

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ РАСТЕНИЙ СЕМЕЙСТВА *BORAGINACEAE*

Д.С. Круглов¹, С.В. Овчинникова²

¹Новосибирский государственный медицинский университет,
630091, Новосибирск, Красный просп., 52, e-mail: kruglov_DS@mail.ru

²Центральный сибирский ботанический сад СО РАН,
630090, Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101, e-mail: sv-ovchin@yandex.ru

Методом масс-спектропии определена концентрация 59 макро- и микроэлементов в надземной части 55 видов из 34 родов, 13 триб и 3 подсемейств семейства *Boraginaceae*, собранных в различных местообитаниях. Установлена эффективность применения кластерного анализа для изучения элементного состава видов семейства *Boraginaceae* для целей хемосистематики. Показана зависимость содержания биогенных и абиогенных элементов от таксономического положения видов, а также выявлено, что наибольшее влияние на микроэлементный спектр оказывают эволюционный возраст и филогенетические связи. Высказано предположение о существовании генетически определенного элементного гомеостаза растений.

Ключевые слова: *Boraginaceae*, элементный состав, масс-спектропия, кластерный анализ, хемосистематика.

THE ELEMENT COMPOSITION OF *BORAGINACEAE* FAMILY PLANTS

D.S. Kruglov¹, S.V. Ovchinnikova²

¹Novosibirsk State Medical University,
630091, Novosibirsk, Krasny Pros., 52, e-mail: kruglov_DS@mail.ru

²Central Siberian Botanical Garden, SB RAS,
630090, Novosibirsk, Zolotodolinskaya str., 101, e-mail: sv-ovchin@yandex.ru

The concentration of 59 macro- and microelements in herbs of 55 species, 34 genera, 13 tribes and 3 subfamilies of family *Boraginaceae* from different habitats had been determined. The effectiveness of clade analysis using for study of elements content in plants of *Boraginaceae* for the purpose of chemosystematics was established. The dependence of content of biogenous and abiogenous elements from taxonomical position of species was established. Evolutionary age and phylogenetic connections render the biggest influence for microelements spectrum as had been showed. The hypothesis about existence of genetically determining of plant elements homeostasis has been spoken out.

Key words: *Boraginaceae*, elements content, mass-spectroscopy, clade analysis, chemosystematics.

ВВЕДЕНИЕ

Широко известно применение растений для коррекции нарушений микроэлементного обмена (Витамины и микроэлементы..., 2001). Микроэлементы в составе растений находятся во взаимосвязи с биологически активными соединениями, что существенно повышает их усвояемость в животном организме. Микроэлементный состав растений определяется наличием элементов в субстрате и физиологическими особенностями минерального питания растений (Ноздрюхина, Гринкевич, 1980). Последние, безусловно, должны быть видоспецифичными. В этой связи, помимо медицинского значения, элементный состав растений имеет и общетеоретическое значение в хемосистематике растений.

В работе Л.Г. Ноздрюхиной и Н.И. Гринкевич (1980) представлены результаты изучения элементного состава различных лекарственных растений и ус-

тановлена взаимосвязь между элементным составом и синтезом вторичных метаболитов. Все последующие исследования элементного состава различных таксонов носили характер накопления экспериментальных данных. В них находились закономерности накопления отдельных элементов, что конечно не может дать полной картины, приемлемой для использования в хемосистематике. Д.С. Кругловым и М.А. Ханиной (2006б) был изучен элементный состав растений, применяемых для лечения одного из распространенных микроэлементов – железодефицитной анемии, и предложен параметрический подход к выделению противоанемических растений. Однако выбор и расчет параметров во многом носят эмпирический характер, недостаточно обоснованный с позиций физиологии растений, вследствие чего мало пригоден для целей хемосистематики. Позднее была выявлена

перспективность применения для лечения железодефицитной анемии растений из семейства *Boraginaceae* Juss. и впервые получены данные о элементном составе шести видов (Круглов, Ханина, 2006а). Работа по изучению элементного состава растений этого семейства была продолжена Ю.В. Загурской и О.В. Чанкиной (2010), которые методом рентгенофлуоресцентного анализа определили содержание 19 элементов у 17 видов растений, произрастающих на территории Сибири.

В проведенных исследованиях авторы ограничились небольшим числом (до 20) элементов, выбор которых не был обоснован с точки зрения их роли в физиологических процессах растительного организма (Mengel, Kirkby, 2001). Неполный набор анализируемых элементов являлся следствием ограничений при использовании инструментальных методов анализа химического состава. Широко применяемые ранее атомно-эмиссионный (Ковальский, Гололобов, 1969), нейтронно-активационный и рентгенофлуоресцентный методы не позволяют достоверно определять большое число элементов. Использование метода масс-спектропии дало возможность определять до 60 элементов, в том числе и все элементы, чья роль в физиологических процессах растений была достоверно установлена.

Вместе с тем увеличение числа анализируемых элементов приводит к существенным трудностям при интерпретации полученных результатов. Используемые чаще всего методы выделения элементов, содержащихся в объектах в экстремальных количествах, и установление парных взаимосвязей между содержанием отдельных элементов оказываются малоинформативными. Также достаточно сложно

ограничить число анализируемых элементов, поскольку в настоящей момент отсутствуют достоверные сведения о роли элементов в физиологических процессах, протекающих в растительном организме. Становится очевидным, что анализ больших массивов данных требует специального математического аппарата.

Подходя с формальных позиций, задача сопоставления одного объекта с множеством его компонентов является типичной задачей одного из разделов математической статистики – многофакторного анализа. Нами предложено использовать кластерный анализ для изучения элементного состава (микроэлементного профиля или спектра) растений (Круглов, 2010б,в).

В результате выявлено, что особенности химического состава почвы дают небольшой вклад в микроэлементный профиль (или спектр) растения и значительно более важным фактором, определяющим микроэлементный состав растений, является характеристика местообитаний конкретных видов (Круглов, 2010б). Они оказывают решающее влияние на протекание физиологических процессов в растительном организме. Учитывая, что физиологические процессы видоспецифичны, микроэлементный профиль растений, по-видимому, должен отражать его систематическое положение. В работе Д.С. Круглова (2010в) показана эффективность применения предложенного подхода в хемосистематике видов рода *Pulmonaria* L. из семейства *Boraginaceae*.

В этой связи актуально провести анализ микроэлементного состава представителей семейства *Boraginaceae* из разных мест произрастания и разных групп родства.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для исследования служили надземные части 55 видов из 34 родов, 13 триб и 3 подсемейств семейства *Boraginaceae*, собранные в различных местах произрастания в фазе цветения–начала плодоношения (табл. 1). Только на такой фазе развития виды могут быть достоверно определены. Часть видов была собрана в удаленных точках их естественных ареалов и в различных экологических условиях. В работе принята система *Boraginaceae* (Попов, 1953; Доброчаева, 1981) с некоторыми изменениями (Овчинникова, 2005, 2007а).

Исследования проводились как на образцах растений, произрастающих в природе, так и на интродуцированных на территории ботанического сада. После отбора образцов сырье доводилось в естественных условиях до воздушно-сухого состояния (с влажностью ~8 %) и измельчалось до частиц, проходящих сквозь сито с размером ячейки 0.2–1 мм. На первом этапе определяли зольность и, в первую очередь, золу, нерастворимую в 10%-й соляной кислоте. Данный показатель выявляет экзогенное загрязнение пылью

(оксидом кремния). В образцах, которые направлялись на анализ, этот показатель колебался в пределах 1–3 %. Содержание микроэлементов определялось методом масс-спектропии с индуктивно связанной плазмой на приборе “ELAN-DRC”. Для контроля правильности определения использовался метод добавок (Определение..., 2003).

Для анализа полученных данных применялся кластерный анализ с использованием пакета прикладных программ “STATISTICA 8”. При проведении кластерного анализа (Hartigan, 1975) вводится понятие абстрактного многомерного пространства, координатами которого являются содержания каждого элемента. Любой объект в таком пространстве (в данном случае исследуемый объект) характеризуется вполне определенным и только ему присущим положением в этом пространстве. Группа сходных между собой объектов образует в таком пространстве некий кластер. В качестве меры расстояния между различными кластерами обычно принимается геометрическое расстояние в многомерном пространстве (евклидово расстояние).

Объекты исследования

№ п/п	Вид	Местонахождение
1	2	3
	Подсем. Ehretioideae Guerke (Ehr)	
1	<i>Ehretia microphylla</i> Lam.	Оранжевая ЦСБС, 1997 г.
2	Подсем. Heliotropioideae Guerke (Hel) <i>Heliotropium euroraemum</i> L.	Республика Сербия, Карпатско-Балканская часть Восточной Сербии, Nis-Dobric Valley, Juzna Morava River, Bijeska Suka Hill, деградированный шибляк на щебнистых склонах на выс. до 465 м над ур. м., скальные выходы, щебень, 14.09.2009
3	Триба Staniospermeae M. Pop. (Ст) <i>Staniospermum subvillosum</i> Lehm.	Республика Бурятия, Тункинский р-н, окр. г. Гремячинска, песчаные пляжи, берега оз. Байкал, 03.07.2006
4	Триба Eritrichieae Benth. et Hook. f. Subtrib. Eritrichinae Riedl (Er, Er) <i>Eritrichium kamtschaticum</i> Kom.	Дальний Восток, Камчатская область, Елизовский р-н, подножие Корякского вулкана, шлаковые поля, выс. 1098 м над ур. м., 12.08.2009
5	<i>E. pulviniforme</i> M. Pop.	Республика Алтай, Кош-Агачский р-н, окр. пос. Чеган-Узун, каменная степь по склонам гор, 04.07.2007
6	<i>E. subruprestre</i> M. Pop.	Республика Алтай, Онгудайский р-н, пойма р. Каракол, окр. д. Кулады, 27.08.2007
7	<i>Amblynotus rupestris</i> (Pall. et Georgi) M. Pop. ex Serg. (обр. В)	Республика Бурятия, Закаменский р-н, окр. с. Баянгола, р. Саргина, опушка лиственничного осоково-злаково-разнотравного леса, выс. 1256 м, N 50°48'07.90", E 103°36'29.5", 17.07.2009
8	<i>A. rupestris</i> (обр. С)	Республика Бурятия, Джидинский р-н, левый берег р. Джиды, в 9.32 км северо-восточнее пос. Дырестуй, на скалах, выс. 592 м, N 50°36'28.90", E 105°56'43.84", 25.07.2009
9	<i>A. rupestris</i> (обр. D)	Республика Бурятия, Закаменский р-н, окр. с. Михайловка, левый берег р. Джиды, на остепенном склоне юго-западной экспозиции, выс. 841 м, N 50°25'49.7", E 104°13'22.60", 15.07.2009
10	<i>A. rupestris</i> (обр. E)	Республика Бурятия, Прибайкальский р-н, окр. с. Ключево, правый берег р. Селенга, каменный южный склон, выс. 541 м, N 52°11'07.50", E 107°32'30.90", 10.07.2009
11	<i>A. rupestris</i> (обр. А)	Республика Бурятия, Закаменский р-н, окр. с. Далахай, левый берег р. Цакирка, на склоне, выс. 1336 м, N 50°57'10.90", E 102°53'22.20", 21.07.2009
12	<i>A. rupestris</i>	Республика Бурятия, Джидинский р-н, севернее с. Петропавловка, низкотерный массив, северо-западный каменный склон гряды, степь, 12.07.2007
13	<i>Hackelia uncinata</i> (Benth.) С.Е.С. Fisch	г. Бердск, частный ботанический сад, 24.06.2008. Семена из Китая
14	Триба Echieae DC. (Ech) <i>Echium vulgare</i> L.	Республика Алтай, Черлакский р-н, окр. пос. Камлак, лев. берег р. Сема, щебнистая степь, 19.08.1996
15	Триба Lithospermeae (DC.) Guerke (Li) <i>Onosma arenaria</i> Waldst. et Kit.	Республика Сербия, Карпатско-Балканская часть Восточной Сербии, бассейн р. Данубе, пос. Клядово, песчаная степь, 12.09.2009
16	<i>O. barszczewskii</i> Lipsky	Республика Таджикистан, Душанбинская область, долина р. Варзоб по дороге на Анзобский перевал, окр. Кондары, травяные сообщества, выс. 1900 м над ур. м., 05.05.2008
17	<i>O. gmelinii</i> Ledeb.	Республика Алтай, Кош-Агачский р-н, долина р. Джасатор, полярная степь на южном склоне, 12.07.1999
18	<i>O. simplicissima</i> L.	Новосибирская область, Искитимский р-н, 5 км на юго-восток от пос. ст. Искитим, остепенный луг, 05.06.2008
19	<i>Buglossoides arvensis</i> (L.) I.M. Johnston	Республика Таджикистан, Душанбинская область, район Варзоб, склоны к долине р. Кондара, кустарниковые и лесные сообщества, <i>h</i> = 1250 м над ур. м., 03.05.2008
20	<i>Lithospermum officinale</i> L.	Алтайский край, Топчихинский р-н, 3 км на запад от с. Хабазино, злаково-разнотравная степь, 15.08.2008
21	<i>Stenosolenium saxatile</i> (Pall.) Turcz.	Республика Бурятия, Джидинский р-н, восточнее с. Нарын, низкотерный массив в левобережье р. Армак, крутой каменный склон, 07.07.2007

1	2	3
22	<i>Arnebia coerulea</i> Schipcz.	Республика Таджикистан, Хатлонская область, южнее с. Даштиджум, глинисто-каменистый склон к р. Обиминоб, <i>h</i> = 900 м над ур. м., 26.04.2008
23	<i>A. guttata</i> Bunge	Республика Алтай, Онгудайский р-н, у места впадения Чуи в Катунь, на скалах по южному склону, 03.08.2004
24	Триба <i>Myosotidaeae</i> Reichenb. (My)	Бонсай-парк ЦСБС СО РАН, 19.05.2009
25	<i>Myosotis arvensis</i> (L.) Hill.	Новосибирская обл., Новосибирский р-н, ст. ж.-д. Совхозная, осиново-березовый лес, 24.05.2009
26	<i>M. krylovii</i> Serg.	Бонсай-парк ЦСБС СО РАН, сорное, 19.05.2009
27	Триба <i>Borragineae</i> (Bo)	
28	<i>Anchusa italica</i> Retz.	Республика Таджикистан, Хатлонская область, район Шуроабд, юго-западнее с. Даштиджум, склоны к р. Обиминоб над кишлаком Хаджигара, 26.04.2008
29	<i>Trachystemon orientalis</i> (L.) G. Don fil.	Бонсай-парк ЦСБС СО РАН, 19.05.2009. Семена собраны: Сев.-Зап. Турция, Сев.-Анатолийские горы, побережье Черного моря, окр. г. Амасра, широколиственные дубово-буковые леса, 22.04.2006
30	<i>Brunnera sibirica</i> Steven	Томская область, Томский р-н, окр. с. Коларово, смешанный лес, 20.05.2007
31	<i>Borago officinalis</i> L.	Новосибирская обл., окр. ст. Совхозная, дачный кооператив, 17.07.2007
32	<i>Symphlytum asperum</i> Lepech.	Новосибирская обл., окр. ст. Совхозная, распадок в березовом лесу, место бывшей дачной свалки, 17.06.2007
33	<i>S. ibericum</i> Stev.	Бонсай-парк ЦСБС СО РАН, 19.05.2009. Семена собраны: Турция, Южная Анатолия, окр. г. Силлифке, горная система Тавр, на перевале в расщелинах камней, 15.04.2007
34	<i>S. officinale</i> L.	Бонсай-парк ЦСБС СО РАН, 19.05.2009
35	<i>Nonea rossica</i> Stev.	Новосибирская область, Искитимский р-н, 5 км на юго-восток от пос. ст. Искитим, остепненный луг, 05.06.2008
36	<i>Pulmonaria angustifolia</i> L.	Беларусь, Гомельская область, Житковичский р-н, в 11 км к юго-востоку от г. Турова, смешанный лес, 30.05.1998
37	<i>P. mollis</i> Wulf. ex Hornem. (обр. В)	Красноярский край, Иланский р-н, 2 км на северо-восток от пос. Иланский, сосновый бор, 27.05.2008
38	<i>P. mollis</i> (обр. С)	Иркутская обл., Усть-Кутский р-н, 1.5 км к северу от пос. Каймоново, смешанный лес, 10.06.2009
39	<i>P. mollis</i> (обр. D)	Свердловская область, 3 км на юго-восток от пос. Курганово, смешанный лес, 20.05.2009
40	<i>P. mollis</i> (обр. А)	Новосибирская область, Колыванский р-н, в 8 км на северо-запад от пос. Катковский, сосновый бор, 25.05.2009
41	<i>P. obscura</i> Dumort.	Ярославская область, Большесельский р-н, окр. с. Шельшером, смешанный лес, 15.05.2007
42	<i>P. officinalis</i> L.	Латвия, окр. г. Юрмала, хвойный лес, 10.06.1988
43	<i>P. rubra</i> Schott	Украина, Черновицкая область, Важницкий р-н, с. Селятин, хвойный лес, 05.06.1993
44	Триба <i>Trichodesmeae</i> Zak. ex Riedl (Td)	
45	<i>Trichodesma incanum</i> (Bunge) DC.	Республика Таджикистан, Душанбинская область, долина р. Варзоб по дороге на Анзобский перевал, окр. Кондары, травяные сообщества, выс. 1900 м над ур. м., 05.05.2008
46	Триба <i>Caccinieae</i> R. Kam. (Ca)	
47	<i>Caccinia macranthera</i> (Banks et Soland) Brand	Республика Таджикистан, Хатлонская область, район Шуроабд, ВСВ г. Шуроабд, ущелье притока р. Пяндж, каменистые склоны, <i>h</i> = 900–1000 м над ур. м., 27.04.2008
48	Триба <i>Cynoglosseae</i> DC. (Cy)	
49	<i>Cynoglossum creticum</i> Mill.	Республика Таджикистан, Хатлонская область, район Бохтар, пойма р. Вахш у моста д. Кызылкала, <i>h</i> = 440 м над ур. м., 01.05.2008
50	<i>Trachelanthus hissaricus</i> Lipsky	Республика Таджикистан, Душанбинская область, район Варзоб, склоны к долине р. Кондара, кустарниковые и лесные сообщества, выс. 1250 м над ур. м., 03.05.2008
51	Триба <i>Heterogaryeae</i> Zak. ex Ovczinnikova (Het)	
52	<i>Heterogaryum szovitsianum</i> (Fisch. et C.A. Mey.) A.DC.	Республика Таджикистан, Хатлонская область, район Нурек, западнее г. Нурек, травянистые закустаренные склоны, <i>h</i> = 800 м над ур. м., 25.04.2008

48	Триба Eritrichieae Benth. et Hook. f. Subtrib. Echinosperrinae Ovczinnikova (Er, Ech) <i>Lappula anisacantha</i> (Turcz. ex Bunge) Guerke (обр. А)	Иркутская область, Ольхонский р-н, о. Ольхон, петрофитная степь близ мыса Ташкай, N 53°04'58", E 107°02'31", выс. 664 м над ур. м., 29.07.2010
49	<i>L. anisacantha</i> (обр. В)	Республика Бурятия, Тункинский р-он, восточная окраина с.Тунка. злаково-полюнно-разнотравная степь, N 51°44'15", E 102°30'46", выс. 738 м над ур. м., 02.08.2010
50	<i>L. anisacantha</i> (обр. С)	Иркутская область, Слюдянский р-н, пос. Култук, песчаный берег оз. Байкал, N 51°42'59", E 103°42'30", 01.08.2010
51	<i>L. anisacantha</i> (обр. D)	Иркутская область, Слюдянский р-н, пос. Култук, рудеральное сообщество, N 51°43'25", E 103°42'60", выс. 470 м над ур. м., 01.08.2010
52	<i>L. consanguinea</i> (Fisch. et C.A. Mey.) Guerke (обр. В)	Иркутская область, Слюдянский р-н, окр. г. Слюдянка, долина р. Слюдянка, лушекиевый разнотравный смешанный лес близ мраморного карьера, вдоль дороги, N 51°37'01", E 103°38'37", 03.08.2010
53	<i>L. consanguinea</i> (обр. С)	Иркутская область, Ольхонский р-н, окр. с. Косая Степь, злаково-разнотравная степь на склоне юго-восточной экспозиции, N 52°50'59", E 106°04'03", 31.07.2010
54	<i>L. consanguinea</i> (обр. А)	Иркутская область, Ольхонский р-н, развилка дорог Сахюрте–Сарма, рудеральное сообщество близ АЗС, N 53°00'11", E 106°44'48", выс. 460 м над ур. м., 30.07.2010
55	<i>L. intermedia</i> (Ledeb.) M. Pop.	Республика Алтай, Онгудайский р-н, окр. пос. Яломан, на скалах, 03.08.2004
56	<i>L. kulicalonica</i> Zak.	Республика Таджикистан, Душанбинская область, долина р. Варзоб по дороге на Анзобский перевал, окр. Кондары, травяные сообщества, выс. 1900 м над ур. м., 05.05.2008
57	<i>L. microcapra</i> (Ledeb.) Guerke	Казахстан, Вост-Казахст. обл., Зайсанский р-н, 20 км южнее с. Пржевальского, хр. Саур, на перевале на осыпи, 29.06.2002
58	<i>L. patula</i> (Lehm.) Menyharth	Казахстан, Вост-Казахст. обл., Курчумский р-н, отроги Курчумского хребта, 10 км к югу от с. Карагогай, каменная пустыня, 21.06.2002
59	<i>L. squarrosa</i> (Retz.) Dum. (обр. А)	Кемеровская область, окр. г. Салаир, Салаирский край, опушка черного леса, N 54°15', E 85°45', 23.07.2010
60	<i>L. squarrosa</i> (Retz.) Dum. (обр. В)	Новосибирская область, Буготакские сопки, в посевах, 29.07.2007
61	<i>L. stricta</i> (Ledeb.) Guerke	Иркутская область, Ольхонский р-н, о. Ольхон, разнотравная каменная степь в основании мыса Хобой, N 53°24'38", E 107°47'31", выс. 612 м над ур. м., 28.07.2010
62	Триба Rochelieae DC. (Ro) <i>Rochelia cardiosepala</i> Bunge	Республика Таджикистан, Хатлонская область, р-н Нуреке, западнее г. Нуреке, травянистые закустаренные склоны, выс. 800 м над ур. м., 25.04.2008
63	<i>R. leiocarpa</i> Ledeb.	Казахстан, Вост-Казахст. обл., Зайсанский р-н, южнее с. Пржевальского на 20 км. хр. Саур, за перевалом среди кустарников, 25.06.2002
64	Триба Trigonotideae Riedl (Tr) <i>Mertensia sibirica</i> (L.) Don fl.	Новосибирская обл., окр. ст. Восточная, дачный кооператив, 01.07.2007. Растения привезены из Бурятии, 70 км от Улан-Удэ, пос. Ильинка, влажные прирусловые леса, 03.07.2006
65	<i>M. simplicissima</i> Ledeb.	Бонсай-парк ЦСБС СО РАН, 19.05.2009. Семена собраны: о. Сахалин, щебнистая отмель
66	<i>Trigonotis radicans</i> (Turcz.) Stev.	Бонсай-парк ЦСБС СО РАН, 19.05.2009. Растения привезены из Приморского края: Лазовский р-н, окр. с. Беневское, пойма р. Клевка, смешанный широколиственно-хвойный (ель, тис, клены) лес, 05.09.2006
67	<i>Brachybotrys paridiiformis</i> Maxim. ex Olivier	Бонсай-парк ЦСБС СО РАН, 19.05.2009. Интродуцирован из Южного Приморья
68	Триба Eritrichieae Benth. et Hook. f. Subtrib. Anoplocaryinae Ovczinnikova (Er, An) <i>Anoplocaryum turczaninowii</i> Krasnob.	Тува, Монгун-Тайгинский р-н, р. Каргы в 7 км ниже пос. Мугур-Аксы, на скалах, 13.08.1989
69	Триба Eritrichieae Benth. et Hook. f. Subtrib. Amsinckinae Brand (Er, Am) <i>Amsinckia calycina</i> (Moris) Chater	Южно-Африканская Республика, Northern Cape, долина р. Olifant, на щебне, 18.09.2010
70	<i>A. micrantha</i> Suksdorf.	Магаданская обл., Ольский р-н, окр. пос. Гадля, огород на пустыре, 24.07.2008
71	Триба Asperugae Zak. ex Ovczinnikova (As) <i>Asperugo procumbens</i> L.	Магаданская обл., Ольский р-н, окр. пос. Гадля, огород на пустыре, 24.07.2008

С помощью метода древовидной кластеризации были сформированы кластеры несходства, которые значительно отличаются друг от друга по критерию относительного расстояния между ними. За правило объединения или связи для двух кластеров был принят метод Варда, при котором минимизируется сумма среднеквадратичных отклонений для любых двух (гипотетических) кластеров, которые могут быть образованы на каждом шаге.

В результате иерархической кластеризации данных все объекты были разбиты на кластеры, которые отличались между собой более чем на 20 %, что превосходило определенную ранее (Круглов, 2010а) ин-

дивидуальную изменчивость (~15 %) содержания элементов по промысловой заросли, на основании чего были сделаны выводы о значимом различии кластеров. Изучен 71 образец, проведен анализ и построены диаграммы по методу Варда. Расчет был выполнен: 1) по всем элементам; 2) по всем элементам без К и Са; 3) по 8 биогенным микроэлементам: В, V, Со, Си, Fe, Mn, Мо, Zn; 4) по сумме биогенных элементов; 5) по загрязнителям: As, Bi, Cd, Hg, Pb, Sb, Th, U; 6) по остальным микроэлементам. Наиболее показательными, выявляющими родство и экологическую приуроченность, оказались диаграммы по всем элементам, по сумме биогенных элементов, по загрязнителям.

РЕЗУЛЬТАТЫ И АНАЛИЗ

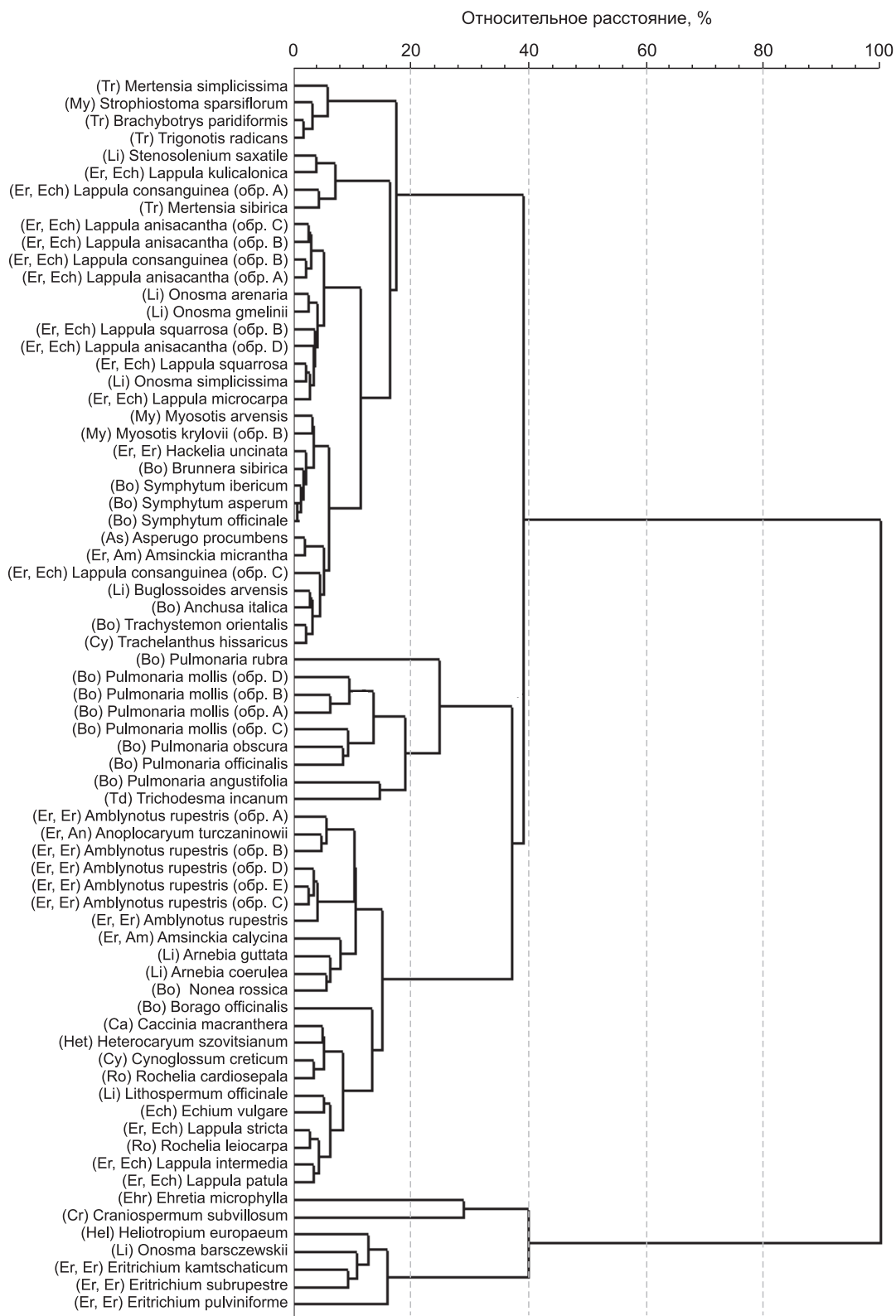
При исследовании установлено содержание 59 элементов: К, Са, Si, Р, Mg, Fe, Mn, Na, Zn, В, Cu, Со, Мо, Ag, Al, Ba, Cr, Ni, Se, Sr, Ti, As, Bi, Cd, Hg, Pb, Sb, Th, U, V, Ga, Ge, Rb, Y, Zr, Nb, Sn, Cs, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Au, Tl, Li, Be в надземной части растений (табл. 2). Объекты в таблице расположены по системе: роды – по их принадлежности к трибам, виды внутри родов – по алфавиту их названий. Расшифровка сокращенных названий триб и подтриб дана в табл. 1.

Анализ полученных данных по всем элементам позволил построить иерархическое дерево (см. рисунок). Распределение по кластерам показывает, что отделились представитель палеогенового подсемейства *Ehretioideae* *Ehretia microphylla* Lam. (материал из оранжереи ЦСБС) и вид палеогенового рода *Craniospermum* Lehm. из подсемейства *Boraginoideae* (материал из Бурятии). На основании признаков пыльцевых зерен ранее уже высказывалось предположение об эволюционной близости этих групп бурачниковых (Овчинникова, 2001, 2006б). Виды одного рода практически все находятся в одних и тех же кластерах, и разница в распределении на кластеры обнаруживается в основном для представителей разных триб и подтриб. На построенной диаграмме ясно видно, что представители разных подтриб трибы *Eritrichieae* распределились по разным кластерам, что подтверждает политопное происхождение входящих в нее таксонов. Представители подтрибы *Eritrichiinae* Riedl оказались рядом с родами *Craniospermum* из трибы *Craniospermeae* M. Pop. и *Heliotropium* L. из подсемейства *Heliotropioideae* Guerke. Род *Lappula* Gilib. из подтрибы *Echinosperrminae* Ovczinnikova распределился по нескольким кластерам рядом с трибами *Lithospermeae* (DC.) Guerke, *Heterocaryeae* Zak. ex Ovczinnikova и *Rochelieae* DC. Рядом расположились близкие роды *Stenosolenium* Turcz. (Бурятия) и *Arnebia* Forsk. (Таджикистан) и виды рода *Onosma* L. (Алтай) из одной трибы *Lithospermeae*. Представители трибы *Trigonotideae* оказались в одном кластере с родом *Strophostoma* Turcz. из трибы *Myosotideae*, что не противоречит дан-

ным морфологии и палиноморфологии (Никифорова, 2002, 2006, 2008а,б; Овчинникова, 2007в, 2011б). Виды рода *Myosotis* L. приближаются к анхузovým родам *Symphytum* L. и *Brunnera* Stev. Интересно близкое расположение рода *Brunnera* (из Томской области) из трибы *Boragineae* и гималайского вида *Hackelia uncinata* из трибы *Eritrichieae* (интродуцирован в Новосибирске). Виды рода *Pulmonaria* L. выстроились по степени близости в ряд: (*P. obscura*, *P. officinalis*) → *P. angustifolia* → *P. rubra* → *P. mollis* (Круглов, 2010в).

Ранее показано (Круглов, 2010а), что зависимость элементного состава от мест произрастания и, соответственно, почв выражена слабо или точнее имеет незначительное влияние по сравнению с фактором эволюционного возраста и филогенетического родства. Роды *Asperugo* L. и *Amsinckia* Lehm. оказались в одном кластере как по причине родства (Овчинникова, 2007б), так и из-за произрастания в одном синантропном сообществе. Материалы для исследования представителей реликтовых ирано-туранских родов *Caccinia* Savi и *Heterocaryum* A.DC., древнесредиземноморских родов *Cynoglossum* L. и *Rochelia* Reichenb. собирались в Республике Таджикистан, однако все они встречаются в разных сообществах в значительном удалении друг от друга. Нахождение этих родов в одном кластере с родом *Lappula* из подтрибы *Echinosperrminae* трибы *Eritrichieae* согласуется с данными, полученными при изучении признаков поверхности плода в семействе *Boraginaceae* (Овчинникова, 2006а, 2011а; Ovczinnikova, 2009).

Растения одного вида, собранные в разных местах локальных ареалов, оказываются в неотличимых кластерах, как например, род *Amblynotus* I.M. Johnston. А виды одного рода, произрастающие в различных точках Евразийского континента, находятся в одном кластере, в частности виды рода *Onosma*, *O. arenaria* Waldst. et Kit., собранная в Западной Европе (Сербии), и *O. gmelinii* Ledeb. и *O. simplicissima* L. – в Западной Сибири, а также высокогорные виды рода *Eritrichium*, привезенные из Горного Алтая и п-ова Камчатка.



Иерархическая диаграмма распределения исследуемых объектов по кластерам.

Расшифровка сокращенных названий триб и подтриб дана в табл. 1.

Содержание микроэлементов (мкг/г) в надземной части исследуемых растений

№ п/п	Элемент	<i>Ehretia microphylla</i> (Ehr)	<i>Heliotropium europaeum</i> (Hel)	<i>Craniospermum subvillosum</i> (Cr)	<i>Eritrichium kamtschaticum</i> (Er, Er)	<i>Eritrichium pulviniforme</i> (Er, Er)	<i>Eritrichium subrupestre</i> (Er, Er)	<i>Amblynotus rupestris</i> (Er, Er)	<i>Amblynotus rupestris</i> (Er, Er) обр. А
1	Li	2.02	8.48	1.78	0.94	3.23	2.46	0.16	1.09
2	Be	0.12	0.074	0.36	0.089	0.23	0.087	0.048	0.012
3	B	76.9	67.5	36.4	21.3	73.1	62.4	57.1	20.5
4	Na	3191.5	3462.8	7732.1	1979.4	1203.5	520.1	64.5	584.0
5	Mg	7268.7	7839.7	3605.7	1649.9	3114.2	3944.9	2411.2	3259.0
6	Al	4425.1	1021.0	19454.0	4314.8	3505.2	2802.8	242.2	2731.0
7	Si	2846.5	605.9	65724.0	7205.9	135805.9	39648.9	9164.1	1372.0
8	P	4622.4	2867.1	911.1	737.6	804.8	1056.3	1388.5	1743.0
9	K	24277.2	19617.8	13375.2	9342.9	11506.6	15287.1	18036.7	16480.0
10	Ca	40400.7	27966.0	27278.3	26607.0	44715.8	52895.3	45611.3	28140.0
11	Ti	906.7	106.1	613.4	323.0	224.5	94.3	15.4	228.0
12	V	95.0	4.14	23.4	15.9	9.24	3.59	0.37	11.2
13	Cr	68.6	4.32	19.8	4.41	13.0	7.50	1.26	11.5
14	Mn	5300	77.8	303	182	192.8	134	61.9	173
15	Fe	20861.3	1611.6	7719.6	3623.0	3420.8	1682.1	368.7	3575.0
16	Co	2.68	0.68	5.57	1.96	2.29	1.29	0.71	2.56
17	Ni	6.67	3.08	6.14	4.91	7.65	3.87	1.17	3.85
18	Cu	30.0	15.8	6.87	15.2	7.71	9.73	4.11	19.2
19	Zn	75.6	70.0	23.5	39.5	16.8	31.5	16.0	25.8
20	Ga	3.04	0.63	4.61	1.68	1.61	0.81	0.078	0.86
21	Ge	0.27	0.046	0.401	0.17	0.19	0.096	0.018	0.064
22	As	3.67	0.001	0.0005	0.0005	1.52	3.26	3.33	0.0005
23	Se	0.36	0.69	0.16	0.001	0.29	0.66	0.27	0.15
24	Rb	24.9	12.1	20.2	12.4	10.9	9.66	6.41	4.32
25	Sr	156.3	184.2	285.2	203.1	257.1	386.1	472.1	117.0
26	Y	1.35	0.88	2.36	1.91	1.11	1.11	0.43	0.83
27	Zr	9.13	0.88	2.38	6.18	5.62	5.92	0.42	1.21
28	Nb	14.3	0.37	1.23	0.15	0.47	0.37	0.037	0.42
29	Mo	2.53	2.19	0.22	0.21	0.39	1.25	0.73	0.84
30	Ag	0.062	0.017	1.40	0.009	0.074	0.032	0.01	0.018
31	Cd	0.18	0.035	0.084	0.12	0.097	0.09	0.35	0.13
32	Sn	18.7	0.082	0.33	0.078	0.27	0.16	0.048	0.079
33	Sb	0.8	0.035	0.027	0.036	2.08	0.45	0.086	0.02
34	Cs	0.59	0.33	0.24	0.17	0.54	0.32	0.066	0.13
35	Ba	53.7	48.2	612.8	668.3	692.8	59.9	415.7	597.0
36	La	4.17	1.24	3.36	1.15	1.5	1.1	1.96	0.79
37	Ce	8.43	2.45	7.07	2.23	3.45	2.31	0.9	1.42
38	Pr	0.91	0.31	0.88	0.32	0.39	0.28	0.23	0.164
39	Nd	3.25	1.16	3.32	1.51	1.44	1.07	0.76	0.69
40	Sm	0.57	0.23	0.70	0.34	0.28	0.22	0.11	0.15
41	Eu	0.15	0.04	0.13	0.089	0.088	0.052	0.035	0.025
42	Gd	0.54	0.24	0.70	0.42	0.34	0.26	0.13	0.17
43	Tb	0.068	0.034	0.098	0.055	0.048	0.042	0.016	0.0241
44	Dy	0.32	0.19	0.52	0.33	0.238	0.22	0.067	0.15
45	Ho	0.057	0.035	0.11	0.067	0.050	0.044	0.012	0.03
46	Er	0.15	0.089	0.29	0.18	0.12	0.11	0.024	0.084
47	Tm	0.021	0.014	0.044	0.025	0.02	0.02	0.0026	0.031
48	Yb	0.12	0.074	0.27	0.15	0.12	0.12	0.018	0.08
49	Lu	0.019	0.0098	0.043	0.023	0.02	0.019	0.0033	0.012
50	Hf	0.18	0.024	0.11	0.15	0.15	0.171	0.011	0.029
51	Ta	0.7	0.026	0.10	0.011	0.046	0.012	0.0042	0.029
52	W	45.4	0.053	0.060	0.028	0.12	0.054	0.038	0.041
53	Au	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0004	0.0006	0.0036
54	Hg	0.17	0.01	0.018	0.027	0.015	0.021	0.0062	0.0046
55	Tl	0.05	0.039	0.096	0.061	0.055	0.031	0.013	0.042
56	Pb	6.32	1.03	3.99	1.15	2.3	1.99	0.43	0.62
57	Bi	0.23	0.014	0.013	0.035	0.036	0.018	0.0033	0.0096
58	Th	0.75	0.38	0.42	0.071	0.53	0.41	0.063	0.18
59	U	0.28	0.16	0.25	0.056	0.16	0.17	0.014	0.083

(в пересчете на абсолютно сухое сырье)

<i>Amblynotus rupestris</i> (Er, Er) обр. B	<i>Amblynotus rupestris</i> (Er, Er) обр. C	<i>Amblynotus rupestris</i> (Er, Er) обр. D	<i>Amblynotus rupestris</i> (Er, Er) обр. E	<i>Hackelia uncinata</i> (Er, Er)	<i>Echium vulgare</i> (Ech)	<i>Onosma arenaria</i> (Li)	<i>Onosma barszewskii</i> (Li)
1.07	0.85	0.54	0.37	0.3	0.48	0.12	2.76
0.071	0.049	0.062	0.012	0.022	0.001	0.001	0.092
28.3	26.4	33.1	27.9	28.5	98.3	15.2	51.5
297.0	493.5	294.2	168.3	273.3	133.4	37.6	271.5
3564.6	2453.8	3350.1	2837.9	1640.9	3198.5	2089.7	3032.3
1757.8	716.1	806.2	575.6	488.5	524.3	140.8	948.9
4209.9	5719.4	1196.3	5326.1	9504.9	728.5	1240.0	9025.1
4011.2	1811.1	2224.0	2429.6	5222.6	4544.0	2237.9	1561.9
24408.3	16954.8	19241.7	21319.2	37422.8	10980.3	24188.0	17830.5
25780.2	40950.3	32468.8	29810.1	12899.0	62325.5	38334.3	42128.9
157.9	84.2	38.1	33.7	24.7	43.8	6.6	84.7
3.88	2.43	1.25	0.84	1.18	0.59	0.75	1.5
4.38	2.5	2.18	2.01	1.94	5.78	1.56	1.93
119.9	157.4	99.3	110.6	54.9	38.1	166.7	92.8
1824.9	1129.8	608.8	495.0	444.8	568.4	263.8	931.1
1.12	1.0	0.4	0.38	0.51	0.79	0.31	1.88
2.91	1.85	2.55	1.2	1.23	3.99	1.41	1.57
13.0	9.35	10.3	8.16	7.81	14.0	5.84	4.61
37.0	12.6	23.6	20.0	32.5	25.5	14.6	16.9
0.58	0.4	0.26	0.21	0.16	0.15	0.078	0.39
0.026	0.031	0.0095	0.021	0.047	0.016	0.0037	0.072
0.001	0.001	0.001	0.0005	0.0005	0.001	0.0005	0.0005
0.046	0.001	0.078	0.001	0.28	0.67	0.8	1.14
9.19	17.5	5.46	6.5	6.39	7.04	14.5	52.9
253.7	517.8	251.9	524.0	38.3	199.0	96.5	97.9
0.72	0.46	0.3	0.28	0.14	0.2	0.063	2.03
3.7	0.9	0.7	0.63	0.52	0.68	0.086	0.75
0.5	0.18	0.1	0.14	0.065	0.065	0.018	0.55
0.31	0.56	1.23	0.23	1.03	1.11	0.24	0.16
0.033	0.032	0.012	0.0047	0.0062	0.0062	0.014	0.016
0.077	0.072	0.19	0.23	0.019	0.12	0.013	0.025
0.077	0.06	0.037	0.043	0.062	0.14	0.057	0.43
0.015	0.013	0.0077	0.0087	0.043	0.16	0.017	0.018
0.17	0.18	0.081	0.062	0.058	0.10	0.12	1.24
529.4	512.8	702.8	432.0	39.9	230.9	77.6	119.9
1.04	1.56	2.05	2.17	0.19	0.27	0.094	4.97
2.01	2.45	1.21	1.59	0.39	0.49	0.18	1.57
0.23	0.26	0.22	0.26	0.042	0.057	0.02	0.64
0.96	0.92	0.69	0.84	0.16	0.23	0.086	2.20
0.22	0.15	0.11	0.11	0.031	0.062	0.017	0.39
0.055	0.029	0.03	0.029	0.0064	0.0013	0.0062	0.041
0.22	0.14	0.1	0.11	0.041	0.049	0.014	0.47
0.029	0.016	0.013	0.013	0.0053	0.0067	0.0028	0.06
0.14	0.088	0.054	0.059	0.029	0.038	0.012	0.28
0.026	0.017	0.011	0.0081	0.0059	0.008	0.0026	0.051
0.072	0.042	0.026	0.022	0.014	0.021	0.0051	0.13
0.01	0.0057	0.0033	0.0036	0.002	0.0025	0.0015	0.018
0.059	0.03	0.018	0.019	0.013	0.018	0.0037	0.097
0.0097	0.005	0.004	0.0024	0.0022	0.0027	0.0006	0.015
0.077	0.02	0.017	0.02	0.014	0.017	0.0013	0.021
0.032	0.011	0.0062	0.0089	0.0047	0.001	0.0012	0.046
0.076	0.14	0.045	0.021	0.024	0.072	0.0072	0.034
0.0001	0.0003	0.001	0.0008	0.0003	0.0003	0.0005	0.0001
0.016	0.0079	0.015	0.019	0.0074	0.017	0.018	0.0052
0.025	0.024	0.011	0.010	0.0075	0.08	0.049	0.29
0.61	0.7	0.44	0.57	0.63	1.56	0.2	0.89
0.023	0.0088	0.008	0.0078	0.0047	0.017	0.0026	0.0062
0.22	0.15	0.11	0.15	0.058	0.071	0.017	0.24
0.057	0.062	0.025	0.029	0.018	0.023	0.0085	0.039

№ п/п	Элемент	<i>Onosma gmelinii</i> (Li)	<i>Onosma simplicissima</i> (Li)	<i>Buglossoides arvensis</i> (Li)	<i>Lithospermum officinale</i> (Li)	<i>Stenosolenium saxatile</i> (Li)	<i>Arnebia coerulea</i> (Li)
1	Li	0.22	0.12	0.31	0.55	0.7	0.39
2	Be	0.001	0.026	0.044	0.035	0.019	0.023
3	B	45.0	24.1	33.8	62.9	28.2	38.3
4	Na	135.9	64.0	89.0	328.0	67.9	610.8
5	Mg	2553.1	1854.0	2953.7	1682.0	2238.0	1847.6
6	Al	176.1	150.2	349.9	1903.0	293.8	390.4
7	Si	1280.6	2549.8	431.6	3897.0	439.1	324.7
8	P	1579.4	2492.0	4480.5	3540.0	2026.4	2218.1
9	K	27131.4	21418.6	36289.8	28144.0	32695.4	31416.3
10	Ca	48614.8	19072.0	33566.1	58827.0	61206.0	25267.1
11	Ti	8.6	9.3	21.7	52.9	91.3	104.2
12	V	0.053	0.68	0.20	1.6	0.45	0.69
13	Cr	2.45	1.1	2.57	3.5	2.59	3.15
14	Mn	117	38.0	95.9	116.0	68.5	53.9
15	Fe	355.3	219.9	375.4	757.0	647.0	552.5
16	Co	0.84	0.5	0.59	2	1.16	0.28
17	Ni	1.47	1.73	0.83	2.4	1.58	1.34
18	Cu	6.83	8.54	10.7	5.5	7.22	7.29
19	Zn	18.5	18.7	43.4	19.1	28.5	237
20	Ga	0.054	0.55	0.11	0.25	0.11	0.19
21	Ge	0.0075	0.0092	0.0085	0.025	0.005	0.025
22	As	0.001	1.37	0.001	0.25	5.82	0.001
23	Se	0.4	0.71	0.45	0.1	0.83	0.30
24	Rb	16.8	17.4	8.24	18.9	14.9	31.0
25	Sr	96.5	63.7	84.8	198.0	246.1	78.4
26	Y	0.058	0.36	0.13	0.54	0.12	0.61
27	Zr	0.12	0.41	0.26	0.79	0.24	0.4
28	Nb	0.018	0.034	0.053	0.104	0.1	0.27
29	Mo	0.43	0.39	1.45	0.43	0.65	0.36
30	Ag	0.0019	0.03	0.0065	0.009	0.0053	0.022
31	Cd	0.015	0.065	0.086	0.097	0.087	0.042
32	Sn	0.023	2.03	0.029	0.043	0.031	0.72
33	Sb	0.0001	0.052	0.0028	0.018	0.0043	0.034
34	Cs	0.16	0.11	0.083	0.136	0.12	0.92
35	Ba	275.3	100.8	158.0	203.0	652.9	306.8
36	La	0.12	0.37	0.21	1.1	0.34	1.54
37	Ce	0.2	0.27	0.37	0.73	0.4	0.62
38	Pr	0.021	0.07	0.042	0.197	0.053	0.2
39	Nd	0.068	0.29	0.14	0.77	0.18	0.66
40	Sm	0.015	0.069	0.028	0.137	0.05	0.13
41	Eu	0.0001	0.013	0.0027	0.041	0.027	0.015
42	Gd	0.018	0.078	0.032	0.159	0.037	0.15
43	Tb	0.0026	0.011	0.0045	0.018	0.0061	0.019
44	Dy	0.0088	0.056	0.024	0.092	0.022	0.083
45	Ho	0.0021	0.012	0.0048	0.017	0.004	0.017
46	Er	0.0054	0.026	0.011	0.042	0.015	0.044
47	Tm	0.0009	0.0031	0.0017	0.0056	0.0022	0.0059
48	Yb	0.0046	0.016	0.012	0.032	0.012	0.033
49	Lu	0.001	0.0021	0.0016	0.0045	0.0026	0.0049
50	Hf	0.0038	0.011	0.0077	0.02	0.0064	0.011
51	Ta	0.0033	0.002	0.005	0.0061	0.016	0.024
52	W	0.0093	0.031	0.26	0.062	0.022	0.036
53	Au	0.0001	0.0002	0.0001	0.002	0.0001	0.0001
54	Hg	0.0069	0.0039	0.0055	0.04	0.0062	0.0042
55	Tl	0.039	0.012	0.021	0.012	0.021	0.072
56	Pb	0.15	0.52	0.31	0.78	0.2	0.65
57	Bi	0.007	0.0048	0.0066	0.131	0.0091	0.0066
58	Th	0.023	0.021	0.082	0.084	0.034	0.11
59	U	0.0054	0.0099	0.013	0.021	0.011	0.021

<i>Arnebia guttata</i> (Li)	<i>Myosotis arvensis</i> (My)	<i>Myosotis krylovii</i> (My)	<i>Strophostoma sparsiflorum</i> (My)	<i>Anchusa italica</i> (Bo)	<i>Trachystemon orientalis</i> (Bo)	<i>Brunnera sibirica</i> (Bo)
1.53	0.27	0.37	0.23	0.84	0.064	0.15
0.066	0.011	0.011	0.0054	0.0044	0.013	0.012
36.4	42	19.5	23.7	31.9	30.0	23.7
1349.5	97.0	305.8	185.4	476.1	29.6	64.2
1420.1	2653.0	1767.7	1971.7	2596.2	2874.2	1798.1
1016.8	200.0	606.5	354.7	196.1	98.2	104.2
17737.1	5794.0	495.0	2689.7	2204.9	9091.7	3382.3
566.4	6600.0	6688.8	8155.7	5087.4	2991.8	6000.6
17226.0	47097.0	48526.7	69498.2	52362.7	54684.3	51957.3
31181.8	13590.0	8945.6	10885.5	15681.5	14161.5	5726.4
58.3	8.0	37.8	20.7	9.5	5.2	8.2
3.17	0.7	1.31	0.8	0.63	0.55	0.31
6.53	3.6	2.28	1.63	1.40	1.13	1.0
93.7	50.0	58.2	82.5	32.8	43.0	46.4
1211.9	221.0	451.8	302.1	242.3	175.5	155.6
1.51	0.3	0.28	0.22	0.38	0.48	0.15
3.0	1.6	0.72	1.3	0.87	0.83	2.8
4.0	7.3	10.7	9.98	14.28	6.94	10.3
9.52	17.4	31.1	22.0	49.2	14.1	38.5
0.36	0.086	0.22	0.13	0.075	0.039	0.12
0.061	0.009	0.015	0.0001	0.026	0.011	0.011
4.98	0.29	0.001	0.001	0.0005	0.0005	0.001
0.8	0.12	0.001	0.001	0.85	0.80	0.27
29.3	13.4	47.7	6.23	17.6	27.7	14.8
296.3	50.5	39.8	45.7	73.8	47.0	35.4
0.35	0.086	0.16	0.082	0.052	0.059	0.052
1.05	0.28	0.82	0.49	0.15	0.15	0.19
0.1	0.026	0.093	0.046	0.024	0.015	0.02
1.01	0.802	2.25	12.2	0.52	1.2	0.28
0.014	0.015	0.0048	0.0078	0.0023	0.0036	0.016
0.057	0.019	0.011	0.025	0.012	0.022	0.018
0.067	3.7	0.071	0.074	0.004	0.018	0.53
0.029	0.025	0.18	0.025	0.0077	0.009	0.027
1.68	0.025	0.12	0.028	0.061	0.057	0.019
333.8	149.0	85.5	164.7	56.7	92.1	24.2
0.46	0.35	0.23	0.12	0.074	0.2	0.085
0.99	0.78	0.5	0.24	0.14	0.17	0.12
0.11	0.062	0.057	0.028	0.019	0.023	0.016
0.44	0.22	0.23	0.11	0.056	0.078	0.065
0.091	0.035	0.035	0.023	0.015	0.015	0.013
0.027	0.01	0.011	0.0077	0.0015	0.00026	0.0029
0.12	0.026	0.042	0.0176	0.014	0.016	0.011
0.015	0.003	0.0063	0.0028	0.0019	0.0021	0.002
0.075	0.018	0.036	0.016	0.01	0.011	0.0086
0.013	0.003	0.0066	0.0037	0.0024	0.0017	0.0018
0.034	0.008	0.015	0.0088	0.0046	0.0031	0.0035
0.0047	0.001	0.002	0.0012	0.00092	0.00067	0.0007
0.027	0.007	0.014	0.0090	0.0036	0.0032	0.0035
0.0047	0.001	0.002	0.0014	0.00081	0.00058	0.0008
0.029	0.007	0.019	0.01	0.0053	0.0033	0.0038
0.0079	0.002	0.0082	0.0052	0.0018	0.00092	0.0019
0.021	0.009	0.028	0.067	0.0076	0.021	0.0089
0.0001	0.006	0.0001	0.0007	0.0001	0.0005	0.0016
0.0026	0.007	0.0041	0.011	0.003	0.0053	0.0046
0.035	0.006	0.014	0.01	0.025	0.03	0.0028
0.43	0.33	0.59	0.35	0.11	0.29	0.2
0.0061	0.02	0.0055	0.0082	0.0022	0.0031	0.0083
0.089	0.03	0.066	0.033	0.021	0.01	0.015
0.042	0.008	0.029	0.015	0.0061	0.0041	0.0051

№ п/п	Элемент	<i>Borago officinalis</i> (Bo)	<i>Symphytum asperum</i> (Bo)	<i>Symphytum ibericum</i> (Bo)	<i>Symphytum officinale</i> (Bo)	<i>Nonea rossica</i> (Bo)	<i>Pulmonaria angustifolia</i> (Bo)	<i>Pulmonaria mollis</i> (Bo) обр. А
1	Li	0.41	0.12	0.068	0.17	1.27	0.215	0.77
2	Be	0.0077	0.013	0.009	0.001	0.19	0.001	0.032
3	B	62.3	23.9	18.1	23.2	71.5	28.1	73.6
4	Na	29043.6	44.2	141.4	55.5	98.6	264.0	165.0
5	Mg	1840.3	2293.7	2071.5	2404.8	2829.8	2844.0	1386.0
6	Al	443.3	163.1	145.9	149.0	607.5	400.0	928.0
7	Si	779.4	350.1	276.7	1117.2	2324.4	6700.0	2283.0
8	P	5231.8	4491.0	4536.6	4950.5	3439.0	8984.0	3494.0
9	K	16369.3	42382.6	44442.0	44464.3	47208.8	55654.0	43834.0
10	Ca	14542.5	9457.0	11554.0	11219.0	27145.7	7178.0	6621.0
11	Ti	26.6	10.6	11.9	20.1	22.6	14.0	42.9
12	V	0.93	0.33	0.24	0.28	0.92	0.21	1.04
13	Cr	1.78	1.32	1.41	1.95	1.84	9.92	1.53
14	Mn	108	73.0	37.2	155	227	111.0	27.6
15	Fe	464.0	259.6	234.2	282.7	563.9	213.0	405.0
16	Co	0.42	0.25	0.28	0.36	0.75	0.36	0.41
17	Ni	1.58	1.85	0.8	1.9	1.79	5.5	1.63
18	Cu	6.99	8.99	7.37	10.6	5.26	23.8	11.3
19	Zn	34.4	45.3	22.2	38.5	24.3	797.0	45.3
20	Ga	0.15	0.072	0.068	0.076	0.21	0.064	0.24
21	Ge	0.016	0.017	0.024	0.012	0.018	0.019	0.019
22	As	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.03	1.31
23	Se	0.33	0.17	0.0005	0.29	0.75	0.55	0.57
24	Rb	12.2	8.64	6.35	11.8	12.2	154.0	43.7
25	Sr	69.3	31.1	44.5	35.8	64.0	31.3	29.5
26	Y	0.18	0.074	0.055	0.054	0.49	0.034	0.18
27	Zr	0.55	0.23	0.2	0.24	1.26	0.15	1.04
28	Nb	0.066	0.029	0.027	0.029	0.077	0.028	0.11
29	Mo	1.37	1.29	2.16	1.33	0.81	0.185	0.26
30	Ag	0.0066	0.0039	0.007	0.006	0.011	0.061	0.014
31	Cd	0.071	0.03	0.015	0.065	0.12	0.193	0.028
32	Sn	0.033	0.025	0.041	0.047	0.049	0.704	0.81
33	Sb	0.024	0.016	0.018	0.016	0.017	0.033	0.017
34	Cs	0.071	0.013	0.019	0.016	0.52	0.084	0.5
35	Ba	163.7	34.9	21.6	67.6	239.7	185.3	0.1
36	La	0.31	0.18	0.076	0.1	0.33	0.091	58.4
37	Ce	0.58	0.19	0.15	0.15	0.67	0.25	0.27
38	Pr	0.059	0.025	0.018	0.019	0.077	0.017	0.53
39	Nd	0.22	0.086	0.058	0.068	0.28	0.051	0.062
40	Sm	0.043	0.024	0.012	0.017	0.064	0.0086	0.24
41	Eu	0.0059	0.0021	0.0032	0.0047	0.013	0.0293	0.054
42	Gd	0.048	0.017	0.013	0.016	0.10	0.0074	0.016
43	Tb	0.0063	0.0027	0.002	0.0022	0.014	0.0023	0.053
44	Dy	0.035	0.012	0.011	0.01	0.078	0.0053	0.0069
45	Ho	0.0072	0.0028	0.0023	0.002	0.017	0.0018	0.034
46	Er	0.017	0.0055	0.0043	0.0047	0.045	0.0038	0.008
47	Tm	0.0022	0.00092	0.00092	0.001	0.0064	0.0008	0.02
48	Yb	0.016	0.0045	0.0047	0.004	0.038	0.001	0.0032
49	Lu	0.0027	0.001	0.00068	0.00083	0.0064	0.0008	0.018
50	Hf	0.015	0.0061	0.0053	0.0052	0.034	0.002	0.0035
51	Ta	0.0044	0.0014	0.002	0.0021	0.0048	0.0001	0.028
52	W	0.023	0.015	0.027	0.02	0.028	0.028	0.0097
53	Au	0.0016	0.0004	0.0004	0.0001	0.0007	0.0056	0.01
54	Hg	0.0088	0.0041	0.0064	0.0071	0.0091	0.017	0.0003
55	Tl	0.032	0.006	0.0038	0.0028	0.0092	0.0109	0.0056
56	Pb	0.75	0.35	0.45	0.34	0.42	0.529	0.012
57	Bi	0.01	0.0058	0.0059	0.0043	0.010	7.52	1.04
58	Th	0.056	0.019	0.02	0.02	0.11	0.01	0.0075
59	U	0.022	0.0063	0.0084	0.0057	0.034	0.003	0.078

<i>Pulmonaria mollis</i> (Bo) обр. B	<i>Pulmonaria mollis</i> (Bo) обр. C	<i>Pulmonaria mollis</i> (Bo) обр. D	<i>Pulmonaria obscura</i> (Bo)	<i>Pulmonaria officinalis</i> (Bo)	<i>Pulmonaria rubra</i> (Bo)	<i>Trichodesma incanum</i> (Td)	<i>Caccinia tascranthera</i> (Ca)
0.26	0.12	0.12	0.15	0.36	0.23	0.47	2.1
0.015	0.001	0.001	0.018	0.02	0.001	0.015	0.0039
30.5	38.32	42.1	19.5	27	20.8	18.6	49.4
95.7	71.7	74.9	224.0	76.0	210.0	2324.8	6701.6
1827.0	2267.0	1955.0	1729.0	2369.0	2030.0	1505.5	3095.6
211.0	158.0	102.0	300.0	458.0	500.0	417.1	122.5
2532.0	192.0	2507.0	2000.0	10124.0	4000.0	387.0	594.8
6669.0	6123.0	7758.0	4103.0	2946.0	6280.0	3407.9	2100.8
60535.0	50817.0	60819.0	30629.0	45636.0	46814.0	27896.7	65306.1
6257.0	6115.0	11316.0	5816.0	14589.0	6384.0	23132.7	23968.9
17.5	13.9	7.9	23.3	35.0	42.3	25.6	7.3
0.61	1.1	0.99	0.24	1.4	1.04	0.054	0.21
0.74	4.91	2.96	31.2	2.2	71.1	3.34	1.15
33.3	41.56	34.8	97.0	163.0	129.0	101	47.2
218.0	247.0	123.0	436.0	353.0	633.0	343.2	255.5
0.41	0.18	0.27	0.42	0.35	0.75	0.51	0.40
3.55	2.77	0.8	21.2	2.9	39.4	3.22	0.84
12.9	14.35	12.01	19.6	15.0	20.3	15.9	7.39
29.5	63.19	55.31	137.0	34.0	34.0	48.9	21.8
0.1	0.078	0.054	0.114	0.19	0.185	0.13	0.034
0.013	0.00094	0.0001	0.019	0.034	0.033	0.012	0.0031
0.0005	0.0005	5.4	0.19	1.5	0.44	0.31	0.0005
0.77	1.69	2.57	0.85	1.7	0.87	0.35	0.019
31.0	16.16	11.78	13.9	30.0	28.0	154	9.47
33.5	17.6	15.5	13.6	32.0	17.0	43.9	554.9
0.09	0.053	0.065	0.21	0.27	0.13	0.13	0.049
0.49	0.28	0.21	2.81	0.3	0.85	0.42	0.15
0.039	0.025	0.027	0.067	0.083	0.113	0.077	0.021
0.48	0.17	0.78	0.325	0.15	0.63	0.15	1.12
0.023	0.012	0.0082	0.077	0.015	0.06	0.024	0.0027
0.14	1.51	0.018	0.45	0.55	0.17	0.016	0.047
3.96	0.092	0.067	0.74	13.0	0.63	0.06	0.011
0.015	0.027	0.041	0.075	0.096	0.082	0.045	0.014
0.017	0.038	0.062	0.025	0.076	0.051	2.42	0.044
0.02	0.02	0.01	32.7	178.0	16.4	58.4	170.3
64.5	19.46	161	0.67	0.38	0.47	0.24	0.056
0.13	0.066	0.095	1.15	0.65	0.98	0.46	0.11
0.2	0.13	0.17	0.115	0.076	0.091	0.05	0.012
0.022	0.014	0.02	0.374	0.3	0.303	0.17	0.043
0.087	0.052	0.061	0.049	0.057	0.0326	0.035	0.013
0.024	0.014	0.012	0.015	0.026	0.0097	0.0083	0.0027
0.0021	0.0027	0.0039	0.056	0.056	0.043	0.041	0.011
0.019	0.011	0.013	0.0069	0.008	0.005	0.0054	0.0016
0.0022	0.0022	0.0018	0.039	0.041	0.0273	0.028	0.0082
0.013	0.0069	0.011	0.0064	0.007	0.005	0.0058	0.0019
0.003	0.0016	0.0022	0.0156	0.02	0.0155	0.015	0.0039
0.0088	0.0039	0.0034	0.0024	0.003	0.0023	0.0024	0.00055
0.0012	0.001	0.0014	0.014	0.013	0.0127	0.011	0.0028
0.0073	0.003	0.0061	0.0024	0.002	0.002	0.0021	0.00064
0.0013	0.00047	0.00092	0.065	0.007	0.021	0.0085	0.0037
0.0084	0.0061	0.0069	0.0001	0.006	0.0075	0.004	0.0014
0.0023	0.0021	0.0034	0.06	0.029	0.107	0.03	0.0079
0.034	0.051	0.018	0.0303	0.001	0.089	0.0005	0.0004
0.0022	0.0007	0.017	0.29	0.01	3.5	0.0081	0.011
0.0048	0.0063	0.0049	0.027	0.03	0.0261	0.73	0.015
0.0072	0.01	0.0052	1.31	0.79	2.37	0.63	0.12
0.3	1.76	0.25	10.1	0.007	74.9	0.024	0.0022
0.0046	0.021	0.037	0.045	0.06	0.062	0.07	0.019
0.019	0.015	0.021	0.016	0.02	0.041	0.016	0.0063

№ п/п	Элемент	<i>Cynoglossum creticum</i> (Cy)	<i>Trachelanthus hissaricus</i> (Cy)	<i>Heterocaryum szovitsianum</i> (Het)	<i>Lappula anisacantha</i> (Er, Ech) обр. А	<i>Lappula anisacantha</i> (Er, Ech) обр. В	<i>Lappula anisacantha</i> (Er, Ech) обр. С	<i>Lappula anisacantha</i> (Er, Ech) обр. D
1	Li	2.17	0.13	0.72	0.31	0.59	0.16	2.42
2	Be	0.0088	0.001	0.027	0.03	0.016	0.016	0.0082
3	B	54.5	25.9	53.7	13.7	30	29.1	30.0
4	Na	2787.4	224.6	161.5	90.5	167.0	149.0	44.2
5	Mg	3489.8	2720.6	2232.7	2584.9	2014.0	1918.0	2486.0
6	Al	538.6	195.2	656.3	360.2	663.0	253.0	161.0
7	Si	5681.9	389.9	900.1	691.2	778.0	569.0	1103.0
8	P	2092.4	1409.1	3661.3	2490.9	4976.0	3772.0	4061.0
9	K	37940.6	35998.2	47020.6	25038.4	18694.0	18051.0	21418.0
10	Ca	21739.2	18718.4	32870.2	24817.3	23909.0	16852.0	19619.0
11	Ti	26.2	12.5	31.7	28.3	91.2	9.3	11.7
12	V	1.11	0.25	1.04	1.45	1.25	0.37	0.52
13	Cr	3.84	1.54	2.96	1.53	4.03	3.15	1.91
14	Mn	47.3	53.2	94.9	115.8	77.8	49.9	32.4
15	Fe	525.9	273.7	580.7	452.9	681.0	285.0	275.0
16	Co	0.67	0.85	0.85	0.39	0.79	0.4	0.45
17	Ni	2.29	0.8	2.04	2.98	0.38	0.28	0.25
18	Cu	14.1	7.8	9.33	9.4	8.6	6.49	6.75
19	Zn	72.2	27.9	41.4	24.3	41.5	35.3	43.3
20	Ga	0.15	0.068	0.17	0.15	0.23	0.094	0.069
21	Ge	0.035	0.009	0.015	0.0001	0.021	0.005	0.012
22	As	0.0005	0.0005	3.46	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
23	Se	0.49	0.47	0.38	0.17	0.0005	0.065	0.53
24	Rb	13.0	17.8	3.41	4.77	5.69	30.6	16.9
25	Sr	244.3	44.0	546.8	156.8	98.1	166.0	78.9
26	Y	0.14	0.085	0.2	0.24	0.15	0.044	0.083
27	Zr	0.43	0.15	0.52	0.68	0.71	0.16	0.25
28	Nb	0.062	0.033	0.12	0.082	0.22	0.027	0.043
29	Mo	3.27	0.36	5.58	0.40	1.47	1.12	0.51
30	Ag	0.02	0.018	0.011	0.0015	0.0055	0.00081	0.0022
31	Cd	0.031	0.0084	0.077	0.092	0.014	0.021	0.026
32	Sn	0.030	0.021	0.054	0.026	0.047	0.017	0.011
33	Sb	0.014	0.012	0.02	0.0032	0.0049	0.014	0.014
34	Cs	0.094	0.34	0.063	0.04	0.046	0.073	0.029
35	Ba	31.8	13.4	588.0	494.9	410.0	193.0	109.0
36	La	0.21	0.35	0.29	0.57	0.23	0.11	0.18
37	Ce	0.45	0.17	0.61	0.6	0.47	0.19	0.23
38	Pr	0.048	0.042	0.068	0.1	0.053	0.019	0.03
39	Nd	0.18	0.14	0.25	0.39	0.19	0.074	0.12
40	Sm	0.039	0.023	0.053	0.082	0.046	0.012	0.021
41	Eu	0.01	0.0032	0.021	0.022	0.011	0.00071	0.0001
42	Gd	0.046	0.026	0.059	0.069	0.039	0.013	0.02
43	Tb	0.0061	0.0030	0.0094	0.0085	0.0065	0.002	0.0028
44	Dy	0.028	0.014	0.042	0.038	0.033	0.01	0.014
45	Ho	0.0056	0.0029	0.0079	0.0069	0.0059	0.002	0.0071
46	Er	0.015	0.0059	0.021	0.018	0.015	0.0043	0.007
47	Tm	0.0027	0.001	0.0031	0.0028	0.0019	0.001	0.0016
48	Yb	0.012	0.0059	0.018	0.013	0.015	0.004	0.006
49	Lu	0.0021	0.00089	0.0033	0.003	0.002	0.0005	0.0012
50	Hf	0.012	0.0048	0.014	0.013	0.013	0.0039	0.0046
51	Ta	0.0053	0.0028	0.008	0.0051	0.018	0.0026	0.002
52	W	0.021	0.02	0.13	0.015	0.12	0.022	0.013
53	Au	0.0006	0.001	0.0001	0.0032	0.00061	0.0017	0.0078
54	Hg	0.0064	0.0071	0.0091	0.011	0.0046	0.003	0.0055
55	Tl	0.0091	0.016	0.0085	0.0061	0.012	0.038	0.049
56	Pb	0.32	0.24	0.37	0.18	0.34	0.33	0.21
57	Bi	0.0052	0.0028	0.0061	0.0062	0.0042	0.014	0.0099
58	Th	0.074	0.031	0.13	0.049	0.05	0.016	0.028
59	U	0.046	0.0086	0.034	0.017	0.017	0.0095	0.0095

<i>Lappula consanguinea</i> (Er, Ech) обр. А	<i>Lappula consanguinea</i> (Er, Ech) обр. В	<i>Lappula consanguinea</i> (Er, Ech) обр. С	<i>Lappula intermedia</i> (Er, Ech)	<i>Lappula kulicalonica</i> (Er, Ech)	<i>Lappula microcarpa</i> (Er, Ech)	<i>Lappula patula</i> (Er, Ech)	<i>Lappula squarrosa</i> (Er, Ech) обр. А
0.36	0.15	0.146	0.78	0.39	0.16	0.93	0.24
0.001	0.0041	0.0043	0.032	0.0001	0.018	0.0079	0.019
29.6	29.2	22.2	79.1	44.6	31.3	91.7	34.9
36.9	44.6	153.5	159.0	98.4	826.0	166.3	61.6
1767.8	2615.0	1590.0	3620.7	2275.8	1699.8	3138.1	1536.2
94.0	329.0	184.0	586.4	440.2	209.7	456.5	409.1
2932.0	346.0	3467.0	10135.1	2784.4	471.7	10072.0	926.9
3034.0	2330.0	4103.4	3293.2	1406.1	1278.5	2963.9	3716.3
51110.0	17640.0	53342.3	17141.1	53270.8	11597.1	12610.9	22210.5
13860.1	23463.0	5901.2	18352.8	48705.6	18135.8	36594.6	21326.8
2.9	23.3	13.2	28.1	22.3	15.8	23.0	10.4
0.27	0.97	1.02	1.15	0.36	0.41	0.79	0.32
0.51	3.19	4.44	3.18	2.91	2.05	6.37	1.22
27.8	74.9	63.04	68.0	58.5	41.7	105	103.0
131.6	451.0	235.1	671.0	464.8	341.9	498.2	294.2
0.85	0.74	0.64	0.47	1.08	0.52	0.56	0.48
2.42	1.92	0.93	2.14	0.88	0.87	2.54	2.02
6.56	10.4	12.49	9.32	11.0	6.54	8.81	5.88
22.8	31.1	27.36	21.0	29.0	11.3	32.0	17.7
0.049	0.091	0.14	0.21	0.11	0.083	0.14	0.13
0.0001	0.0039	0.01	0.03	0.009	0.026	0.033	0.016
16.5	0.0005	1.59	0.0005	6.61	0.0005	0.0005	0.001
0.89	0.0005	1.32	0.3	0.78	0.42	0.42	0.6
36.0	3.01	14.54	3.9	8.67	19.5	4.0	11.1
46.8	119.0	32.6	214.8	108.9	36.0	522.5	71.3
0.021	0.092	0.080	0.26	0.12	0.12	0.13	0.08
0.047	0.18	0.393	0.83	0.46	0.24	0.59	0.35
0.0082	0.037	0.037	0.057	0.072	0.031	0.060	0.035
0.47	0.5	0.229	0.96	0.7	0.45	1.03	0.69
0.011	0.0043	0.011	0.012	0.0046	0.0052	0.024	0.048
0.07	0.17	0.117	0.019	0.11	0.16	0.032	0.027
0.7	0.025	1.683	0.075	0.027	0.0075	0.064	2.56
0.039	0.008	0.364	0.60	0.0009	0.011	0.17	0.12
0.043	0.014	0.023	0.21	0.054	0.53	0.064	0.073
18.5	372.0	72.7	221.6	151.8	22.9	357.3	213.6
0.036	0.14	0.142	0.16	0.18	0.13	0.19	0.11
0.018	0.25	0.282	0.34	0.36	0.25	0.39	0.25
0.0052	0.028	0.029	0.039	0.04	0.03	0.050	0.028
0.018	0.12	0.105	0.15	0.14	0.12	0.16	0.12
0.0053	0.017	0.022	0.036	0.030	0.024	0.030	0.024
0.0005	0.0032	0.035	0.016	0.0001	0.0048	0.021	0.0033
0.0044	0.016	0.024	0.042	0.036	0.026	0.034	0.022
0.0007	0.0034	0.003	0.006	0.0049	0.0041	0.0055	0.0031
0.0036	0.016	0.017	0.029	0.024	0.021	0.029	0.017
0.0009	0.0038	0.003	0.006	0.0074	0.0047	0.0054	0.0031
0.0016	0.0082	0.008	0.016	0.012	0.012	0.013	0.0065
0.0002	0.0014	0.001	0.0031	0.0017	0.0022	0.0018	0.0014
0.0006	0.0073	0.007	0.016	0.01	0.01	0.014	0.0078
0.0003	0.0014	0.001	0.0028	0.0017	0.00179	0.0020	0.0014
0.0016	0.0041	0.011	0.02	0.01	0.0076	0.015	0.01
0.012	0.003	0.003	0.0057	0.014	0.002	0.0061	0.001
0.0068	0.02	0.019	0.022	0.034	0.67	0.036	0.02
0.0001	0.009	0.002	0.0001	0.0001	0.0009	0.0007	0.0011
0.0048	0.0053	0.003	0.0041	0.0087	0.01	0.0047	0.0011
0.041	0.0091	0.005	0.0051	0.015	0.028	0.0091	0.021
0.14	0.14	0.620	0.45	0.26	0.55	0.81	0.46
0.0026	0.0045	0.0123	0.005	0.0048	0.0049	0.0096	0.009
0.0013	0.024	0.05	0.049	0.058	0.031	0.062	0.029
0.0027	0.0066	0.01	0.024	0.013	0.01	0.027	0.017

№ п/п	Элемент	<i>Lappula squarrosa</i> (Er, Ech) обр. В	<i>Lappula stricta</i> (Er, Ech)	<i>Rochelia cardiosepala</i> (Ro)	<i>Rochelia leiocarpa</i> (Ro)	<i>Mertensia sibirica</i> (Tr)	<i>Mertensia simplicissima</i> (Tr)
1	Li	0.6	0.85	0.85	0.3	0.24	0.034
2	Be	0.016	0.0041	0.028	0.023	0.013	0.0075
3	B	23.6	82.5	78.7	48.9	37.7	18.8
4	Na	228.0	46.2	308.3	198.0	120.9	52.3
5	Mg	1922.0	2290.0	3372.6	3191.6	1781.2	1795.4
6	Al	836.0	397.0	513.5	790.3	472.6	28.1
7	Si	4743.0	1031.0	9517.7	764.3	7822.6	360.5
8	P	2913.0	3069.0	3832.8	2310.0	5214.6	7349.6
9	K	20255.0	13573.0	39469.4	13142.1	36648.2	60092.8
10	Ca	27982.0	20501.0	30955.4	21586.2	18361.7	14439.0
11	Ti	31.3	20.0	26.2	59.1	26.2	3.3
12	V	1.2	0.92	0.9	1.56	1.22	0.74
13	Cr	3.38	3.42	2.02	4.52	2.50	2.62
14	Mn	97.9	31.8	85.8	44.9	30.6	39.2
15	Fe	601.0	374.0	546.8	864.6	407.0	132.6
16	Co	1.05	0.61	0.38	0.49	0.89	0.19
17	Ni	1.32	0.67	2.04	1.52	2.17	1.5
18	Cu	17.3	8.02	18.2	5.45	6.24	9.84
19	Zn	53.0	20.3	116	23.0	23.4	34.6
20	Ga	0.24	0.15	0.16	0.23	0.12	0.044
21	Ge	0.019	0.027	0.04	0.024	0.014	0.0029
22	As	0.28	0.0005	1.46	0.0005	8.74	0.001
23	Se	0.72	0.22	0.37	0.2	1.32	0.51
24	Rb	11.7	16.0	7.59	1.88	16.1	4.95
25	Sr	62.4	189.0	447.4	90.3	58.8	61.4
26	Y	0.18	0.25	0.17	0.32	0.14	0.015
27	Zr	0.76	0.7	0.66	0.52	0.69	0.08
28	Nb	0.062	0.081	0.083	0.073	0.053	0.0072
29	Mo	1.11	0.33	1.32	0.95	1.21	21.7
30	Ag	0.012	0.0072	0.013	0.010	0.011	0.0055
31	Cd	0.043	0.0069	0.033	0.075	0.012	0.038
32	Sn	0.11	0.077	0.09	0.039	0.085	0.048
33	Sb	0.059	0.028	0.26	0.012	0.025	0.013
34	Cs	0.22	0.14	0.091	0.050	0.068	0.0024
35	Ba	118.0	211.0	145.4	261.1	149.3	51.1
36	La	0.25	0.25	0.25	0.32	0.21	0.029
37	Ce	0.47	0.53	0.54	0.66	0.4	0.03
38	Pr	0.053	0.06	0.06	0.082	0.046	0.0046
39	Nd	0.19	0.22	0.22	0.34	0.18	0.017
40	Sm	0.049	0.05	0.056	0.072	0.034	0.0075
41	Eu	0.008	0.0065	0.013	0.018	0.0053	0.001
42	Gd	0.04	0.055	0.05	0.087	0.038	0.0033
43	Tb	0.0069	0.0077	0.006	0.013	0.005	0.0006
44	Dy	0.038	0.048	0.033	0.061	0.026	0.0029
45	Ho	0.0073	0.0096	0.006	0.012	0.0058	0.0006
46	Er	0.018	0.022	0.015	0.033	0.014	0.0014
47	Tm	0.0029	0.0048	0.003	0.0054	0.002	0.0003
48	Yb	0.017	0.023	0.015	0.028	0.013	0.0009
49	Lu	0.0025	0.0049	0.0023	0.0054	0.0024	0.0001
50	Hf	0.016	0.016	0.016	0.014	0.015	0.0011
51	Ta	0.0072	0.0069	0.006	0.0045	0.0041	0.0004
52	W	0.094	0.055	0.026	0.042	0.029	0.043
53	Au	0.0068	0.0046	0.0002	0.0011	0.0002	0.0001
54	Hg	0.0048	0.0034	0.0061	0.0074	0.0037	0.012
55	Tl	0.02	0.031	0.0155	0.0052	0.028	0.0004
56	Pb	0.67	0.46	0.56	0.79	0.23	0.24
57	Bi	0.0086	0.0069	0.0053	0.011	0.0026	0.0036
58	Th	0.049	0.084	0.112	0.069	0.057	0.0032
59	U	0.016	0.037	0.036	0.028	0.021	0.0009

<i>Trigonotis radicans</i> (Tr)	<i>Brachybotrys paridiformis</i> (Tr)	<i>Anoplocaryum turczaninowii</i> (Er, An)	<i>Amsinckia micrantha</i> (Er, Am)	<i>Amsinckia calycina</i> (Er, Am)	<i>Asperugo procumbens</i> (As)
0.13	0.067	0.52	0.36	0.086	0.36
0.0075	0.001	0.012	0.022	0.001	0.014
24.3	20.1	33.8	33.9	38.3	30.2
60.2	21.4	567.0	423.7	2237.0	494.7
2399.0	1850.2	3563.0	2633.2	2989.0	2364.2
191.3	67.3	2562.0	641.4	57.0	551.5
159.4	66.5	1588.0	5200.6	215.0	7725.8
6496.3	5617.3	3319.0	6010.7	2249.0	6533.6
51606.3	46223.9	25377.0	26993.4	23106.0	27833.3
14216.6	8119.5	29336.0	34893.7	16316.0	19864.0
13.8	4.1	78.7	32.1	5.5	28.4
0.26	0.001	4.2	1.0	0.43	0.92
1.9	1.01	9.95	1.9	1.21	1.63
72.5	50.7	93.4	51.1	37.3	71.4
239.0	104.8	1691.0	524.4	113.0	490.1
0.23	0.071	1.5	1.15	0.6	0.68
1.97	1.08	3.46	0.91	0.25	0.96
6.58	8.06	11.9	5.14	7.46	7.21
19.3	15.3	23	18.2	38.1	29.2
0.078	0.049	0.63	0.17	0.034	0.22
0.0066	0.0001	0.07	0.0	0.01	0.043
0.001	0.001	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
0.39	0.13	0.57	0.54	1.3	0.67
4.76	4.82	3.84	4.94	34.3	5.74
50.3	32.8	143.0	48.9	102.0	34.3
0.06	0.017	0.43	0.2	1.23	0.17
0.23	0.1	0.86	0.72	0.064	0.68
0.02	0.01	0.15	0.057	0.011	0.063
9.29	5.81	1.7	1.07	0.49	3.98
0.014	0.0016	0.0073	0.01	0.16	0.018
0.033	0.0078	0.009	0.013	0.015	0.034
0.073	0.037	0.047	0.027	0.032	0.035
0.02	0.011	0.024	0.011	0.0051	0.012
0.019	0.0071	0.044	0.042	0.027	0.045
83.0	98.5	496.0	13.8	121.0	18.2
0.12	0.038	0.71	0.22	2.14	0.18
0.2	0.066	1.35	0.46	2.69	0.4
0.022	0.0065	0.15	0.053	0.35	0.044
0.082	0.026	0.6	0.2	1.41	0.17
0.015	0.0059	0.1	0.046	0.23	0.036
0.0014	0.0022	0.014	0.0082	0.032	0.0068
0.016	0.0042	0.11	0.055	0.29	0.037
0.002	0.0007	0.015	0.0076	0.036	0.0061
0.012	0.0045	0.079	0.035	0.17	0.031
0.002	0.0011	0.016	0.0082	0.033	0.0067
0.0054	0.0012	0.045	0.021	0.081	0.016
0.001	0.0003	0.0078	0.0028	0.0098	0.0022
0.0059	0.0015	0.046	0.02	0.043	0.017
0.001	0.0003	0.0083	0.0034	0.0053	0.0028
0.0059	0.0027	0.023	0.019	0.00072	0.017
0.0048	0.0006	0.0094	0.0044	0.0007	0.0052
0.046	0.013	0.034	0.021	0.0017	0.031
0.0037	0.0008	0.0001	0.0006	0.01	0.0001
0.0074	0.0033	0.0031	0.0046	0.0001	0.011
0.0042	0.002	0.014	0.0051	0.021	0.0077
0.33	0.11	0.53	0.36	0.081	0.41
0.006	0.002	0.0053	0.0044	0.0034	0.0063
0.022	0.0065	0.19	0.06	0.015	0.05
0.0077	0.0026	0.028	0.022	0.0052	0.024

Сопоставляя выявленные закономерности, можно предположить, что микроэлементный состав растения, в первую очередь, определяется физиологическими процессами, протекающими в растительном организме, которые генетически обусловлены и естественно видоспецифичны. В процессе эволюции генетический аппарат претерпевал изменения и в период преобладания минерального питания потребность растений в микроэлементах была иной,

чем у более молодых в эволюционном плане видов. Более того, по-видимому, элементный состав вида образует некий элементный спектр, который индивидуален для него и может меняться во вполне определенных пределах, что позволяет говорить о существовании элементного гомеостаза растений. Для подтверждения этой гипотезы потребуются дальнейшие исследования и более полный анализ полученных данных.

ВЫВОДЫ

Методом масс-спектропии определена концентрация 59 макро- и микроэлементов в надземной части 55 видов из 34 родов, 13 триб и 3 подсемейств семейства *Boraginaceae*, собранных в различных местах произрастания. Установлена эффективность применения кластерного анализа при изучении элементного состава для целей хемосистематики. Показана

зависимость содержания биогенных и абиогенных элементов от таксономического положения видов, а также, что наибольшее влияние на микроэлементный спектр оказывают эволюционный возраст и филогенетические связи. Высказано предположение о существовании генетически определенного элементного гомеостаза растений.

Благодарности

Выражаем благодарность сотрудникам Химико-аналитического центра “Плазма” (г. Томск) С.Е. Тенякшевой и Н.В. Федюниной за выполнение микро-

элементного анализа образцов и сотрудникам ЦСБС СО РАН И.Н. Шеховцовой, Ю.В. Овчинникову и Е.А. Королюк за помощь при сборе сырья.

ЛИТЕРАТУРА

- Витамины** и микроэлементы в клинической фармакологии / Под ред. В.А. Тутельяна. М.: Палей-М, 2001. 560 с.
- Доброчаева Д.Н.** *Boraginaceae* Juss. – Бурачниковые // Флора европейской части СССР. Л.: Наука, 1981. Т. 5. С. 113–179.
- Загурская Ю.В., Чанкина О.В.** Макро- и микроэлементный состав листьев некоторых видов семейства *Boraginaceae* // Раст. ресурсы. 2010. Вып. 4. С. 134–138.
- Ковальский В.В., Гололобов А.Д.** Методы определения микроэлементов в органах и тканях животных, растений и почвах. М.: Колос, 1969. 272 с.
- Круглов Д.С.** Индивидуальная изменчивость элементного состава надземной части *Pulmonaria mollis* Hornem // Химия раст. сырья. 2010а. № 1. С. 131–136.
- Круглов Д.С.** Исследование элементного состава *Pulmonaria mollis* Wulf ex Hornem флоры Сибири // Материалы Всерос. конф. с междунар. участием “Проблемы изучения и сохранения растительного мира Евразии”. Иркутск, 2010б. С. 740–743.
- Круглов Д.С.** Микроэлементный спектр в хемосистематике рода *Pulmonaria* // Материалы IV Междунар. науч. конф. “Проблемы изучения растительного покрова Сибири”. Томск, 2010в. С. 26–28.
- Круглов Д.С., Ханина М.А.** Микроэлементный состав растений семейства *Boraginaceae* флоры Западной Сибири // Успехи соврем. естествознания. 2006а. № 5. С. 71–73.
- Круглов Д.С., Ханина М.А.** Параметрический подход к классификации лекарственных растений, применяемых в фитотерапии анемий // Материалы X Междунар. съезда “Фитофарм 2006”. СПб., 2006б. С. 193–197.
- Никифорова О.Д.** Палиноморфологическое исследование рода *Myosotis* (*Boraginaceae*) и некоторых родственных ему родов // Бот. журн. 2002. Т. 87, № 3. С. 44–53.
- Никифорова О.Д.** Особенности ультраструктуры поверхности эремов у представителей родов *Myosotis*, *Trigonotis* и *Trigonocaryum* (*Boraginaceae*) // Бот. журн. 2006. Т. 91, № 9. С. 77–81.
- Никифорова О.Д.** Морфология и структура поверхности эремов видов рода *Mertensia* (*Boraginaceae*) // Бот. журн. 2008а. Т. 93, № 11. С. 1749–1759.
- Никифорова О.Д.** Морфология пыльцевых зерен некоторых родов из триб *Trigonotideae* и *Myosotideae* (*Boraginaceae*) // Раст. мир Азиатской России. 2008б. № 1. С. 37–51.
- Ноздрюхина Л.Г., Гринкевич Н.И.** Нарушение микроэлементного обмена и пути его коррекции. М.: Наука, 1980. 280 с.
- Овчинникова С.В.** Палиноморфология рода *Craniospermium* (*Boraginaceae*) // Бот. журн. 2001. Т. 86, № 12. С. 44–50.
- Овчинникова С.В.** Система подтрибы *Echinosperrminae* (триба *Eritrichieae*, *Boraginaceae*) // Бот. журн. 2005. Т. 90, № 8. С. 1153–1172.
- Овчинникова С.В.** Особенности ультраструктуры поверхности плодов у видов подтрибы *Echinosperrminae* (триба *Eritrichieae*, *Boraginaceae*) // Бот. журн. 2006а. Т. 91, № 10. С. 105–116.
- Овчинникова С.В.** Палиноморфология представителей трибы *Eritrichieae* (*Boraginaceae*) // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии: Материалы V Междунар. науч.-практ. конф. Барнаул, 2006б. С. 173–180.

- Овчинникова С.В.** Система трибы *Eritrichieae* (*Boraginaceae*) // Бот. журн. 2007а. Т. 92, № 5. С. 751–759.
- Овчинникова С.В.** Структура поверхности плодов у некоторых видов семейства *Boraginaceae* (трибы *Eritrichieae*, *Asperugeae*, *Echiochileae*, *Lithospermeae*) // Бот. журн. 2007б. Т. 92, № 3. С. 365–377.
- Овчинникова С.В.** Ультраскульптура плодов некоторых родов из триб *Eritrichieae* (подтриба *Eritrichiinae*) и *Trigonotideae* (*Boraginaceae*) // Бот. журн. 2007в. Т. 92, № 2. С. 228–240.
- Овчинникова С.В.** Значение признаков поверхности плода для систематики и филогении семейства *Boraginaceae* s. str. // Карпология и репродуктивная биология высших растений: Материалы Всерос. конф. с междунар. участием, посвященной памяти профессора А.П. Меликяна. М., 2011а. С. 158–166.
- Овчинникова С.В.** Установление филогенетических связей трибы *Eritrichieae* с другими трибами семейства *Boraginaceae* с использованием данных палиноморфологии // Проблемы современной палинологии: Материалы XIII Рос. палинол. конф., посвященной памяти выдающихся российских палинологов Е.Д. Заклинской и Л.В. Ровниной. Сыктывкар, 2011б. Т. 1. С. 42–46.
- Определение** содержания химических элементов в диагностируемых биосубстратах, препаратах и биологически активных добавок методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной аргонной плазмой: Метод. указания МУК 4.1.1483-03: М.: ФЦ ГСЭН МЗ РФ, 2003. 36 с.
- Попов М.Г.** Бурачниковые – *Boraginaceae* G. Don // Флора СССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1953. Т. 19. С. 97–691.
- Hartigan J.A.** Clustering algorithms. N.Y.: John Wiley & Sons Inc., 1975. 366 p.
- Mengel K., Kirkby E.A.** Principles of Plant Nutrition. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849 p.
- Ovchinnikova S.V.** On the position of the tribe *Eritrichieae* in the *Boraginaceae* system // Bot. Serbica. 2009. V. 33, N 2. P. 141–146.