

УДК 577.13:582.973:574.2:543.544.5.68.7

## ИЗМЕНЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНО-ГРУППОВОГО СОСТАВА ПОЛИФЕНОЛОВ В ЛИСТЬЯХ РАСТЕНИЙ *LONICERA CAERULEA* SUBSP. *ALTAICA* (CAPRIFOLIACEAE) В ВЫСОТНОМ ГРАДИЕНТЕ

© И.Г. Боярских<sup>1,2\*</sup>, В.А. Костикова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, ул. Золотодолинская,  
101, Новосибирск, 630090, Россия, irina\_2302@mail.ru

<sup>2</sup> Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, пр. Лаврентьева, 8/2,  
Новосибирск, 630090, Россия

Проведено сравнительное изучение изменчивости количественных показателей индивидуально-группового состава биологически активных фенольных соединений в экстрактах листьев ресурсного вида *Lonicera caerulea* L. семейства Caprifoliaceae Juss., в частности его подвида *L. caerulea* subsp. *altaica*, в ценопопуляциях Горного Алтая в долине реки Мульта, в высотном градиенте. Методом высокоэффективной жидкостной хроматографии в экстрактах листьев *L. caerulea* subsp. *altaica* выявлено 18 полифенолов, основным из которых являлся лютеолин-7-глюкозид. Содержание отдельных классов фенольных соединений в экстрактах листьев *L. caerulea* subsp. *altaica* по высотному профилю изменялось в значительных пределах: производные фенолкарбоновых кислот – 3.3–4.8 мг/г, флавонолы – 6.6–12.1 мг/г, флавоны – 13.6–29.6 мг/г. Значительное увеличение суммарного содержания полифенолов и основного компонента в экстрактах листьев *L. caerulea* subsp. *altaica* лютеолин-7-глюкозида отмечалось выше и ниже пределов оптимума распространения этого подвида в вертикальном градиенте. В пределах 1200–1850 м н.у.м. для флавононов и суммарного содержания биологически активных фенольных соединений установлены положительные статистически значимые корреляции с высотой произрастания растений. Содержание флавонолов и фенолкарбоновых кислот, напротив, снижалось по мере увеличения высоты.

*Ключевые слова:* алтайский подвид жимолости синей, ВЭЖХ, фенолкарбоновые кислоты, флавонолы, флавоны, природные популяции, вертикальный градиент.

---

**Для цитирования:** Боярских И.Г., Костикова В.А. Изменение индивидуально-группового состава полифенолов в листьях растений *Lonicera caerulea* subsp. *altaica* (Caprifoliaceae) в высотном градиенте // Химия растительного сырья. 2024. №1. С. 186–194. DOI: 10.14258/jcprm.20240112977.

---

### Введение

Изменение высоты над уровнем моря влияет на широкий спектр экологических условий местобитания растений, таких как гидротермический, минеральный состав почв, которые прямо или косвенно влияют на содержание вторичных метаболитов [1–3]. Выживание растений в экстремальных условиях произрастания зависит от их физиологической адаптации к различным неблагоприятным факторам, вызывающим окислительный стресс. Защитный механизм растений для противодействия окислительному стрессу заключается в синтезе компонентов антиоксидантной защиты в том числе биологически активных фенольных соединений (ФС) [4, 5]. Причем изменения профиля ФС в высотном градиенте может иметь видоспецифичные особенности [6]. Выявление экологических критериев для выбора хозяйственно ценных популяций лекарственных и пищевых видов растений и изучение взаимосвязи между экотипом растения и его биохимическим составом продолжает оставаться актуальным направлением исследований. Изменение содержания ФС в лекарственном сырье, полученном из растений разных высотных поясов, до сих пор изучено недостаточно и полученные результаты имеют спорный (противоречивый) характер [1]. Согласно народным традициям, считается, что растения, собранные на больших высотах, обладают большей «лечебной силой», чем образцы с низких высот того же вида.

---

\* Автор, с которым следует вести переписку.

Жимолость синяя – *Lonicera caerulea* сем. Caprifoliaceae Juss. – широко распространенный по всей бореальной части северного полушария высокоценный ресурсный вид растений. Фармацевтическая и пищевая ценность этого вида обусловлена высоким содержанием в органах растений биологически активных соединений – витамина С и фенольных соединений (ФС): антоцианов (цианид-3-глюкозид), флавонолов (кверцетин-3-рамнозид, кверцетин-3-рутинозид, кверцетин-3-глюкозид), флавонов (лютеолин-7-рутинозид, лютеолин-7-глюкозид), катехинов (катехин и эпикатехин), фенолкарбоновых кислот (ФК) (хлорогеновая, неохлорогеновая и дикофеилхинная кислоты) [7, 8], биологически значимых макро- и микроэлементов [9, 10], в комплексе проявляющих антиоксидантную, иммуномодулирующую, антибактериальную, противовирусную, противогрибковую, антиаллергическую и другие виды активности [10, 11]. В листьях содержание производных ФК варьирует в пределах 293–5520 мг/100 г, флавонолов – 82–1489 мг/100 г и флавонов – 561–5447 мг/100 г. Между содержанием отдельных классов ФС в плодах и листьях существует значимая зависимость [8]. Этот вид характеризуется также сверхдлинным сроком созревания плодов, что дает возможность употребления богатых биологически активными соединениями плодов в раннелетние сроки.

В результате ранее проведенных исследований изменчивости содержания отдельных классов и компонентов ФС экстрактов листьев *L. caerulea* subsp. *altaica* в популяции Горного Алтая (Семинский хр.) на высотном профиле 1285–1750 м н.у.м. было установлено, что различные классы и индивидуальные компоненты ФС характеризуются разнонаправленной реакцией на изменение условий произрастания в высотном градиенте [12]. Настоящие исследования являются продолжением уже начатого ранее изучения влияния высотного градиента на содержание ФС в листьях *L. caerulea* subsp. *altaica*.

Цель данной работы – сравнительное изучение популяционной изменчивости количественных показателей индивидуально-группового состава биологически активных ФС в экстрактах листьев *L. caerulea* subsp. *altaica*, в ценопопуляциях Горного Алтая в долине реки Мульта в высотном градиенте 1070–1850 м н.у.м.

### Экспериментальная часть

Исследования проведены в 2019 г. в Республике Алтай, в долине реки Мульта (Усть-Коксинский р-н) (50°09' с. ш., 85°27' в. д.) в пределах геоботанической подпровинции Центральный Алтай [13]. Пробные площадки были выбраны на высотном профиле 1072–1850 м н.у.м. Ценопопуляция (ЦП) 1 – на высоте 1072 м н.у.м. (50°07' с.ш., 85°57' в.д.) в елово-лиственничном разнотравно-злаковом лесу; ЦП 2 – 1242 м н.у.м. (50°05' с.ш., 85°54' в.д.) в березово-елово-кедрово-лиственничном злаково-разнотравном лесу; ЦП 3 – 1265 м н.у.м. (50°04' с.ш., 85°53' в.д.) в березово-елово-кедрово-лиственничном злаково-разнотравном лесу; ЦП 4 – 1651 м н.у.м. (50°01' с.ш., 85°50' в.д.) в лиственнично-елово-кедровом злаково-разнотравном лесу; ЦП 5 – 1660–1665 м н.у.м. (49°58' с.ш., 85°50' в.д.) в елово-кедрово-лиственничном разнотравно-злаковом лесу; ЦП 6 – 1690 м н.у.м. (49°57' с.ш., 85°51' в.д.) в лиственнично-елово-кедровом разнотравно-злаковом лесу; ЦП 7 – 1700 м н.у.м. (49°56' с.ш., 85°51' в.д.) в лиственнично-елово-кедровом разнотравно-злаковом лесу; ЦП 8 – 1850 м н.у.м. (49°55' с. ш., 85°55' в. д.) в елово-кедровом разнотравно-злаковом лесу (Верхне-Мультинское озеро). В выделенных ЦП были отобраны растительные образцы (листья) *L. caerulea* subsp. *altaica* для анализа на содержание ФС.

Отбор проб проводили в период начала созревания плодов *L. caerulea* subsp. *altaica*. Отбор проводили в течение 10 дней для обеспечения отбора проб на одинаковой фазе сезонного развития растений. Листья растения высушивали в естественных условиях до воздушно-сухого состояния.

Участки исследования находятся на территории Катунского заповедника и его приграничной территории, что обеспечивало отсутствие техногенного загрязнения и его возможного влияния на изменение вторичного метаболизма.

Для изучения фенольных соединений использовали водно-этанольные извлечения (70% этиловый спирт) из листьев *L. caerulea* subsp. *altaica*, полученные экстракцией на водяной бане. Около 1.0 г (точная навеска) сырья, проходящего сквозь сито с диаметром отверстий 2–3 мм, помещали в круглодонную колбу с притертой крышкой объемом 100 мл. Сырье заливали 30 мл 70% этилового спирта, колбу присоединяли к обратному холодильнику и помещали на кипящую водяную баню на 30 мин. Колбу время от времени взбалтывали, чтобы смыть частицы сырья со стенок. После чего колбу с извлечением охлаждали и первую порцию экстракта фильтровали в коническую колбу с притертой крышкой объемом на 100 мл через бумажный фильтр. Далее сырье на фильтре помещали в круглодонную колбу и опять заливали 30 мл 70% спирта и

экстрагировали в течение 30 мин на кипящей водяной бане. Вторую порцию экстракта охлаждали и фильтровали к первой порции экстракта в колбу на 100 мл. Процедуру повторяли еще раз. Три порции экстракта перемешивали и замеряли объем полученного объединенного экстракта.

1 мл водно-этанольного экстракта разбавляли бидистиллированной водой до 5 мл и пропускали через концентрирующий патрон Диапак С16 (ЗАО «БиоХимМак»). Вещества смывали с патрона 3 мл 70% водно-этанольного раствора, а затем 2 мл 96% этанола. Объединенный элюат пропускали через мембранный фильтр с диаметром пор 0.45 мкм.

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 [14]. Колонка Zorbax SB-C18, 4.6×150 мм, 5 мкм. Хроматографический анализ проводили сначала в изократическом элюировании в системе метанол – 0.1% ортофосфорная кислота (31 : 69) в течение 27 мин, далее в режиме градиентного элюирования: в подвижной фазе содержание метанола в водном растворе ортофосфорной кислоты (0.1%) изменялось от 33 до 46% за 11 мин, затем от 46 до 56% за следующие 12 мин и от 56 до 100% за 4 мин. Скорость потока элюента – 1 мл/мин. Температура колонки 26 °С. Объем вводимой пробы – 10 мкл. Детектирование осуществляли при длинах волн  $\lambda = 254, 270, 290, 340, 360$  и 370 нм.

Количественное определение индивидуальных компонентов в образцах растений проводили по методу внешнего стандарта при  $\lambda = 360$  нм. Для приготовления стандартных образцов использовали коричную кислоту («Serva»), хлорогеновую кислоту, лютеолин-7-глюкозид, («Sigma-Aldrich»), витексин, рутин, лютеолин («Fluka»). Неидентифицированные соединения согласно спектральным характеристикам отнесены к классу соединений по УФ-спектральным характеристикам, приведенным в литературных источниках [15, 16]. Расчет количественного содержания фенолокислот проведен по хлорогеновой кислоте, флавоноидов – по рутину.

Относительное стандартное отклонение повторяемости при определении фенольных компонентов составило  $\sigma_{г,отн} = 0.011$ , относительное стандартное отклонение по времени удерживания у метода ВЭЖХ – 0.0018.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили при помощи пакета программ STATISTICA 6.1. Корреляционный анализ выполнен по методу Пирсона, критические уровни значимости приведены в тексте статьи [17].

### Обсуждение результатов

На основании данных сравнительного анализа времени удерживания пиков соединений на хроматограммах анализируемых и стандартных образцов, а также компьютерного сравнения спектров поглощения, полученных при хроматографировании веществ, с имеющейся у нас библиотекой, был установлен индивидуально-групповой состав полифенолов экстрактов листьев образцов *L. caerulea* subsp. *altaica* из ценопопуляций в долине р. Мульта (табл., рис. 1).

В результате сравнительного анализа полученных результатов установлено, что суммарное содержание ФС в экстрактах листьев *L. caerulea* subsp. *altaica*, собранных на разной высоте над уровнем моря, изменялось в пределах 23.8–41.3 мг/г (рис. 2). Основным компонентом экстрактов листьев *L. caerulea* subsp. *altaica* был лютеолин-7-глюкозид, относящийся к флавонам. Содержание производных гидроксикоричных кислот, рутина; флавонолов (RT=10.8; 30.9; 42.3), флавонов (RT=13.5; 34.2) было значительно меньшим (табл.). Витексин отмечен в минорном количестве в отдельных ЦП, остальные минорные компоненты присутствовали в экстрактах листьев собранных во всех исследуемых ЦП.

Соотношение содержания отдельных классов ФС в экстрактах листьев *L. caerulea* subsp. *altaica* представлено на рисунке 2. Уровень накопления классов ФС изменялся по вертикальному профилю в значительных пределах: суммарное содержание ФК – 3.3–4.8 мг/г, флавонолов – 6.6–12.1 мг/г, флавонов – 13.6–29.6 мг/г, флавононов – 0.13–0.43 мг/г (рис. 2).

Наибольший уровень суммарного накопления ФС в экстрактах листьев *L. caerulea* subsp. *altaica* отмечался как в самой низкой над уровнем моря точке отбора в ценопопуляции на 1072 м н.у.м. (41.4 мг/г), так и в самых верхних ЦП (7 и 8) на 1690–1850 м н.у.м. (38.7–41.3 мг/г). Наименьшее содержание ФС (23.9 мг/г) было в ЦП 2 на 1242 м н.у.м. (рис. 3). От точки отбора в ЦП 2 (1242 м н.у.м.) суммарное содержание ФС значимо увеличивалось с высотой при  $p < 0.01$  ( $r = 0.81$ ) в основном за счет значимого увеличения

при  $p < 0.01$  ( $r = 0.83$ ) флавонов. Содержание ФК значимо отрицательно коррелировало с высотой произрастания растений на всем изученном профиле при  $p < 0.01$  ( $r = -0.78$ ) в основном за счет снижения с высотой в вертикальном градиенте содержания хлорогеновой кислоты (рис. 4). Также на больших высотах отмечено и снижение содержания флавонолов в экстрактах листьев *L. caerulea* subsp. *altaica*. Ранее нами уже отмечалась разнонаправленная реакция отдельных классов ФС на изменение условий произрастания в высотном градиенте [12]. Высокая концентрация флавонов в экстрактах листьев растений в самой нижней ЦП 1 связана, по всей видимости, с тем, что на закономерности накопления ФС в высотном градиенте влияют отклонения от оптимальных условий произрастания для определенных видов.

Изменение содержания индивидуальных фенольных компонентов в экстрактах из листьев *L. caerulea* subsp. *altaica* в зависимости от высоты произрастания (мг/г воздушно-сухой массы сырья)

| № пика | Соединение              | Время удерживания (tr), мин | Спектральная характеристика $\lambda_{max}$ , нм | Образец |      |      |       |       |       |       |       |       |
|--------|-------------------------|-----------------------------|--|---------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        |                         |                             |  | 1072    | 1242 | 1265 | 1651  | 1660  | 1665  | 1690  | 1700  | 1850  |
| 1      | Хлорогеновая кислота    | 3.2                         | 244, 300 пл, 330                                 | 0.86    | 0.91 | 0.68 | 0.43  | 0.51  | 0.71  | 0.3   | 0.44  | 0.45  |
| 2      | Фенолкарбоновая кислота | 7.8                         | 250, 290, 315                                    | 0.42    | 0.3  | 0.3  | 0.41  | 0.42  | 0.26  | 0.6   | 0     | 0.44  |
| 3      | Фенолкарбоновая кислота | 9.5                         | 245, 290, 350                                    | 1.36    | 0.83 | 1.32 | 0.55  | 0.28  | 0.76  | 1.45  | 1.95  | 1.3   |
| 4      | Флавонол                | 10.8                        | 250, 300 пл, 355                                 | 1.09    | 1.66 | 1.51 | 2.46  | 2.54  | 1.62  | 1.19  | 1.04  | 1.12  |
| 5      | Витексин                | 12.8                        | 270, 345   | 0.38    | 0.57 | 0.38 | 0.82  | 0.4   | 0.73  | 0.79  | 0     | 0     |
| 6      | Флавонол                | 13.5                        | 250, 345   | 2.38    | 1.99 | 1.66 | 1.44  | 1.83  | 1.45  | 6.47  | 3.7   | 4.22  |
| 7      | Фенолкарбоновая кислота | 15.5                        | 240, 320   | 3.68    | 1.49 | 2.52 | 2.52  | 2.36  | 1.9   | 1.85  | 1.12  | 1.07  |
| 8      | Лютеолин-7-глюкозид     | 16.3                        | 250, 265 пл, 290 пл, 350                         | 15.58   | 8    | 9.38 | 13.54 | 12.84 | 13.01 | 17.76 | 19.34 | 19.07 |
| 9      | Рутин                   | 19.2                        | 256, 358   | 6.31    | 2.72 | 5.84 | 5.8   | 2.84  | 3.74  | 1.09  | 1.22  | 2.47  |
| 10     | Флавонол                | 22.3                        | 250, 345   | 0.69    | 1.1  | 0.85 | 0.74  | 1.26  | 0.67  | 1.25  | 0.98  | 1.87  |
| 11     | Флавонол                | 27.4                        | 245, 330   | 1.11    | 0.76 | 1.07 | 0.97  | 0.7   | 0.63  | 1.16  | 1.46  | 1.86  |
| 12     | Флавонол                | 30.9                        | 250, 295 пл., 330                                | 3.18    | 1.85 | 2.43 | 3.08  | 3.68  | 2.55  | 3.99  | 3.72  | 2.53  |
| 13     | Флавонол                | 34.2                        | 250, 345   | 1.67    | 0.69 | 1.21 | 1.65  | 2     | 2.22  | 1.32  | 1.21  | 1.53  |
| 14     | Флавонол                | 42.3                        | 250, 300 пл, 345                                 | 0.74    | 0.32 | 0.61 | 0.8   | 0.55  | 0.58  | 0.55  | 1.09  | 0.79  |
| 15     | Лютеолин                | 44                          | 265, 350   | 0.67    | 0.22 | 0.3  | 0.34  | 0.26  | 0.24  | 0.31  | 0.56  | 0.81  |
| 16     | —                       | 46.7                        | —  | 0       | 0.13 | 0    | 0.33  | 0.34  | 0.15  | 0.52  | 0.25  | 0.42  |
| 17     | Флаванон                | 53.6                        | 280, 325   | 0.38    | 0.13 | 0.23 | 0.43  | 0.21  | 0.2   | 0.25  | 0.25  | 0.26  |
| 18     | Флавонол                | 54.6                        | 270, 340   | 0.87    | 0.22 | 0.18 | 0.54  | 0.27  | 0.19  | 0.48  | 0.32  | 0.19  |

Примечание: «—» — вещество не идентифицировано.

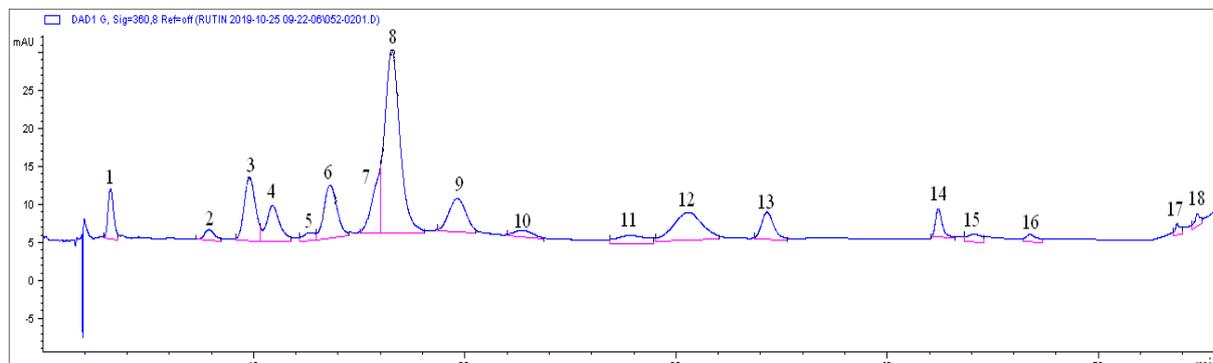


Рис. 1. Хроматограмма 70% водно-этанольного извлечения из листьев *L. caerulea* (ЦП 2 на высоте 1242 м н.у.м.) при 360 нм. По оси абсцисс – время удерживания, мин; по оси ординат – сигнал детектора, единица оптической плотности. Номера пиков на хроматограмме соответствуют номерам пиков в таблице

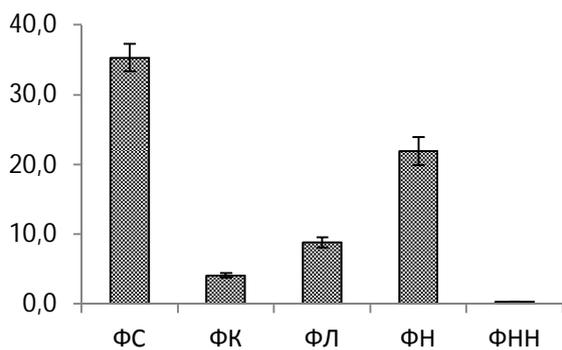


Рис. 2. Среднее содержание классов ФС в экстрактах листьев *L. caerulea* subsp. *altaica* в ценопопуляциях в долине р. Мульта. ФС – суммарное содержание фенольных соединений; ФК – фенолкарбоновые кислоты; ФЛ – флавонолы; ФН – флавоны; ФНН – флавононы. По оси абсцисс – классы ФС; по оси ординат – содержание классов полифенолов в мг/г воздушно-сухой массы сырья. Вертикальные столбцы показывают стандартное отклонение

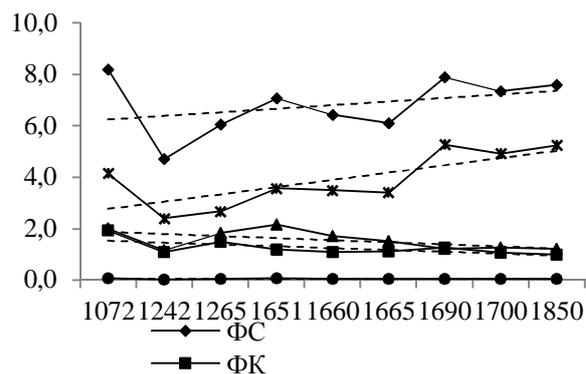
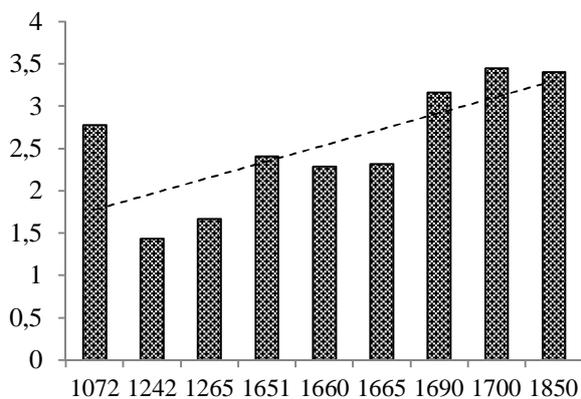
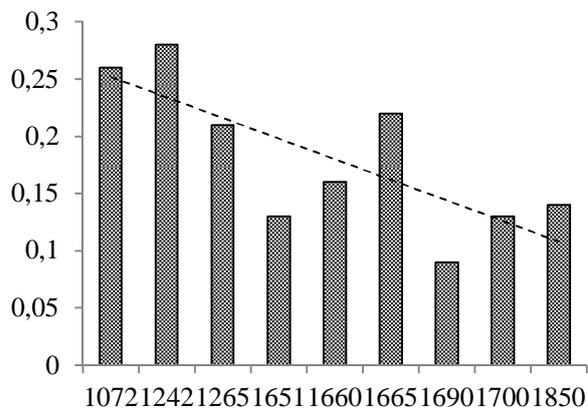


Рис. 3. Изменение содержания отдельных классов ФС в экстрактах из листьев *L. caerulea* subsp. *altaica* в зависимости от высоты произрастания: по оси абсцисс – абсолютная высота места отбора проб в м; по оси ординат – площадь хроматографических пиков, %. ФС – суммарное содержание полифенолов; ФК – фенолкарбоновые кислоты; ФЛ – флавонолы; ФН – флавоны, ФНН – флавононы, линейная (ФС) – прямая линия тренда

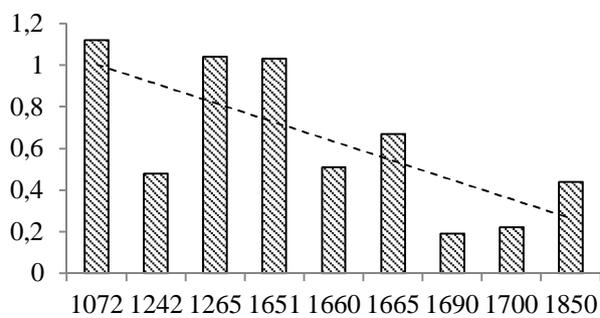


а



б

Рис. 4. Изменение содержания индивидуальных компонентов ФС в экстрактах листьев *L. caerulea* subsp. *altaica* в зависимости от места произрастания: а – лютеолин-7-глюкозид; б – хлорогеновая кислота; в – рутин. По оси абсцисс – абсолютная высота места отбора проб в м; по оси ординат – площадь хроматографических пиков, %. ---- – прямая линия тренда



в

Алтайский подвид жимолости синей, как правило, приурочен к верхней половине лесного пояса [18]. В условиях Горного Алтая высота 900–1000 м н.у.м. является нижним пределом его распространения. На этих высотах *L. caerulea* subsp. *altaica* встречается довольно редко. По нашим наблюдениям, оптимум условий произрастания для этого подвида лежит в пределах высот 1200–1600 м н.у.м. В пределах этих высот в популяциях *L. caerulea* subsp. *altaica* растения характеризуются наибольшей высотой куста, более высокой продуктивностью, формируются более крупные соплодия. С увеличением высоты над уровнем моря отмечается снижение массы плодов увеличением variability их морфологических характеристик [19], что является одним из показателей ухудшения условий произрастания для вида. В литературе часто отмечается, что увеличение variability, лабильности морфологических свойств является результатом адаптивных реакций биологических систем на изменившиеся условия существования [20, 21].

Закономерности уровней накопления флавонов на исследуемом участке хорошо демонстрируют реакцию растений *L. caerulea* subsp. *altaica* на изменение условий произрастания, связанных с вертикальным градиентом. Выше и ниже оптимальных для этого подвида *L. caerulea* высот наблюдается значительное увеличение флавонов, за счет увеличения основного для этого вида компонента ФС – лютеолин-7-глюкозида (рис. 4). Увеличение содержания лютеолин-7-глюкозида в высотном градиенте уже отмечалось нами ранее [12] и проведенные исследования подтверждают полученные ранее результаты. Однако в данной работе были проанализированы растительные пробы, отобранные и на нижнем пределе распространения этого подвида жимолости синей (ЦП 1 на высоте 1072 м н.у.м.). Значительное увеличение содержания лютеолин-7-глюкозида в листьях растений из этой точки отбора говорит о возможной реакции на ухудшение условий произрастания для *L. caerulea* subsp. *altaica* и подтверждает границы оптимума условий произрастания этого подвида, установленного по морфометрическим характеристикам.

Многими исследователями показана положительная корреляция между высотой над уровнем моря и содержанием ФС [22, 23]. Полученные в данной работе результаты показывают, что вертикальный градиент нужно рассматривать обязательно с учетом оптимума для конкретного вида.

Значимая отрицательная корреляция содержания ФК с высотой произрастания растений на всем изученном профиле отмечается для *L. caerulea* subsp. *altaica* впервые. Разнонаправленная зависимость между разными классами и компонентами ФС наблюдалась при исследовании изменчивости фенольного профиля различных видов растений в высотном градиенте [24–27]. Ранее нами также отмечалась разнонаправленная реакция отдельных классов и компонентов ФС на изменение условий произрастания в высотном градиенте в популяциях *L. caerulea* subsp. *altaica* (Семинский хр., Горный Алтай) [12]. Подобные эффекты объясняются тем, что индивидуальные компоненты ФС, возможно, выполняют различные функции в физиологических процессах растительных организмов и формируют разные типы ответной реакции на изменения условий связанных с высотой произрастания растений.

### **Заключение**

Методом высокоэффективной жидкостной хроматографии проведены исследования изменчивости количественных показателей индивидуально-группового состава биологически активных полифенолов в экстрактах листьев лекарственного вида растений *Lonicera caerulea* subsp. *altaica* (Caprifoliaceae) в высотном градиенте в долине р. Мульта (Усть-Коксинский р-он, Республика Алтай). Показано значительное варьирование уровней накопления отдельных классов фенольных соединений. Содержание фенолкарбоновых кислот изменялось в пределах 3.3–4.8 мг/г, флавонолов – 6.6–12.1 мг/г, флавонов – 13.6–29.6 мг/г. Установлено, что значительное увеличение основного компонента экстрактов листьев *L. caerulea* subsp. *altaica* лютеолин-7-глюкозида и суммарного содержания фенольных соединений происходит выше и ниже пределов оптимума распространения этого подвида жимолости синей в вертикальном градиенте. В пределах 1200–1850 м н.у.м. для флавонов и суммарного содержания биологически активных фенольных соединений установлены положительные статистически значимые корреляции с высотой произрастания растений. Увеличение высоты над уровнем моря значимо отрицательно влияло на содержание фенолкарбоновых кислот и флавонолов. Полученные результаты позволяют уточнить выбор популяций *L. caerulea* subsp. *altaica* для заготовки лекарственного сырья с более высоким содержанием биологически активных фенольных соединений.

**Финансирование**

Работа выполнена в рамках государственных заданий Центрального сибирского ботанического сада СО РАН (AAAA-A21-121011290027-6 и AAAA-A21-121011290025-2) и по государственному заданию Института почвоведения и агрохимии СО РАН.

**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**

- Zidorn C. Altitudinal variation of secondary metabolites in flowering heads of the Asteraceae: trends and causes // *Phytochem Rev.* 2010. Vol. 9. Pp. 197–203.
- Nagahama N., Gastaldi B., Clifford M.N., Manifesto M.M., Fortunato R.H. The influence of environmental variations on the phenolic compound profiles and antioxidant activity of two medicinal Patagonian valerians (*Valeriana carnosa* Sm. and *V. clarionifolia* Phil.) // *AIMS Agriculture and Food.* 2021. Vol. 6, no. 1. Pp. 106–124. DOI: 10.3934/agrfood.2021007.
- Zhou S., Yan X., Yang J., Qian C., Yin X., Fan X., Fang T., Gao Y., Chang Y., Liu W., Ma X.-F. Variations in Flavonoid Metabolites Along Altitudinal Gradient in a Desert Medicinal Plant *Agriophyllum squarrosum* // *Front. Plant Sci.* 2021. Vol. 12. 683265. DOI: 10.3389/fpls.2021.683265.
- Apel K., Hirt H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction // *Annu. Rev. Plant Biol.* 2004. Vol. 55. Pp. 373–399.
- Shahidi F., Janitha P., Wanasundara P. Phenolic antioxidants // *Crit. Rev. Food Sci.* 1992. Vol. 32. Pp. 67–103.
- Sharaf A.A., Khafagi O.-M.A., Hatab E.-B.E., Moursy M.M. Effect of altitudinal gradients on the content of carbohydrate, protein, proline and total phenols of some desert plants in Saint Katherine Mountain, South Sinai, Egypt // *Middle-East Journal of Scientific Research.* 2013. Vol. 14. Pp. 122–129.
- Sharma A., Lee H.-J. *Lonicera caerulea*: An updated account of its phytoconstituents and health-promoting activities // *Trends in Food Science et Technology.* 2021. Vol. 107. Pp. 130–149. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.08.013.
- Боярских И.Г., Васильев В.Г., Кукушкина Т.А. Содержание флавоноидов и гидроксикоричных кислот в *Lonicera caerulea* (Caprifoliaceae) в популяциях Горного Алтая // *Растительные ресурсы.* 2014. №1. С. 105–121.
- Боярских И.Г., Сысо А.И., Сиromля Т.И. Особенности минерального состава *Lonicera caerulea* в контрастных геохимических условиях // *Химия растительного сырья.* 2018. №3. С. 129–138. DOI: 10.14258/jcrpm.2018033740.
- Gołba M., Sokół-Lętowska A., Kucharska A.Z. Health properties and composition of honeysuckle berry *Lonicera caerulea* L. An update on recent studies // *Molecules.* 2020. Vol. 25, no. 3. 749. DOI: 10.3390/molecules25030749.
- Jurikova T., Rop O., Mlcek J., Sochor J., Balla S., Szekeres L., Hegedusova A., Hubalek J., Adam V., Kizek R. Phenolic profile of edible honeysuckle berries (genus *Lonicera*) and their biological effects // *Molecules.* 2012. Vol. 17. Pp. 61–79. DOI: 10.3390/molecules17010061.
- Боярских И.Г., Сысо А.И., Сиromля Т.И. Изменчивость содержания химических элементов и биологически активных полифенолов в органах *Lonicera caerulea* subsp. altaica (Caprifoliaceae) в высотном градиенте // *Сибирский экологический журнал.* 2019. №6. С. 727–741. DOI: 10.15372/SEJ20190608.
- Куминова А.В. Растительный покров Алтая. Новосибирск, 1960. 450 с.
- Beek T.A. Chemical analysis of Gingo biloba leaves and extracts // *Journal of Chromatography A.* 2002. Vol. 967 (1). Pp. 21–35.
- Запрометов М.Н. Основы биохимии фенольных соединений: учебное пособие для биол. специальных университетов. М., 1974. 213 с.
- Клышев Л.К., Бандюкова В.А., Алюкина Л.С. Флавоноиды растений. Алма-Ата, 1978. 220 с.
- Glantz S.A. Primer of biostatistics. 7th ed. N.Y., 2012. 320 p.
- Скворцов А.К., Куклина А.Г. Голубые жимолости: Ботаническое изучение и перспективы культуры в средней полосе России. М., 2002. 160 с.
- Boyarshikh I.G., Shitov A.V. Intraspecific Variability of Plants: The Impact of Active Local Faults // *Man and the Geosphere.* New York, 2010. Pp. 145–167.
- Мамаев С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений. М., 1973. 283 с.
- Позолотина В.Н. Адаптационные процессы у растений в условиях радиационного воздействия // *Экология.* 1996. №2. С. 111–116.
- Ni Q., Wang Z., Xu G., Gao Q., Yang D., Morimatsu F., Zhang Y. Altitudinal variation of antioxidant components and capability in *Indocalamus latifolius* (Keng) McClure leaf // *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* 2013. Vol. 59. Pp. 336–342. DOI: 10.3177/jnsv.59.336.

23. Senica M., Stampar F., Veberic R., Mikulic-Petkovsek M. The higher the better? Differences in phenolics and cyanogenic glycosides in *Sambucus nigra* leaves, flowers and berries from different altitudes // J. Sci. Food Agric. 2017. Vol. 97. Pp. 2623–2632. DOI: 10.1002/jsfa.8085.
24. Spitaler R., Schlorhauser P.D., Ellmerer E.P., Merfort I., Bortenschlager S., Stuppner H., Zidorn C. Altitudinal variation of secondary metabolite profiles in flowering heads of *Arnica montana* cv. ARBO // Phytochemistry. 2006. Vol. 67. Pp. 409–417. DOI: 10.1016/j.phytochem.2005.11.018.
25. Rieger G., Müller M., Guttenberger H., Bucar F. Influence of altitudinal variation on the content of phenolic compounds in wild populations of *Calluna vulgaris*, *Sambucus nigra*, and *Vaccinium myrtillus* // J. Agric. Food Chem. 2008. Vol. 56. Pp. 9080–9086. DOI: 10.1021/jf801104e.
26. Храмова Е.П. Фенольные соединения надземной части *Pentaphylloides fruticosus* (Rosaceae), произрастающего в Горном Алтае // Растительные ресурсы. 2014. Т. 50. №4. С. 627–639.
27. Варабова Ф.А., Раджабов Г.К., Мусаев А.М., Исламова Ф.И. *Ziziphora clinopodiones* var. *serpyllacea* (M. Vieb.) Boiss. – перспективный вид по содержанию фенольных соединений во флоре Дагестана // Ботанический вестник Северного Кавказа. 2015. №1. С. 30–38.

Поступила в редакцию 18 мая 2023 г.

После переработки 13 сентября 2023 г.

Принята к публикации 16 октября 2023 г.

Boyarskikh I.G.<sup>1,2\*</sup>, Kostikova V.A.<sup>1</sup> CHANGES IN THE INDIVIDUAL-GROUP COMPOSITION OF POLYPHENOLS IN THE LEAVES OF *LONICERA CAERULEA* SUBSP. *ALTAICA* (CAPRIFOLIACEAE) IN THE ALTITUDINAL GRADIENT

<sup>1</sup> Central Siberian Botanical Garden SB RAS, Zolotodolinskaya st., 101, Novosibirsk, 630090, Russia, e-mail: irina\_2302@mail.ru

<sup>2</sup> Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Lavrentieva ave., 8/2, Novosibirsk, 630090, Russia

Comparative analysis of the variability of quantitative indicators of the individual-group composition of biologically active phenolic compounds in leaf extracts of the resource species *L. caerulea* subsp. *altaica* (Caprifoliaceae Juss.) was carried out. Sampling for the study was carried out in the cenopopulations of the Altai Mountains in the valley of the Multa River, in the altitudinal gradient. Eighteen polyphenols were identified by high performance liquid chromatography in extracts from the leaves of *L. caerulea* subsp. *altaica*. Luteolin-7-glucoside is the main component among them. The content of individual classes of phenolic compounds in extracts from the leaves of *L. caerulea* subsp. *altaica* in the altitude profile varied significantly: phenolcarboxylic acid derivatives – 3.3–4.8 mg/g, flavonols – 6.6–12.1 mg/g, flavones – 13.6–29.6 mg/g. A significant increase in the total content of polyphenols and luteolin-7-glucoside in extracts from the leaves of *L. caerulea* subsp. *altaica* was noted above and below the limits of the optimum distribution of this plant in the vertical gradient. Positive statistically significant correlations of flavones and the total content of phenolic compounds with the height of plant growth are established within 1200–1850 meters above sea level. The content of flavonols and phenolcarboxylic acids, on the contrary, decreased with increasing altitude.

**Keywords:** Altai subspecies of blue honeysuckle, HPLC, phenolcarboxylic acids, flavonols, flavones, natural populations, altitudinal gradient.

**For citing:** Boyarskikh I.G., Kostikova V.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2024, no. 1, pp. 186–194. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20240112977.

## References

1. Zidorn C. *Phytochem Rev.*, 2010, vol. 9, pp. 197–203.
2. Nagahama N., Gastaldi B., Clifford M.N., Manifesto M.M., Fortunato R.H. *AIMS Agriculture and Food*, 2021, vol. 6, no. 1, pp. 106–124. DOI: 10.3934/agrfood.2021007.
3. Zhou S., Yan X., Yang J., Qian C., Yin X., Fan X., Fang T., Gao Y., Chang Y., Liu W., Ma X.-F. *Front. Plant Sci.*, 2021, vol. 12, 683265. DOI: 10.3389/fpls.2021.683265.
4. Apel K., Hirt H. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 2004, vol. 55, pp. 373–399.
5. Shahidi F., Janitha P., Wanasundara P. *Crit. Rev. Food Sci.*, 1992, vol. 32, pp. 67–103.
6. Sharaf A.A., Khafagi O.-M.A., Hatab E.-B.E., Moursy M.M. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 2013, vol. 14, pp. 122–129.

\* Corresponding author.

7. Sharma A., Lee H-J. *Trends in Food Science et Technology*, 2021, vol. 107, pp. 130–149. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.08.013.
8. Boyarskikh I.G., Vasil'yev V.G., Kukushkina T.A. *Rastitel'nyye resursy*, 2014, no. 1, pp. 105–121. (in Russ.).
9. Boyarskikh I.G., Syso A.I., Siromlya T.I. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2018, no. 3, pp. 129–138. DOI: 10.14258/jcprm.2018033740. (in Russ.).
10. Golba M., Sokół-Lętowska A., Kucharska A.Z. *Molecules*, 2020, vol. 25, no. 3, 749. DOI: 10.3390/molecules25030749.
11. Jurikova T., Rop O., Mlcek J., Sochor J., Balla S., Szekeres L., Hegedusova A., Hubalek J., Adam V., Kizek R. *Molecules*, 2012, vol. 17, pp. 61–79. DOI: 10.3390/molecules17010061.
12. Boyarskikh I.G., Syso A.I., Siromlya T.I. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal*, 2019, no. 6, pp. 727–741. DOI: 10.15372/SEJ20190608. (in Russ.).
13. Kuminova A.V. *Rastitel'nyy pokrov Altaya*. [Vegetation cover of Altai]. Novosibirsk, 1960, 450 p. (in Russ.).
14. Beek T.A. *Journal of Chromatography A*, 2002, vol. 967 (1), pp. 21–35.
15. Zaprometov M.N. *Osnovy biokhimii fenol'nykh soyedineniy: uchebnoye posobiye dlya biol. spetsial'nykh uni-versitetov*. [Fundamentals of the biochemistry of phenolic compounds: a textbook for biol. special universities]. Moscow, 1974, 213 p. (in Russ.).
16. Klyshev L.K., Bandyukova V.A., Alyukina L.S. *Flavonoidy rasteniy*. [Plant flavonoids]. Alma-Ata, 1978, 220 p. (in Russ.).
17. Glantz S.A. *Primer of biostatistics. 7th ed.* N.Y.: McGraw-Hill, 2012, 320 p.
18. Skvortsov A.K., Kuklina A.G. *Golubyye zhimolosti: Botanicheskoye izucheniye i perspektivy kul'tury v sred-ney polose Rossii*. [Blue honeysuckle: Botanical study and cultural prospects in central Russia]. Moscow, 2002, 160 p. (in Russ.).
19. Boyarskikh I.G., Shitov A.V. *Man and the Geosphere*. New York: Nova Science Publishers Inc., 2010, pp. 145–167.
20. Mamayev S.A. *Formy vnutrividovoy izmenchivosti drevesnykh rasteniy*. [Forms of intraspecific variability of woody plants]. Moscow, 1973, 283 p. (in Russ.).
21. Pozolotina V.N. *Ekologiya*, 1996, no. 2, pp. 111–116. (in Russ.).
22. Ni Q., Wang Z., Xu G., Gao Q., Yang D., Morimatsu F., Zhang Y. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, 2013, vol. 59, pp. 336–342. DOI: 10.3177/jnsv.59.336.
23. Senica M., Stampar F., Veberic R., Mikulic-Petkovsek M. *J. Sci. Food Agric.*, 2017, vol. 97, pp. 2623–2632. DOI: 10.1002/jsfa.8085.
24. Spitaler R., Schlorhauser P.D., Ellmerer E.P., Merfort I., Bortenschlager S., Stuppner H., Zidorn C. *Phytochemistry*, 2006, vol. 67, pp. 409–417. DOI: 10.1016/j.phytochem.2005.11.018.
25. Rieger G., Müller M., Guttenberger H., Bucar F. *J. Agric. Food Chem.*, 2008, vol. 56, pp. 9080–9086. DOI: 10.1021/jf801104e.
26. Khramova Ye.P. *Rastitel'nyye resursy*, 2014, vol. 50, no. 4, pp. 627–639. (in Russ.).
27. Vagabova F.A., Radzhabov G.K., Musayev A.M., Islamova F.I. *Botanicheskiy vestnik Severnogo Kavkaza*, 2015, no. 1, pp. 30–38. (in Russ.).

Received May 18, 2023

Revised September 13, 2023

Accepted October 16, 2023

#### Сведения об авторах

Боярских Ирина Георгиевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории дендрологии, irina\_2302@mail.ru

Костикова Вера Андреевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории фитохимии, serebryakovava@mail.ru

#### Information about authors

Boyarskikh Irina Georgievna – Candidate of Biological Sciences, senior researcher at the Laboratory of Dendrology, irina\_2302@mail.ru

Kostikova Vera Andreevna – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Phytochemistry, serebryakovava@mail.ru