Природные флавоноиды. Новосибирск, 2007. 232 с.

Поступила в редакцию 7 мая 2019 г.

После переработки 18 мая 2020 г.

Принята к публикации 5 октября 2020 г.

**Для цитирования:** Беланова А.П., Костикова В.А., Высочина Г.И. Состав и содержание фенольных соединений в листьях потенциально инвазионного вида *Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim. и его декоративных сортов // Химия растительного сырья. 2020. №4. С. 149–155. DOI: 10.14258/jcrpm.2020045524.

Belanova A.P.\* , Kostikova V.A., Vysochina G.I. THE COMPOSITION AND CONTENT OF PHENOLIC COMPOUNDS IN THE LEAVES OF A POTENTIALLY INVASIVE SPECIES *PHYSOCARPUS OPULIFOLIUS* (L.) MAXIM. AND ITS ORNAMENTAL CULTIVARS

Central Siberian Botanical Garden SB RAS, ul. Zolotodolinskaya, 101, Novosibirsk, 630090 (Russia),  
e-mail: boronina.a@inbox.ru

The expansion of alien plant species in natural communities is now taking a global scale. Since most invasive plants have economically valuable properties, many researchers agree that these plants must be used as new sources of biological resources. The composition and content of biologically active compounds were studied in the leaves of potentially invasive species of Novosibirsk – *Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim. and its ornamental cultivars *Ph. opulifolius* ‘Diabolo’, *Ph. opulifolius* ‘Luteus’ by the method of High-Performance Liquid Chromatography. For the first time an analysis of phenolic profiles of introduced, self-sown and cultivated *Ph. opulifolius* plants has been performed. Presence of 22 phenolic compounds represented by several groups of substances with predominating flavanols (hyperoside, rutin, astragalol and quercetin) has been established. Avicularin has been only revealed in the leaves of cultivars. The sum of identified flavanols greatly varies in different samples, the highest content is in the cultivar *Ph. opulifolius* ‘Diabolo’ (14.68 mg/g) and self-sown plants of *Ph. opulifolius* (14.22 mg/g). The content of the sum of identified flavons (vitexin, isovitexin, baicalin) and phenolic acid (chlorogenic and caffeic acids) is almost the same in all *Ph. opulifolius* samples under study. The data obtained will allow to widen the idea of the resource potential of the aggressive invasive species and its ornamental cultivars in the secondary areal.

**Keywords:** *Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim., *Ph. opulifolius* ‘Diabolo’, *Ph. opulifolius* ‘Luteus’, potentially invasive species, phenolic composition, HPLC.

### References

1. Callaway R.M., Aschehoug E.T. *Science*, 2000, vol. 290, pp. 521–523. DOI: 10.1126/science.290.5491.521.
2. Richardson D.M., Pyšek P., Rejmánek M., Barbour M.G., Panetta F.D., West C.J. *Diversity and distribution*, 2000, vol. 6, pp. 93–107.
3. Xu S.Z., Li Z.Y., Jin X.H. *Molecular ecology resources*, 2018, vol. 18, no. 1, pp. 128–136. DOI: 10.1111/1755-0998.12715.
4. Vinogradova Yu.K., Mayorov S.R., Khorun L.V. *Chernaya kniga flory Sredney Rossii (Chuzherodnyye vidy rasteniy v ekosistemakh Sredney Rossii)*. [Black Book of Flora of Central Russia (Alien plant species in ecosystems of Central Russia)]. Moscow, 2010, 494 p. (in Russ.).
5. Vinogradova Yu.K., Kuklina A.G. *Resursnyy potentsial invazionnykh vidov rasteniy. Vozможности ispol'zovaniya chuzherodnykh vidov*. [Resource potential of invasive plant species. Opportunities for the use of alien species]. Moscow, 2012, 186 p. (in Russ.).
6. Shelepova O.V., Kuklina A.G., Vinogradova Yu.K. *Nauchnyy zhurnal KubGAU*, 2015, no. 14(10), pp. 1–16. (in Russ.).
7. Macel M., de Vos R.C., Jansen J.J., van der Putten W.H., van Dam N.M. *Ecology and Evolution*, 2014, vol. 4, no. 13, pp. 2777–2786. DOI: 10.1002/ece3.1132.
8. Wagh V.V., Jain A.K. *South African Journal of Botany*, 2018, vol. 114, pp. 171–180. DOI: 10.1016/j.sajb.2017.11.008.
9. Belanova A.P., Ebel' A.L., Lyakh Ye.M. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2017, no. 3, pp. 87–92. (in Russ.).
10. Chindyaeva L.N., Belanova A.P., Kiseleva T.I. *Russian Journal of Biological Invasions*, 2018, vol. 9, no. 3, pp. 273–285. DOI: 10.1134/S2075111718030025.
11. Sarker S.D., Whiting P., Šik V., Dinan L. *Phytochemistry*, 1999, vol. 50, no. 7, pp. 1123–1128. DOI: 10.1016/S0031-9422(98)00653-0.
12. Safronova I.A., Yatsyuk V.Ya., Kuz'minova A.V. *Kurskiy nauchno-prakticheskiy vestnik «Chelovek i yego zdorov'ye»*, 2009, no. 4, pp. 131–139. (in Russ.).
13. Safronova I.A., Yatsyuk V.Ya., Kuz'minova A.V. *Nauchnyye vedomosti BelGU. Seriya: Meditsina. Farmatsiya*, 2012, no. 10 (129), pp. 57–59. (in Russ.).
14. Kim Y.K., Yoon S.K., Ryu S.Y. *Plant. Med.*, 2000, vol. 66, no. 05, pp. 485–486.
15. Oh S.H. *Korean J. Pl. Taxon.*, 2015, vol. 45, no. 4, pp. 332–352. DOI: 10.11110/kjpt.2015.45.4.332.
16. Vysochina G.I. *Fenol'nyye soyedineniya v sistematike i filogenii semeystva grechishnykh*. [Phenolic compounds in the taxonomy and phylogeny of the buckwheat family]. Novosibirsk, 2004, 240 p. (in Russ.).
17. Khramova Ye.P., Komarevtseva Ye.K. *Rastitel'nyye resursy*, 2008, vol. 44, no. 3, pp. 96–102. (in Russ.).
18. van Beek T.A. *Journal of Chromatography A*, 2002, vol. 967, no. 1, pp. 21–55. DOI: 10.1016/S0021-9673(02)00172-3.
19. Kostikova V.A., Khramova Ye.P., Syeva S.Ya. *Rastitel'nyye resursy*, 2018, vol. 54, no. 3, pp. 409–419. (in Russ.).
20. Zaprometov M.N. *Fenol'nyye soyedineniya: rasprostraneniye, metabolizm i funktsii v rasteniyakh*. [Phenolic compounds: distribution, metabolism and functions in plants]. Moscow, 1994, 240 p. (in Russ.).
21. Korul'kin D.Yu., Abilov Zh.A., Muzychkina R.A., Tolstikov G.A. *Prirodnyye flavonoidy*. [Natural flavonoids]. Novosibirsk, 2007, 232 p. (in Russ.).

Received May 7, 2019

Revised May 18, 2020

Accepted October 5, 2020

**For citing:** Belanova A.P., Kostikova V.A., Vysochina G.I. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2020, no. 4, pp. 149–155. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2020045524.

\* Corresponding author.

