

КАРЕЛЬСКИЙ ФИЛИАЛ АКАДЕМИИ НАУК СССР
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ

На правах рукописи

ЕГОРОВА Галина Федоровна

МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В РАСТЕНИЯХ
ЕСТЕСТВЕННЫХ ЛУГОВ КАРЕЛИИ

Специальность 03. 00. 05 - Ботаника

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Петрозаводск 1980

Диссертационная работа выполнена в Институте биологии
Карельского филиала АН СССР.

Научные руководители: заслуженный деятель науки РСФСР и
Карельской АССР, доктор биологичес-
ких наук, профессор М. А. ТОЙККА
кандидат биологических наук, старший
научный сотрудник А. И. МИХКИЕВ

Официальные оппоненты: доктор биологических наук В. Д. ЛОПАТИН,
кандидат биологических наук, доцент
А. С. ЛАНТРАТОВА.

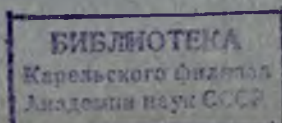
Ведущее учреждение: ордена Трудового Красного Знамени Бота-
нический институт им. В. Л. Комарова
АН СССР.

Защита состоится "12" февраля 1980 г. в 15 часов
на заседании специализированного совета К. 003. 27. 01 по
присуждению ученой степени кандидата биологических наук при
Карельском филиале АН СССР по адресу: 185610, Петрозаводск,
Пушкинская, 11.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Карельс-
кого филиала АН СССР.

Автореферат разослан "11" января 1980 г.

Ученый секретарь специализированного совета,
кандидат биологических наук, старший научный
сотрудник Т. В. Ивантер



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Многочисленными исследованиями советских и зарубежных ученых установлена важная роль микроэлементов в жизнедеятельности растений, животных и человека. Микроэлементы являются необходимой составной частью многих биологически активных соединений – белков, ферментов, гормонов, витаминов, пигментов. При их недостатке или избытке нарушается обмен веществ в организме, снижается урожайность растений, продуктивность животных, нередко появляются различные эндемические заболевания.

Определение уровня содержания микроэлементов и закономерностей их распределения в промежуточных звеньях единой миграционной цепи химических элементов – почвах, растениях – является частью биогеохимического изучения территории и в конечном счете служит целям ветеринарии и здравоохранения.

Территория Карельской АССР в биогеохимическом аспекте исследована недостаточно. К настоящему времени имеется значительный материал по содержанию микроэлементов в почвообразующих породах, почвах, водах, в некоторой степени охарактеризованы растения сеяных лугов (Микроэлементы в Карелии, 1973; Микроэлементы в биосфере Карелии и сопредельных районов, 1976). Флора естественных лугов почти не изучена в этом отношении. Между тем, в Карелии природные сенокосы и пастбища составляют более 2/3 всех сельскохозяйственных угодий и служат важным источником корма для животных. Недостаток данных о содержании микроэлементов в растениях является серьезным препятствием на пути организации рационального кормления сельскохозяйственных животных и балансирования их рационов по микроэлементам.

Установление уровня содержания химических элементов в растениях стало в настоящее время актуальной задачей также в связи с ростом техногенного загрязнения окружающей природной среды.

Цель и задачи исследования. Целью настоящего исследования явилось установление закономерностей содержания микроэлементов в растениях природных лугов в таксономическом и экологическом аспектах и оценка на этой основе территории Карельской АССР как части биогеохимической зоны. В задачи исследования входило:

выявить оптимальные условия количественного спектрального определения микроэлементов в золе растений и почвах; проверить гипотезу о статистическом законе распределения аналитических данных по концентрации микроэлементов в растениях семейства, класса; установить содержание микроэлементов (Cu, Mn, B, Mo, Co, Zn, Ni, V, Cr, Pb, Sr, Ba, Fe, Al, Ti) в растениях отдельных видов, семейств, классов в условиях зональных и специфических почв Карелии; определить уровень накопления микроэлементов у растений, различающихся по экологии; оценить величину соотношения микроэлементов в растениях; найти связь между содержанием микроэлементов в растениях и почвах; изучить влияние минеральных удобрений на накопление микроэлементов растениями естественных лугов.

Научная новизна работы. Впервые изучено значительное число видов и семейств (131 вид, 33 семейства) луговой флоры Карелии по содержанию микроэлементов. Показаны различия в накоплении элементов отдельными таксонами растений. Обнаружено, что концентрирование микроэлементов растениями связано с их принадлежностью к определенному экологическому ряду. Установлена математическая связь между содержанием ряда элементов в растениях и почвах. Прослежено влияние минеральных удобрений (NPK + Ca) на поступление микроэлементов в растения. Приводятся результаты, позволяющие считать, что зольные кларки железа, алюминия, титана, принятые в настоящее время, являются завышенными.

Проверена и подтверждена гипотеза о нормальном законе распределения аналитических данных, характеризующих растения одного семейства и класса.

Практическая ценность. Полученные данные могут быть использованы специалистами сельского хозяйства при нормировании рационов животных по микроэлементам.

Результаты исследований позволили рекомендовать сельскохозяйственному производству применение медных, молибденовых и борных микроудобрений на дерново-подзолистых и торфяных почвах Карелии и подкормку сельскохозяйственных животных соединениями меди и кобальта.

Выяснена возможность избыточного поступления бора и стронция в организм животных в приморских районах, а также стронция

при применении минеральных удобрений на лугах. Даны рекомендации по устранению вредного воздействия избытка микроэлементов.

Приведенные результаты по содержанию микроэлементов в растениях могут служить также поисковым целям для исключения "привычных" концентраторов из числа видов растений, перспективных при фитогеохимическом методе поисков полезных ископаемых.

Разработан и внедрен новый вариант методики количественного спектрального определения микроэлементов в золе растений и почве.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на научных конференциях биологов Карелии, Петрозаводск, 1972, 1974; на II Всесоюзном симпозиуме по методам определения микроэлементов в природных объектах, Самарканд, 1973; на УП симпозиуме "Биологические проблемы Севера", Петрозаводск, 1976; на УШ Всесоюзной конференции "Биологическая роль микроэлементов и их применение в сельском хозяйстве и медицине", Ивано-Франковск, 1978.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 работ.

Объем и структура работы. Текст диссертации изложен на 132 машинописных страницах. Работа включает 63 таблицы и II рисунков, состоит из введения, 5 глав, заключения, рекомендаций, списка литературы, включающего 244 названия, и приложений.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в Кондопожском, Медвежьегорском и Беломорском районах Карельской АССР на естественных лугах, развитых на типичных для зоны (дерново-подзолистых и торфяных) и специфических (шунгитовых и аллювиально-маршевых на морских глинах) почвах.

Сбор материала проводился в фазу полного цветения - начала плодоношения растений. Отбиралась надземная фитомасса на высоте 3-5 см от поверхности почвы и пробы почв из верхнего 20-сантиметрового слоя. Всего собрано и проанализировано 600 образцов растений и 115 почвенных образцов.

Микроэлементы в растениях и почвах определены количественным спектральным методом в нашей модификации. Использованы спектрографы ИСП-30 и ДФС-13. Установлен валовой химический состав золы луговых растений Карелии и приготовлены искусственные эталоны. Изучено влияние различных буферов на условия испарения и возбуждения микропримесей. Показано, что более других требованию чувствительности, универсальности и воспроизводимости метода отвечает угольный порошок. Проверены варианты метода "сухого" озоления растений без спирта и при смачивании проб спиртом. Оказалось возможным отказаться от использования спирта, что способствовало сокращению времени озоления в 1.5-2 раза. Сопоставлены данные спектрального, химического и атомно-абсорбционного методов анализа. Для ряда трудноопределяемых элементов достигнут следующий предел обнаружения на ДФС-13 (% в золе): Zn - 0.005; Mo, Co - 0.0001; Ni, Cr, V - 0.0004; Pb - 0.001. Ошибка воспроизводимости при оптимальной концентрации составила 10-20%. Растворимые формы микроэлементов в почвах определялись по методу Ринькиса (1963).

Проверена и подтверждена гипотеза о нормальном статистическом законе распределения совокупности данных по содержанию микроэлементов в растениях одного класса и семейства, что позволило в дальнейшем провести корреляционный и регрессионный анализы.

В работе приняты следующие обозначения: n - количество проб; $\bar{M}$ - среднее арифметическое содержание элемента; m - ошибка среднего; P - уровень значимости; t_d - показатель существенности различия средних; в уравнениях регрессии Y_1 , Y_2 - содержание элемента в однодольных и двудольных растениях соответственно, X_1 - валовое содержание элемента в почвах, X_2 - растворимое количество элемента в почвах (мг на 1 кг сухого вещества),

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Микроэлементы в почвах лугов

Изучался верхний корнеобитаемый слой почв. Исследованные почвы естественных лугов Карелии существенно различаются по

общему содержанию микроэлементов (табл. I). Низкие концентрации микроэлементов характерны для торфяных почв. Гумусовый горизонт дерново-подзолистых почв также обеднен микроэлементами (Cu, Mn, Mo, B, Sr, Ni, Cr, V) по сравнению с почвами таежной зоны в целом или почвенным кларком. Высокое валовое количество ряда элементов (Cu, Mn, Zn, Mo, B, Co, Ni, V) установлено в шунгитовых почвах. Аллювиально-маршевые почвы на морских глинах обогащены бором, медью, молибденом, кобальтом. Содержание других микроэлементов находится на уровне среднезонального и кларкового (Zn, Ba, Ni, Cr, V, Pb) или несколько ниже (Mn, Sr).

По содержанию растворимых форм микроэлементов наиболее обеспеченными являются почвы на шунгитах. Аллювиально-маршевые почвы обогащены молибденом, хорошо обеспечены медью и цинком, средне - марганцем. Дерново-подзолистые почвы хорошо обеспечены цинком, средне - медью, слабо - молибденом; количество подвижного марганца в них очень высокое. Торфяные почвы близки к дерново-подзолистым по концентрации подвижных форм меди, марганца, цинка в единице массы почвы. Однако, в расчете на единицу объема органические почвы оказываются в несколько раз беднее по сравнению с минеральными как по общему содержанию, так и по количеству подвижных форм микроэлементов.

Особенности накопления микроэлементов дугowymi растениями

Содержание микроэлементов в наиболее типичных видах дугowych растений Карелии приведено в табл. 2, средние данные для семейств и классов - в табл. 3, характеристика экологических групп растений по содержанию микроэлементов - табл. 4.

М е дь. Содержание меди в растениях естественных дуг Карелии варьирует в довольно широких пределах. Пониженная концентрация меди обнаружена в злаковых и гвоздичных - 3.5 - 3.6 мг/кг, повышенная - в сложноцветных и норичниковых - 7.6 - 8.5 мг/кг. Растения остальных семейств содержат в среднем 5-6 мг меди на 1 кг сухого вещества. К этой группе относится и важное в хозяйственном отношении семейство бобовых. В целом двудольные растения накапливают меди больше, чем однодольные ($P > 0.95$). По сравнению с эвтрофами олиго- и мезотрофы кон-

Таблица I

Содержание микроэлементов в почвах (мг на I кг сухого вещества)

Элемент	Серново-подзолистая почва n=3		Торфяная почва n=4		Шунгитовая почва n=2		Аллювиально-марше- вая почва на морс- ких глинах n=3	
	Валовое содержа- ние	Подвижные формы	Валовое со- держание	Подвижные формы	Валовое содержа- ние	Подвижные формы	Валовое содержа- ние	Подвижные формы
Cu	13,5	1,5	12,3 (2,9)	1,6 (0,38)	63	6,1	38	2,0
Mn	433	135	141 (34)	122 (29)	1006	180	368	20,0
Zn	20,7	1,7	6,2 (1,5)	1,4 (0,34)	181	4,0	30	2,5
Mo	<0,9	0,15	<0,3 (<0,07)	0,27 (0,065)	12,2	1,1	5,1	0,63
B	27,6	-	8,4 (2,0)	-	60	-	47	-
Co	6,5	-	1,20 (0,29)	-	13,5	-	10,5	-
Sr	247	-	68 (16,3)	-	30	-	161	-
Ba	603	-	145 (35)	-	460	-	498	-
Ni	19	-	7,3 (1,8)	-	102	-	44	-
Cr	46	-	9,5 (2,3)	-	74	-	87	-
V	63	-	11,1 (2,7)	-	207	-	86	-
Pb	15,6	-	11,0 (2,6)	-	21,8	-	23	-

Примечание. В скобках приведено содержание элементов в расчете на 1000 см³

Таблица 2

Содержание микроэлементов в распространенных видах растений естественных лугов
Карелии на дерново-подзолистых почвах (мг на 1 кг сухого вещества)

Вид	n	Cu	Mn	B	Zn	Mo	Ni	Pb	Sr	Ba
<i>Phleum pratense</i> L.	9	3,5	98	4,2	25	0,38	1,0	0,46	18	30
<i>Festuca pratensis</i> Huds.	8	3,6	112	5,8	26	0,89	1,6	0,43	30	33
<i>Festuca rubra</i> L.	7	3,8	184	4,3	31	0,66	1,4	0,44	15	35
<i>Agrostis tenuis</i> Sibth.	12	5,3	435	3,9	48	1,2	1,3	0,95	18	41
<i>Anthoxanthum odoratum</i> L.	8	2,5	305	2,7	26	0,76	1,1	0,81	15	28
<i>Deschampsia caespitosa</i> (L.) P.B.	9	5,1	117	3,3	38	0,73	2,7	1,0	23	49
<i>Trifolium pratense</i> L.	11	7,4	74	12,3	36	0,51	2,5	0,66	67	66
<i>Lathyrus pratensis</i> L.	11	6,0	71	10,1	40	0,29	2,2	0,72	67	64
<i>Vicia cracca</i> L.	10	4,4	111	8,9	65	0,49	1,8	1,1	128	74
<i>Ranunculus acer</i> L.	10	5,6	189	12,0	46	0,50	2,4	1,4	86	210
<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Max.	7	8,0	406	10,8	45	0,51	3,6	1,3	33	106
<i>Potentilla erecta</i> (L.) Rausch.	4	7,8	378	16,1	52	0,60	3,8	2,7	83	108
<i>Alchemilla</i> L. (разные виды)	7	4,1	194	14,8	48	0,50	1,3	0,46	100	89
<i>Hypericum maculatum</i> Grantz.	8	8,2	259	21,5	47	0,77	2,9	0,39	40	45
<i>Anthriscus silvestris</i> L.	6	5,0	140	21,6	28	0,56	1,8	0,70	170	98
<i>Knautia arvensis</i> (L.) Coult.	8	4,7	49	18,1	54	0,55	2,9	0,41	54	68
<i>Campanula glomerata</i> L.	8	5,0	87	19,2	44	0,68	1,6	0,38	62	136
<i>Achillea millefolium</i> L.	9	8,9	141	17,0	39	1,0	1,9	1,2	87	72
<i>Leucanthemum vulgare</i> (L.) Lam.	10	7,7	110	17,0	47	0,42	2,5	0,69	36	38
<i>Leontodon autumnalis</i> L.	4	6,6	146	12,6	35	0,44	5,6	1,8	82	39
<i>Taraxacum officinale</i> Web.	7	9,6	79	20,1	34	1,9	1,3	1,0	89	63

Таблица 3

Содержание микроэлементов в растениях природных лугов Карелии на разных почвах, мг/кг

Класс, семейство	n	Cu	Mn	B	Zn	Mo	Ni	Pb	Sr	Ba
Дерново-подзолистая почва										
Однодольные	93	4,0	217	3,9	32	0,81	1,5	0,72	21	40
Злаковые	81	3,6	159	3,6	32	0,76	1,4	0,68	18	37
Двудольные	216	6,1	171	15,4	41	0,65	2,0	1,1	69	94
Бобовые	40	6,0	84	10,8	46	0,55	1,9	0,91	78	64
Гвоздичные	7	3,5	163	10,7	46	0,39	1,7	1,3	45	125
Львовые	17	5,0	179	14,8	40	0,49	2,3	1,5	116	216
Розоцветные	27	5,7	351	14,7	46	0,54	2,6	1,4	57	105
Зонтичные	17	5,9	113	21,6	28	0,73	2,5	0,61	115	102
Норичниковые	10	8,5	346	17,5	63	0,59	4,5	0,90	44	85
Колокольчиковые	12	5,1	94	18,3	45	0,61	1,8	0,37	50	125
Сложноцветные	50	7,6	114	15,0	34	0,86	2,6	1,2	63	63
Торфяная почва										
Однодольные	54	6,4	316	3,3	35	0,52	1,3	1,3	25	30
Двудольные	66	8,0	366	14,3	44	0,33	3,0	2,0	101	131
Аллювиально-маршевая почва										
Однодольные	20	4,7	264	17,0	32	1,0	1,1	1,4	75	30
Двудольные	40	8,2	226	33,2	49	0,84	2,5	1,5	173	46
Шунгитовая почва										
Однодольные	14	7,1	74	5,2	33	1,7	4,0	1,1	14	27
Двудольные	52	11,1	108	19,0	44	1,6	7,7	1,6	31	64

Таблица 4

Характеристика экологических групп растений по
содержанию микроэлементов, мг/кг
(почва дерново-подзолистая)

Эле- мен- ты	Экологический тип	Однодольные			Двудольные		
		n	M+m	t _d	n	M+m	t _d
Cu	Олиго- и мезо- трофы	44	4,4±0,3	1,7	31	6,9±0,5	1,0
	Эвтрофы	38	3,8±0,2		82	6,3±0,3	
B	Олиго- и мезотрофы	43	3,5±0,3	-1,6	31	17,3±0,2	7,8
	Эвтрофы	37	4,4±0,5		81	15,1±0,2	
Mn	Олиго- и мезотрофы	44	285±21	7,0	30	278±25	6,3
	Эвтрофы	38	123±10		81	109±7	
Zn	Олиго- и мезотрофы	41	37,2±2,4	4,0	23	42,5±2,5	0,8
	Эвтрофы	37	24,8±2,0		76	40,5±1,4	
Mo	Олиго- и мезотрофы	35	1,19±0,15	2,6	20	0,65±0,10	-1,8
	Эвтрофы	37	0,72±0,11		66	0,86±0,07	
Ni	Олиго-и мезотрофы	41	1,86±0,19	2,7	30	2,56±0,28	0,7
	Эвтрофы	37	1,27±0,15		77	2,34±0,15	
Pb	Олиго- и мезотрофы	27	0,80±0,12	3,4	22	1,23±0,18	1,4
	Эвтрофы	17	0,39±0,04		41	0,98±0,05	
Sr	Олиго- и мезотрофы	28	19,6±1,9	-2,1	23	37,9±3,2	-8,2
	Эвтрофы	17	28,5±3,7		46	85,8±4,8	
Ba	Олиго- и мезотрофы	41	40,0±2,3	2,9	28	81,4±6,2	1,3
	Эвтрофы	37	31,3±2,0		76	71,8±3,6	

центрируют медь в несколько большем количестве.

Прослеживается зависимость между содержанием меди в растениях и почвах. Связь описывается следующими уравнениями регрессии:

$$y_1 = 3.8 + 0.044x_1 \quad n = 13 \quad (1)$$

$$y_2 = 5.4 + 0.060x_1 \quad (2)$$

$$y_1 = 3.7 + 0.45x_2 \quad n = 17 \quad (3)$$

$$y_2 = 5.9 + 0.47x_2 \quad (4)$$

Коэффициенты регрессии отличны от нуля при $P \geq 0.95$.

Сравнение полученных данных с интервалом нормального содержания меди в корме показывает, что на дерново-подзолистых почвах в условиях Карелии концентрация меди в растениях соответствует нижнему уровню нормы, на торфяных и аллювиально-маршевых - несколько выше, на шунгитовых почвах - близка к верхнему пределу оптимального содержания.

Б о р. Очень большое различие по содержанию бора наблюдается между растениями, относящимися к разным классам. В двудольных по сравнению с однодольными бора содержится значительно больше. Среди распространенных видов двудольных растений повышенным содержанием бора отличаются *Hypericum maculatum* Crantz., *Anthriscus silvestris* L., *Campanula glomerata* L., *Taraxacum officinale* Web.

Почвенно-экологические условия существенно влияют на накопление бора растениями. Высокая концентрация бора выявлена в растениях приморских лугов, что связано, видимо, не только с повышенным его содержанием в почвах, но и с постоянным подтоплением территории морскими водами, обогащенными бором и другими легкоподвижными элементами по сравнению с грунтовыми материковыми водами (Перельман, 1966). Возможно, что растения приморских лугов частично обогащаются бором также за счет поступления его из атмосферы (Виноградов, 1950).

Зависимость между накоплением бора растениями и его валовым количеством в дерново-подзолистых и шунгитовых почвах выражается математически:

$$y_1 = 3.4. + 0.011x_1 \quad n = 10 \quad (5)$$

$$y_2 = 13.6 + 0.017x_1 \quad (6)$$

Коэффициенты регрессии отличны от нуля при $P = 0.73$ в уравне-

нии (5) и при $P = 0.77$ - в (6).

В целом луговая растительность на территории Карелии, кроме приморской полосы, содержит нормальное (не избыточное для животных) количество бора. В двудольных растениях с приморских лугов его содержание превышает верхнюю границу нормы (> 20 мг/кг). Тот факт, однако, что основу травостоя приморских лугов составляют осоки, содержание бора в которых соответствует нормальному уровню, а сено с этих лугов не является единственным кормом, позволяет считать, что опасность заболевания животных от избытка бора невелика.

М а р г а н е ц. Концентрация марганца в растениях разного систематического положения варьирует очень значительно. Виды одного и того же семейства в одинаковых условиях накапливают его в количестве, различающемся в 10-15 раз. Среди одностольных растений много марганца обнаружено в *Nardus stricta* L., *Agrostis tenuis* Sibth., *A. canina* L., *Anthoxanthum odoratum* L., *Calamagrostis neglecta* (Ehrh.) P.B., *Carex* L. (все виды). У двудольных растений лугов высоким содержанием марганца отличаются *Melampyrum silvaticum* L., *Rumex acetosa* L., *Filipendula ulmaria* (L.) Max., *Ranunculus repens* L., *Potentilla erecta* (L.) Rausch. Очень много марганца накапливают виды из семейства брусничных, что неоднократно отмечалось в литературе и, вероятно, является их хемосистематическим признаком.

Различия между классами растений по содержанию марганца небольшие. В олиго- и мезотрофах по сравнению с эвтрофами концентрация марганца выше в 2.5-3 раза.

Между растениями и почвами обнаружена обратно пропорциональная зависимость по содержанию марганца, что свидетельствует о первостепенном влиянии почвенных условий на его доступность растениям. Поступление сравнительно небольшого количества марганца в растения при больших общих запасах элемента в шунгитовых почвах объясняется, видимо, высоким окислительно-восстановительным потенциалом почв, при котором марганец переводится в труднорастворимую форму. Напротив, очень большое количество марганца в растениях торфянисто-болотистых лугов связано с низким значением pH и повышенной влажностью

торфяных почв. Оба эти фактора увеличивают растворимость элемента и, следовательно, доступность его растениям (Пейве, Ринькис, 1962; Катальмов, 1965; Ринькис, 1972).

Количество марганца в растениях на торфяных почвах превосходит верхнюю границу нормы потребностей сельскохозяйственных животных в 5-10 раз, на аллювиально-маршевых и дерново-подзолистых - в 3.5-6 раз.

Ц и н к. Содержание цинка в растениях различных местообитаний изменяется весьма незначительно и не коррелирует с его валовым количеством в почвах. Известно, что растворимость соединений цинка увеличивается с понижением pH (Пейве, 1960; Ринькис, 1972; Калмет, 1975). Изученные луговые почвы имеют различную реакцию среды: близкую к нейтральной - шунгитовые и кислую и слабокислую - остальные. Этим, возможно, и объясняется в какой-то мере тот факт, что, несмотря на чрезвычайно большие валовые запасы цинка в шунгитовых почвах, растения накапливают его практически в таких же количествах как в других почвенных условиях.

Несколько более тесная связь выявлена между концентрацией цинка в растениях и растворимым в KCl количеством цинка в почвах. Зависимость выражена в виде уравнений регрессии следующего вида:

$$y_1 = 28 + 2.5x_2 \quad (7)$$

$$n = 17$$

$$y_2 = 38 + 2.9x_2 \quad (8)$$

В уравнении (7) коэффициент связи не равен нулю при $P = 0.63$, в уравнении (8) - при $P = 0.73$.

Различия по содержанию цинка, обусловленные биологическими особенностями растений, выражены более отчетливо, чем различия, связанные с геохимическими факторами среды. В двудольных растениях по сравнению с однодольными концентрация цинка достоверно выше. К числу видов, накапливающих повышенное количество цинка, относятся *Agrostis canina* L., *Viola palustris* L., *Comarum palustre* L., *Dianthus deltoideus* L., *Melampyrum silvaticum* L., *Vicia cracca* L.

Растения, приуроченные обычно к бедным или обедненным почвам, проявляют более высокую накопительную способность.

Содержание цинка в луговых растениях на территории Каре-

лии в целом вдвое превышает средний уровень по зоне и соответствует верхней границе нормы потребностей сельскохозяйственных животных.

М о л и б д е н. Уровень содержания молибдена в растениях существенно зависит от растворимых количеств элемента в почвах. Математически эта зависимость выражается в виде следующих уравнений:

$$y_1 = 0.63 + 0.74x_2 \quad n = 17 \quad (9)$$

$$y_2 = 0.43 + 0.84x_2 \quad (10)$$

Коэффициенты регрессии в обоих уравнениях отличны от нуля при высоком уровне значимости ($P > 0.95$).

Между однодольными и двудольными растениями достоверной разницы по содержанию молибдена не обнаружено. Среди семейств растений низким уровнем концентрации молибдена отличаются брусничные и гвоздичные, повышенным - злаковые, зонтичные, сложноцветные. К числу видов, накапливающих значительное количество молибдена, относятся *Luzula multiflora* (Ehrh.) Lej., *Taraxacum officinale* Web., *Achillea millefolium* L.

У однодольных растений больше молибдена накапливают олиго- и мезотрофы, у двудольных - эвтрофы.

Сравнение злаковых и бобовых по содержанию молибдена показало, что в условиях обедненных молибденом дерново-подзолистых почв содержание его ниже в надземной массе бобовых, что, видимо, связано с дефицитом этого элемента в почвах и задержкой значительной его части в корневых клубеньках бобовых растений. На обогащенных молибденом шунгитовых почвах концентрация молибдена в бобовых выше, чем в злаковых.

Количество молибдена в луговых растениях на торфяных почвах соответствует нижней границе нормы потребностей животных, на дерново-подзолистых - несколько выше нижнего уровня. На шунгитовых и аллювиально-маршевых почвах растительность накапливает достаточное количество молибдена.

К о б а л ь т. Концентрация кобальта в дикорастущих травянистых растениях Карелии чрезвычайно низка - < 0.05 мг/кг. Только на шунгитовых почвах в растениях накапливается заметное количество кобальта - 0.22 мг/кг. В двудольных растениях содержание кобальта значительно выше, чем в однодольных.

Сопоставление полученных данных с интервалом нормального содержания кобальта в корме показало, что растения естественных лугов Карелии, в первую очередь однодольные, обеднены кобальтом, особенно в условиях зональных почв, что требует от специалистов сельского хозяйства проведения специальных мероприятий, направленных на ликвидацию недостатка этого важного элемента в корме.

Н и к е л ь. Уровень содержания никеля в луговых растениях Карелии коррелирует с валовыми запасами элемента в почвах. Эта связь выражается в виде уравнений:

$$y_1 = 0.82 + 0.026x_1 \quad n = 13 \quad (II)$$

$$y_2 = 1.0 + 0.062x_1 \quad (I2)$$

Коэффициенты регрессии отличны от нуля при $P > 0.95$.

В одинаковых почвенных условиях концентрация никеля в растениях определяется их систематической принадлежностью. Двудольные накапливают никель в достоверно большем количестве, чем однодольные. Высоким содержанием никеля выделяются норичниковые.

Виды, приспособленные к обитанию на бедных почвах, в равных с другими условиях отличаются повышенным содержанием никеля.

На всех почвах, кроме шунгитовых, растения накапливают нормальное количество никеля. В условиях шунгитовых почв содержание никеля в растениях значительно превышает нормальный уровень, но избыток его, по-видимому, не вызывает токсического действия благодаря повышенной концентрации меди, антагониста никеля.

С в и н е ц. По содержанию свинца луговые растения Карелии на разных почвах различаются весьма незначительно. Наибольшее количество свинца растения поглощают из торфяных, наименьшее — из дерново-подзолистых почв, что в среднем составляет 1,6 и 1,1 мг/кг.

В двудольных растениях по сравнению с однодольными свинца обнаружено больше. Среди семейств растений наибольшая концентрация свинца выявлена в лютиковых и розоцветных, наименьшая — в мареновых и колокольчиковых. К видам, отличающимся повышенным содержанием свинца, относятся *Potentilla erecta* (L.) Rausch., *Galium mollugo* L.

Группы растений, различающиеся по экологии, содержат неодинаковое количество свинца. В олиго- и мезотрофах его содержится больше, чем в эвтрофах.

В целом содержание свинца в растениях природных лугов Карелии можно признать не превышающим норму.

Стронций. Содержание стронция в растениях существенно меняется в зависимости от их местообитания. Наибольшая концентрация элемента обнаружена в растениях приморских лугов, что обусловлено, вероятно, подтоплением прибрежной территории морскими водами, относительно обогащенными стронцием (Перельман, 1966; Якушевская, 1973). С другой стороны, в присутствии хлоридов щелочных металлов, например, NaCl , возможен переход соединений стронция, содержащихся в почвах, в легкорастворимый SrCl_2 (Rankama, Sahama, 1950). Небольшое количество стронция накапливают растения на пунгитовых почвах, что соответствует невысокому содержанию этого элемента в почвах.

Двудольные концентрируют стронций в количестве, в 2-4 раза превышающем его содержание в однодольных. Низкой концентрационной способностью выделяются брусничные, повышенной - лютиковые и зонтичные. Достоверно выше содержание элемента в эвтрофах, чем в олиго- и мезотрофах.

Обнаружено обогащение стронцием растений естественных лугов при поверхностном внесении извести и минеральных удобрений. Вероятно, это связано с тем, что стронций в виде примеси входит в состав извести как элемент, близкий к кальцию по химическим свойствам и сопотствующий ему в природных условиях. Сравнение с зольным кларком (Малюга, 1963), который может, по-видимому, являться показателем нормы, выявило, что в травянистых растениях Карелии на всех почвах, кроме пунгитовых, накапливается большое количество стронция. Содержание стронция в растениях с пунгитовых почв близко к кларковому.

Поскольку вредные последствия избытка стронция связывают с нарушением баланса кальция и стронция в организме (Войнар, 1960; Ковальский, 1974), прослежено изменение соотношения этих элементов в растениях различных местообитаний. Отношение $\text{Ca}:\text{Sr}$ в растениях на неудобряемых дерново-подзолистых и торфяных почвах Карелии близко к нормальному. В растениях приморских лугов

и лугов на зональных почвах при внесении $\text{Ca}+\text{KPK}$ отношение $\text{Ca}:\text{Sr}$ вдвое ниже нормы. Следовательно, при преобладании в корме сельскохозяйственных животных растительной массы с приморских лугов необходимо для поддержания баланса кальция в организме ввести подкормку животных этим элементом, в 2 раза увеличив его содержание в рационе.

Барий. В среднем содержание бария в двудольных растениях выше по сравнению с однодольными. Наиболее обогащены этим элементом растения из семейства лютиковых. Повышенное количество бария найдено также в колокольчиковых и мареновых. Различия между видами в пределах семейств сравнительно небольшие, но в пределах класса очень значительные: от 14.5 (*Dianthus deltoides* L.) до 210 мг/кг (*Ranunculus acer* L.). Максимальное количество бария установлено в *Galium mollugo* L. - 294 мг/кг (на торфяной почве). Много бария концентрирует также *Trollius europaeus* L., *Potentilla anserina* L. Эвтрофы накапливают меньшее количество элемента чем олиго- и мезотрофы.

Содержание бария в луговых растениях Карелии в среднем соответствует зольному кларку, хотя в отдельных видах концентрация его значительно выше.

Хром, ванадий. В условиях дерново-подзолистых, торфяных и аллювиально-маршевых почв Карелии растения накапливают небольшое количество ванадия и хрома - <0.2-0.3 мг/кг. В растениях с шунгитовых почв содержание обоих элементов выше: Cr - 0.65, V - 1.6 мг/кг. Двудольные растения накапливают хром и ванадий в количестве, в 2-3 раза превышающем их содержание в однодольных. Различия между семействами одного и того же класса, а также между видами в пределах семейств небольшие.

Большая доступность хрома и ванадия на шунгитовых почвах обусловлена, видимо, высоким окислительным потенциалом этих почв, что способствует переходу малоподвижных Cr^{3+} и V^{3+} в легкоподвижные Cr^{6+} и V^{5+} (Виноградов, 1954). Низкий окислительный потенциал, характерный для остальных почв, объясняет невысокий уровень накопления этих элементов растениями.

Содержание хрома и ванадия в травянистых растениях на шунгитовых почвах соответствует кларковому, что является определенной гарантией нормы. На остальной территории Карелии

луговая растительность обеднена этими элементами.

Железо, алюминий, титан. Железо, алюминий, титан относятся к числу наиболее распространенных в природе элементов. Поэтому даже незначительное загрязнение растений почвой или атмосферной пылью приводит к существенному увеличению концентраций этих элементов в зольном остатке.

При рассмотрении полученных аналитических данных прослежено различие по содержанию железа, алюминия, титана в зависимости от местоположения участков сбора образцов. В зольном остатке растений, отобранных на участках вблизи дорог, эти элементы обнаружены в значительно больших концентрациях (в 6-8 раз), чем в растениях с лугов, удаленных от дорог.

Железо, алюминий, титан в сырой золе растений попарно коррелируют с высокой степенью достоверности, а отношение $Al : Ti : Fe$ близко к таковому в почвах. Поскольку по химическим свойствам изучаемые элементы не являются аналогами, что может быть предпосылкой их синергизма при поступлении в растение, выявленная высокая степень корреляции позволяет предположить наличие общего их источника, внешнего по отношению к растению.

Содержание железа, алюминия и титана в зольном остатке промытых растений значительно уменьшалось (концентрация других элементов не изменялась), однако обнаруживаемые количества, по-прежнему, тесно коррелировали, их отношения соответствовали подобным отношениям в почвах. Видимо, и зола промытых растений содержала некоторое количество минеральных примесей, которые оказывали влияние на конечный аналитический результат. Действительно, содержание в зольном остатке, например, 0,5-1,0% примесей, или $\sim 0,1$ мг на 1 г сырой растительной массы, обуславливает заметные концентрации железа, алюминия, титана: Fe , $Al \sim n \cdot 10^{-2}$, $Ti \sim n \cdot 10^{-3}$ в золе.

Полученные опытные и расчетные данные дают основание предположить, что установленные к настоящему времени зольные кларки железа, алюминия, титана значительно завышены.

Соотношения микроэлементов в растениях

Растения естественных лугов Карелии значительно отличаются по соотношениям микроэлементов от растений черноземной зоны,

принимаемой за эталон (табл.5). Особенно большое расхождение с нормой обнаружено у растений торфянисто-болотистых лугов. Отношение $Mn : Mo$ в I7 раз, а $Mn : Co$ в II раз выше эталонного. Большие отличия выявлены также для растений на дерново-подзолистых и аллювиально-маршевых почвах. Наиболее близки к растениям степной черноземной зоны по соотношению большинства биологически важных микроэлементов растения с шунгитовых почв.

Таблица 5

Соотношение микроэлементов в растениях природных лугов

Отношение элементов	Карельская АССР				Черноземная зона СССР
	Почва				
	Дерново- подзолис- тая	Торфя- ная	Аллювиаль- но-марше- вая	Шунги- товая	Ковальский, Раецкая, Гра- чева, 1971
Cu:Mn	0.036	0.020	0.030	0.083	0.12
Cu:Mo	7,1	18	7.0	6.1	6.7
Cu:Zn	0.14	0.18	0.17	0.20	0.26
Cu:Co	54	34	33	42	19
Mn:Mo	196	919	238	74	54
Mn:Zn	3.8	8.9	5.9	2.4	2.1
Mn:Co	1490	1730	1120	505	156
Mo:Zn	0.020	0.010	0.025	0.032	0.038
Mo:Co	7.6	1.8	4.7	6.8	2.9
Zn:Co	90	190	191	214	75

Обнаруженные диспропорции в содержании микроэлементов в кормовых растениях могут вызывать или усиливать различные эндемические заболевания животных и человека. Так, резкий избыток марганца и недостаток кобальта в луговой растительности, характерный для всей территории Карельской АССР, за исключением районов распространения шунгитовых почв, при недостатке йода, обнаруживаемом повсеместно в таежной зоне (Ковальский, 1962), может способствовать распространению зубной эндемии. Недостаток кобальта в сочетании с недостатком меди, что также характерно для растений на территории Карельской АССР, может быть причиной авитаминоза B_{12} и анемии у животных.

По-видимому, только в районах распространения шунгитовых почв животные получают с местным растительным кормом необходимое количество микроэлементов и в приблизительно нормальных соотношениях.

Влияние минеральных удобрений на содержание микроэлементов в растениях естественных лугов

В ходе исследований прослежено влияние многолетнего внесения минеральных удобрений на содержание микроэлементов в растениях (табл.6). Выявлено, что на удобренных лугах растения накапливают повышенное количество стронция, что, видимо, связано с наличием этого элемента в удобрениях в легкодоступной для растений форме. Содержание остальных микроэлементов несколько выше в контроле или практически одинаково в обоих вариантах опыта. Некоторое понижение концентрации микроэлементов в растениях при применении на лугах минеральных удобрений объясняется, по-видимому, нарушением баланса микроэлементов в результате их интенсивного выноса с урожаем.

Таблица 6

Влияние минеральных удобрений на содержание микроэлементов в растениях природных лугов Карелии

Вариант	Cu	Mn	Mo	B	Zn	Ni	Pb	Sr	Ba
мг/кг в сухом веществе									
Однодольные на дерново-подзолистых почвах									
Контроль	3.6	225	1.0	3.9	38	1.8	0.84	20	39
НРК+Са	4.0	215	0.67	3.2	32	0.94	0.77	60	34
Двудольные на дерново-подзолистых почвах									
Контроль	5.8	128	0.66	15.3	46	2.5	1.1	82	92
НРК+Са	6.4	124	0.56	13.0	37	1.6	0.86	175	85
Однодольные на торфяных почвах									
Контроль	7.2	327	0.50	5.0	46	1.0	1.4	34	49
НРК+Са	5.6	358	0.30	3.9	40	0.81	1.1	57	54
Двудольные на торфяных почвах									
Контроль	9.7	324	0.32	17.1	43	2.3	1.4	92	129
НРК+Са	9.2	376	0.26	13.4	44	1.8	1.5	176	136

Однако, следует указать, что многолетнее интенсивное использование луговой почвы не привело все же к ее существенному обеднению микроэлементами. Это становится понятным, если принять во внимание многообразие путей воздействия на почву минеральных удобрений, а также тот факт, что в биологическом круговороте веществ принимает участие не более 1% от запасов растворимых в неагрессивных вытяжках форм микроэлементов в почвах (Зкушевская, 1973).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан и применен вариант методики количественного спектрального определения микроэлементов в золе растений и почвах.

Показано, что совокупности аналитических данных, характеризующие семейство и класс по содержанию микроэлементов, подчиняются нормальному статистическому закону, что позволило использовать методы математической статистики при их обработке.

Установлено содержание 15 микроэлементов: Cu, Mn, B, Mo, Zn, Co, Ni, Pb, Sr, Ba, Cr, V, Fe, Al, Ti, - в растениях и почвах природных лугов Карелии. Показано, что уровень содержания микроэлементов в растениях определяется их валовыми запасами в почвах и условиями среды, влияющими на доступность элементов растениям. Связь между содержанием ряда микроэлементов (Cu, Zn, Mo, B, Ni) в почвах и растениях выражена в виде линейных уравнений регрессии.

Выявлены различия в способности отдельных видов и групп растений накапливать микроэлементы. При этом геохимические условия среды определяют уровень содержания микроэлементов в растениях - фитогеохимический фон, а природа вида обуславливает склонность к накоплению химического элемента на общем фитогеохимическом фоне. Двукольные растения по сравнению с одноколными усваивают большее количество микроэлементов (в расчете на сухое вещество).

Содержание микроэлементов в растениях связано с их принадлежностью к определенному экологическому ряду. В одинаковых почвенно-экологических условиях олиго- и мезотрофы накапливают большее количество микроэлементов, чем эвтрофы.

Применение минеральных удобрений на естественных лугах не приводит к достоверному изменению концентраций микроэлементов в растениях. Значимое увеличение ($P \geq 0.95$) получено только по содержанию стронция, что, вероятно, связано с наличием его в удобрениях.

Растительность естественных лугов Карелии как корм для сельскохозяйственных животных в различной степени соответствует требованиям норм по содержанию микроэлементов. На дерново-подзолистых и торфяных почвах растения обеднены кобальтом, медью, молибденом, бором, ванадием, чрезмерно обогащены марганцем. Оптимальное количество микроэлементов накапливают растения на шунгитовых почвах. В растениях приморских лугов содержится избыточное количество бора, стронция, марганца, недостаточное - кобальта.

По соотношениям микроэлементов наиболее близки к оптимуму растения на шунгитовых почвах.

Таким образом, Карельская АССР в биогеохимическом отношении сочетает в себе основные признаки нечерноземной зоны: пониженное содержание в почвах и растениях меди, кобальта, бора, молибдена, относительно повышенное содержание в растениях цинка, стронция, высокое - марганца. В пределах изученной территории необходимо особо выделить 1) район распространения шунгитовых почв с оптимальной концентрацией в растениях многих биологически важных микроэлементов (Cu , Mo , B , Zn , Mn , V), 2) побережье Белого моря с высоким содержанием в луговой растительности бора и стронция.

Результаты проведенных исследований позволили рекомендовать сельскохозяйственному производству Карелии применение медных, молибденовых и борных микроудобрений на зональных почвах, проведение известкования луговых почв, введение систематических подкормок сельскохозяйственных животных кобальтом и медью, а при использовании в кормлении растительной массы с приморских лугов - медью и кальцием. Кроме того, рекомендовано организовать контроль за содержанием стронция в извести, поступающей в хозяйства республики. Указанные мероприятия направлены на улучшение баланса микроэлементов в рационах, что позволит успешнее профилактировать заболевания обмена веществ у животных, добиваться более высокой продуктивности и повышения качества продукции.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Видовые различия кормовых растений по содержанию микроэлементов.- В сб.: Научная конференция биологов Карелии, посвященная 50-летию образования СССР. Тезисы докл. Петрозаводск, 1972, с.92-93 (в соавторстве с А.И.Михкиевым).
2. К методике количественного спектрального определения микроэлементов в кормовых растениях Карельской АССР.- В сб.: Второй Всесоюзный симпозиум по методам определения микроэлементов в природных объектах. Тезисы докл. Самарканд, 1973, с.133-134.
3. К методике количественного спектрального определения микроэлементов в золе растений. - В сб.: Научная конференция биологов Карелии, посвященная 250-летию Академии наук СССР. Тезисы докл. Петрозаводск, 1974, с. 91-93.
4. Некоторые особенности геохимической экологии луговых растений Карелии.- В сб.: Биологические проблемы Севера. Растениеводство. Тезисы докл. Петрозаводск, 1976, с.61-62.
5. Количественное спектральное определение Mo, Co, Ni, Cr, V, Zn в золе растений на спектрографе ДФС-13. - В сб.: Современные методы определения микроэлементов. Тезисы докл. Всесоюзн. симпозиума. Кишинев, 1977, с.73.
6. Микроэлементы в растениях и почвах природных лугов Карельской АССР.- В сб.: Биологическая роль микроэлементов и их применение в сельском хозяйстве и медицине. Материалы VIII Всесоюзн. конф. Ивано — Франковск, 1978, с.188-189 (в соавторстве с А.И.Михкиевым).
7. Закономерности содержания микроэлементов (Cu, Mn, Zn, V, Mo, Co) в растениях природных лугов Карелии. Петрозаводск, 1978, 24 с. (Рукопись деп. в ВИНИТИ 17.08.78 № 2822-78 Деп.).
8. Содержание микроэлементов (Sr, Ba, Ni, Cr, Pb) в луговых растениях и почвах Карельской АССР. Петрозаводск, 1978. 17 с. (Рукопись деп. в ВИНИТИ 17.08.78 № 2823-78 Деп.).

Сорокин