

М.Г. Лежнина<sup>1</sup>, М.В. Белоусов<sup>2</sup>, М.А. Ханина<sup>1\*</sup>, Е.А. Подолина<sup>3</sup>,  
Н.М. Потемкина<sup>1</sup>, А.П. Родин<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Государственный гуманитарно-технологический университет, Орехово-Зуево, Россия;

<sup>2</sup> Сибирский государственный медицинский университет, Томск, Россия;

<sup>3</sup> Филиал Московского политехнического университета, Электросталь, Россия

\*Автор для корреспонденции: khanina06@mail.ru

## Закономерности в распределении химических элементов в листьях березы

Биологическая активность лекарственного растительного сырья и фитопрепаратов обусловлена комплексом биологически активных веществ и химических элементов. Исследование влияния условий прирастания на состав, содержание химических элементов в лекарственных растениях, лекарственном растительном сырье является актуальным. Особый интерес вызывает исследование закономерностей в распределении химических элементов в лекарственных растениях, лекарственном растительном сырье и возможность использования выявленных закономерностей для установления подлинности и чистоты сырья. Объект нашего исследования — листья березы, собранные в экологически чистой зоне и в зонах с различной степенью антропогенной нагрузки. Состав и содержание элементов анализировали методом ИСП–МС (масс-спектрометр ELAN DRC-e ICP-MS, оптико-эмиссионный спектрометр Agilent 715 ICP–OES). Статистическая обработка результатов химического анализа проведена в программе Microsoft® Excel 2010. Сопоставление концентраций 60 элементов проводили с применением метода наименьших квадратов. Сравнительный анализ логарифмов концентраций в листьях березы, собранных из мест произрастания, различающихся по степени антропогенной нагрузки, показал сильную корреляционную связь между ними ( $r=0,99$ ;  $R^2=0,9$ ). Диаграмма, отражающая периодическую зависимость логарифма концентраций химических элементов, представляет собой элементный профиль листьев березы и может быть использована для установления их подлинности и чистоты.

*Ключевые слова:* химические элементы, листья березы, ИСП–МС, элементный профиль, подлинность, чистота.

### Введение

Листья березы (*Betulae folia*) — официальное сырье, является фармакопейным [1]; применяется самостоятельно или в составе сборов, как мочегонное и противовоспалительное средство [2].

Биологическая активность лекарственных форм, получаемых из лекарственного растительного сырья, обусловлена наличием биологически активных веществ и химических элементов [3, 4]. Ранее проведенные исследования состава и содержания элементов в листьях березы, собранных в экологически чистой зоне и в зонах с различной степенью антропогенной нагрузки, показали, что в образцах листьев, подвергнутых сочетанному воздействию загрязняющих факторов в течение продолжительного времени, наблюдаются наибольшие отклонения от нормы (если за норму принять состав и содержание элементов в листьях, собранных в экологически чистой зоне) [5].

В последнее время уделяется большое внимание выявлению закономерностей в распространении химических элементов в лекарственных растениях [6, 7].

При сравнительном исследовании распределения элементов в морфологических частях растений, их сырья и экстракционных фитопрепаратов, получаемых из них, выявлено, что диаграммы, от-

ражающие периодические зависимости концентраций химических элементов (выраженные в логарифмической шкале) в них могут использоваться в качестве элементных профилей («отпечатков пальцев»). Элементные профили лекарственных растений, сырья и фитопрепаратов можно использовать для определения их подлинности [8, 9]. Возникает вопрос: «Возможно ли использовать элементные профили сырья для определения его чистоты?». В связи с изложенным выше целью настоящей работы было выявление закономерностей распределения химических элементов в листьях березы в зависимости от условий произрастания, а также определение возможности их использования для установления их подлинности и чистоты.

#### Материалы и методы

Объекты исследования — листья березы, собранные с деревьев, произрастающих в окрестностях крупного города (г. Новосибирск), из разных мест произрастания: экологически чистой зоны и зон, различающихся по степени антропогенной нагрузки (выхлопные газы автотранспорта, световое загрязнение, совмещение указанных факторов, выбросы промышленного предприятия) (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

#### Характеристика образцов листьев березы, взятых для исследования

№ п/п	Место сбора, дата заготовки
1	Новосибирская область, окрестности п. Пашино (экологически чистая зона); 22.06.12 г.
2	Новосибирская область, п. Гвардейский, жилая зона поселка, деревья возле проезжей части и фонарей уличного освещения, образцы листьев собраны возле фонарей освещения (выхлопные газы автотранспорта+световое загрязнение); 29.11.12 г.
3	Новосибирская область, п. Гвардейский, жилая зона поселка, деревья возле проезжей части и фонарей уличного освещения, образцы собраны возле фонарей уличного освещения (выхлопные газы автотранспорта+световое загрязнение); 31.05.12 г.
4	Новосибирская область, п. Гвардейский, жилая зона поселка, деревья возле проезжей части и фонарей уличного освещения, образцы собраны с противоположной стороны от фонарей уличного освещения (выхлопные газы автотранспорта); 31.05.12 г.
5	Окрестности г. Новосибирска, промышленная площадка предприятия (загрязнение промышленными выбросами); 03.06.12 г.

Листья на момент сбора образцов для исследований (в конце мая и начале июня) вполне сформировавшиеся, без дефектов. Листья, собранные с деревьев, произрастающих вблизи фонарей уличного освещения, поздней осенью — 29 ноября, также были без дефектов и не потеряли своей зеленой окраски. Свежесобранные образцы листьев сушили естественной сушкой до воздушно сухого состояния. Сырье заложено на хранение в бумажные мешки.

Состав и содержание элементов в исследуемых образцах анализировали методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП–МС) на масс-спектрометре ELAN DRC-e ICP-MS и оптико-эмиссионном спектрометре Agilent 715 ICP-OES. Анализ проводили в ООО «ХАЦ "Плазма"» (г. Томск). Метод ИСП–МС для количественного анализа химических элементов в растительных объектах характеризуется высокой чувствительностью и возможностью определения одновременно более 60 элементов (с низкими пределами обнаружения и широким диапазоном концентраций до 8–9 порядков) при анализе одной пробы.

Градуировочные графики построены по государственным стандартным образцам, что обеспечивает точность и правильность данного анализа. Используемые аналитические методики разработаны в ООО «ХАЦ "Плазма"» и аттестованы согласно ГОСТ Р 8.563–96 «ГСИ. Методики выполнения измерений» и аккредитованы метрологической службой ФГУП «УНИИМ». Погрешности установленных концентраций элементов соответствуют методике НСАМ № 512–МС (ред. 2017 г.) «Определение элементного состава образцов растительного происхождения (травы, листья) атомно-эмиссионным и масс-спектральными методами анализа», аттестованной метрологической службой ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского» в соответствии с ГОСТ Р 8.563–2009 г. Пробоподготовка образцов для анализа включала обработку навески измельченного растительного образца азотной кислотой с дальнейшим разложением в микроволновых системах Speedwave TM MWS-3+ и BERGHOF.

Статистическую обработку полученных результатов химического анализа осуществляли в программе Microsoft® Excel 2010 с вычислением погрешностей косвенных измерений на основе опорных значений концентраций элементов и их погрешностей. Сопоставление концентраций 60 элементов проводили с использованием метода наименьших квадратов.

### Результаты и их обсуждение

Результаты анализа показали наличие 60 химических элементов во всех объектах исследования. Элементы H, He, C, N, O, F, Cl, Ne, Ar, Kr, Xe методом МС–ИСП не определяются. По составу элементов объекты различий не имеют, различие наблюдается в их содержании. Во всех объектах обнаружены жизненно важные элементы (табл. 2).

Таблица 2

Содержание элементов в листьях березы в зависимости от места произрастания (в мкг/г) ( $P \geq 0,95$ ,  $n=5$ )

Элемент	Объекты исследования					Элемент	Объекты исследования				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
Li*	0,09	0,3452	0,1093	0,096	0,1089	Cd**	0,468	0,0675	0,0625	0,0668	0,071
Be	0,0036	0,0069	0,0218	0,00718	0,0109	Sn	0,43	0,11	0,87	1,07	0,64
B	18,59	54,85	30,89	25,97	23,87	Sb	0,058	0,18	0,082	0,065	0,37
Na*	50,95	74,89	61,05	65,79	57,02	I*	0,0669	0,21	0,0545	0,040	0,0401
Mg*	3740,9	4102,8	3162,3	3387,9	2747,7	Cs	0,022	0,023	0,038	0,038	0,032
Al*	171,03	197,97	215,97	239,79	218,04	Ba	128,79	37,09	23,59	19,391	48,369
P*	2915,1	2071,9	2536,8	2706,8	2389,9	La	0,066	0,12	0,096	0,13	0,11
K*	14612,7	6621,94	14281,8	14132,7	15231,8	Ce	0,12	0,23	0,18	0,21	0,19
Ca*	7520,79	24896,8	17519,8	16136,6	11086,8	Pr	0,015	0,026	0,02	0,026	0,022
Ti	8,81	12,93	13,83	15,93	14,98	Nd	0,058	0,102	0,082	0,094	0,087
V*	0,36	0,68	0,47	0,49	0,49	Sm	0,014	0,023	0,015	0,023	0,019
Cr*	3,81	3,639	3,76	3,9	3,98	Eu	0,0038	0,0034	0,0029	0,0039	0,0036
Mn*	1323	294	159	234	260	Gd	0,016	0,022	0,019	0,022	0,019
Fe*	171,87	223,9	229,9	242,89	240,65	Tb	0,0023	0,0032	0,00304	0,0032	0,0028
Co*	0,32	0,62	0,36	0,38	0,41	Dy	0,0094	0,016	0,013	0,017	0,013
Ni	3,97	1,86	3,96	5,59	3,84	Ho	0,0019	0,0042	0,0034	0,0037	0,0026
Cu*	7,21	4,05	9,37	9,77	9,2	Er	0,0046	0,0078	0,0091	0,0064	0,0078
Zn*	185	124	154	122	135	Tm	0,00079	0,0015	0,0018	0,0013	0,0014
Ga	0,091	0,065	0,06	0,077	0,068	Yb	0,0048	0,0072	0,0067	0,0068	0,0058
Ge	0,0066	0,005	0,006	0,009	0,0069	Lu	0,00098	0,0012	0,0014	0,0015	0,0013
As**	0,15	1,06	0,22	0,24	0,24	Hf	0,0051	0,0071	0,0078	0,0057	0,007
Se*	0,44	0,74	0,5	0,27	0,49	Ta	0,0028	0,0027	0,0023	0,0034	0,0025
Br*	2,17	6,42	1,83	2,08	2,04	W	0,0092	0,034	0,035	0,014	0,02
Rb	7,99	2,87	7,99	8,23	7,79	Au	0,059	0,07	0,049	0,042	0,067
Sr	25,6	52,2	40,4	38,3	39,2	Hg**	0,0033	0,0201	0,00701	0,00819	0,02589
Y	0,064	0,089	0,081	0,089	0,079	Tl	0,00298	0,0029	0,0017	0,0027	0,0026
Zr	0,27	0,42	0,48	0,53	0,47	Pb**	0,301	0,956	0,378	0,459	0,729
Nb	0,028	0,038	0,036	0,042	0,041	Bi	0,0052	0,0063	0,0032	0,0044	0,0058
Mo*	0,12	0,52	0,96	1,04	0,29	Th	0,02	0,029	0,029	0,026	0,027
Ag	0,012	0,01	0,0093	0,0082	0,0083	U	0,0083	0,024	0,015	0,017	0,019

Примечание. \* — жизненно-важные элементы; \*\* — токсичные элементы.

При сравнительном анализе объектов исследования было выявлено, что суммарное содержание обнаруженных химических элементов в объектах исследования увеличивается в ряду (в мкг/г): № 1 (30902,9) > № 5 (32527,38) > № 4 (37405,66) > № 3 (38462,73) > № 2 (38792,47). Наименьший показатель суммарного содержания элементов установлен для объекта № 1, собранного в экологически чистой зоне, наибольший — для объекта № 2, собранного в зоне, где наблюдается сочетанное воздействие антропогенных факторов (газы автотранспорта+световое загрязнение, поздний сбор образцов). Влияние промышленных выбросов на элементный состав объекта № 5 оказалось слабее, чем воздействие выхлопных газов автотранспорта (объект № 4) и сочетанное воздействие выхлопных газов автотранспорта и светового загрязнения (объект № 3).

Надо отметить, что во всех объектах исследования, независимо от отсутствия или наличия факторов антропогенной нагрузки в местах их сбора, содержание токсичных элементов (As, Cd, Pb, Hg) не превышает норм, установленных для чаев и биологически активных добавок на растительной основе [10].

Для выявления закономерностей в распределении элементов в исследуемых объектах были построены ряды по убыванию их концентраций (табл. 3). Сравнительный анализ полученных рядов элементов показал, что наибольшая схожесть в последовательности элементов отмечается между объектами № 3–№ 5. Для объектов № 1 и № 2 выявлена наименьшая схожесть в рядах элементов между собой и с другими исследуемыми объектами.

Таблица 3

Последовательность элементов в рядах, построенных по убыванию их концентраций в листьях березы в зависимости от места произрастания

Объекты	Ряды элементов по убыванию концентраций
1	K>Ca>Mg>P>Mn>Zn>Fe>Al>Ba>Na>Sr>B>Ti>Rb>Cu>Ni>Cr>Br>Cd>Se>Sn>V>Co>Pb>Zr>As>Mo
2	Ca>K>Mg>P>Mn>Fe>Al>Zn>Na>B>Sr>Ba>Ti>Br>Cu>Cr>Rb>Ni>As>Pb>Se>V>Co>Mo>Zr>Li>Ce>I
3	Ca>K>Mg>P>Fe>Al>Mn>Zn>Na>Sr>B>Ba>Ti>Cu>Rb>Ni>Cr>Br>Mo>Sn>Se>Zr>V>Pb>As>Ce>Li
4	Ca>K>Mg>P>Fe>Al>Mn>Zn>Na>Sr>B>Ba>Ti>Cu>Rb>Ni>Cr>Sn>Mo>Zr>V>Pb>Co>Se>As>Ce>La
5	K>Ca>Mg>P>Mn>Fe>Al>Zn>Na>Ba>Sr>B>Ti>Cu>Rb>Cr>Ni>Br>Pb>Sn>Se>Zr>V>Co>Sb>Mo>As

Поскольку содержание элементов в объектах исследования варьирует в значительных пределах (например, Ca — 24896,8 мкг/г; Lu — 0,00098 мкг/г), то для возможности дальнейшего сравнительного статистического анализа использовали десятичную логарифмическую шкалу для выражения их концентраций.

Для корреляционного анализа мы сопоставляли логарифмы (*lg*) концентраций элементов в исследуемых объектах попарно. При сопоставлении *lg* концентраций элементов в сравниваемых парах объектов наблюдается высокий коэффициент корреляции ( $r=0,99$ ), что свидетельствует о положительной корреляции сравниваемых величин во всех парах (табл. 4).

Таблица 4

Сопоставление концентраций элементов в парах исследуемых объектов

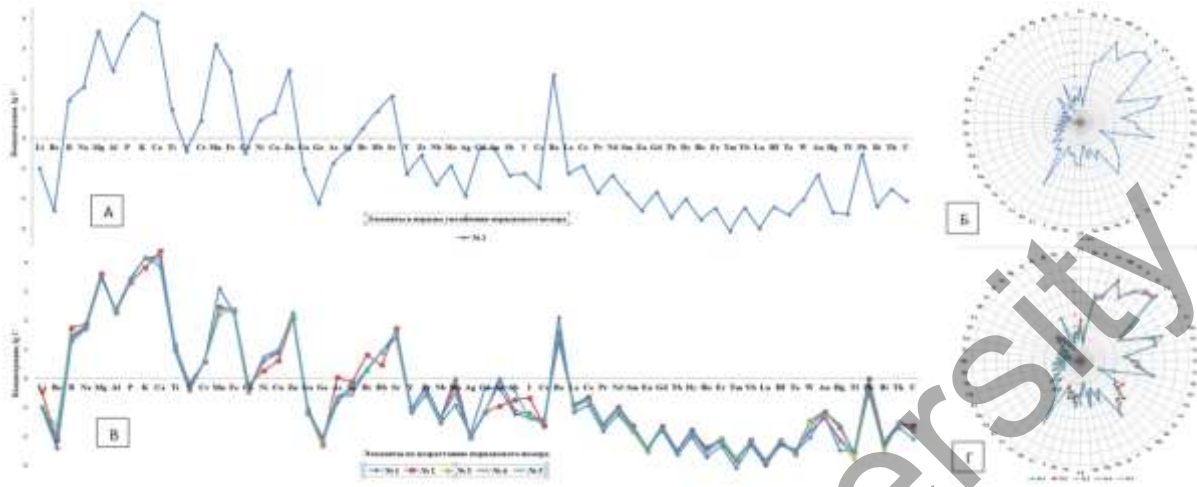
Сравниваемые образцы	$r^*$	$R^{2**}$
№ 1 - № 2	0,99	0,97
№ 1 - № 3	0,99	0,98
№ 1 - № 4	0,99	0,98
№ 1 - № 5	0,99	0,98
№ 2 - № 3	0,99	0,98
№ 2 - № 4	0,99	0,98
№ 2 - № 5	0,99	0,98
№ 3 - № 4	0,99	0,99
№ 3 - № 5	0,99	0,99
№ 4 - № 5	0,99	0,99

Примечание. \* — в соответствии с логарифмической шкалой ( $\log 10$ ); \*\* — рассчитано методом наименьших квадратов.

В дальнейшем, при сопоставлении концентраций элементов в сравниваемых парах исследуемых объектов методом наименьших квадратов ( $R^2$ ) были подтверждены те закономерности, которые наблюдались ранее при сравнительном анализе рядов элементов, построенных по убыванию их концентраций. Наименьший коэффициент корреляции наблюдается при сопоставлении *lg* концентраций в паре объектов № 1 и № 2 ( $R^2=0,97$ ), наибольший ( $R^2=0,99$ ) — наблюдается в сравниваемых парах объектов — №3–№4, №3–№5 и №4–№5. Объекты № 1 (экологически чистая зона) и № 2 (сочетанное воздействие выхлопных газов автотранспорта, световое загрязнение, поздний сбор) имеют со всеми остальными объектами коэффициент корреляции  $R^2=0,98$  (табл. 3).

Надо отметить, что между всеми парами исследуемых объектов наблюдается сильная корреляционная связь ( $R^2 \geq 0,9$ ).

Для выявления закономерностей при анализе большого объема данных не последнюю роль выполняет их визуализация. При визуализации зависимости  $lg$  концентраций химических элементов в исследуемых объектах от их порядкового номера получены диаграммы (линейные — А, В и круговые (лепестковые) — Б, Г), приведенные ниже на рисунке.



А, Б — образец № 1 (экологически чистая зона); В, Г — диаграммы всех исследуемых образцов

Рисунок. Периодическая зависимость логарифма концентраций химических элементов в листьях березы в зависимости от места сбора

Диаграмму, отражающую зависимость  $lg$  концентраций элементов от порядкового их номера для объекта № 1, условно можно принять за эталон, поскольку данный объект собран в экологически чистой зоне (см. рис., А, Б). При построении диаграмм, отражающих периодическую зависимость в распределении элементов в них, для всех объектов исследования и последующем графическом и визуальном сравнительном анализе можно констатировать, что они практически совпадают (см. рис., В, Г). Данный факт подтверждают коэффициенты корреляции, полученные при сравнительном анализе  $lg$  концентраций химических элементов попарно в объектах исследования ( $r=0,99$ ;  $R^2=0,9$ ).

Диаграмма, отражающая периодическую зависимость логарифма концентраций химических элементов, представляет собой элементный профиль листьев березы и может быть использована для установления их подлинности.

Однако надо отметить, что диаграмма объекта № 2 при общей схожести и совпадению по большинству элементов с диаграммами других объектов имеет ряд флуктуаций по отдельным элементам (As, Se, Br, Rb, Sn, Sb, I). Данный факт говорит о возможности использования диаграмм, отражающих зависимость логарифма концентраций химических элементов в исследуемых объектах от их порядкового номера для определения чистоты сырья.

#### Заключение

При сравнительном исследовании образцов листьев березы, собранных из мест произрастания, различающихся по степени антропогенной нагрузки (экологически чистая зона; выхлопные газы автотранспорта; выхлопные газы автотранспорта+световое загрязнение; выхлопные газы автотранспорта+световое загрязнение+поздний сбор; промышленные выбросы) обнаружено 60 химических элементов. По составу элементов объекты исследования не различаются, различие наблюдается в их содержании. Наименьший показатель суммарного содержания элементов установлен для образца листьев, собранных в экологически чистой зоне, наибольший — для образцов, собранных в зоне, где наблюдается сочетанное воздействие антропогенных факторов (газы автотранспорта+световое загрязнение, поздний сбор).

Сравнительный анализ логарифмов концентраций в листьях березы, собранных из мест произрастания, различающихся по степени антропогенной нагрузки, показал сильную корреляционную связь между ними ( $r=0,99$ ;  $R^2=0,9$ ).

Диаграмма, отражающая периодическую зависимость логарифма концентраций химических элементов, представляет собой элементный профиль листьев березы и может быть использована для установления их подлинности и чистоты.

### Список литературы

- 1 Государственная фармакопея Российской Федерации. — XIV изд. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://docs.ruscml.ru/feml/pharma/v14/vol4/>
- 2 Государственный реестр лекарственных средств. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://grls.minzdrav.gov.ru/Default.aspx>
- 3 Елизарьева Е.Н. Оценка загрязнения почв в зоне влияния предприятий металлургической отрасли / Е.Н. Елизарьева, Ю.А. Янбаев, Н.Н. Редькина, Н.В. Кудашкина, А.Г. Байков // Вестн. Оренбург. гос. ун-та. — 2017. — № 9 (209). — С. 8–13.
- 4 Фархутдинов Р.Г. Определение содержания йода в растениях Республики Башкортостан / Р.Г. Фархутдинов, Н.В. Кудашкина, С.Р. Хасанова, С.В. Трофимова // Растительные ресурсы. — 2013. — Т. 49. №1. — С. 139–146.
- 5 Ханина М.А. Элементный состав листьев березы в условиях антропогенной нагрузки / М.А. Ханина, Е.Н. Гусельникова, А.П. Родин, М.Г. Ханина // Перспективы внедрения инновационных технологий в медицине и фармации: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. — Орехово-Зуево: ГГТУ, 2017. — С. 250–258.
- 6 Павлов В.Е. Обобщенная модель распространенности ряда химических элементов в *Pentaphylloides fruticosus* / В.Е. Павлов, Е.П. Храмова, И.В. Хвостов, Г.А. Ковальская, К.П. Куценогий, О.В. Чанкина, Н.М. Ковалевская // Химия растительного сырья. — 2008. — № 3. — С. 163–168.
- 7 Ханина М.А. Элементы листьев и полисахаридов *Tilia cordata* Will / М.А. Ханина, М.Г. Лежнина, А.П. Родин, Н.М. Потемкина, Л.В. Смирнова // Actual problems of ecology: Materials of the XV International Scientific Practical Conference Орехово-Зуево: ГГТУ, 2023. — С. 120–124.
- 8 Ханина М.А. Закономерности в распределении элементов в наземной части *Centaurea cyanus* L. / М.А. Ханина, М.Г. Лежнина, Е.А. Подолина, Д.С. Зинин, Ю.А. Кузнецова, А.П. Родин // Вестн. Смолен. гос. мед. акад. — 2023. — Т. 22. №1. — С. 183–190.
- 9 Лежнина М.Г. Элементы плодов рябины обыкновенной / М.Г. Лежнина, М.А. Ханина, Н.М. Потемкина, А.П. Родин, Л.В. Смирнова // Вестн. Южно-Казахстан. мед. акад. — 2022 — Т. II. № 4 (98). — С. 56–61.
- 10 СанПиН–2.3.2.1078–01. Продовольственное сырье и пищевые продукты. Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ № 36 от 14.11.2001 г. Зарегистрировано в Минюсте РФ 22 марта 2002 г. № 3326 (в ред. Дополнения и изменения № 18, утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.06.2010 г., № 71).

М.Г. Лежнина, М.В. Белоусов, М.А. Ханина, Е.А. Подолина, Н.М. Потемкина, А.П. Родин

### Қайың жапырақтарындағы химиялық элементтердің таралу заңдылықтары

Дәрілік өсімдік шикізаты мен фитопрепараттардың биологиялық белсенділігі биологиялық белсенді заттар мен химиялық элементтер кешеніне байланысты. Дәрілік өсімдіктердегі, дәрілік өсімдік шикізатындағы химиялық элементтердің құрамының өсу жағдайларына әсерін зерттеу өзекті болып табылады. Дәрілік өсімдіктерде, дәрілік өсімдік шикізатында химиялық элементтердің таралуындағы заңдылықтарды зерттеу және шикізаттың түпнұсқалығы мен тазалығын анықтау үшін анықталған заңдылықтарды қолдану мүмкіндігі ерекше қызығушылық тудырады. Экологиялық таза аумақта және антропогендік жүктемесі әртүрлі аймақтардан жиналған қайың жапырақтары зерттелді. Элементтердің құрамы мен мөлшері ИСП-МС әдісімен талданды (ELAN DRC-е ICP-MS масс-спектрометрі, Agilent 715 ICP-OES оптикалық-эмиссиялық спектрометрі). Химиялық талдау нәтижелерін статистикалық өңдеу Microsoft® Excel 2010 бағдарламасында орындалды. 60 элементтің концентрациясын салыстыру ең кіші квадраттар әдісін қолдана отырып жүргізілді. Антропогендік жүктеме дәрежесі бойынша ерекшеленетін өсу орындарынан жиналған қайың жапырақтарындағы концентрациялардың логарифмдерін салыстырмалы талдау олардың арасындағы күшті корреляциялық байланысты көрсетті ( $r = 0,99$ ;  $R^2 = 0,9$ ). Химиялық элементтер концентрациясының логарифмінің мерзімді тәуелділігін көрсететін диаграмма қайың жапырақтарының элемент профилі болып табылады және олардың түпнұсқалығы мен тазалығын анықтау үшін пайдаланылуы мүмкін.

*Кілт сөздер:* химиялық элементтер, қайың жапырақтары, ИСП-МС, элементтік профиль, түпнұсқа, тазалық.

M.G. Lezhnina, M.V. Belousov, M.A. Khanina, E.A. Podolina, N.M. Potemkina, A.P. Rodin

**Patterns in the distribution of chemical elements in birch leaves**

The biological activity of medicinal plant raw materials and herbal remedies is due to a complex of biologically active substances and chemical elements. The study of the influence of growth conditions on the composition and content of chemical elements in medicinal plants and medicinal plant raw materials is relevant. Of particular interest is the study of patterns in the distribution of chemical elements in medicinal plants, medicinal plant raw materials and the possibility of using the identified patterns to establish the authenticity and purity of raw materials. Birch leaves collected in an ecologically clean area and in areas with varying degrees of anthropogenic load were studied. The composition and content of elements were analyzed by ICP-MS (ELAN DRC-e ICP-MS mass spectrometer, Agilent 715 ICP-OES optical emission spectrometer). Statistical processing of the results of chemical analysis was carried out in Microsoft® Excel 2010. The concentrations of 60 elements were compared using the least squares method. A comparative analysis of the logarithms of concentrations in birch leaves collected from growing areas that differ in the degree of anthropogenic load showed a strong correlation between them ( $r = 0.99$ ;  $R^2 = 0.9$ ).

A diagram showing the periodic dependence of the logarithm of the concentrations of chemical elements represents the elemental profile of birch leaves and can be used to determine their authenticity and purity.

**Keywords:** chemical elements, birch leaves, ICP-MS, elemental profile, authenticity, purity.

**References**

- 1 *Gosudarstvennaia farmakopeia Rossiiskoi Federatsii. XIV izdaniie [State Pharmacopoeia of the Russian Federation. XIV edition]*. Retrieved from <https://docs.rucml.ru/feml/pharma/v14/vol4/> [in Russian].
- 2 *Gosudarstvennyi reestr lekarstvennykh sredstv [State register of medicines]*. Retrieved from <https://grls.minzdrav.gov.ru/Default.aspx> [in Russian].
- 3 Elizaryeva, E.N., Yanbaev, Yu.A., Redkina, N.N., Kudashkina, N.V., & Baykov, A.G. (2017). Otsenka zagriazneniia pochv v zone vliianiia predpriatii metallurgicheskoi otrasli [Assessment of soil pollution in the zone of influence of metallurgical industry enterprises]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta — Bulletin of the Orenburg State University*, 9 (209), 8–13 [in Russian].
- 4 Farkhutdinov, R.G., Kudashkina, N.V., Khasanova, S.R., & Trofimova, S.V. (2013). Opredelenie sodержaniia ioda v rasteniiakh Respubliki Bashkortostan [Determination of iodine content in plants of the Republic of Bashkortostan]. *Rastitelnye resursy — Plant resources*, 49 (1), 139–146 [in Russian].
- 5 Khanina, M.A., Gusel'nikova, E.N., Rodin, A.P., & Khanina, M.G. (2017). Elementnyi sostav listev berezy v usloviakh antropogennoi nagruzki [Elemental composition of birch leaves under anthropogenic load]. *Perspektivy vnedreniia innovatsionnykh tekhnologii v meditsine i farmatsii: sbornik materialov Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem — Prospects for the implementation of innovative technologies in medicine and pharmacy: a collection of materials from the All-Russian scientific and practical conference with international participation*. Orehovo-Zuevo: Gosudarstvennyi gumanitarno-tekhnologicheskii universitet, 250–258 [in Russian].
- 6 Pavlov, V.E., Khramova, E.P., Khyostov, I.V., Kovalskaya, G.A., Kutsenog, K.P., Chankina, O.V., & Kovalevskaya, N.M. (2008). Obobshchennaia model rasprostranennosti riada khimicheskikh elementov v *Pentaphylloides fruticosa* [Generalized model of the prevalence of a number of chemical elements in *Pentaphylloides fruticosa*]. *Khimiia rastitel'nogo syria — Chemistry of plant raw materials*, 3, 163–168 [in Russian].
- 7 Khanina, M.A., Lezhnina, M.G., Rodin, A.P., Potemkina, N.M., & Smirnova, L.V. (2023). Elementy listev i polisakharidov *Tilia cordata* Will. [Elements of leaves and polysaccharides of *Tilia cordata* Will.]. *Actual problems of ecology: Materials of the XV International Scientific Practical Conference*. Orehovo-Zuevo: Gosudarstvennyi gumanitarno-tekhnologicheskii universitet, 120–124 [in Russian].
- 8 Khanina, M.A., Lezhnina, M.G., Podolina, E.A., Zinin, D.S., Kuznetsova, Yu.A., & Rodin, A.P. (2023). Zakonomernosti v raspredelenii elementov v nadzemnoi chasti *Centaurea cyanus* L. [Patterns in the distribution of elements in the aerial parts of *Centaurea cyanus* L.]. *Vestnik Smolenskoii gosudarstvennoi meditsinskoi akademii — Bulletin of the Smolensk State Medical Academy*, 22 (1), 183–190 [in Russian].
- 9 Lezhnina, M.G., Khanina, M.A., Potemkina, N.M., Rodin, A.P., & Smirnova, L.V. (2022). Elementy plodov riabiny obyknovЕННОi [Elements of rowan fruits]. *Vestnik Yuzhno-Kazakhstanskoi meditsinskoi akademii — Bulletin of the South Kazakhstan Medical Academy*, II, 4(98), 56–61 [in Russian].
- 10 (2022). *SanPiN-2.3.2.1078-01 Prodovol'stvennoe syre i pishchevye produkty. Gigienicheskie trebovaniia k bezopasnosti i pishchevoi tsennosti pishchevyykh produktov. Postanovlenie Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha RF № 36 ot 14.11.2001 goda. Zaregistrirvano v Miniuste RF 22 marta 2002 goda, № 3326 (v redaktsii: Dopolneniia i izmeneniia № 18, utvrzhdennykh Postanovleniem Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha RF ot 28.06.2010 goda, № 71) [SanPiN-2.3.2.1078-01 Food raw materials and food products. Hygienic requirements for the safety and nutritional value of food products. Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation No. 36 of November 14, 2001. Registered with the Ministry of Justice of the Russian Federation on March 22, 2002 No 3326 (as amended by Additions and Amendments N 18, approved by Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation dated 06.28.2010, No 71)]* [in Russian].

#### Information about authors

**Lezhnina, Marina Grigorjevna** — Candidate of pharmaceutical sciences, Docent of Chemistry Department, State Humanitarian Technical University, Orekhovo-Zuevo, Russia; xm\_86@mail.ru;

**Belousov, Mikhail Valerjevich** — Doctor of pharmaceutical sciences, Professor, Head of Department of Pharmaceutical Analysis, Siberian State Medical University, Tomsk, Russia; belousov.mv@ssmu.ru;

**Khanina, Minisa Abdullayevna** — Doctor of pharmaceutical sciences, Professor, Head of Chemistry Department, State Humanitarian Technical University, Orekhovo-Zuevo, Russia; khanina06@mail.ru;

**Podolina, Elena Alexeevna** — Doctor of chemical sciences, Professor of Moscow Polytechnic University (Electrostal Branch), Electrostal, Russia; podolina70@mail.ru;

**Potemkina, Natalya Mikhailovna** — Candidate of chemical sciences, Docent of Chemistry Department, State Humanitarian Technical University, Orekhovo-Zuevo, Russia; Ecolab@mail.ru;

**Rodin, Anatoly Petrovich** — Candidate of medical sciences, Docent of Pharmacy Department, State Humanitarian Technical University, Orekhovo-Zuevo, Russia; rodinap@yandex.ru.

Букеетов Университет