

УДК 615.322.074:577.19:581.19:582.688.3

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ И БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В НЕКОТОРЫХ РАСТЕНИЯХ СЕМЕЙСТВА ВЕРЕСКОВЫЕ

© Я.Е. Решетов^{1*}, Е.С. Рабцевич¹, Е.В. Басова¹, С.В. Кривошеков¹, А.Н. Савельева¹, Н.А. Шевцов¹, А.Д. Гири², М.В. Белоусов¹

¹ Сибирский государственный медицинский университет, Московский тракт, 2, Томск, 634050, Россия, ferroplex2013@yandex.ru

² НИИ фармакологии и регенеративной медицины имени Е.Д. Гольдберга, пр. Ленина, 3, Томск, 634028, Россия

Определено количественное содержание водорастворимых нейтральных и кислых полисахаридов, пектиновых веществ, окисляемых веществ и суммы флавоноидов в пересчете на кверцетин в шести растениях семейства вересковые (*Ericaceae*): андромеде многолистной (*Andromeda polifolia* L.), кассандре болотной (*Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench.), зимолюбке зонтичной (*Chimaphila umbellata* L.), багульнике болотном (*Ledum palustre* L.), ортилии однобокой (*Orthilia secunda* L.), водянике черной (*Empetrum nigrum* L.). Наибольшее количество полисахаридов и окисляемых веществ установлено в надземных частях *Orthilia secunda*, *Chimaphila umbellata* L. и *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench. Больше количество флавоноидов, по сравнению с другими видами, содержится в надземных частях *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench., *Andromeda polifolia* L. и *Empetrum nigrum* L. Методом масс-спектрометрии установлено присутствие биогенных макро- и микроэлементов: кальция, калия, железа, марганца, цинка, меди, селена. Изучено содержание токсичных металлов: алюминия, бария, свинца и кадмия. Выявлено, что содержание тяжелых металлов и бария не превышает предельно допустимых значений. На основании полученных результатов исследуемые виды являются перспективными объектами для дальнейшего химического и фармакологического изучения.

Ключевые слова: вересковые, полисахариды, окисляемые вещества, флавоноиды, биогенные элементы, тяжелые металлы.

Для цитирования: Решетов Я.Е., Рабцевич Е.С., Басова Е.В., Кривошеков С.В., Савельева А.Н., Шевцов Н.А., Гири А.Д., Белоусов М.В. Сравнительное исследование содержания биологически активных веществ и биогенных элементов в некоторых растениях семейства вересковые // Химия растительного сырья. 2024. №2. С. 266–274. DOI: 10.14258/jcprm.20240214817.

Введение

Растения семейства вересковые, произрастающие на территории России, включают порядка 54 видов, при этом более половины встречаются в Сибири и на Дальнем Востоке [1]. Некоторые виды этих растений, в частности: андромеда многолистная (*Andromeda polifolia* L. syn.: *Andromeda secunda* Moench., *Rhododendron polifolium* (L.) Scop.), кассандра болотная (*Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench., syn.: *Cassandra calyculata* (L.) D. Don., *Lyonia calyculata* Rchb.) зимолюбка зонтичная (*Chimaphila umbellata* L. syn.: *Chimaphila corymbosa* Pursh., *Pyrola corymbosa* (Pursh) Bertol., *Pyrola umbellata* L.) багульник болотный (*Ledum palustre* L. syn.: *Ledum tomentosum* Stokes, nom. illeg., *Rhododendron palustre* (L.) Kron & Judd, nom. illeg., *Rhododendron tomentosum* Норман), ортилия однобокая (*Orthilia secunda* L., syn.: *Ramischia secunda* (L.) Garcke., *Pyrola secunda* L.) водяника черная (*Empetrum nigrum* L. syn.: *Empetrum nigrum* L. subsp. *hermaphroditum* (Lange ex Hagerup), *Empetrum hermaphroditum* (Lange ex Hagerup) Böcher) имеют высокую ресурсообеспеченность и широко применяются в народной медицине при эпилепсии, респираторных заболеваниях вирусного и бактериального происхождения, заболеваниях мочевыводящих путей [2–5]. Научной

* Автор, с которым следует вести переписку.

медициной установлена антидиабетическая [6], антимикробная [7], противофиброзная и гепатопротекторная [8], противогрибковая, противосудорожная, противовоспалительная, иммуномодулирующая виды активности [9]. Химический состав этих растений представлен различными группами биологически активных веществ (БАВ). Это эфирное масло, тритерпеновые соединения, кумарины, иридоиды, дубильные вещества, флавоноиды, антоцианы, фенолкарбоновые кислоты, полисахариды, витамины, макро- и микроэлементы и другие [10–13]. Несмотря на достаточно хорошую изученность, в литературе встречается ограниченное количество информации о химическом составе данных представителей семейства вересковых, а информация о накоплении в них некоторых групп БАВ (полисахаридов, флавоноидов, дубильных веществ), за исключением багульника болотного, ограничена или отсутствует. Таким образом, сравнительное исследование содержания доминирующих групп БАВ в отдельных видах вересковых представляет определенный интерес.

Экспериментальная часть

Для проведения исследования были использованы надземные части: андромеды многолистной (*Andromeda polifolia* L.) – **AP**, кассандры болотной (*Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench.) – **CC**, зимлоубки зонтичной (*Chimaphila umbellata* L.) – **CU**, багульника болотного (*Ledum palustre* L.) – **LP**, ортилии однобокой (*Orthilia secunda* L.) – **OS**, водяники черной (*Empetrum nigrum* L.) – **EN**. Сырье заготавливали в конце июля 2021 года (фенофаза – плодоношение) в Томской области: Томский район, окрестности болота Таган – **AP**, **CC**, **LP**; Томский район, сосновый бор, близ села Тахтамышево – **CU**. В Алтайском крае: Каменский район, Караканский сосновый бор, близ села Столбово – **OS**. В Республике Алтай: Кош-Агачский район, окрестности горы Актру – **EN**. Растительное сырье высушивали воздушно-теневого сушкой. Влажность сырья определяли в соответствии с ОФС.1.5.3.0007.15 – Определение влажности лекарственного растительного сырья и лекарственных растительных препаратов [14]. В исследовании для растений-кустарничков использовали сырье в соотношении стебель-листья – 70 : 30, для травянистых растений – всю надземную часть. Фракционное определение нейтральных полисахаридов (НПС), кислых полисахаридов (КПС) и пектиновых веществ (ПВ) проводили гравиметрическим методом согласно схеме (рис. 1), сумму окисляемых веществ определяли перманганатометрическим методом (ОФС. 1.5.3.0008.18 – Определение содержания дубильных веществ, в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах) [14], флавоноиды спектрофотометрическим методом в пересчете на кверцетин (ФС. 2.5.0045.15 – Хвоща полевого трава) [15].

Элементный анализ выполняли методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой по следующей методике: образцы, предварительно высушенные и истертые до однородной массы, переводили в раствор, используя предварительно очищенную концентрированную азотную кислоту, перекись водорода и систему микроволнового разложения Milestone Start D ($t = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$, $p = 700\text{ Вт}$, время выдерживания 20 мин). После чего пробы высушивали при температуре порядка 100–110 $^{\circ}\text{C}$ до состояния влажных солей, затем количественно переносили в одноразовые полипропиленовые пробирки объемом 50 мл с помощью фонового раствора – 15%-ной азотной кислоты. Параллельно с образцами готовили холостой опыт. При проведении измерений для контроля изменения чувствительности прибора, обусловленные временными флуктуациями, матричными эффектами и т.д., использовали раствор внутреннего стандарта – индия. Для построения градуировочных характеристик использовали следующие многоэлементные стандартные растворы: стандарт калибровочный многоэлементный IV-STOCK-21, Inorganic Ventures (Сертификат S2-MEB703939), стандарт калибровочный многоэлементный IV-STOCK-28, Inorganic Ventures (Сертификат R2-MEB696846), стандарт калибровочный многоэлементный IV-STOCK-26, Inorganic Ventures (Сертификат T2-MEB718883), стандарт калибровочный многоэлементный IV-STOCK-29, Inorganic Ventures (Сертификат T2-MEB714162). Масс-спектральное определение содержания элементов в анализируемых образцах проводили при следующих параметрах работы Agilent 7500cx, Agilent Technologies, США (дата поверки 16.11.2022, поверка действительна до 15.11.2023): выходная мощность генератора – 1500 Вт, тип распылителя – MicroMist (микроаэрозольный), распылительная камера – охлаждаемая, расход плазмообразующего потока Ar – 0.9 л/мин, расход вспомогательного потока Ar – 0.2 л/мин, скорость подачи пробы 0.1 об./мин.

Для достижения максимальной чувствительности масс-спектрометра в рабочем диапазоне масс проводили настройку прибора с использованием раствора, содержащего по 1 мкг/л Li, Mg, Y, Ce, Tl и Co.

Обработку масс-спектров и расчет содержания элементов в пробах проводили с помощью программного обеспечения масс-спектрометра и электронных таблиц. Расчет содержания элементов включал в себя учет холостого опыта, коэффициента разбавления, внутреннего стандарта.

Результаты и обсуждение

В ходе определения содержания разных полисахаридов указанных видов выявлены значительные отличия по группам водорастворимых нейтральных полисахаридов и пектиновых веществ (рис. 2).

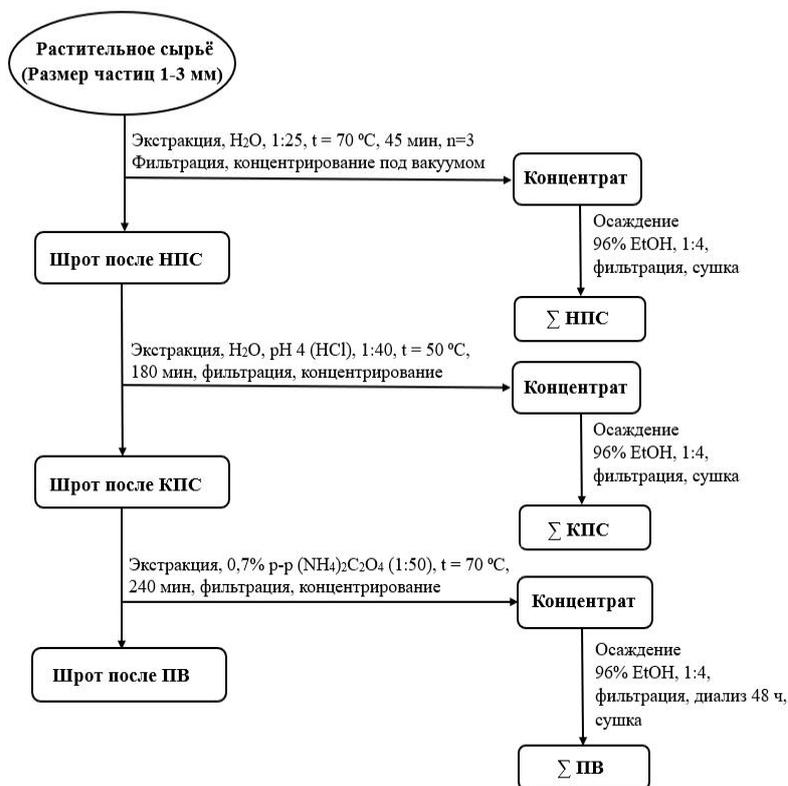


Рис. 1. Схема фракционного определения полисахаридов методом гравиметрии

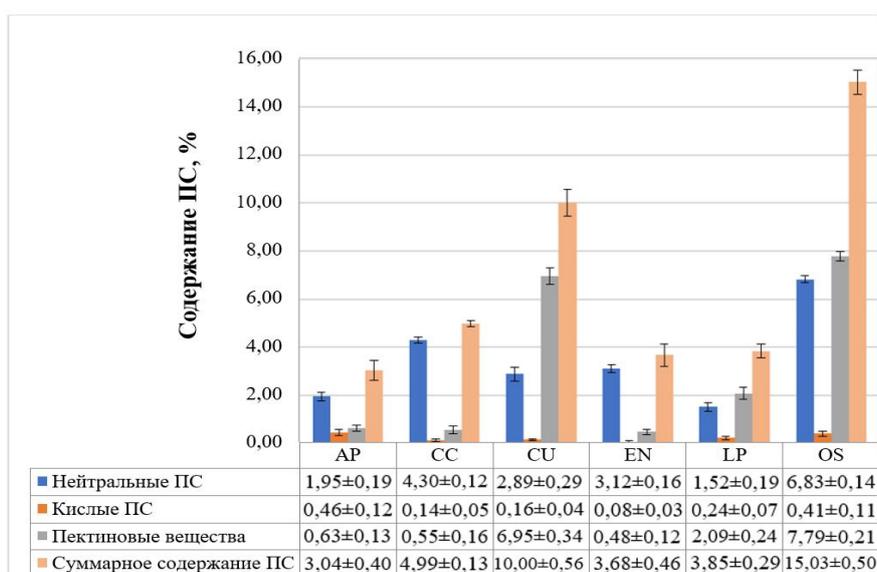


Рис. 2. Содержание полисахаридов в некоторых видах семейства вересковые в пересчете на абсолютно сухое сырье, (%) n=3, X±Δ

Как следует из диаграммы на рисунке 2, содержание нейтральных полисахаридов сильно варьируется (1.52–6.83%), при этом наибольшее их содержание наблюдается в *OS* и *CC* (6.83 и 4.30% соответственно). Кислые полисахариды представлены в минорных количествах, содержание составило 0.08–0.46%, наибольшие значения зафиксированы для *AP* и *OS* – 0.46 и 0.41% соответственно. Содержание пектиновых веществ существенно различается (0.55–7.79%). Наибольшее их количество обнаружено в *OS* и *CU* – 7.79 и 6.95% соответственно. Диапазон суммарного содержания полисахаридных фракций в исследуемых видах составил 3.04–15.03%. Так, наибольшее суммарное содержание полисахаридных фракций обнаружено в *OS*, *CU* и *CC* – 15.03, 10.00 и 4.97% соответственно. Полученные данные свидетельствуют о значительном количестве полисахаридов в указанных видах, что делает их перспективными для дальнейшего исследования химического состава и фармакологической активности. Стоит отметить, что сведения о фракционном составе полисахаридов *AP*, *CC*, *CU*, *OS* и *EN* отсутствуют в мировой литературе и были получены нами впервые.

Фенольные соединения, в том числе и полифенольные соединения, фенолкарбоновые кислоты и флавоноиды вносят существенный вклад в химический состав многих растений, в связи с этим нами было принято решение об определении суммы окисляемых веществ в указанных видах. При анализе литературных данных было установлено, что в исследуемых видах доминирующим флавоноидом является кверцетин и его гликозиды [1, 4, 16, 17]. Поэтому количественное содержание флавоноидов в исследуемых видах мы определяли в пересчете на кверцетин.

Результаты содержания окисляемых веществ представлены на рисунке 3.

Согласно результатам, представленным на диаграмме рисунка 3, содержание окисляемых веществ составило от 20.31 ± 1.72 до $79.56 \pm 3.28\%$. Наибольшее их содержание обнаружено в травянистых видах вересковых – *OS* и *CU* – 79.56 ± 3.28 и $52.51 \pm 2.67\%$ соответственно, что существенно превышает содержание в кустарничковых видах вересковых (20.31 ± 1.72 – $27.59 \pm 1.93\%$). Таким образом, водные извлечения *OS* и *CU* могут обладать существенной антиоксидантной активностью, что также представляет научный интерес.

Содержание флавоноидов в исследуемых видах составило от 0.36 до 1.37% (рис. 4), наибольшее количество обнаружено в кустарничковых видах: *CC*, *AP* и *EN*: 1.37 ± 0.17 , 1.35 ± 0.12 и $1.32 \pm 0.14\%$ соответственно. При этом в травянистых видах вересковых – *OS* и *CU* содержится практически в два раза меньше флавоноидов. Вызывает интерес низкое содержание флавоноидов в сырье *LP*, что вступает в противоречие с литературными данными [1] и может быть объяснено наличием других агликонов или нахождением основной массы флавоноидов в гликозидированной форме.

Следующим этапом нашей работы стало сравнительное исследование элементного состава вышеуказанных видов. Так, в результате экспериментов установлены значительные различия в содержании макроэлементов (табл. 1).

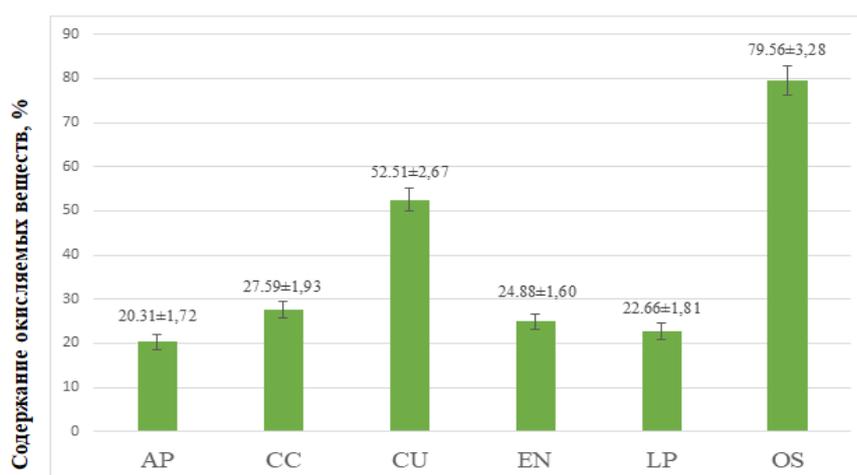


Рис. 3. Содержание окисляемых веществ некоторых видах семейства вересковые в пересчете на абсолютно сухое сырье, (%) $n=3$, $X \pm \Delta$

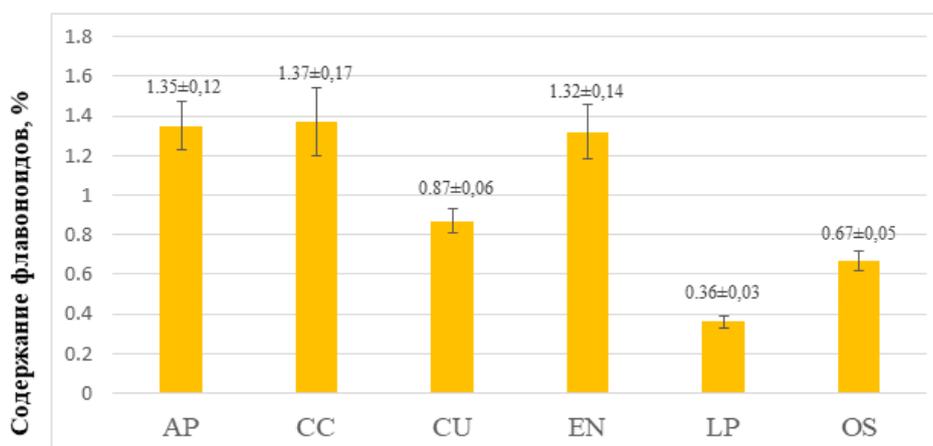


Рис. 4. Содержание флавоноидов в некоторых видах семейства вересковые в пересчете на кверцетин в абсолютно сухом сырье, (%) $n=3$, $X \pm \Delta$

Таблица 1. Содержание макроэлементов – Ca, K, Mg, в некоторых видах семейства вересковые, мг/кг, $n=5$, $X \pm \Delta$

№ п/п	Элемент	AP	CC	CU	EN	LP	OS
1	Ca	5518±938	1400±238	7591±1290	3585±610	4890±831	5177±880
2	K	6474±1101	3291±559	>5%	3973±675	5474±931	6475±1101
3	Mg	1797±306	735±125	2100±357	1549±263	1761±299	2239±381

Как следует из таблицы 1, диапазон содержания кальция составил от 1400 ± 238 до 7591 ± 1290 мг/кг, калия – от 3291 ± 559 мг/кг до 5% и более, магния – от 735 ± 125 до 2239 ± 381 мг/кг. Наибольшее содержание кальция обнаружено в *CU*, *AP* и *OS*: 7591 ± 1290 , 5518 ± 938 и 5177 ± 880 мг/кг соответственно. Содержание калия в *CU* было самым высоким и составило более 5%, а в *AP* и *OS* – 6474 ± 1101 и 6475 ± 1101 мг/кг соответственно. Кроме того, эти же виды содержат и наибольшее количество магния. Так, его содержание в *OS* составило 2239 ± 381 мг/кг, в *CU* – 2100 ± 357 мг/кг, а в *AP* – 1797 ± 306 мг/кг.

Результаты содержания эссенциальных элементов представлены в таблице 2.

Данные таблицы 2 показывают, что все исследуемые виды, за исключением водяники черной, содержат значительные количества марганца – от 237 ± 50 до 1656 ± 282 мг/кг. Самое большое количество марганца – 1437 ± 244 и 1656 ± 282 мг/кг обнаружено в *LP* и *AP*. В *EN* оно составило 93 ± 20 мг/кг. Содержание железа находилось в интервале от 17.0 ± 3.6 до 137 ± 29 мг/кг, при этом наибольшие количества – 112 ± 24 и 137 ± 29 мг/кг обнаружены в *CU* и *EN*. Наименьшее количество железа обнаружено в *CC* – 17.0 ± 3.6 мг/кг. Содержание цинка составило от 23 ± 5 до 45 ± 9 мг/кг. Наибольшее количество установлено в *AP* и *CU*: 44 ± 9 и 45 ± 9 мг/кг соответственно. Диапазон содержания меди составил от 3.8 ± 1.2 до 10.2 ± 2.1 мг/кг, хрома – от 0.55 ± 0.18 до 2.3 ± 0.7 мг/кг, молибдена – от 0.059 ± 0.023 до 0.41 ± 0.13 мг/кг, кобальта – от 0.040 ± 0.017 до 0.15 ± 0.05 мг/кг. Наибольшее содержание этих элементов обнаружено в *AP*: 10.2 ± 2.1 , 2.3 ± 0.7 , 0.41 ± 0.13 и 0.15 ± 0.05 мг/кг соответственно. Содержание селена составило от 0.0100 ± 0.0039 до 0.062 ± 0.024 мг/кг. Наибольшее количество установлено в *CC* – 0.062 ± 0.024 мг/кг.

Результаты содержания условно-эссенциальных элементов – B, Li, Ni, V представлены в таблице 3.

Как следует из таблицы 3, диапазон содержания бора в исследуемых видах варьируется от 11.5 ± 2.4 до 30 ± 6 мг/кг. Наибольшее количество бора наблюдается в *AP* и *CU*: 30 ± 6 и 25 ± 4 мг/кг соответственно. Содержание лития составило от 0.109 ± 0.035 до 3.6 ± 1.2 мг/кг, с наивысшим количеством в *CU* и *EN*: 3.6 ± 1.2 и 0.63 ± 0.20 мг/кг соответственно. Уровень содержания никеля слабо варьируется и составляет от 1.3 ± 0.4 до 3.4 ± 1.1 мг/кг, при этом наибольшее количество отмечается в *AP* и *CU*: 3.4 ± 1.1 и 2.9 ± 0.9 мг/кг. Содержание ванадия составило от 0.19 ± 0.06 до 0.86 ± 0.27 , наибольшие значения зафиксированы для *EN* и *CU*: 0.86 ± 0.27 и 0.75 ± 0.24 мг/кг.

Результаты исследования токсичных элементов представлены в таблице 4.

Таблица 2. Содержание эссенциальных элементов – Mn, Fe, Zn, Cu, Cr, Mo, Co, Se в некоторых видах семейства вересковые, мг/кг, n=5, X±Δ

№ п/п	Элемент	AP	CC	CU	EN	LP	OS
1	Mn	1656±282	666±113	531±90	93±20	1437±244	237±50
2	Fe	60±13	17.0±3.6	112±24	137±29	52±11	52±11
3	Zn	44±9	23±5	45±9	18.8±3.9	39±8	28±6
4	Cu	10.2±2.1	8.1±2.6	6±2.2	6.7±2.1	6.8±2.2	3.8±1.2
5	Cr	2.3±0.7	1.8±0.6	1.8±0.6	1.5±0.5	0.79±0.25	0.55±0.18
6	Mo	0.41±0.13	0.076±0.030	0.15±0.05	0.111±0.035	0.059±0.023	0.082±0.032
7	Co	0.15±0.05	0.040±0.017	0.096±0.038	0.113±0.036	0.096±0.037	0.101±0.032
8	Se	0.017±0.007	0.062±0.024	0.026±0.010	0.026±0.010	0.0100±0.0039	0.013±0.005

Таблица 3. Содержание условно-эссенциальных элементов – B, Li, Ni, V в некоторых видах семейства вересковые, мг/кг, n=5, X±Δ

№ п/п	Элемент	AP	CC	CU	EN	LP	OS
1	B	30±6	11.7±2.5	25±4	20±4	21±4	11.5±2.4
2	Li	0.37±0.12	0.109±0.035	3.6±1.2	0.63±0.20	0.18±0.06	0.19±0.06
3	Ni	3.4±1.1	1.4±0.5	2.9±0.9	2.1±0.7	1.3±0.4	1.3±0.4
4	V	0.34±0.11	0.19±0.06	0.75±0.24	0.86±0.27	0.24±0.08	0.12±0.04

Таблица 4. Содержание токсичных элементов – Al, Ba, Pb, Cd в некоторых видах семейства вересковые, мг/кг, n=5, X±Δ

№ п/п	Элемент	AP	CC	CU	EN	LP	OS
1	Al	271±57	145±31	519±88	253±53	163±34	487±102
2	Ba	195±41	49±10	122±26	43±9	231±48	95±20
3	Pb*	1.10±0.35	0.37±0.12	2.0±0.6	1.3±0.4	0.54±0.17	0.49±0.16
4	Cd**	0.039±0.015	0.15±0.05	0.094±0.037	0.022±0.009	0.032±0.012	0.034±0.013

* Предельно допустимое содержание 6.0 мг/кг; ** Предельно допустимое содержание 1.0 мг/кг [11].

Согласно полученным результатам, все исследуемые виды растений содержат значительное количество алюминия. Предельно допустимая концентрация для растений составляет до 250 мг/кг [18]. Содержание алюминия составило от 145±31 до 519±88 мг/кг, при этом в травянистых видах вересковых – OS и CU обнаружено наибольшее количество: 487±102 и 519±88 мг/кг соответственно. Данные количества превышают ПДК для растений в 1.5–2 раза. Вместе с тем несмотря на различные места произрастания растений, содержание алюминия является достаточно высоким, что может свидетельствовать об избирательности накопления данного элемента растениями семейства вересковые, ввиду особенностей биосинтеза их БАВ. Содержание бария в исследуемых видах варьируется от 43±9 до 195±41 мг/кг. Наибольшее его количество обнаружено в LP и AP – 231±48 и 195±41 мг/кг соответственно. Учитывая, что средний уровень содержания бария в некоторых растениях, например, в надземных частях злаков, клевера составляет порядка 160–170 мг/кг [19], а в родственном виде исследуемых растений – *Rhododendron aureum* Georgi. – 240 мг/кг [20], то обнаруженные нами концентрации близки к этому уровню.

Диапазон содержания свинца составил от 0.37±0.12 до 2.0±0.6 мг/кг, а кадмия – от 0.022±0.009 до 0.15±0.05 мг/кг. Полученные значения концентраций этих тяжелых металлов существенно ниже предельно допустимых содержаний, регламентированных Государственной фармакопеей XIV издания, что может свидетельствовать о незначительном антропогенном воздействии в местах сбора сырья.

Выводы

1. Проведено сравнительное исследование содержания БАВ: водорастворимых нейтральных, кислых и пектиновых полисахаридов, окисляемых веществ, флавоноидов, макро- и микроэлементов в шести видах растений семейства вересковые. Установлено, что наибольшее содержание полисахаридов и окисляемых веществ находится в траве *Orthilia secunda* L., *Chimaphila umbellata* L. и *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench. А наибольшее содержание флавоноидов приходится на траву *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench., *Andromeda polifolia* L. и *Empetrum nigrum* L.

2. Выявлено, что все исследуемые виды растений имеют богатый состав биогенных макро- и микроэлементов: кальция, калия, железа, марганца, цинка, меди, селена.

3. Установлено, что концентрации токсичных элементов – свинца и кадмия не превышают предельно допустимого содержания, указанного в Государственной фармакопее XIV издания. Концентрации бария находятся в пределах среднего содержания в растениях.

4. Обнаружено повышенное содержание алюминия в травянистых видах: *Chimaphila umbellata* L. и *Orthilia secunda* L., что может свидетельствовать об избирательности его накопления.

5. Таким образом, полисахариды, суммы окисляемых веществ и суммы флавоноидов андромеды многолистной (*Andromeda polifolia* L.), кассандры болотной (*Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench.), зимолубки зонтичной (*Chimaphila umbellata* L.), багульника болотного (*Ledum palustre* L.), ортилии однобокой (*Orthilia secunda* L.), водяники черной (*Empetrum nigrum* L.) ввиду их значительного содержания и отсутствия литературных данных об их химическом составе являются перспективными для последующего химического и фармакологического исследования.

Финансирование

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-75-01035.

Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Открытый доступ

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы дадите соответствующие ссылки на автора(ов) и источник и предоставите ссылку на Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.

Список литературы

1. Белоусов М.В. Фармакогностическая характеристика и биологическая активность представителей семейства вересковые (Ericaceae) флоры Сибири и Дальнего Востока: дис. ... докт. фарм. наук. Томск, 2004. 310 с.
2. Николаев Н.А., Ливзан М.А., Скирденко Ю.П., Мартынов А.И. Биологически активные растения и грибы Сибири в клинической медицине в 2 т. М., 2019. Т. 1. 382 с.
3. Андреева Н.В., Малогулова И.Ш. Виды шикши как перспективный источник БАВ в условиях Якутии // Современные наукоемкие технологии. 2013. №9. С. 51–52.
4. Ботоева Е.А., Аомбоева С.С., Бураева А.Б., Чукаев С.А. Химическое и фармакологическое исследование ортилии однобокой *Orthilia secunda* (L.) house // Байкальский медицинский журнал. 2003. №1. С. 69–72.
5. Куреннов И.П. Золотая энциклопедия народной медицины. М., 2007. 512 с.
6. Барнаулов О.Д. Сравнительная оценка противодиабетической активности лекарственных растений порядка Вересковые // Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии. 2011. Т. 9, №2. С. 68–74.
7. Живетьев М.А., Быбин В.А., Кочерыгина Е.В., Семенова Н.В., Путилина Т.Е., Дударева Л.В., Граскова И.А., Маркова Ю.А. Антимикробное действие экстрактов лекарственных растений *Andromeda polyfolia* и *Alchemilla subcrenata* // Химия растительного сырья. 2018. №4. С. 149–157. DOI: 10.14258/jcrpm.2018043846.
8. Кривых Е.А., Кавушевская Н.С., Гуляев А.Е., Коваленко Л.В. Морфологическая и биохимическая оценка противодиабетической активности экстрактов плодов семейства вересковые, произрастающих на территории Югры // Вестник НовГУ. Сер.: Медицинские науки. 2021. №3. С. 82–89. DOI: 10.34680/2076-8052.2021.3(124).82–89.
9. Фурса Н.С., Бузук Г.Н., Таланов А.А., Иванов А.П., Кузьмичева Н.А., Горькова А.С. Неофициальные виды семейства вересковых как перспективные акваретики и уроантисептики // Вестник фармации. 2016. №3. С. 59–66.
10. Буданцев А.Л. Растительные ресурсы России: Дикорастущие цветковые растения, их компонентный состав и биологическая активность. Т. 2. Семейства Actinidaceae – Malvaceae, Euphorbiaceae – Haloragaceae. СПб.; М., 2009. 513 с.
11. Pachaly P., Klein M. Constituents of *Andromeda polifolia* // Planta Med. 1987. Vol. 53. Pp. 442–444. DOI: 10.1055/s-2006-962769.
12. Dampc A., Luczkiewicz M. *Rhododendron tomentosum* (*Ledum palustre*). A review of traditional use based on current research // Fitoterapia. 2013. Vol. 85. Pp. 130–143. DOI: 10.1016/j.fitote.2013.01.013.
13. Ali U., Khan M.M., Khan N., Haya R.T., Asghar M.U., Abbasi B.H. *Chimaphila umbellata*; a biotechnological perspective on the coming-of-age prince's pine // Phytochem Rev. 2023. Vol. 8. Pp. 1–16. DOI: 10.1007/s11101-023-09880-1.
14. Государственная фармакопея Российской Федерации. XIV изд. М., 2018. Т. 2. URL: <https://docs.ruclm.ru/feml/pharma/v14/vol2/>.
15. Государственная фармакопея Российской Федерации. XIV изд. М., 2018. Т. 4. URL: <https://docs.ruclm.ru/feml/pharma/v14/vol4/>.
16. Harborne J.B., Williams C.A. A chemotaxonomic survey of flavonoids and simple phenols in leaves of the Ericaceae // Bot. J. Linn. Soc. 1973. Vol. 66. Pp. 37–54.

17. Racz G., Furi I. Tajekoztato adatok leukoanthocianinok gyogynovenyekben valo clofordulasohoz // Acta pharm. hung. 1959. Vol. 29, no. 2. Pp. 64–70.
18. Мартынова М.О., Козырев К.М., Албегова Ж.К. К вопросу современных представлений влияния алюминия на живые организмы // Современные проблемы науки и образования. 2014. №2. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=12441>.
19. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М., 1989. 439 с.
20. Мурашкина И.А., Минович В.М., Гордеева В.В., Чебыкин Е.П. Элементный состав надземных органов рододендрона золотистого (*Rhododendron aureum* Georgi.) флоры Восточного Саяна // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2019. №4. С. 53–59.

Поступила в редакцию 19 февраля 2024 г.

После переработки 17 апреля 2024 г.

Принята к публикации 21 марта 2024 г.

Reshetov Ya.E.^{1*}, Rabtsevich E.S.¹, Basova E.V.¹, Krivoshchekov S.V.¹, Savelyeva A.N.¹, Shevtsov N.A.¹, Girin A.D.², Belousov M.V.¹ COMPARATIVE STUDY OF THE CONTENT OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES AND BIOGENIC ELEMENTS IN SOME PLANTS OF THE ERICACEAE FAMILY

¹ Siberian State Medical University, Moskovsky tract, 2, Tomsk, 634050, Russia, ferroplex2013@yandex.ru

² Research Institute of Pharmacology and Regenerative Medicine named after E.D. Goldberg, Lenina av., 3, Tomsk, 634028, Russia

The quantitative content of water-soluble neutral and acidic polysaccharides, pectin substances, oxidizable substances and the amount of flavonoids in terms of quercetin in six plants of the Ericaceae family was determined: *Andromeda polifolia* L., *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench., *Chimaphila umbellata*, *Ledum palustre*, *Orthilia secunda*; *Empetrum nigrum*. The largest amount of polysaccharides and oxidizable substances was found in the aboveground parts of *Orthilia secunda*, *Chimaphila umbellata* and *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench. More flavonoids, compared with other species, are found in the aboveground parts of *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench., *Andromeda polifolia* L. and *Empetrum nigrum*. The presence of physiologically useful macro and microelements was established by mass spectrometry: calcium, potassium, iron, manganese, zinc, copper, selenium. The content of toxic metals was studied: aluminum, barium, lead and cadmium. It was revealed that the content of heavy metals and barium does not exceed the maximum permissible values. Polysaccharides, amounts of oxidizable substances and flavonoids of the studied species are promising objects for further in-depth chemical and pharmacological study.

Keywords: ericaceae, polysaccharides, oxidizable substances, flavonoids, biogenic elements, heavy metals.

For citing: Reshetov Ya.E., Rabtsevich E.S., Basova E.V., Krivoshchekov S.V., Savelyeva A.N., Shevtsov N.A., Girin A.D., Belousov M.V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2024, no. 2, pp. 266–274. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20240214817.

References

1. Belousov M.V. *Farmakognosticheskaya kharakteristika i biologicheskaya aktivnost' predstaviteley semeystva vereskovyey (Ericaceae) flory Sibiri i Dal'nego Vostoka: dis. ... dokt. farm. nauk.* [Pharmacognostic characteristics and biological activity of representatives of the heather family (Ericaceae) of the flora of Siberia and the Far East: dis. ... doc. pharm. Sci.]. Tomsk, 2004, 310 p. (in Russ.).
2. Nikolayev N.A., Livzan M.A., Skirdenko Yu.P., Martynov A.I. *Biologicheski aktivnyye rasteniya i griby Sibiri v klinicheskoy meditsine v 2 t.* [Biologically active plants and fungi of Siberia in clinical medicine in 2 vols.]. Moscow, 2019, vol. 1, 382 p. (in Russ.).
3. Andreyeva N.V., Malogulova I.Sh. *Sovremennyye naukoymkiye tekhnologii*, 2013, no. 9, pp. 51–52. (in Russ.).
4. Botoyeva Ye.A., Aomboyeva S.S., Burayeva A.B., Chukayev S.A. *Baykal'skiy meditsinskiy zhurnal*, 2003, no. 1, pp. 69–72. (in Russ.).
5. Kurennov I.P. *Zolotaya entsiklopediya narodnoy meditsiny.* [Golden Encyclopedia of Traditional Medicine]. Moscow, 2007, 512 p. (in Russ.).
6. Barnaulov O.D. *Obzory po klinicheskoy farmakologii i lekarstvennoy terapii*, 2011, vol. 9, no. 2, pp. 68–74. (in Russ.).
7. Zhivet'yev M.A., Bybin V.A., Kocherygina Ye.V., Semenova N.V., Putilina T.Ye., Dudareva L.V., Graskova I.A., Markova Yu.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2018, no. 4, pp. 149–157. DOI: 10.14258/jcprm.2018043846. (in Russ.).
8. Krivyykh Ye.A., Kavushevskaya N.S., Gulyayev A.Ye., Kovalenko L.V. *Vestnik NovGU. Ser.: Meditsinskiye nauki*, 2021, no. 3, pp. 82–89. DOI: 10.34680/2076-8052.2021.3(124).82–89. (in Russ.).
9. Fursa N.S., Buzuk G.N., Talanov A.A., Ivanov A.P., Kuz'micheva N.A., Gor'kova A.S. *Vestnik farmatsii*, 2016, no. 3, pp. 59–66. (in Russ.).

* Corresponding author.

10. Budantsev A.L. *Rastitel'nyye resursy Rossii: Dikorastushchiye tsvetkovyye rasteniya, ikh komponentnyy sostav i biologicheskaya aktivnost'. T. 2. Semeystva Actinidaceae – Malvaceae, Euphorbiaceae – Haloragaceae.* [Plant resources of Russia: Wild flowering plants, their component composition and biological activity. Vol. 2. Families Actinidaceae – Malvaceae, Euphorbiaceae – Haloragaceae]. St. Petersburg; Moscow, 2009, 513 p. (in Russ.).
11. Pachaly P., Klein M. *Planta Med.*, 1987, vol. 53, pp. 442–444. DOI: 10.1055/s-2006-962769.
12. Dampc A., Luczkiewicz M. *Fitoterapia*, 2013, vol. 85, pp. 130–143. DOI: 10.1016/j.fitote.2013.01.013.
13. Ali U., Khan M.M., Khan N., Haya R.T., Asghar M.U., Abbasi B.H. *Phytochem Rev.*, 2023, vol. 8, pp. 1–16. DOI: 10.1007/s11101-023-09880-1.
14. *Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiyskoy Federatsii. XIV izd.* [State Pharmacopoeia of the Russian Federation. XIV ed.]. Moscow, 2018, vol. 2. URL: <https://docs.rucml.ru/feml/pharma/v14/vol2/>. (in Russ.).
15. *Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiyskoy Federatsii. XIV izd.* [State Pharmacopoeia of the Russian Federation. XIV ed.]. Moscow, 2018, vol. 4. URL: <https://docs.rucml.ru/feml/pharma/v14/vol4/>. (in Russ.).
16. Harborne J.B., Williams C.A. *Bot. J. Linn. Soc.*, 1973, vol. 66, pp. 37–54.
17. Racz G., Furi I. *Acta pharm. hung.*, 1959, vol. 29, no. 2, pp. 64–70.
18. Martynova M.O., Kozyrev K.M., Albegova Zh.K. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*, 2014, no. 2. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=12441>. (in Russ.).
19. Kabata-Pendias A., Pendias X. *Mikroelementy v pochvakh i rastenyakh.* [Microelements in soils and plants]. Moscow, 1989, 439 p. (in Russ.).
20. Murashkina I.A., Mirovich V.M., Gordeyeva V.V., Chebykin Ye.P. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya*, 2019, no. 4, pp. 53–59. (in Russ.).

Received February 19, 2024

Revised April 17, 2024

Accepted March 21, 2024

Сведения об авторах

Решетов Ярослав Евгеньевич – кандидат фармацевтических наук, доцент кафедры фармацевтического анализа, ferroplex2013@yandex.ru

Рабцевич Евгения Сергеевна – кандидат химических наук, доцент кафедры химии, evgenia882-a@mail.ru

Басова Елена Валерьевна – кандидат фармацевтических наук, лаборант центра внедрения технологий ЦНИЛ, belv12@mail.ru

Кривошеков Сергей Владимирович – кандидат химических наук, доцент кафедры фармацевтического анализа, заведующий лабораторией контроля качества центра внедрения технологий ЦНИЛ, kvs_tsu@mail.ru

Савельева Анастасия Николаевна – лаборант-исследователь НОЛ ХФИ, violet.feel.2000@mail.ru

Шевцов Никита Алексеевич – ординатор, evilbrokkoly@gmail.com

Гирин Александр Денисович – аспирант, sanya.girin.90@gmail.com

Белусов Михаил Валерьевич – доктор фармацевтических наук, профессор, заведующий кафедрой фармацевтического анализа, ведущий научный сотрудник ЦНИЛ, mvb63@mail.ru

Information about authors

Reshetov Yaroslav Evgenievich – Candidate of Pharmaceutical Sciences, Associate Professor of the Department of Pharmaceutical Analysis, ferroplex2013@yandex.ru

Rabtsevich Evgenia Sergeevna – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemistry, evgenia882-a@mail.ru

Basova Elena Valerievna – Candidate of Pharmaceutical Sciences, laboratory assistant at the Center for Technology Implementation of the Central Scientific Research Laboratory, belv12@mail.ru

Krivoshchekov Sergey Vladimirovich – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Pharmaceutical Analysis, Head of the Quality Control Laboratory of the Center for Technology Implementation of the Central Scientific Research Laboratory, kvs_tsu@mail.ru

Savel'yeva Anastasia Nikolaevna – research assistant at NOL KhPI, violet.feel.2000@mail.ru

Shevtsov Nikita Alekseevich – resident, evilbrokkoly@gmail.com

Girin Alexander Denisovich – graduate student, sanya.girin.90@gmail.com

Belousov Mikhail Valerievich – Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor, Head of the Department of Pharmaceutical Analysis, Leading Researcher of the Central Scientific Research Laboratory, mvb63@mail.ru