

УДК 577.13:58.006

**ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ  
В ЛИСТЬЯХ И ЯГОДАХ НЕКОТОРЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА *VACCINIUM*  
ИЗ КОЛЛЕКЦИИ НИИ БОТАНИЧЕСКИЙ САД  
НИЖЕГОРОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**© 2014 г. *А.А. Брилкина, М.Н. Агеева, Е.В. Березина, Е.Е. Павлова, И.В. Мишукова*

Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского

annbril@mail.ru

Поступила в редакцию 12.05.2014

Исследовано содержание фенольных соединений в листьях и ягодах представителей рода *Vaccinium* L. Выявлен повышенный уровень фенолов в листьях при плодоношении, превосходящий содержание в ягодах в 6–10 раз. Количество фенольных соединений в листьях голубики узколистной и в ягодах черники кавказской из коллекции НИИ Ботанический сад Нижегородского госуниверситета сопоставимо с таковым у дикорастущей черники обыкновенной.

*Ключевые слова:* род *Vaccinium* L., фенольные соединения, флавоноиды, антоцианы, периоды вегетации.

**Введение**

Растения рода *Vaccinium* L. широко распространены как в дикой природе, так и в виде окультуренных форм. Среди представителей рода *Vaccinium* L. большой интерес вызывают повсеместно распространенная в северном полушарии голубика обыкновенная *V. uliginosum* L.; черника обыкновенная *V. myrtillus* L., растущая в северной и умеренной зонах России и Белоруссии; черника кавказская *V. arctostaphylos* L., произрастающая на юге России, Кавказе, в Болгарии, Турции и Иране; североамериканские виды голубика щитковая *V. corymbosum* L., голубика черноплодная *V. atrococcum* Aiton, голубика узколистная *V. angustifolium* Aiton [1, 2]. Эти виды представляют собой плодоносящие кустарники и полукустарники, ягоды которых традиционно используются в пищу и являются источником целого ряда ценных биологически активных веществ, среди которых особую значимость приобретают фенольные соединения [3]. Наиболее ценными для человека являются растворимые фенольные соединения (ФС), в особенности флавоноиды. Особым вниманием пользуется антиоксидантная способность флавоноидов [4]. В растительной клетке фенольные соединения принимают участие в обмене веществ, во взаимодействии с другими организмами, выполняют защитные функции. Особое значение фенольных соединений растений рода *Vaccinium* L. состоит в их участии в формировании эрикоидной микоризы – симбиоза сумчатых грибов с вересковыми

растениями, позволяющей последним осваивать бедные почвы в экстремальных условиях [5].

Для биосинтеза и накопления полифенолов в растительной клетке характерна высокая пластичность и вариабельность. Считается, что их содержание может зависеть как от вида растения, фазы его вегетации, так и от места произрастания [6, 7]. Цель работы – сравнительный анализ накопления фенольных соединений в листьях и ягодах растений рода *Vaccinium* L., произрастающих в коллекции НИИ Ботанический сад Нижегородского госуниверситета (ННГУ), с дикорастущими видами местной флоры.

**Экспериментальная часть**

Объектами исследования служили голубика щитковая *V. corymbosum* L., голубика узколистная *V. angustifolium* Aiton, голубика черноплодная *V. atrococcum* Aiton, черника кавказская *V. arctostaphylos* L., культивируемые в Ботаническом саду ННГУ им. Н.И. Лобачевского, а также голубика обыкновенная *V. uliginosum* L. и черника обыкновенная *V. myrtillus* L., произрастающие в лесных массивах Арзамасского района Нижегородской области. Сбор листьев осуществляли в первой половине июня (первый вегетационный период – цветение), далее в середине июля (второй вегетационный период – плодоношение).

Определение суммы растворимых фенольных соединений (СРФС) и флавоноидов в листьях и ягодах растений проводили согласно М.Н. Запрметову [8] с помощью реактива

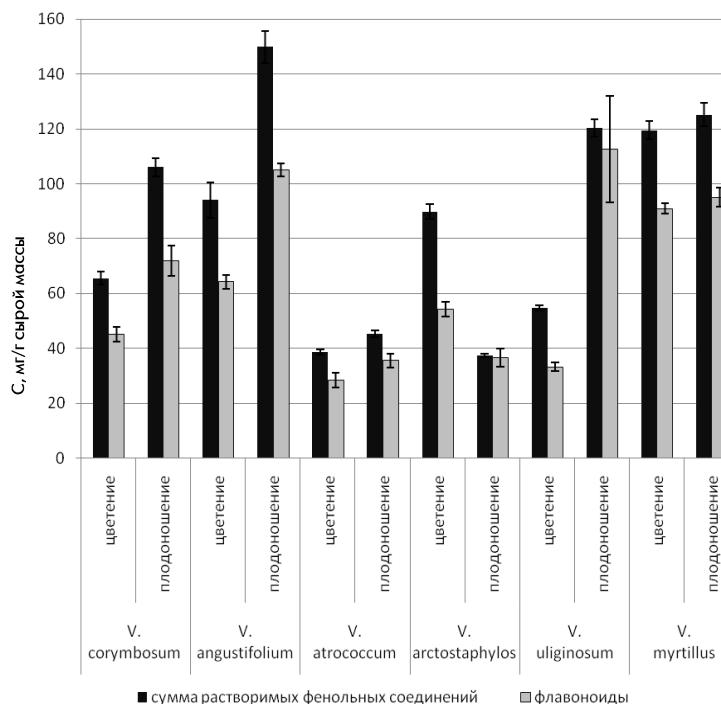


Рис. 1. Содержание фенольных соединений (С) в листьях различных видов рода *Vaccinium* L. в периоды цветения и плодоношения

Фолина–Дениса, содержание флавоноидов – согласно методике, описанной Г. Гюнешем с соавторами [9], с использованием спектрофотометра *Shimadzu UV-1700* и пересчетом на рутин. В ягодах также определяли содержание антоцианов согласно А. Шривастава с соавторами [10]. Содержание исследуемых метаболитов выражали в мг/г сырой массы (мг/г с. м.).

На рис. 1, 2 представлены средние арифметические значения и их стандартные ошибки (два опыта, каждый из которых проведен в трехкратной биохимической повторности). Достоверность значений определяли, используя коэффициент Стьюдента с поправкой Бонферрони (статистически значимыми считали различия при  $p < 0.05$ )

### Результаты и их обсуждение

Биологически активные фенольные соединения растений являются водорастворимыми и играют важную роль как в растительном организме, так и в животном. Наиболее многочисленной и хорошо изученной группой таких природных фенолов являются соединения  $C_6-C_3-C_6$ -ряда – флавоноиды. В ходе сравнительного анализа содержания полифенольных соединений в листьях растений рода *Vaccinium* L., произрастающих в коллекции НИИ Ботанический сад ННГУ и лесах Арзамасского района,

выявлено значительное накопление этих метаболитов: суммы растворимых фенольных соединений до 150 мг/г с. м., флавоноидов – до 112 мг/г с. м. (рис. 1). При этом на уровень ФС оказывают влияние как вид растения, так и фаза вегетационного процесса. В частности, в листьях голубики щитковой, узколистной, черноплодной и обыкновенной при плодоношении происходит повышение уровня как СРФС, так и флавоноидов, в то время как у черники обыкновенной уровень этих соединений остается неизменным, а у черники кавказской падает. Отметим, что флавоноиды составляют значительную часть (60–90%) в полифенольном комплексе листьев исследуемых растений. Видами с максимальным накоплением фенольных соединений в листьях являются черника обыкновенная в оба периода вегетации, а голубика узколистная и черника кавказская – при плодоношении. Изменения уровня фенольных соединений при различных периодах вегетации растений отмечались и другими авторами для рододендронов [11], сабельника болотного [12], сосны и сибирского кедра [13], березы повислой [7].

Исследование количества фенольных соединений в ягодах различных видов голубики и черники показало, что уровень этих веществ меньше чем в листьях в 6–10 раз. Наибольшее содержание СРФС обнаружили в ягодах черники обыкновенной (18.8 мг/г с. м.), самое низкое

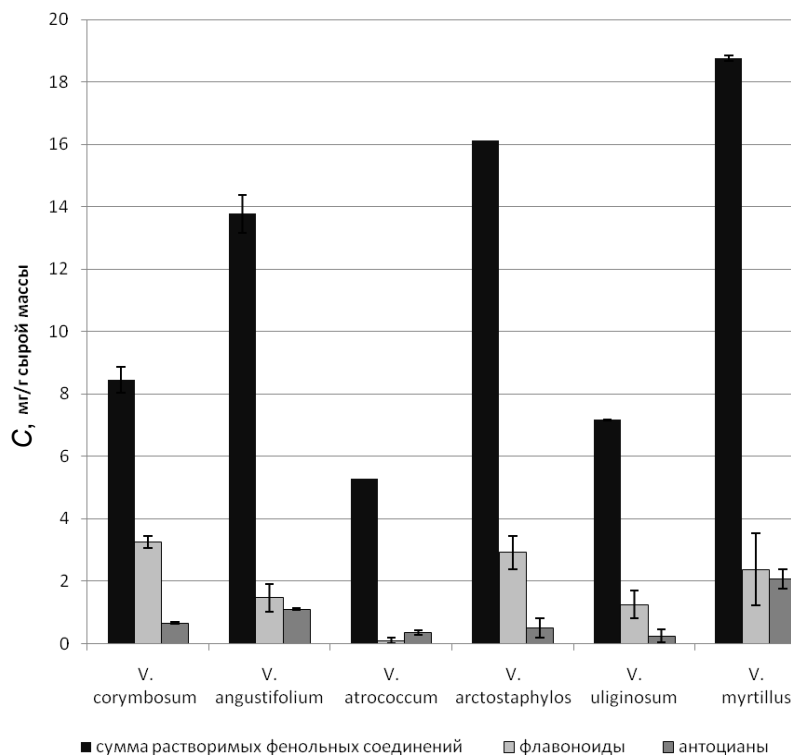


Рис. 2. Содержание фенольных соединений (С) в ягодах различных видов рода *Vaccinium* L.

количество – у голубики черноплодной (5.3 мг/г с. м.) (рис. 2). Доля флавоноидов в полифенольном комплексе составляет от 1% (голубика черноплодная) до 53% (голубика щитковая). Одной из важных групп флавоноидов являются антоцианы, определяющие окраску плодов. Максимальное количество этих водорастворимых пигментов выявлено у наиболее темноокрашенных ягод – черники (2.1 мг/г с. м.) и голубики узколистной (1.2 мг/г с. м.) (рис. 2). В этих ягодах антоцианы составили большую часть флавоноидов. При сравнении результатов, полученных нами, с данными других авторов можно отметить, что в ягодах голубики, выращиваемой в НИИ Ботанический сад ННГУ, накапливается столько же фенольных соединений, как и на родине в США [14], и содержание их больше, чем в красной смородине, клубнике, ежевике [15].

### Заключение

Таким образом, синтез фенольных соединений, в частности флавоноидов, в листьях видов голубики усиливается при переходе растений в фазу плодоношения, а у черники остается неизменным или падает; наибольшее количество фенолов характерно для наиболее темноокрашенных ягод черники обыкновенной и кавказ-

ской и голубики узколистной. Уровень фенольных соединений у видов, культивируемых в ботаническом саду, незначительно меньше, чем у дикорастущих голубики обыкновенной и черники обыкновенной. По-видимому, усиленный синтез фенольных соединений является для растений рода *Vaccinium* L. генетически обусловленным и необходимым условием выживания, определяющим взаимодействие с микоризообразователями и защищающим от патогенных микроорганизмов и животных-фитофагов ягоды и семена.

*Работа поддержана финансированием в рамках «Программы повышения конкурентоспособности ННГУ. Создание научно-исследовательских лабораторий совместно с высокотехнологическими организациями».*

### Список литературы

1. Жизнь растений. В 6 т. / Гл. ред. Ал.А. Федоров. Т. 5. Ч. 2. Цветковые растения / Под ред. А.Л. Тахтаджяна. М.: Просвещение, 1980. 576 с.
2. Мишукова И.В., Шпилевская Е.В. Некоторые итоги интродукции голубики щитковой в Ботаническом саду ННГУ // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Сер. Биология. 2004. Вып. 2 (8). С. 114–120.

3. Павлова Е.Е., Березина Е.В., Мишукова И.В., Брилкина А.А. Анализ содержания фенольных соединений и аскорбиновой кислоты у различных видов голубики (*Vaccinium* L.) в периоды цветения и плодоношения // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2012. № 2 (3). С. 222–229.
4. Wang S.Y., Stretch A.W. Antioxidant capacity in cranberry is influenced by cultivar and storage temperature // J. Agric. Food Chem. 2001. № 49. P. 969–974.
5. Запрометов М.Н. Фенольные соединения: Распространение, метаболизм и функции в растениях. М.: Наука, 1993. 271 с.
6. Рупасова Ж.А., Игнатенко В.А., Русаленко В.Г., Рудаковская Р.Н. Развитие и метаболизм клюквы крупноплодной в белорусском Полесье, Минск: Наука и техника, 1989, 205 с.
7. Кавеленова Л.М., Лищинская С.Н., Карандаева Л.Н. Особенности сезонной динамики водорастворимых фенольных соединений в листьях березы повислой в условиях урбосреды в лесостепи (на примере Самары) // Химия растительного сырья. 2001. № 3. С. 91–96.
8. Запрометов М.Н. Фенольные соединения и методы их исследования // В сб.: Биохимические методы в физиологии растений. М.: Наука, 1971. С. 185–207.
9. Gunes G., Liu R.H., Watkins C.B. Controlled-Atmosphere Effects on Postharvest Quality and Antioxidant Activity of Cranberry Fruits // J. Agric. Food Chem. 2002. № 50. P. 5932–5938.
10. Srivastava A., Akoh C.C., Yi W., Fischer J., Krewer G. Effect of storage conditions on the biological activity of phenolic compounds of blueberry extract packed in glass bottles // J. Agric. Food Chem. 2007. V. 55. № 7. P. 2705–2713.
11. Костина В.М. Особенности фенольного метаболизма растений рода *Rhododendron* L. *in vivo* и *in vitro*: Автореферат дис. ... канд. биол. наук. М.: Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, 2009. 22 с.
12. Петрова П.И., Бахтенко Е.Ю., Загоскина Н.В., Булатова С.В., Курапов П.Б. Динамика накопления фенольных соединений в органах сабельника болотного (*Comarum palustre* L.) // Химия растительного сырья. 2013. № 1. С. 165–169.
13. Плаксина И.В., Судачкова Н.Е., Романова Л.И., Милотина И.Л. Сезонная динамика фенольных соединений в лубе и швое сосны обыкновенной и кедр сибирского в посадках различной густоты // Химия растительного сырья. 2009. № 1. С. 103–108.
14. Moyer R.A., Hummer K.E., Finn C.E., Frei B. and Wrolstad R.E. Anthocyanins, phenolics, and antioxidant capacity in diverse small fruits: *Vaccinium*, *Rubus*, and *Ribes* // J. Agric. Food Chem. 2002 № 50. P. 519–525.
15. Wang S.Y. and Lin H.-S. Antioxidant activity in fruits and leaves of blackberry, raspberry, and strawberry varies with cultivar and developmental stage // J. Agric. Food Chem. 2000. № 48. P. 140–146.

**PECULIARITIES OF PHENOLIC COMPOUNDS ACCUMULATION  
IN LEAVES AND BERRIES OF SOME *VACCINIUM* L. GENUS SPECIMENS  
FROM THE COLLECTION OF THE UNN BOTANICAL GARDEN-RESEARCH INSTITUTE**

*A.A. Brilkina, M.N. Ageeva, E.V. Berezina, E.E. Pavlova, I.V. Mishukova*

The content of phenolic compounds in the leaves and berries of the genus *Vaccinium* L. specimens was studied. High phenolics level was revealed in the leaves at the time of fruiting. It was 6–10 times higher than phenolics level in berries. Phenolic compounds content in lowbush blueberry leaves and Caucasian whortleberry berries from the collection of the UNN Botanical Garden-Research Institute was comparable to that in wild bilberry.

*Keywords:* genus *Vaccinium* L., phenolic compounds, flavonoids, anthocyanins, vegetation periods.

*References*

1. Zhizn' rastenij. V 6 t. / Gl. red. A.I.A. Fedorov. T. 5. Ch. 2. Cvetkovye rastenija / Pod red. A.L. Tahtadzhjana. M.: Prosveshhenie, 1980. 576 s.
2. Mishukova I.V., Shpilevskaja E.V. Nekotorye itogi introdukcii golubiki shhitkovoju v Botanicheskom sadu NNGU // Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo. Ser. Biologija. 2004. Vyp. 2 (8). S. 114–120.
3. Pavlova E.E., Berezina E.V., Mishukova I.V., Brilkina A.A. Analiz sodержanija fenol'nyh soedinenij i askorbinovoj kisloty u razlichnyh vidov golubiki (*Vaccinium* L.) v periody cvetenija i plodonoshenija // Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo. 2012. № 2 (3). S. 222–229.
4. Wang S.Y., Stretch A.W. Antioxidant capacity in cranberry is influenced by cultivar and storage temperature // J. Agric. Food Chem. 2001. № 49. P. 969–974.
5. Zaprometov M.N. Fenol'nye soedinenija: Rasprostranenie, metabolizm i funkcii v rastenijah. M.: Nauka, 1993. 271 s.
6. Rupasova Zh.A., Ignatenko V.A., Rusalenko V.G., Rudakovskaja R.N. Razvitie i metabolizm kljukvy krupnoplodnoj v belorusskom Poles'e, Minsk: Nauka i tehnika, 1989, 205 s.
7. Kavelenova L.M., Lishhinskaja S.N., Karandaeva L.N. Osobennosti sezonnoj dinamiki vodorastvorimyh fenol'nyh soedinenij v list'jah berezy povisloj v uslovijah urbosredy v lesostepi (na primere Samary) // Himija rastitel'nogo syr'ja. 2001. № 3. S. 91–96.
8. Zaprometov M.N. Fenol'nye soedinenija i metody ih issledovanija // V sb.: Biokhimicheskie

- metody v fiziologii rastenij. M.: Nauka, 1971. S. 185–207.
9. Gunes G., Liu R.H., Watkins C.B. Controlled-Atmosphere Effects on Postharvest Quality and Antioxidant Activity of Cranberry Fruits // *J. Agric. Food Chem.* 2002. № 50. R. 5932–5938.
10. Srivastava A., Akoh C.C., Yi W., Fischer J., Krewer G. Effect of storage conditions on the biological activity of phenolic compounds of blueberry extract packed in glass bottles // *J. Agric. Food Chem.* 2007. V. 55. № 7. P. 2705–2713.
11. Kostina V.M. Osobennosti fenol'nogo metabolizma rastenij roda *Rhododendron* L. in vivo i in vitro: Avtoreferat dis. ... kand. biol. nauk. M.: Institut fiziologii rastenij im. K.A. Timirjazeva RAN, 2009. 22 s.
12. Petrova P.I., Bahtenko E.Ju., Zagoskina N.V., Bulatova S.V., Kurapov P.B. Dinamika nakoplenija fenol'nyh soedinenij v organah sabel'nika bolotnogo (*Comarum palustre* L.) // *Himija rastitel'nogo syr'ja.* 2013. № 1. S. 165–169.
13. Plaksina I.V., Sudachkova N.E., Romanova L.I., Miljutina I.L. Sezonnaja dinamika fenol'nyh soedinenij v lube i hvoe sosny obyknovennoj i kedra sibirskogo v posadkah razlichnoj gustoty // *Himija rastitel'nogo syr'ja.* 2009. № 1. S. 103–108.
14. Moyer R.A., Hummer K.E., Finn C.E., Frei B. and Wrolstad R.E. Anthocyanins, phenolics, and antioxidant capacity in diverse small fruits: *Vaccinium*, *Rubus*, and *Ribes* // *J. Agric. Food Chem.* 2002 № 50. R. 519–525.
15. Wang S.Y. and Lin H.-S. Antioxidant activity in fruits and leaves of blackberry, raspberry, and strawberry varies with cultivar and developmental stage // *J. Agric. Food Chem.* 2000. № 48. R. 140–146.