

УДК: 577.47 + 519.283

Взаимосвязь элементного состава живых организмов, атмосферных аэрозолей, компонентов питания

К. П. КУЦЕНОГИЙ, Т. И. САВЧЕНКО, О. В. ЧАНКИНА, С. А. ПОПОВА

*Институт химической кинетики и горения Сибирского отделения РАН,
ул. Институтская, 3, Новосибирск 630090 (Россия)**E-mail: savchenko@kinetics.nsc.ru*

(Поступила 21.07.09; после доработки 20.10.10)

Аннотация

На региональном уровне установлена тесная корреляционная связь между концентрацией элементов в крови человека, тканях мелких млекопитающих (печени, костных тканях), диких животных (волосах, костных тканях) и их концентрацией в атмосферных аэрозолях и в компонентах пищи. Сделано предположение о значительной роли атмосферных аэрозолей в глобальных циклах химических элементов. В исследовании использован элементный состав крови тундровых ненцев, чукчей, эскимосов и русских жителей Новосибирска.

Ключевые слова: элементный состав, уравнение регрессии, популяции, ткани человека и животных, атмосферные аэрозоли, рацион питания

ВВЕДЕНИЕ

Согласно современным представлениям, процесс функционирования и адаптации организма человека и животных к условиям среды обитания в наибольшей степени определяется биогеохимическими факторами, обеспечением необходимыми питательными веществами, включая макро- и микроэлементы. Благодаря исследованиям, проведенным в последние годы, установлено, что химические элементы составляют целостную систему, нарушение которой вызывает широкий спектр изменений в состоянии здоровья, как на индивидуальном, так и на популяционном уровне. Для нормальной жизнедеятельности человека необходимо наличие оптимальных концентраций макро- и микроэлементов, поскольку они связаны функционально с ферментами, гормонами и витаминами – веществами, катализирующими и регулируемыми биохимические и физиологические процессы. Исследования в этом направлении интенсивно ведутся на протяжении многих десятилетий [1–8], однако данные о количественной связи химических элементов в

тканях организмов с объектами окружающей среды (например, с аэрозолями) немногочисленны и фрагментарны.

В 1983 г. был опубликован обзор о связи между многоэлементным составом крови жителей Англии и составом аэрозолей, собранных на территории этого государства; аналогичные зависимости исследованы в индустриально развитых странах Европы и США [4]. Важный вывод этой публикации с позиций глобальных биогеохимических циклов следовых элементов в биосфере при оценке их влияния на здоровье населения крупных промышленных центров заключается в том, что наиболее значимым фактором являются атмосферные аэрозоли (АА). В обзоре подчеркивалась необходимость изучения аналогичных закономерностей и в других регионах мира. Такой подход продиктован также идеями основателя биогеохимии В. И. Вернадского о всеобщей универсальности биогеохимических циклов, определяющих обмен химических элементов между организмами и окружающей их средой на поверхности Земли [9, 10].

Атмосферные аэрозоли играют важную роль во многих атмосферных процессах и су-

щественно влияют на качество окружающей среды, климат, химию и физику атмосферы. Начиная с 1991 г. в рамках проекта “Аэрозоли Сибири” ведутся комплексные исследования по изучению свойств АА и их роли в различных биогеохимических циклах биосферы. Одной из задач данного проекта было также выяснение воздействия АА различной природы на атмосферные процессы, здоровье людей и животный мир. Результаты этих исследований изложены в монографии [11].

Ранее нами был исследован многоэлементный состав тканей организма и некоторых продуктов питания тундровых ненцев, чукчей, эскимосов [12–16]. Выбор регионов проживания коренных жителей Севера определялся особенностями их существования и питания. Формирование северных популяций происходило в наиболее неблагоприятных для человека экобиологических условиях, поскольку районы их проживания служат типичным примером природной экстремальной зоны. Северные народности тщательно поддерживают и берегут традиционный тип питания, в основном употребляя оленину, различные виды рыб и ягоды.

В биогеохимических циклах химических элементов роли животных уделяется большое внимание, однако вопросы взаимосвязи элементного состава тканей животных, рационов питания и АА освещаются недостаточно. Это касается как мелких млекопитающих, так и копытных животных [17–21]. Многоэлементный состав разных тканей (печени, тушки, костной ткани) двух видов мелких млекопитающих, относящихся к разным трофическим группам (рыжая полевка и средняя бурозубка) Среднего Урала, описан в работах [22–24]; анализ элементного состава шерсти и костных тканей диких копытных животных Горного Алтая (марала, зубра, косули, горного козла, дикого кабана) выполнен в работах [12, 25].

В данной работе исследовалась количественная взаимосвязь между элементным составом крови человека, тканей животных с АА и компонентами пищевой цепи. Для оценки степени воздействия окружающей среды на живые организмы использовались кровь коренных жителей Севера и Новосибирска, печень и костная ткань мелких млекопитающих, обитающих на Среднем Урале, а также шерсть

и костная ткань копытных животных Горного Алтая.

Цель данной работы – выявление взаимосвязи химических элементов, содержащихся в живых организмах, в компонентах питания и в АА в пределах определенной географической среды.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для проведения исследований использовались данные многоэлементного состава образцов цельной крови представителей разных популяций, у которых отсутствовали тяжелые хронические болезни, в частности тундровых ненцев (42 пробы), чукчей (102 пробы), эскимосов (44 пробы), русских жителей Новосибирска (51 проба), а также продуктов их питания (мышечные ткани оленя и рыб, ягоды). Образцы периферической крови собраны в экспедициях, организованных ИХКГ, ИЦиГ СО РАН и ГУ НИИ терапии СО РАМН. Возраст исследуемых жителей составлял 25–60 лет. Для изучения взаимосвязи тканей животных с объектами окружающей среды использовались данные элементного состава образцов печени (20 проб), костной ткани (30 проб), тушки (6 проб), содержимого желудка (20 проб) мелких млекопитающих, обитающих на территории Среднего Урала; шерсти и костных тканей (30 проб) диких животных (маралов, зубров, горного козла, косули, дикого кабана), обитающих в Горном Алтае. Подготовка образцов крови и тканей животных описана в работах [12, 13, 16, 22].

Пробы АА отбирались на фильтр типа АФА-ХА с помощью фильтровентиляционной установки над территориями пос. Самбург Тюменской области (120 проб), Новосибирска (90 проб), пос. Черный Ануй в Горном Алтае (20 проб).

Элементный состав субстратов определен методом рентгенофлуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения (РФА СИ). Измерения спектров проводили на станции элементного анализа в Сибирском центре синхротронного излучения Института ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН на накопителе электронов ВЭПП-3 [26]. Благодаря высокой интенсивности возбуждающего излучения метод РФА СИ позволяет про-

водить элементный анализ образцов малого объема (20–25 мкл) и массы (10–30 мг) с чувствительностью обнаружения 10^{-7} г/г. Точность определения концентраций для всех элементов получена при многократных измерениях одного и того же образца (20 параллельных измерений) и составляет 3–20 % в зависимости от элемента. Определение концентрации элементов проводилось методом внешнего стандарта [12, 13, 27]. Образцы снимались при энергии возбуждения 19–22 кэВ. Обработка рентгеновских эмиссионных спектров выполнялась с помощью программы AXIL.

Статистические характеристики элементного состава и графические представления определялись с помощью пакета прикладных программ Microsoft Excel 6.0 и Statistica 6.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Взаимосвязь между многоэлементным составом тканей организма разных популяций человека, а также тканей животных разного вида и характеристиками окружающей среды была исследована методом корреляционного анализа. Зависимость исследуемых величин отображается уравнением линейной регрессии: $y = a + bx$

где y и x – логарифмы (\ln) среднегеометрических значений концентраций (C) элементов субстратов. Значения концентраций элементов в субстратах варьируют в пределах нескольких порядков, поэтому при графическом сопоставлении концентраций их удобнее выражать в логарифмической форме. Полученные коэффициенты корреляции r ($p = 0.05$) характеризуют степень взаимодействия между содержанием элементов в субстратах.

Взаимосвязь многоэлементного состава крови человека, тканей животных с аэрозолями и их некоторыми продуктами питания

Взаимосвязь элементного состава крови организма человека с аэрозолями. В работе использовались данные по элементному составу крови коренных жителей Севера (тундровых ненцев, чукчей, эскимосов) и промышленного Новосибирска, а также АА, собран-

ных над территориями Севера и Новосибирска. Использовалась общая выборка крови мужчин и женщин. Среднегеометрические значения концентраций элементов крови (C) составляют, мкг/мл: для тундровых ненцев – К 1130, Са 76, Fe 475, Ni 0.1, Cu 0.7, Zn 6.7, Ge 0.05, Se 0.08, Br 3.7, Rb 2.3, Sr 0.08, Zr 0.05, Pb 0.3; для чукчей – К 880, Са 68, Fe 330, Ni 0.1, Cu 2.3, Zn 6.1, Ge 0.07, Se 0.1, Br 2.3, Rb 1.7, Sr 0.09, Zr 0.04, Pb 0.3; для эскимосов – К 1159, Са 62, Fe 316, Ni 0.1, Cu 2.5, Zn 6.8, Se 0.3, Br 2.7, Rb 1.0, Sr 0.1, Zr 0.04, Pb 0.3; для жителей Новосибирска – К 1015, Са 84, Fe 430, Ni 0.04, Cu 1.2, Zn 6.5, Ge 0.05, Se 0.09, Br 3.5, Rb 1.3, Sr 0.04, Zr 0.04, Pb 0.23. Данные по концентрации элементов в АА приведены в работах [11, 28].

Корреляционный анализ выявил тесную взаимосвязь между содержанием элементов в крови указанных популяций и в АА (табл. 1). Коэффициенты корреляции для каждой пары рассматриваемых субстратов (кровь разных популяций жителей Севера, Новосибирска и АА) колеблются в пределах 0.80–0.89. На рис. 1 показана линейная зависимость между концентрациями элементов в крови тундровых ненцев и в АА.

В. И. Вернадский высказывал предположение о том, что между элементным составом организма человека, океана и земной коры прослеживаются определенные взаимосвязи, указывающие на единство живой и неживой природы. В работах [3, 4] методом корреляционного анализа на примере сравнения элементного состава крови жителей Англии и горной породы ($r = 0.54$), крови и морской воды ($r = 0.64$), крови и глобальных аэрозолей ($r = 0.79$) показано наличие взаимосвязи. Видно, что наиболее слабая связь обнаруживается при сравнении элементного состава крови и горной породы, а более тесная – в случае сравнительного анализа элементного состава крови и АА. Прочная связь наблюдается при сравнении совокупности некоторых элементов, содержащихся в тканях легких и в АА Англии, а также в лимфатических узлах и аэрозолях ($r = 0.86$) [4].

Таким образом, полученные нами результаты хорошо согласуются с данными исследования взаимосвязи элементного состава

ТАБЛИЦА 1

Данные корреляционного анализа элементного состава крови человека, тканей животных с атмосферными аэрозолями и компонентами пищи

Популяция	Компоненты регрессии	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции (r)
Виды тканей (y) – аэрозоли (x)			
<i>Кровь человека – аэрозоли</i>			
Русские жители			
Новосибирска	Кровь – аэрозоли	$y = -2.5 + 1.0x$	0.80
Тундровые ненцы	Кровь – аэрозоли	$y = -1.9 + 1.5x$	0.89
Чукчи	Кровь – аэрозоли	$y = -1.8 + 1.4x$	0.89
Эскимосы	Кровь – аэрозоли	$y = -1.6 + 1.4x$	0.87
<i>Ткани млекопитающих – аэрозоли</i>			
Средняя бурозубка	Печень – аэрозоли	$y = -0.47 + 1.37x$	0.71
Рыжая полевка	Печень – аэрозоли	$y = -0.19 + 1.39x$	0.78
Рыжая полевка	Тушка – аэрозоли	$y = -0.24 + 1.52x$	0.71
Средняя бурозубка	Тушка – аэрозоли	$y = -0.30 + 1.44x$	0.72
<i>Ткани копытных животных – аэрозоли</i>			
Дикий кабан	Шерсть – аэрозоль	$y = -0.4 + 0.9x$	0.88
Марал	Шерсть – аэрозоль	$y = 0.4 + 1.2x$	0.87
Зубр	Шерсть – аэрозоль	$y = 0.19 + 0.9x$	0.94
Косуля	Шерсть – аэрозоль	$y = 0.02 + 0.83x$	0.85
Горный козел	Шерсть – аэрозоль	$y = -0.6 + 0.82x$	0.82
Дикий кабан	Кости – аэрозоль	$y = 0.1 + 1.2x$	0.88
Косуля	Кости – аэрозоль	$y = -0.01 + 1.18x$	0.87
Горный козел	Кости – аэрозоль	$y = -0.21 + 1.18x$	0.87
Виды тканей (y) – пищевые компоненты (x)			
<i>Кровь человека – пищевой компонент</i>			
Тундровые ненцы	Кровь – оленина	$y = -1.5 + 0.9x$	0.94
Чукотка	Кровь – горбуша	$y = -1.5 + 1.0x$	0.84
Тундровые ненцы	Кровь – щука	$y = -1.07 + 0.71x$	0.85
	Кровь – плотва	$y = -1.4 + 0.75x$	0.85
	Кровь – пелядь	$y = -1.2 + 0.69x$	0.80
Тундровые ненцы	Кровь – брусника	$y = -0.91 + 0.86x$	0.87
	Кровь – клюква	$y = -0.65 + 0.84x$	0.83
	Кровь – смородина	$y = -1.06 + 0.8x$	0.77
<i>Субстрат – вода</i>			
Чукотка	Кровь – вода	$y = -0.69 + 0.61x$	0.73
	Горбуша – вода	$y = 0.59 + 0.64x$	0.89
	Аэрозоль – вода	$y = 0.95 + 0.4x$	0.78
<i>Ткани млекопитающих – рацион питания</i>			
Средняя бурозубка	Печень – рацион	$y = -1.4 + 0.9x$	0.81
Рыжая полевка	Печень – рацион	$y = -0.95 + 0.88x$	0.88
Рыжая полевка	Тушка – рацион	$y = -0.76 + 0.98x$	0.91
Средняя бурозубка	Тушка – рацион	$y = -2.1 + 1.0x$	0.83
Средняя бурозубка	Скелет – рацион	$y = -1.1 + 1.0x$	0.83
Рыжая полевка	Скелет – рацион	$y = -0.39 + 1.0x$	0.86

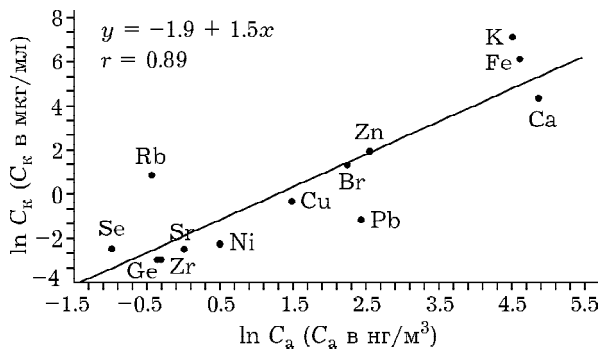


Рис. 1. Связь элементного состава крови тундровых ненецов (C_k) и атмосферных аэрозолей Севера (C_a).

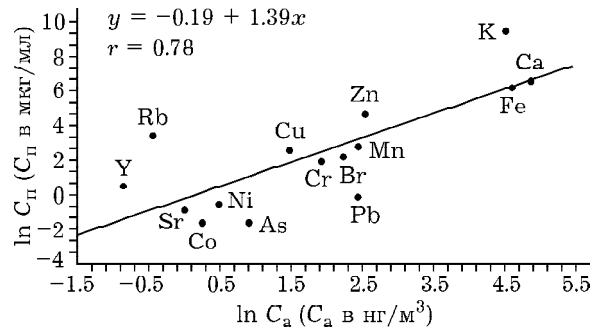


Рис. 2. Связь элементного состава печени полевки ($C_п$) и атмосферных аэрозолей (C_a).

крови жителей Англии и аэрозолей [4]. Это подтверждает мысль о важной роли аэрозолей в глобальных циклах элементов.

Взаимосвязь элементного состава тканей животных с аэрозолями

Взаимосвязь элементного состава тканей мелких млекопитающих с аэрозолями. Взаимосвязь элементного состава некоторых тканей мелких млекопитающих Среднего Урала и АА исследована на примере растительной европейской рыжей полевки (*Clethrionomys glareolus* Shreber, 1780) и насекомоядной средней бурозубки (*Sorex caecutiens* Laxmann, 1788), совместно обитающих на территории Среднего Урала.

Взаимосвязь совокупности химических элементов печени, тушки рыжей полевки и бурозубки с элементным составом аэрозолей показана методом корреляционного анализа. Использовались данные многоэлементного состава печени и тушек животных, населяющих фоновую территорию [22–24]. В тканях мелких животных, совместно обитающих на Среднем Урале, измерено 18 элементов: К, Са, Fe, Ni, Cu, Zn, Ge, Se, Br, Rb, Sr, Zr, Pb.

Результаты корреляционного анализа (см. табл. 1) указывают на существование определенной связи между содержанием элементов в печени бурозубки и в АА ($r = 0.71$). Аналогичная зависимость получена для совокупности концентраций элементов в печени полевки и в АА ($r = 0.78$) (рис. 2). О наличии корреляционной связи можно говорить и при исследовании взаимосвязи элементного состава тушки рыжей полевки и АА ($r = 0.71$), тушки бурозубки и АА ($r = 0.72$).

Взаимосвязь элементного состава тканей диких копытных животных с аэрозолями.

По аналогии с мелкими млекопитающими исследована взаимосвязь между элементным составом волос диких копытных животных Горного Алтая (марала, кабана, зубра, косули, горного козла) и АА (см. табл. 1). Элементный состав шерсти и костной ткани дикого кабана, марала, зубра, косули, горного козла описан в работах [12, 25]. Группа биологических видов, объединенных общим названием “дикие копытные животные”, очень перспективна как источник важных соединений и микроэлементов. Известно, что элементный анализ тканей диких животных может использоваться в целях биогеохимической индикации, диагностики микроэлементозов и экологического мониторинга [18, 19].

Сравнительный анализ совокупности элементов в шерсти копытных животных и АА методом корреляционного анализа также выявил тесную взаимосвязь: для кабана и АА ($r = 0.88$), марала и АА ($r = 0.87$), косули и

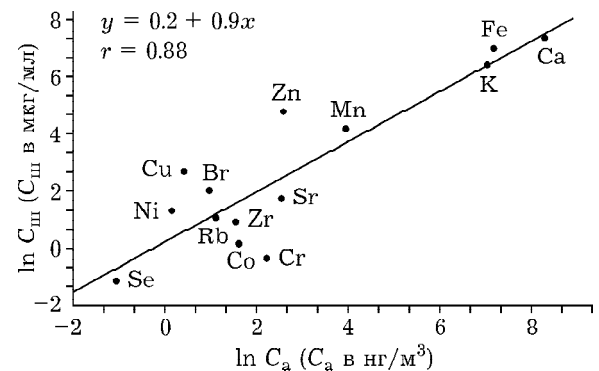


Рис. 3. Связь элементного состава шерсти зубра ($C_ш$) и атмосферных аэрозолей Горного Алтая (C_a).

АА ($r = 0.85$), горного козла и АА ($r = 0.82$), зубра и АА ($r = 0.94$). Тесная связь существует и между элементарным составом костной ткани кабана, косули, горного козла и АА ($r = 0.88, 0.87$). На рис. 3 приведена линейная зависимость концентраций элементов волос зубра и АА Горного Алтая. Таким образом, показано существование тесной взаимосвязи элементарного состава АА и тканей животных разного типа – мелких млекопитающих и диких копытных животных.

Взаимосвязь элементарного состава крови человека, тканей животных с компонентами питания

Взаимосвязь химических элементов крови человека с компонентами пищи. Миграция элементов в организм человека совершается по пищевой цепочке: почва – вода – пищевые продукты растительного и животного происхождения – человек. Считается, что главным источником химических элементов, которые поступают в организм, является пища [4, 8, 10], в то время как вода и воздух играют второстепенную роль. Следовало ожидать, что концентрации химических элементов в крови будут коррелировать с концентрациями элементов, содержащихся в компонентах пищи. Действительно, в работах [3, 4] это предположение нашло подтверждение на примере результатов сравнительного анализа следовых элементов, содержащихся в крови и в рационе жителей промышленных городов Англии.

В наших исследованиях использована кровь и продукты питания тундровых ненцев. По образу жизни и демографическим параметрам коренное население приближено к природному типу популяций человека. Основу их хозяйствования составляют оленеводство, рыбная ловля, охота. В связи с этим относительно просты и пищевые цепи. Исследована взаимосвязь между элементарным составом крови жителей Севера и употребляемыми ими в пищу мышечными тканями оленя, рыб (плотвы, щуки, пеляди, горбуши), выловленных из местных рек, и ягодами (клюквой, брусникой, смородиной), собираемыми на территории проживания. Элементарный состав компонентов пищи северных популяций описан в работе [15].

Результаты корреляционного анализа приведены табл. 1. Полученные коэффициенты корреляции между элементарным составом крови ненцев и тканей оленя ($r = 0.94$), крови ненцев и рыбы (для щуки, плотвы и пеляди $r = 0.85, 0.85$ и 0.80 соответственно) подтверждают существование тесной корреляционной взаимосвязи. Изучена также связь совокупности элементов крови чукчей, проживающих в пос. Канчале, и тканей горбуши, выловленной из местной реки. Данные по коэффициенту корреляции между указанными субстратами ($r = 0.84$) указывают на наличие тесной взаимосвязи. Используя метод корреляционного анализа для сопоставления элементарного состава крови тундровых ненцев и брусники, клюквы и смородины, получены коэффициенты корреляции, которые составили $0.87, 0.83$ и 0.77 соответственно. На рис. 4 показана линейная зависимость между концентрациями элементов в крови тундровых ненцев и в мышечной ткани северного оленя, а на рис. 5 – в крови чукчей и в мышечных тканях горбу-

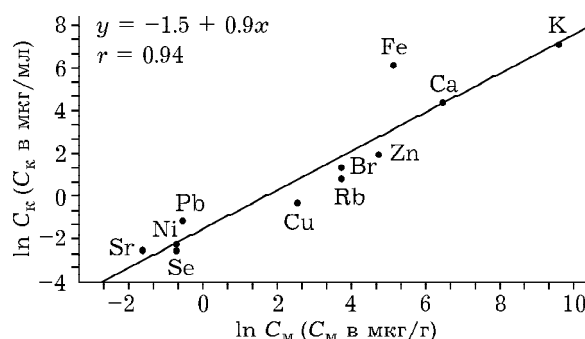


Рис. 4. Связь элементарного состава крови тундровых ненцев (C_K) и мышечных тканей оленя (C_M).

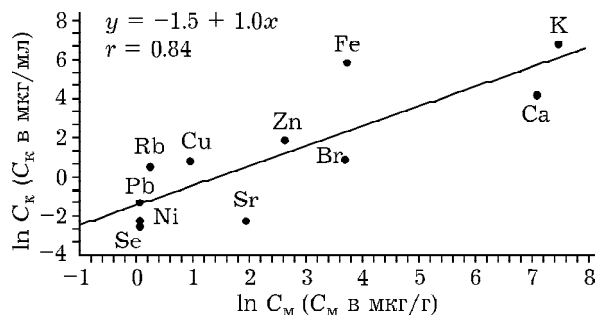


Рис. 5. Связь элементарного состава крови чукчей (C_K) и мышечных тканей горбуши (C_M).

ши, выловленной из р. Канчалан. Эта река служит источником питьевой воды чукчей, поэтому нами исследована взаимосвязь между концентрациями элементов в воде р. Канчалан и в крови чукчей, а также в воде и АА. Анализ воды, отобранной из этой реки, проведен в Лимнологическом Институте СО РАН (Иркутск) методом ICP-MS (масс-спектроскопия с индуктивно связанной плазмой). По данным анализа, вода р. Канчалан имеет следующий элементный состав, мкг/л: К 616, Са 4660, Cr 3.5, Mn 5.8, Fe 205, Ni 1.4, Cu 0.5, Zn 3.0, As 0.5, Se 1.1, Br 164, Rb 0.8, Sr 32, Mo 0.5, Pb 0.37.

Полученный коэффициент корреляции ($r = 0.73$) между содержанием химических элементов в крови и воде реки указывает на более слабую взаимосвязь между ними по сравнению с элементным составом крови чукчей и АА Севера ($r = 0.89$). Результаты сопоставления концентрации элементов в воде р. Канчалан и в АА приведены на рис. 6. Тесная связь зафиксирована также между совокупностью элементов, содержащихся в тканях горбуши и в воде р. Канчалан ($r = 0.89$).

Таким образом, полученные нами результаты согласуются с данными по взаимодействию элементного состава крови жителей Англии и их рациона [4] и подтверждают идею о существовании определенной взаимосвязи. По-видимому, аэрозоли служат главным источником следов элементов, которые входят в пищевую цепь и, в итоге, обогащают кровь.

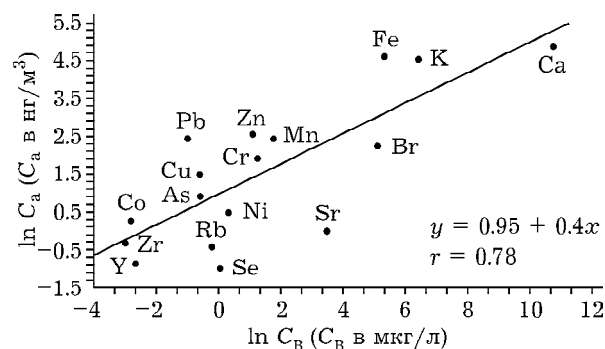


Рис. 6. Связь элементного состава атмосферных аэрозолей Севера (C_a) и воды р. Канчалан (C_b).

Взаимосвязь элементного состава тканей мелких животных с рационом питания.

Для изучения взаимосвязи между элементным составом тканей мелких животных с рационом их питания использованы данные элементного состава тканей рыжей полевки и средней бурозубки, которые в силу их интенсивного метаболизма потребляют большое количество пищи. Рацион питания этих млекопитающих различен: рыжая полевка питается растительностью, а средняя бурозубка – насекомыми [22]. Сопоставление данных элементного состава рационов питания и некоторых тканей организма (печени, костных тканей, тушки) как рыжей полевки, так и средней бурозубки методом корреляционного анализа указывает на существование взаимосвязи (см. табл. 1). На рис. 7 показана линейная зависимость между концентрациями элементов в печени бурозубки и ее рационом. По результатам исследования взаимосвязи элементов, содержащихся в костных тканях полевок или бурозубок и в их рационе, коэффициент корреляции составляет 0.86 и 0.83 соответственно. Это свидетельствует о более тесной корреляции, чем между содержанием элементов в костных тканях птиц и в литосфере [23, 29]. В упомянутых работах приведены данные о линейной корреляции элементного состава тканей птиц с кларками химических элементов в земной коре ($r = 0.71$), что отражает важные процессы формирования мультиэлементных циклов, включающих несколько трофических уровней природных экосистем. На рис. 8 показана линейная зависимость между

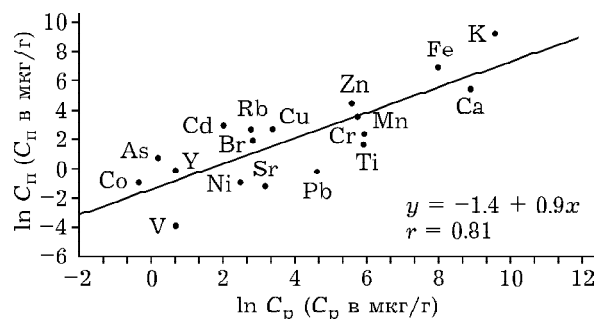


Рис. 7. Связь элементного состава печени бурозубки (C_p) и ее рациона питания (C_p).

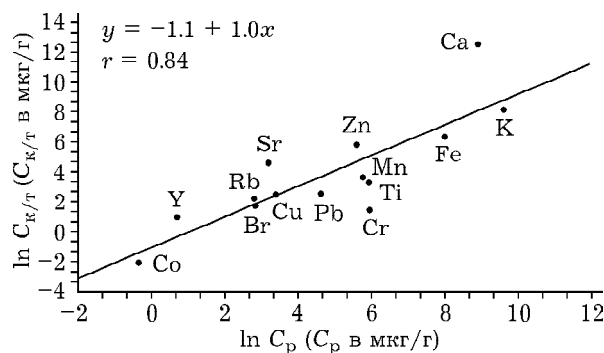


Рис. 8. Связь элементного состава костной ткани бурозубки ($C_{k/г}$) и ее рациона питания ее (C_p).

концентрациями элементов в костной ткани бурозубки и в содержимом желудка.

Таким образом, наши результаты по исследованию взаимосвязи элементного состава тканей организма человека и животных с аэрозолями или компонентами пищи указывают на единство и взаимосвязь химических элементов и позволяют выявить глобальные закономерности в биогеохимических циклах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Найдены функциональные зависимости количественной связи многоэлементного состава тканей человека и животных и характеристик окружающей среды (атмосферные аэрозоли и компоненты пищи).

На региональном уровне выявлена определенная взаимосвязь элементного состава тканей организма человека и животных с рационом питания и аэрозолями, что подтверждает важную роль аэрозолей в глобальных циклах химических элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Hamilton E. I., Minsky M. J., Cleary J. J. // *Sci. Total Environ.* 1972/1973. No. 1. P. 341–373.
- Hamilton E. I. // *Sci. Total Environ.* 1976. No. 5. P. 1–62.
- Hamilton E. I. *Geobioecoenosis Applied to Environmental Problems* // Сб. материалов совещания “Нейтронный активационный анализ в охране окружающей среды”, 15–18 сентября 1992 г., Дубна: Изд. Объедин. Ин-та ядерных исслед., 1993. С. 11–30.
- Walter J. // *Sci. Total Environ.* 1983. No. 27. P. 21–32.
- Кист А. *Феноменология биогеохимии и бионеорганической химии*. Ташкент: ФАН, 1987. 276 с.
- Caroli S., Alimonti A., Coni E., Petrucci F., Senofonti O., Violante N. // *Critical Rev. Analyt. Chem.* 1994. Vol. 24, No. 5–6. P. 363–398.
- White M. A., Sabbioni E. // *Sci. Total Environ.* 1998. No. 216. P. 253–270.
- Авцын А. П., Жаворонков А. А., Риш М. А., Строчкова М. С. *Микроэлементозы человека*. М.: Медицина, 1991. 496 с.
- Вернадский В. И. *Живое вещество и биосфера*. М.: Наука, 1994. 672 с.
- Ковальский В. В. *Геохимическая среда и жизнь*. М.: Наука, 1982. 78 с.
- Интеграционные проекты, вып. 9: “Аэрозоли Сибири” / отв. ред. К. П. Куценогий. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. 548 с.
- Koutzenogii K., Savchenko T., Chankina O., Kovalskaya G., Osipova L., Bgatov A. // *J. Trace Microprobe Techn.* 2003. Vol. 21, № 2. P. 311–325.
- Савченко Т. И., Чанкина О. В., Ковальская Г. А., Осипова Л. П. // *Сиб. экол. журн.* 2000. № 1. С. 85–91.
- Куценогий К. П., Савченко Т. И., Чанкина О. В., Журавская Э. Я., Гырголькау Л. А. // *Проблемы биогеохим. геохим. экологии*. 2006. Т. 2, № 2. С. 22–33.
- Савченко Т. И., Ковальская Г. А., Чанкина О. В., Куценогий К. П., Осипова Л. П. // *Экол. химия*. 2002. № 11, вып. 4. С. 279–286.
- Куценогий К. П., Савченко Т. И., Чанкина О. В., Журавская Э. Я., Гырголькау Л. А. // *Химия уст. разв.* 2010. Т. 18, № 1. С. 51–61.
- Вернадский В. И. *Биогеохимические очерки (1922–1932 гг.)*. М.: Изд-во АН СССР, 1940. 250 с.
- Тютиков С. Ф. // Сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. “Биогеохимия элементов в субстратной и пищевых цепях агро- и аквальных системах”. Тюмень: изд. ТГСХА, 2007. С. 147–150.
- Ермаков В. В., Тютиков С. Ф. *Геохимическая экология животных*. М.: Наука, 2008. 315 с.
- Покаржевский А. Д. *Геохимическая экология наземных животных*. М.: Наука, 1985. 300 с.
- Юдакин В. А., Вартапетов Л. Г., Козин В. Г. // *Сиб. экол. журн.* 1996. № 6. С. 573–583.
- Безель В. С., Куценогий К. П., Мухачева С. В., Савченко Т. И., Чанкина О. В. // *Химия уст. разв.* 2007. Т. 15, № 1. С. 33–43.
- Безель В. С. // *Экологическая токсикология: популяционный и биоценоотический аспекты*. Екатеринбург: Гошицкий, 2006. С. 34–79.
- Безель В. С., Мухачева С. В., Куценогий К. П., Савченко Т. И., Чанкина О. В. // *Проблемы биогеохимии и геохимической экологии*. 2007. № 2, вып. 4. С. 80–91.
- Бгатов А. В., Анохин С. М., Савченко Т. И., Чанкина О. В., Ковальская Г. А., Сороколетов О. Н. // *Сиб. вестн. сельскохозяйств. науки*. 2007. Т. 174, № 6. С. 59–64.
- Baryshev V. B., Kulipanov G. N., Skrinky A. N. // *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res.* 1986. A 246. P. 739–750.
- Baryshev V. B., Bufetov N. S., Koutzenogii K. P., Makarov V. I., Smirnova A. I. // *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res.* 1995. A 359. P. 297–301.
- Куценогий К. П., Куценогий П. К. // *Сиб. экол. журн.* 2000. Т. 7, № 1. С. 11–19.
- Иванов В. В. *Геохимическая экология элементов*: Спр. Кн. 1. М.: Недра, 1994. С. 315.