



## ЭКОЛОГИЯ

УДК 615.322

А.И. Попов, Ю.Н. Дементьев

### ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ ГОЛУБИКИ ОБЫКНОВЕННОЙ В ПРОЦЕССЕ ОНТОГЕНЕЗА

Исследованиями авторов установлено содержание 62 химических элементов в листьях голубики. Выявлено, что в процессе онтогенеза увеличивается содержание В, Mg, Si, Co, Sr и снижается содержание К, Р, Cu, Zn. Содержание остальных микроэлементов остается практически на одном и том же уровне.

**Ключевые слова:** голубика обыкновенная, листья, химический элемент, онтогенез.

А.И. Popov, Y.N. Dementiev

### THE RESEARCH OF CHEMICAL ELEMENTS IN ORDINARYBLUEBERRY LEAVES IN THE ONTOGENESIS PROCESS

The content of 62 chemical elements in the blueberry leaves is established by the authors' research. It is revealed that in the ontogenesis process the content of B, Mg, Si, Co, Sr increases and the content of K, P, Cu, Zn decreases. The content of other microelements remains practically at the same level.

**Key words:** ordinaryblueberry, leaves, chemical element, ontogenesis.

**Введение.** Настоящая статья является продолжением исследований, начатых с 1986 года одним из авторов, по изучению элементного состава пищевых и лекарственных растений, произрастающих в Кемеровской области и Республике Тыва [5–15].

**Цель исследований.** Определение химических элементов в образцах листьев голубики для более глубокого обоснования и расширения базы данных пищевого и лекарственного растительного сырья, а также разработка новых эффективных фитопрепаратов и биодобавок с широким спектром биологической активности.

**Методика и результаты исследований.** Заготовку образцов проводили во время экспедиций в различные сроки развития листьев в конце мая, июля, августа с учетом онтогенеза растения и климатической обстановки. Визуальных признаков толерантности от избыточных количеств ксенобиотиков как до проведения эксперимента, так и во время и после проведения, не было отмечено [1, 2, 3, 4, 7, 8].

Качественный состав и количественное содержание химических элементов в листьях голубики определяли в нескольких специализированных лабораториях с помощью абсорбционных спектральных, пламенной спектрометрии и фотометрии, ренгенофлуоресцентного и инверсионного вольтамперметрического методов на отечественных и зарубежных приборах, что позволяло расширить спектр определяемых элементов химического состава. Для контроля точности определений применяли метод добавок [5–15].

Используя ранее описанные методики [5–17], было выявлено 6 макроэлементов и 56 ультра- и микроэлементов (табл.).

#### Элементный состав листьев голубики (в пересчете на абсолютно сухое сырье), мкг/г

Элемент	Содержание в пересчете на абсолютно сухое сырье		
	Май	Июль	Август
1	2	3	4
<i>Макроэлементы</i>			
Калий (K)	8928,00	7865,00	5223,00
Кальций (Ca)	3599,00	4762,00	6925,00
Кремний (Si)	2187,00	2164,00	2843,00

1	2	3	4
Магний (Mg)	1827,00	1954,00	2369,00
Натрий (Na)	58,78	59,13	37,92
Фосфор (P)	5194,00	2307,00	2295,00
<i>Ультра- и микроэлементы</i>			
Алюминий (Al)	3,21	5,13	7,45
Барий (Ba)	71,34	65,65	178,23
Бериллий (Be)	0,001	0,025	0,001
Бор (B)	15,46	82,42	98,67
Бром (Br)	2,13	6,61	5,12
Ванадий (V)	0,23	0,33	0,31
Висмут (Bi)	0,001	0,012	0,011
Вольфрам (W)	0,008	0,017	0,048
Гадолиний (Gd)	0,001	0,002	0,004
Галлий (Ga)	0,15	0,099	0,14
Гафний (Hf)	0,006	0,008	0,025
Гольмий (Ho)	0,0002	0,0004	0,0006
Германий (Ge)	0,005	0,01	0,005
Диспрозий (Dy)	0,0011	0,0019	0,0028
Европий (Eu)	0,009	0,008	0,019
Железо (Fe)	54,54	64,31	91,12
Золото (Au)	0,005	0,005	0,002
Иттебрий (Yb)	0,001	0,001	0,0015
Иттрий (Y)	0,014	0,026	0,017
Йод (I)	0,32	0,17	0,39
Кадмий (Cd)	0,59	0,38	0,39
Кобальт (Co)	0,13	0,22	0,29
Лантан (La)	0,022	0,048	0,057
Литий (Li)	0,08	0,14	0,12
Лютеций (Lu)	0,0001	0,0002	0,0004
Марганец (Mn)	303,87	221,96	270,53
Медь (Cu)	11,23	4,32	5,91
Молибден (Mo)	0,11	0,50	0,059
Мышьяк (As)	0,0005	0,0005	0,65
Неодим (Nd)	0,02	0,039	0,25
Никель (Ni)	1,12	0,73	0,75
Ниобий (Nb)	0,009	0,001	0,012
Олово (Sn)	1,69	2,93	1,32
Платина (Pt)	0,001	0,002	0,001
Празеодин (Pr)	0,005	0,011	0,008
Ртуть (Hg)	0,003	0,008	0,001
Рубидий (Rb)	16,21	12,42	8,15
Самарий (Sm)	0,0021	0,0023	0,0046
Свинец (Pb)	0,16	0,12	0,24
Селен (Se)	0,72	0,96	1,63
Серебро (Ag)	0,0005	0,005	0,009
Стронций (Sr)	7,13	8,21	20,41
Сурьма (Sb)	0,006	0,011	0,012
Талий (Tl)	0,002	0,003	0,002
Тантал (Ta)	0,006	0,006	0,006
Титан (Ti)	4,78	4,97	4,59

Окончание табл.

1	2	3	4
Тербий (Tb)	0,0005	0,0005	0,0007
Торий (Th)	0,005	0,006	0,006
Тулий (Tm)	0,0002	0,0004	0,0006
Уран (U)	0,003	0,009	0,003
Хром (Cr)	1,31	0,72	0,76
Цезий (Cs)	0,11	0,17	0,18
Церий (Ce)	0,061	0,092	0,14
Цинк (Zn)	89,27	40,89	27,76
Цирконий (Zr)	0,082	0,24	0,12
Эрбий (Er)	0,0005	0,0007	0,0009

Из данных, представленных в таблице, видно, что образцы листьев голубики, собранные в различные фазы развития, как и живое вещество, содержат химические элементы, входящие в состав различных тканей и осуществляющие важнейшие функции, без которых сама жизнь оказалась бы невозможной.

На основании результатов исследований листьев голубики в процессе онтогенеза можно отметить определенные закономерности накопления химических элементов. Концентрации элементов в образцах листьев, собранных в мае, убывают в следующем ряду:

K>P>Ca>Si>Mg>Mn>Zn>Ba>Na>Fe>Rb>B>Cu>Sr>Ti>Al>Br>Sn>Cr>Ni>Se>Cd>I>V>Pb>Ga>Co>Mo>Cs>Li>Zr>Ce>La>Nd>Y>Eu=Nb>W>Hf>Sb=Ta>Ge=Au=Pr=Th>Hg=U>Sm>Tl>Dy=Be=Bi=Gd=Yb=Pt>As=Ag=Tb=Er=Ho= Tm>Lu.

Несколько иное соотношение элементов в убывающем ряду для проб листьев, собранных в июле:

K>Ca>P>Si>Mg>Mn>B>Ba>Fe>Na>Zn>Rb>Sr>Br>Al>Ti>Cu>Sn>Se>Ni>Cr>Mo>Cd>V>Zn>Co>I=Cs>Li>Pb>Ga>Ce>La>Nd>Y>Be>W>Bi>Pr=Sb>Ge>U>Hf=Eu>Hg>Ta=Th>Au=Ag>Tl>Sm>Gd=Pt>Dy>Yb=Nb>Er>As=Tb>Ho=Tm>Lu.

Для листьев голубики, собранных в августе, результаты в убывающем ряду имеют следующий вид:

Ca>K>Si>Mg>P>Mn>Ba>B>Fe>Na>Zn>Sr>Pb>Al>Cu>Br>>Ti>Se>Sn>Cr>Ni>As>I=Cd>V>Co>Nd>Pb>Cs>Ga=Ce>Li>Zr>Mo>La>W>Hf>Eu>Y>Nb=Sb>Bi>Ag>Pr>Ta=Th>Ge>Sm>Gd>U>Dy>Au=Tl>Yb=Be=Pt>Hg>Er>Tb>Ho=Tm>Lu.

В настоящее время все большее значение приобретает в развитии научного познания биосферы содружество смежных дисциплин. В.И. Вернадский в своей речи на одном из совещаний, рассматривая этот вопрос, сказал, что истинная наука рождается там, где специалист выходит за грани своей специальности [2, 7, 8].

Такая комплексность исследований расширяют возможности экологического познания биосферы. Они позволяют экологии выйти на новые пути и охватить живую природу, её связь со средой, как целое [2]. Необходимость содружества смежных дисциплин в развитии научного познания биосферы стала очевидной. Для получения соответствующих научных и практических выводов, для обработки полученных данных мы использовали математическую статистику. Определение химических элементов в одном образце сырья проводили в 5 повторностях и находили основные статистические характеристики количественной изменчивости. Относительная ошибка количественного определения с 95 % вероятностью не превышала ±8,83 %. Достоверность данных оценивали с помощью критерия Стьюдента *t* на 5 % уровне значимости, обеспечивающую 95 % доверительную вероятность и свидетельствующую о том, что химические элементы конкретных образцов листьев голубики соответствуют статистическому стандарту [5–15].

Используя математическую статистику, которая позволяет на основании анализа предсказывать вероятное развитие изучаемого объекта в будущем, мы можем представить поведение недоступных пока для нас химических элементов с последующим обсуждением [2, 8].

Для того чтобы выявить геохимическую особенность каждого элемента как в фитосфере, так и фармакофитосфере (его генезис и основные геохимические свойства), необходимо выйти за рамки сложившихся стереотипов и занять новые позиции в отношении растения как объекта исследования [2, 7, 8].

Рассматривая растение как сложную динамическую систему, которая наиболее полно и ясно раскрывает свою природу, как и в случае других составляющих биосферы, через процессы взаимного обмена с

окружающей средой уместно использовать научные подходы, рекомендованные В.Д. Корж, при изучении общих закономерностей формирования элементного состава гидросферы и литосферы [7, 8, 15]. Различие элементного состава метеоритного вещества и литосферы является одним из основных ориентиров в исследовании многообразных процессов формирования нашей планеты. Использование позаимствованных методы исследования химических элементов, методологии геохимических исследований, возможностей построения моделей трансформаций веществ с использованием законов химической кинетики, основных закономерностей формирования элементного состава гидро-, литосферы и других систем, обладающих большими прогностическими свойствами, а также применение постулатов в исследованиях природных систем и выявление функциональной роли каждого элемента, позволяет прогнозировать их развитие и в конечном счете дает ключ к решению многих теоретических и практических задач, в том числе и протопланетного плана [2, 7, 8, 15].

Нами критически рассмотрены четность группы элемента и четность его порядкового номера в таблице Д.И. Менделеева по сравнению с соседними нечетными. Установлено, что содержание большинства химических элементов в листьях голубики подчиняется вытекающему из данных частному правилу. Это подтверждается данными А.П. Виноградова и результатами других исследователей, а также собственными ранее полученными данными о содержании этих элементов в других представителях флоры [2, 5–15]. Изучение близости размеров радиусов ионов, определенных химических элементов, как известно из геохимии, показало и обусловило в известной мере их совместное нахождение, совместную историю и миграцию в биосфере. Это относится и к растениям. Используя ионный потенциал определенных элементов, мы определились с геохимическим поведением их и доступностью для голубики. Построенные нами графики зависимости средних концентраций элементов в листьях голубики атомного номера элемента, как и в других наших исследованиях, показывают, что эта зависимость не линейна, а геохимическая классификация элементов как фитосферы, так гидросферы, не может строиться только на основе их химической классификации. По этому поводу В.И. Вернадский писал: «Геохимические факты не были приняты во внимание при построении периодической системы элементов. Поэтому геохимическая классификация не может быть заменена их химической классификацией» [2].

Геохимическая система элементов обладает прогностическими свойствами, позволяющими по некоторым известным геохимическим параметрам гидросферы или литосферы предсказать параметры, неизученные для фитосферы [2, 7, 15].

Элементный состав современного живого вещества, в том числе растительного, это результат действия многих факторов и экологических условий. Формирование элементного состава растений зависит от возрастных и генетических факторов, а также от факторов воздействия, участвующих в преобразовании протопланетного вещества на фоне постоянного метеоритного потока [2, 8, 15].

Следовательно, применение геохимии к изучению фитосферы с ее многочисленными сложными процессами и выяснение функциональной роли каждого элемента, в том числе и в экологически неблагоприятных ситуациях, позволяет прогнозировать их развитие, провести паспортизацию мест заготовки сырья, оценить степень риска развития экологических катастроф и совершенствовать фитоэкологическую классификацию [2, 8].

В дальнейшем будет возрастать роль геохимической системы, созданной в рамках современных знаний о содержании элементов в фитосфере. Накопление и уточнение этих представлений и знаний, а также знаний о процессах формирования элементного состава и обмена элементов на всех составляющих геохимических барьерах фитосферы, приведет к ее развитию и совершенствованию. Значение геохимической системы важно как экологический эталон естественного геохимического состояния биосферы и одной из ее составляющих – фитосферы [2, 7, 8, 15].

Используя для анализа полученных результатов фундаментальный закон Д.И. Менделеева с длинно-периодным вариантом химических элементов, мы определили, что листья голубики, собранные во все периоды, обогащены элементами биофильного характера в значительной мере за счет их способности образовывать прочные элементоорганические соединения с веществами кислого характера, которые постоянно присутствуют в растении и активны в биосинтезе практически всех органических веществ. Голубика, как и все растительные организмы, имеет условия для образования молекулярно-растворимых внутрикомплексных соединений с органическим веществом и их перемещения по частям, органам и тканям.

Полученные данные показывают, что в изученных частях голубики, собранных в любой временной период, содержатся в больших количествах K, Ca, P, Si, Mg, которые накапливают практически все растения, а также концентрируются Mn, Cu, Sr, Cr, Ni, V, Co, Mo, продуцирующие стероиды и тритерпеноиды, дубильные вещества и флавоноиды, антоцианы и полифенольные соединения, аскорбиновую кислоту и углеводы, которые характерны для листьев. Как показали исследования, для изученного вида сырья характерно низкое

содержание Er, Tb, Tm, Mo, Lu. Это определяется, прежде всего, общими законами поглощения элементов, а также взаимосвязью с органическими биологически активными веществами и другими элементами, содержащимися в растении, и возможно экологическими условиями произрастания растений. По содержанию отдельных микроэлементов в листьях голубики полученные нами данные хорошо согласуются с литературными сведениями, а также данными собственных исследований, проведенных ранее для аналогичных видов растений [5–15]. Поскольку исторически сложилось так, что в качестве мер близости в биологии чаще используются меры сходства, а не меры различия.

Динамика накопления микроэлементов в процессе образования листьев согласуется с физиологическими процессами, протекающими в растении. Максимальное содержание суммы микроэлементов установлено для листьев в сравнении с цветами и плодами [8].

Как следует из представленных в таблице данных, в процессе онтогенеза увеличивается содержание B, Mg, Si, Fe, Co, Sr и снижается K, P, Cu, Zn. Особый интерес представляют микроэлементы, которые в больших количествах накапливаются в период полуформирования листьев (июль), что, вероятнее всего, объясняется наиболее активным протеканием ферментативных процессов и накоплением необходимого количества ферментов, которые связаны с микроэлементами. На следующих стадиях формирования листьев преобладают процессы синтеза флавоноидов, дубильных веществ и тритерпеноидов, стероидов и подобных органических соединений с соответствующим увеличением общей массы листа. При этом естественно, что концентрация отдельных микроэлементов будет снижаться на последней стадии листообразования [2, 3].

Калий и фосфор активируют многие ферменты, чем моложе растение, тем больше в нем калия, поэтому вполне закономерно снижение его содержания по мере формирования листьев, так как калий наряду с фосфором способен мигрировать из старых органов по мере снижения их физиологической активности в более молодые. В то же время калий, кальций и фосфор играют важную роль в синтезе белков и, следовательно, при недостатке указанных элементов нарушается рост и формирование листьев. Кальций рассматривается как стабилизатор мембран в растительных клетках и при его недостатке наблюдаются ультраструктурные нарушения. Ионы цинка наряду с ионами кальция участвуют в транспорте ионов через мембрану. Магний действует как активатор метаболизма и как составная часть прочного комплексного соединения – хлорофилла, одного из самых важных соединений, созданных природой. Бор, цинк, марганец, медь влияют на размножение растений [2, 3, 8].

Сбалансированность химического состава живых организмов – основное условие их нормального роста и развития. Взаимодействие между химическими элементами может быть антагонистическим или синергическим и его несбалансированные реакции могут служить причиной химических стрессов у растений [2, 3, 8].

Избыток химических элементов имеет свои закономерности: по мере возрастания концентрации металлов в среде вначале задерживается рост растений, затем наступает хлороз листьев, который сменяется некрозами и, наконец, повреждается корневая система. Токсическое действие высоких концентраций прямое и косвенное. Прямое воздействие избытка тяжелых металлов в растительных клетках обусловлено или блокировкой реакцией с участием ферментов, или коагуляцией белков. Блокировка ферментов происходит потому, что присутствующие в обилии в клетке тяжелые металлы замещают исходный металл фермента, уменьшая тем самым его каталитические способности или уничтожая их совсем. Прямое влияние высокой концентрации токсикантов может сопровождаться ее косвенным воздействием – переходом питательных веществ в недоступное состояние и созданием голодной сферы. У ослабленных растений эффект прямого токсикоза значительно увеличивается [2, 8].

Несмотря на расхождения опубликованных данных в отношении уровней токсичности, можно констатировать, что наиболее токсичны для высших растений Hg, Cu, Ni, Pb, Co, Cd. Доказано, что Ca, Mg и P – главные антагонистические элементы в отношении поглощения и метаболизма многих микроэлементов. Однако и для антагонистических пар элементов наблюдались иногда синергические эффекты, что связано, вероятно, со специфическими реакциями у отдельных генотипов или видов растений. Наибольшее число антагонистических реакций в метаболизме наблюдается для Fe, Cu, Zn, которые являются ключевыми элементами в физиологии растений, а также для Cr, Mo, Se. Эти процессы контролируются многими факторами и происходят как внутри клеток, так и на поверхности мембран, а также в среде, окружающей растения [2, 8]. Наиболее важно антагонистическое действие Ca и P на такие опасные для всего живого химические элементы, как Be, Cd, Pb, Ni.

Перед селекционерами стоит также задача по выведению сортов сельскохозяйственных растений, устойчивых к загрязнению почв тяжелыми металлами и не аккумулирующих их в своем составе. При этом особое внимание следует обращать на способность микроорганизмов концентрировать металлы [2].

**Заключення.** Придавая изучению региональных особенностей микроэлементного режима первостепенное значение, а также используя при этом современную доказательную базу в подтверждении большой роли природных условий в биогеохимическом районировании Западной Сибири и паспортизации пищевых и лекарственных местных растений с учетом элементного состава культивируемых и дикорастущих видов, установления доброкачественности сырья, мы тем самым обеспечиваем возможность практического использования полученных сведений для местных заготовительных организаций.

Учитывая своеобразие условий рассматриваемой территории и большую роль природных условий в формировании здесь микроэлементного состава, полагаем, что их изучение имеет определенное научное значение и практическую роль при использовании природных богатств данного региона.

### Литература

1. *Кобзарь А.Я.* Фармакогнозія в медицині: навч. посібник. – Киев: Медицина, 2007. – 544 с.
2. *Ковальский В.В.* Геохимическая экология. – М.: Наука, 1974. – 300 с.
3. *Башкірова Л., Руденко А.* Біологічна роль деяких есенційних макро- та мікроелементів (огляд) // Ліки України. – 2004. – № 10. – С. 59–65.
4. *Wichtl M.* Teedrogen und Phytopharmaka. Ein Handbuch für die Praxis auf wissenschaftlicher Grundlage (Gebundene Ausgabe). – Stuttgart: Wissenschaftliche Verlag, 2002. – 706 p.
5. *Попов А.И.* Элементный состав травы звіробію // Фармац. журн. – Киев, 1992. – № 5. – С. 56–59.
6. *Попов А.И.* Вміст елементів у корневищах зміїновика // Фармац. журн. – Киев, 1993. – № 2. – С. 59–63.
7. *Попов А.И., Попков В.А., Гриценко О.М.* Элементный состав лікарської рослинної сировини як показник геохімічної екології рослинних організмів // Фармац. журн. – Киев, 1994. – № 4. – С. 91–97.
8. *Попов А.И.* Изучение влияния антропогенных факторов на элементный состав и ресурсы лекарственных растений Кемеровской области и Республики Тыва: автореф. дис. ... д-ра фарм. наук. – М., 1995. – 45 с.
9. *Попов А.И.* Минеральные вещества травы горца птичьего // Вопросы питания. – 1994. – № 1/2. – С. 38–39.
10. *Попов А.И.* Элементный состав надземной части *Achillea millefolium* L. // Раст. ресурсы. – 1993. – Т. 29. – № 3. – С. 100–105.
11. *Попов А.И.* Элементный анализ листьев *Polemonium caeruleum* L. // Раст. ресурсы. – 1993. – Т. 29. – № 4. – С. 87–91.
12. *Попов А.И.* Фронтальный элементный состав кровохлебки лекарственной, произрастающей в Кемеровской области // Фитотерапия. – 1993. – № 1. – С. 20–24.
13. *Попов А.И.* Элементный состав *Tanacetum vulgare* L. // Раст. ресурсы. – 1994. – Т. 30. – № 3. – С. 85–92.
14. *Попов А.И., Попков В.А.* Элементный анализ травы кровохлебки аптечной // Химия и фармация. – Ташкент, 1993. – № 2. – С. 16–21.
15. *Попов А.И.* Влияние педосферы на формирование элементного состава душицы обыкновенной // Химия и фармация. – Ташкент, 1993. – № 4. – С. 15–25.
16. *Kabelitz Lothar.* Zur Schwermetallbelastung von Arznei und Krauterdrogen // Pharm. Jnd. – 1998. – Bd. 60. – № 5. – P. 444–451.
17. *Schilcher H.* Pestizide und Schwermetalle in Drogen und Drogenzubereitungen // Pharm. Ztg. 1984. – Bd. 129. – № 40. – P. 2329–2330.

