

УДК 598.8:623.454.836

МУЛЬТИЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ КОСТНОЙ ТКАНИ  
ТЕТЕРЕВИНЫХ СРЕДНЕГО УРАЛА

© 2003 г. В. С. Безель, Е. А. Бельский

Институт экологии растений и животных УрО РАН  
620144 Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202

Поступила в редакцию 15.08.2001 г.

**Ключевые слова:** микроэлементы, мультиэлементный анализ, кларк, литосфера, тетеревиные, костные ткани.

Химические элементы, распределенные в объектах окружающей среды, – важнейшее природное явление, отражающее интенсивность глобальных и региональных биогеохимических циклов. Известно, что природные системы и живые организмы более чем на 99% образованы из 15–20 основных химических элементов. Остальные, определяемые В.И. Вернадским (1954) как рассеянные элементы, несмотря на малые концентрации, обладают высокой геохимической активностью, а масштабы их обмена в природных средах огромны.

В соответствии с учением В.И. Вернадского о биосферной функции живого вещества следует говорить о нескольких уровнях биогеохимических циклов. В их основе лежит пул элементов в литосфере, пространственное и концентрационное своеобразие которого отражают кларки (средние концентрации) этих элементов. Участие живого вещества в биогеохимических циклах начинается с уровня продуцентов. Растения, подобно геохимическому насосу (выражение В.М. Гольдшмидта, 1938), “перекачивают” макро- и микроэлементы из почвы в биологический круговорот. Отметим, что элементный состав этого уровня не аналогичен составу почвенного кларка. Имеет место своеобразный “геохимический отбор” (по В.В. Добровольскому, 1983), определяемый неодинаковой биологической доступностью форм химических соединений в почвах, спецификой зональных типов растительности, избирательностью процессов поглощения химических элементов и их соединений.

Подобный отбор происходит и при включении в биогеохимические циклы следующего уровня – первичных консументов. Этим определяются особенности спектра химических элементов у животных-фитофагов, не совпадающего с почвенными и растительными кларками. Вместе с тем особенности химического состава растений и животных дают своего рода биогеохимический портрет отдельных природных и техногенных экосистем, отражающий их биогеохимическое своеоб-

разие (Лебедева, 1999). В отличие от основных химических компонентов биоты рассеянные элементы динамично изменяют свои концентрации в живых организмах в ответ на изменение внешних условий. Это явление, оперативно отражая своеобразие отдельных ландшафтов и уровень антропогенной нагрузки, может быть использовано для мониторинга состояния природных экосистем (Второва, Маркерт, 1995; Лебедева, 1999).

К настоящему времени накоплен значительный фактический материал по содержанию основных, главным образом физиологически значимых, химических элементов в различных видах растительности (см., например, Второва, Маркерт, 1995; Белоногова и др., 2000), меньше сведений о накоплении рассеянных элементов животными консументами (Лебедева, 1999). Причем список анализируемых элементов далеко не исчерпывает все многообразие их химического состава. Как правило, речь идет о неполном геохимическом портрете уровня экосистем, что и побудило нас провести максимально полный анализ элементного состава тканей птиц семейства тетеревиных.

В качестве объекта исследования на первом этапе использовали пять экземпляров тетеревиных (Aves: Galliformes, Tetraonidae), добытых в районах Среднего Урала, удаленных от источников загрязнения. Это виды с ограниченной территорией обитания, поэтому они наиболее адекватно отражают биогеохимический обмен элементов, характерный для фоновых территорий региона. В анализе использована костная ткань (цевки) трех глухарей *Tetrao urogallus*, тетерева *Lyrurus tetrix* и рябчика *Tetrastes bonasia*. Измерение концентраций 71 химического элемента (рис. 1) проведено на оборудовании “Plasma Quad. V.G. Instrument” в условиях горячей плазмы при температуре 10000°C в Институте геохимии рудных месторождений.

Результаты анализа позволяют условно разделить все измеренные элементы на несколько групп (см. таблицу). Максимальными концентра-

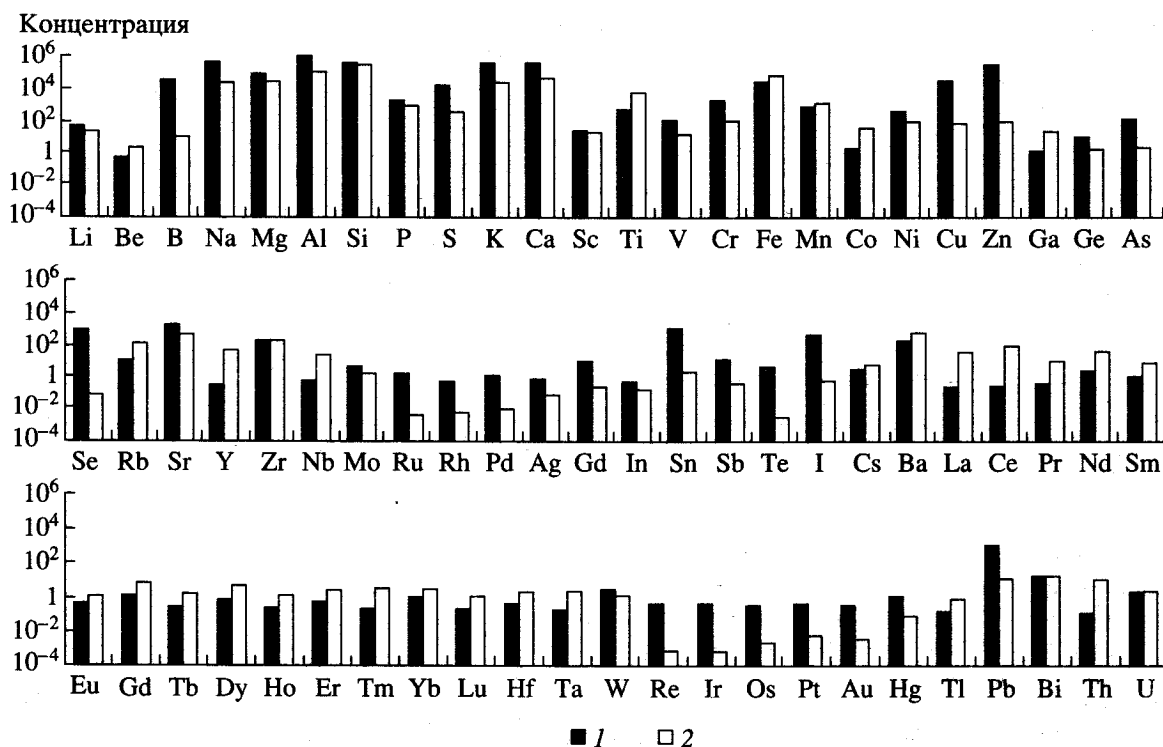


Рис. 1. Концентрации химических элементов в скелетах тетеревиных птиц (1, ppb) и кларки элементов в земной коре (2, ppm; Иванов, 1994).

циями (свыше 1000 ppb) обладают 15 элементов, отнесенных к физиологически значимым макро- и микроэлементам, минимальными концентрациями (менее 1 ppb) – 26. Это, как правило, рассеянные элементы, физиологическая роль которых в настоящее время не установлена. Вероятно, отсутствуют какие-либо механизмы, регулирующие их поступления в живые организмы. Скорее всего, именно данная группа является наиболее лабильной частью спектра химических элементов, в максимальной мере отражающей элементный состав окружающей среды. Это положение можно проиллюстрировать на примере содержания группы лантаноидов в живых организмах. Показано (Второва, Маркерт, 1995), что их концентрации в растениях зависят от их уровней в материнских породах. При этом содержание элементов с четными атомными номерами превышает таковое у элементов с нечетными порядковыми номерами. Накопление лантаноидов в костной ткани тетеревиных аналогично “пилообразному” распределению у растений и хорошо коррелирует с кларками этих элементов в литосфере (рис. 2). Следовательно, своеобразие концентрационных спектров, присущее литосфере, сохраняется, по-видимому, на всем протяжении потоков вещества по трофическим цепям природных экосистем.

Существует определенная корреляция между содержанием элементов в почвах и тканях живых организмов. Сказанное иллюстрирует зависи-

мость химического состава костной ткани птиц от содержания элементов в литосфере (по В.В. Иванову, 1994), представленная на рис. 3. При отображении данных в логарифмическом масштабе видна линейная корреляция макро- и микроэлементного состава костных тканей птиц с кларками химических элементов в земной коре. Это явление отражает важные процессы формирования мультиэлементных циклов, включающих несколько трофических уровней природных экосистем.

Географическое своеобразие биогеохимических циклов выявляется при сравнении фоновых

Содержание макро- и микроэлементов в костной ткани тетеревиных Среднего Урала, мкг/кг (ppb)

Содержание элементов в костной ткани	Элементы
Более 1000	Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Fe, Cu, Zn, B, S, P, Sr, Cr, Sn
От 100 до 1000	Ti, Mn, Ni, Se, Zr, I, Ba, Pb
От 10 до 100	Li, Sc, V, As, Bi
От 1 до 10	Ga, Ge, Rb, Mo, Ru, Pd, Cd, Sb, Te, Cs, Nd, Gd, Yb, W, Hg, U, Co
От 0.1 до 1	Be, Y, Nb, Ag, In, La, Ce, Pr, Sm, Eu, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu, Hf, Ta, Re, Ir, Os, Pt, Au, Tl, Th, Rh

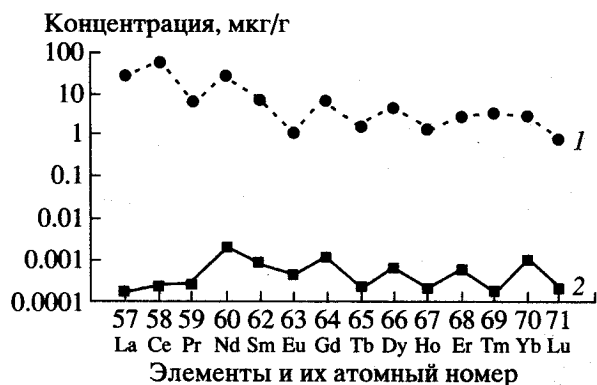


Рис. 2. Содержание лантаноидов в костной ткани тетеревиных Среднего Урала: 1 – кларки элементов в литосфере; 2 – концентрации элементов в скелете.

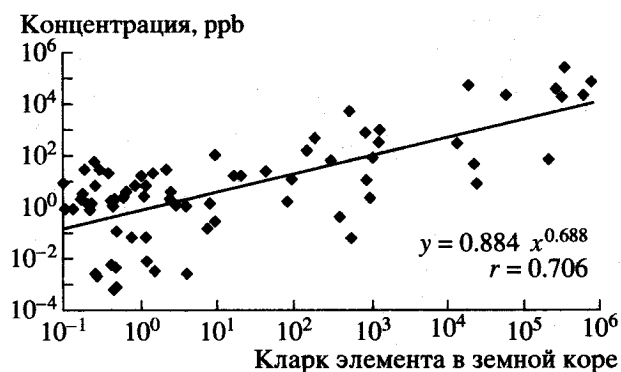


Рис. 3. Зависимость концентрации химических элементов в скелетах тетеревиных птиц от кларков элементов в литосфере.

уровней химических элементов в живых организмах в различных регионах. Мы сопоставили наши данные по Среднему Уралу с имеющимися в литературе по другим территориям европейской части России и странам Восточной Европы, Северному Кавказу, Монголии (Лебедева, 1999). Оказалось, что содержание большинства металлов (Sr, Fe, Mn, Co, Ni, Pb, Mo) и мышьяка в костной ткани птиц Среднего Урала находится вблизи нижних пределов их концентраций, характерных для глобального фона. Лишь определенное нами содержание алюминия, меди и цинка превышает их уровни в других фоновых районах Евразии.

Приводимые данные по химическому составу костной ткани птиц могут быть использованы для изучения закономерностей биогеохимических циклов, а также в качестве основы при проведении региональных исследований по биомониторингу окружающей среды.

Работа поддержана грантом РФФИ № 99-05-64587.

Авторы благодарны Д.А. Криволицкому за инициативу проведения настоящего исследова-

ния, а также И.П. Гутаренко и О.В. Юланову за помощь в сборе материала.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Белоголова Г.А., Матяшенко Г.В., Зарипов Р.Х. Биогеохимическая характеристика природных и техногенных экосистем Южного Прибайкалья // *Экология*. 2000. № 4. С. 263–269.
- Вернадский В.И. Заметки о распределении химических элементов в земной коре. Избр. соч. Т. 1. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 401 с.
- Второва В.Н., Маркерт Б. Мультиэлементный анализ растений лесных экосистем Восточной Европы // *Изв. РАН. Сер. биол.* 1995. № 4. С. 447–454.
- Гольдшмидт В.М. Сборник статей по геохимии редких элементов. М.–Л.: ГОСНТИ, 1938. 243 с.
- Добровольский В.В. Геохимия микроэлементов. Глобальное рассеяние. М.: Мысль, 1983. 271 с.
- Иванов В.В. Геохимическая экология элементов. Справочник. Книга 1. М.: Недра, 1994. 305 с.
- Лебедева Н.В. Экотоксикология и биогеохимия географических популяций птиц. М.: Наука, 1999. 199 с.