

УДК 543+611.781+612.111

Элементный состав крови и волос коренных жителей Севера России с разной биогеохимической средой обитания

К. П. КУЦЕНОГИЙ¹, Т. И. САВЧЕНКО¹, О. В. ЧАНКИНА¹, Э. Я. ЖУРАВСКАЯ², Л. А. ГЫРГОЛЬКАУ²¹Институт химической кинетики и горения Сибирского отделения РАН, ул. Институтская, 3, Новосибирск 630090 (Россия)E-mail: savchenko@kinetics.nsc.ru²НИИ терапии Сибирского отделения РАМН, ул. Б. Богаткова, 175/1, Новосибирск 630089 (Россия)

(Поступила 11.06.09; после доработки 30.09.09)

Аннотация

Исследован элементный состав крови чукчей, обитающих на континенте Чукотки, и эскимосов, живущих на побережье Берингова залива, а также группы жителей Новосибирска. Определен элементный состав волос чукчей и якутов, проживающих на континенте. Рентгенофлуоресцентным методом анализа с использованием синхротронного излучения (РФА СИ) в крови указанных популяций одновременно определены концентрации К, Са, Fe, Cu, Zn, Ge, Se, Br, Rb, Sr, Zr, Pb. Методические возможности определения концентрации элементов в волосах некоторых групп женщин и мужчин якутов и чукчей с использованием РФА СИ позволили одновременно обнаружить К, Са, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Mo, Hg, Pb, Bi. Установлены индивидуальные, половые и региональные различия по содержанию элементов в крови и волосах изучаемых популяций. Полученный материал позволяет оценить уровень обмена элементов для некоторых групп чукчей, якутов, эскимосов, выявить особенности в распределении элементов, а также дать некоторую биогеохимическую характеристику среды их обитания.

Ключевые слова: элементный состав, РФА СИ, кровь, волосы, популяции

ВВЕДЕНИЕ

Многолетнее изучение химического состава биосферы выявило исключительную ее гетерогенность в различных регионах нашей планеты. Согласно современным представлениям, процесс функционирования и адаптации организма к условиям среды обитания в наибольшей степени определяется биогеохимическими факторами, обеспечением человека необходимыми питательными веществами, в том числе макро- и микроэлементами, которые входят в состав важных биологически активных веществ или активируют их в процессе обмена веществ [1, 2]. Доказано, что количественное содержание микроэлементов в организме человека находится в прямой зависимости от их концентрации в различных компонентах окружающей среды – почвооб-

разующих породах, почвах, природных водах, атмосферных аэрозолях [3]. Химический состав организмов изменяется в зависимости от состава среды, но более стабилен благодаря регуляторным процессам гомеостаза (относительного постоянства внутренних сред). Одно из важнейших и обязательных условий нормального функционирования организмов, в том числе и человека, – это стабильность химического состава, который различается для разных районов земного шара.

Для изучения микроэлементного обмена в популяциях недостаточно располагать данными о характеристиках среды, необходимо также проведение анализа тканей самого человека. В настоящее время наиболее информативными биосубстратами для оценки элементного статуса индивидуума и популяции, а также участия элементов в формировании

экологического портрета жителей ряда регионов с разной биогеохимической обстановкой могут служить волосы и кровь. Именно данные по элементному составу этих субстратов могут стать решающими для определения степени влияния геохимических факторов на человеческую популяцию. Накоплен большой материал по содержанию микроэлементов в крови [2, 4–9] и волосах [2, 4–8, 10, 11] жителей разных территорий, однако литературных данных по обмену микроэлементов в организме человека в условиях Севера крайне мало. В то же время потребность в таких данных для понимания воздействия биогеохимической панорамы Севера на коренное население существенна.

В продолжение наших работ [12–14] по созданию базы знаний по элементному составу различных биологических систем, выявлению региональных особенностей накопления элементов определен элементный состав крови чукчей, обитающих на континенте Чукотки, крови эскимосов, живущих на побережье Берингова залива, и группы людей, проживающих в Новосибирске (контрольная группа). Измерены концентрации элементов в волосах чукчей и якутов. Проведено сравнение полученных результатов с учетом различной биогеохимической среды обитания.

Коренные малочисленные народности Севера, живущие изолированно в экстремальных условиях высоких широт, на протяжении длительного эволюционного времени приспособлялись к окружающей среде, вырабатывали особую стратегию поведения по отношению к ней. Регионы проживания якутов, чукчей и эскимосов – типичный пример природной экстремальной зоны, причем климатические, геохимические и хозяйственно-культурные факторы играют значительную роль. К факторам среды Севера относятся преобладание низких среднегодовых температур, высокая скорость ветров, повышенная кислотность почв (как правило, тундровых), что свидетельствует о сильной подвижности химических элементов и слабой их усвояемости живыми организмами. В этих условиях сформировался тип хозяйствования с высококалорийной диетой (белки, жиры), способствующей сохранению гомеостаза популяции. В хозяйственном отношении якуты являются

охотниками таежной зоны, чукчи – кочевыми оленеводами тундры и лесотундры, а эскимосы – охотниками на морского зверя. Тундровые популяции (якуты, чукчи) употребляют в пищу больше конины, оленины, а прибрежные – мясо и жир морских, прибрежных и наземных биологических сообществ. Использование биологических ресурсов – стержень всей экономики и культуры северных народов. Коренные народы всегда жили за счет ресурсов земли и моря, поэтому характерное для аборигенов Севера своеобразие белкового и липидного обмена определяет и особенности обмена микроэлементов [15, 16]. Например, с традиционной пищей аборигенов в организм поступает большое количество полиненасыщенных кислот, что предотвращает чрезмерное повышение количества липидов в крови. Атеросклероз у ведущих традиционный образ жизни северян распространен значительно меньше по сравнению с населением городов. Нельзя недооценивать и значение растений в традиционной кухне аборигенов Севера. Растения обеспечивают организм клетчаткой и витаминами, поэтому использование тундровых растений, а также различных видов водорослей (эскимосами) стало необходимым элементом пищевой культуры северян [17].

Ворвавший в жизнь северных территорий поток европейских технологий ослабляет накопленные тысячелетиями навыки выживания без использования современных средств. В наши дни традиционные типы питания коренного населения Севера существенно трансформируются. Причинами служат как комплекс изменений в социальном, экономическом и этническом расслоении “традиционного” общества, так и природные факторы (загрязнение природной среды, сокращение традиционного природопользования, истощение ресурсов). Урбанизация и влияние западного образа жизни сочетаются с нарастанием употребления покупной пищи в рационе коренных жителей. Снижение доли мяса и жира морского зверя в рационе чукчей и эскимосов нарушает естественный обмен макро- и микроэлементов, что приводит к снижению способности организма к адаптации и, как следствие, к ухудшению здоровья населения. На популяционном уровне это может стать

причиной ухудшения демографических показателей состояния населения в целом. Переход к европейскому типу питания особенно отрицательно сказывается на физическом развитии детей якутов, чукчей и эскимосов [18, 19]. Территория проживания чукчей, якутов и эскимосов не относится к зонам с высокой техногенной нагрузкой. Однако экспериментальные данные показывают, что значительная часть загрязнения атмосферы Арктики связана с эмиссией аэрозолей крупных промышленных центров, расположенных на территории Урала, Казахстана и Сибири [20]. Ухудшение экологической обстановки сказывается на малочисленных северных популяциях вследствие их особой экологической уязвимости и в настоящее время ставит под угрозу их благополучие и само существование. Однако в настоящее время смысл и суть процессов этногенеза на Чукотке остаются теми же, что и всегда: приспособление к суровым условиям жизни.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Подготовка образцов

Образцы периферической крови и волос собраны в экспедициях, организованных СО РАН и ГУ НИИ терапии СО РАМН. Исследовалась цельная кровь 73 женщин и 33 мужчин чукчей, 21 женщины и 15 мужчин эскимосов. Для сравнения элементного состава крови указанных народностей использовалась кровь 38 мужчин и 12 женщин, проживающих в Новосибирске (открытая популяция, контрольная группа). Образцы волос отобраны у 60 чукчей и 20 якутов. Исследуемые группы представлены чукчами из типичного для Чукотки тундрового пос. Канчалан (Анадырский р-н); якутами из Усть-Алданского улуса (Республика Саха); эскимосами из пос. Новое Чаплино (бухта Провидения). Возраст исследуемых жителей составлял 25–60 лет.

Процесс подготовки и приготовления образцов крови и волос подробно описан нами в работах [12, 13]. Взятая из пальца кровь (25 мкл) сразу же наносилась на фильтр (Whatman grade 41) площадью 1 см². Пробы высушивались на воздухе и помещались между двумя слоями фторопластовой пленки ($d = 0.005$ мм),

натянутой в тефлоновых пальцах. Образцы волос для анализа собраны с нескольких участков затылочной части головы, промыты абсолютным ацетоном для обезжиривания и удаления внешних посторонних включений [21]. Волосы анализировались в виде таблеток диаметром 1 см и массой 10–40 мг.

Анализ образцов

Элементный состав крови и волос определен методом рентгенофлуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения (РФА СИ) на станции элементного анализа Института ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН (накопитель ВЭПП-3) [22]. Благодаря высокой интенсивности синхротронного излучения с использованием этого метода можно определять одновременно за короткое время большое число элементов в образцах небольшой массы и без разрушения. Образцы снимались при энергии возбуждения 19–22 кэВ. Обработка рентгеновских эмиссионных спектров выполнялась с помощью программы Axil.

Для получения количественного элементного состава крови и волос применяли методику с использованием тонкого стандарта (не адекватного исследуемому образцу) [12, 13, 23, 24]. Разработан алгоритм и создана программа, позволяющая получать данные о концентрации измеренных элементов. Точность анализа получена при 20 параллельных измерениях одного образца и составляет 3–30 % в зависимости от элемента.

Статистическая обработка экспериментальных данных

При анализе полученной информации по элементному составу образцов биосубстратов необходимо располагать данными о статистических характеристиках изменения концентраций. Одна из особенностей биосубстратов – это широкий диапазон изменения концентраций. Реальные статистические данные исследуемых объектов во многих случаях имеют достаточно яркие качественные признаки, которые противоречат форме нормального распределения – симметричности функ-

ции плотности вероятности относительно среднего значения. Ранее [25] нами было показано, что распределение измеряемых значений концентраций элементов биосубстратов является асимметричным. Предложена методика описания экспериментальных аналитических данных с использованием интегральной функции, показано преимущество этого метода.

Для каждого элемента определены среднегеометрическое значение концентрации элемента ($\langle x_i \rangle$) и стандартное геометрическое отклонение логарифма концентрации каждого элемента (σ_{gi}), которое характеризует изменчивость концентраций. По величине σ_{gi} можно судить о том, во сколько раз изменяется вероятность обнаружения конкретного значения концентрации каждого элемента. Количественные внутри- и межгрупповые различия концентраций элементов в крови и волосах оценивали по критерию Стьюдента (t). Различия между показателями считались с 95 % достоверностью и при $t > 2.3$ [26]. Статистические характеристики определялись с использованием пакета прикладных программ Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Элементный состав крови чукчей, эскимосов и контрольной группы

Методом РФА СИ в крови жителей Чукотки и представителей контрольной группы измерены одновременно концентрации следующих элементов: К, Са, Fe, Cu, Zn, Ge, Se, Br, Rb, Sr, Zr, Pb. Значения концентрации большинства измеренных элементов лежат выше предела обнаружения. Предел обнаружения для тонких образцов крови составляет, мкг/мл: К 8.0, Са 5.6, Fe 0.2, Cu 0.12, Zn 0.08, Ge 0.04, Se 0.06, Br 0.06, Rb 0.06, Sr 0.06, Zr 0.03, Pb 0.1.

Результаты элементного состава крови исследуемых групп представлены в табл. 1, 2. Видно, что вариации концентрации некоторых измеренных элементов оказались значительными. Выявлены индивидуальные, половые и региональные различия по содержанию элементов для изучаемых популяций.

Сравнительный анализ содержания химических элементов (по t -критерию) в крови мужчин и женщин чукчей показал, что дос-

ТАБЛИЦА 1

Элементный состав крови мужчин чукчей, эскимосов и контрольной группы, мкг/мл

Элемент	Контрольная группа		Чукчи		Эскимосы	
	$\langle x_i \rangle$ (σ_{gi})	n_i	$\langle x_i \rangle$ (σ_{gi})	n_i	$\langle x_i \rangle$ (σ_{gi})	n_i
К	890 (1.2)	38	950 (1.2)	33	1195 (1.2)	15
Са	79 (1.3)	36	67 (1.4)	33	52 (1.5)	15
Fe	467 (1.2)	38	370 (1.2)	33	300 (1.2)	15
Cu	1.0 (1.7)	36	2.6 (1.2)	33	2.8 (1.3)	15
Zn	7.1 (1.3)	38	6.7 (1.2)	33	7.0 (1.4)	15
Ge	0.1 (2.0)	15	0.07 (1.7)	16	н.о.	
Se	0.1 (1.7)	32	0.1 (1.9)	31	0.28 (2.1)	15
Br	4.4 (1.4)	38	2.5 (1.3)	33	2.5 (1.3)	15
Rb	1.9 (1.2)	38	2.3 (1.5)	33	1.1 (1.4)	15
Sr	0.1 (1.8)	32	0.14 (1.7)	29	0.11 (1.5)	15
Zr	0.03* (2.0)	21	0.04 (1.6)	20	0.03* (1.5)	12
Pb	0.3 (2.4)	23	0.28 (1.8)	20	0.3 (1.5)	15

Примечания. 1. $\langle x_i \rangle$ – среднее геометрическое значение концентрации элемента; σ_{gi} – среднеквадратичное отклонение $\ln \langle x_i \rangle$; n_i – число зафиксированных значений концентраций, по которым проведено усреднение. 2. н.о. – не обнаружен.

* На пределе обнаружения.

товерно различаются концентрации пяти элементов (K, Fe, Cu, Zn, Rb) из 12, содержание которых в крови мужчин выше. В крови мужчин и женщин эскимосов не наблюдается различий по концентрациям измеренных элементов. Половые различия в контрольной группе проявляются по данным о концентрации K, Ca, Fe, Cu, Rb. Уровень содержания K, Ca, Cu в крови женщин выше, а Fe, Rb ниже, чем в крови мужчин. Следует отметить, что в крови 39 % мужчин контрольной группы зафиксирован Ge.

Возрастные изменения в элементном составе крови рассмотрены на примере трех возрастных групп (25–34, 35–44, 45–65 лет) чукчей разного пола. При сравнении концентрации элементов в крови женщин и мужчин этих групп достоверных различий по *t*-критерию не выявлено. Исключение составляет концентрация Sr в крови мужчин, значение которой с возрастом возрастает.

Межгрупповое сравнение элементного состава крови мужчин чукчей, эскимосов и контрольной группы. При сравнении концентраций элементов по *t*-критерию в крови чукчей и якутов обоего пола достоверное различие наблюдается для K, Se и Rb. Содержание в крови эскимосов K, Se выше, а Rb ниже, чем в крови чукчей (как для мужчин, так и для женщин). Статистически значимые различия концентрации в крови мужчин чук-

чей и эскимосов выявлены для Fe (выше у чукчей), а в крови женщин этих популяций – для Cu (выше у эскимосов).

Сравнительный анализ элементного состава крови “условно здоровых” мужчин контрольной группы и мужского состава групп чукчей и эскимосов показывает, что достоверно различаются концентрации Fe, Cu, Br и Rb (см. табл. 1). Так, концентрации Fe и Br выше в крови мужчин из контрольной группы, Cu – в крови эскимосов, а Rb – в крови чукчей. Достоверное различие концентраций K, Ca и Se характерно для крови мужчин контрольной группы и эскимосов. Концентрации в крови K и Se выше у мужчин эскимосов, а Ca – у мужчин контрольной группы.

Межгрупповое сравнение элементного состава крови женщин чукчей, эскимосок и контрольной группы. Для женщин чукчей и эскимосок характерно достоверное различие по *t*-критерию концентраций в крови K, Cu, Zn, Se, Rb. Концентрации большинства элементов в крови эскимосок выше, чем в крови женщин чукчей, за исключением Rb.

Сравнительный анализ измеренных концентраций элементов в крови женщин северных популяций и женщин контрольной группы (открытая популяция) по *t*-критерию показывает, что содержание Ca, Fe, Se, Rb достоверно различается для всех изучаемых популяций (см. табл. 2). Концентрации указан-

ТАБЛИЦА 2

Элементный состав крови женщин чукчей, эскимосок и контрольной группы, мкг/мл

Элемент	Контрольная группа		Чукчи		Эскимосы	
	$\langle x_i \rangle$ (σ_{gi})	n_i	$\langle x_i \rangle$ (σ_{gi})	n_i	$\langle x_i \rangle$ (σ_{gi})	n_i
K	1140 (1.2)	12	850 (1.2)	73	1126 (1.6)	21
Ca	92 (1.1)	12	68 (1.3)	73	67 (1.4)	21
Fe	390 (1.1)	12	310 (1.2)	73	316 (1.2)	21
Cu	22 (1.6)	12	2.3 (1.3)	72	26 (1.2)	21
Zn	62 (1.3)	12	5.9 (1.2)	73	7.0 (1.4)	21
Ge	0.03 (1.4)	4	0.08 (1.7)	30	н.о.	
Se	0.08 (1.3)	12	0.1 (1.6)	71	0.28 (1.7)	21
Br	3.6 (2.2)	12	2.2 (1.4)	73	2.8 (1.6)	21
Rb	1.6 (1.1)	12	1.4 (1.3)	73	0.9 (1.6)	21
Sr	0.12 (1.5)	12	0.12 (1.6)	69	0.12 (1.6)	21
Zr	0.03* (1.9)	6	0.04* (1.9)	43	0.05 (1.8)	18
Pb	0.18 (2.4)	9	0.25 (2.0)	50	0.3 (1.8)	16

Примечания. Обозн. см. табл. 1

ных элементов в крови выше у женщин контрольной группы, за исключением Se, содержание которого значительно выше в крови эскимосок. Достоверное различие в содержании K характерно для крови женщин контрольной группы и чукчей.

Таким образом, можно выявить некоторые особенности в распределении элементов в крови чукчей и эскимосов обоего пола. Видно, что эскимосы и чукчи испытывают дефицит Fe, так как концентрация этого элемента меньше по сравнению с таковой для жителей Новосибирска и населения других стран [4, 8, 9].

Следует отметить хорошую обеспеченность эскимосов обоего пола, живущих на побережье, биологически важным элементом Se, концентрация которого в крови значительно превышает литературные данные и данные для чукчей и представителей контрольной группы. Возможно, это связано с активным употреблением эскимосами в пищу морских продуктов, обогащенных этим элементом.

В крови чукчей обоего пола токсичный металл Pb обнаружен у 60–68 % представителей группы, в крови эскимосов – у 60–76 %, в крови представителей контрольной группы – у 65–75 %. Средняя концентрация этого элемента в крови многих людей исследуемых групп эскимосов, чукчей обоего пола и мужчин контрольной группы несколько выше по сравнению с литературными данными и может неблагоприятно отражаться на популяции [4, 28].

Элементный состав волос чукчей и якутов

Правомерность и эффективность использования волос человека в качестве индикаторной тест-системы для оценки экологической обстановки, а также количественного показателя содержания некоторых элементов в организме доказана результатами нескольких координационных программ, выполненных под эгидой МАГАТЭ [11, 21]. Содержание микроэлементов в волосах отражает их концентрацию в организме и служит интегральным показателем минерального обмена, в то время как содержание микроэлементов в крови отражает кратковременные по экспозиции и значительные по степени отклонения изменения элементного статуса [27]. Кроме того, использование волос для тако-

го рода исследований имеет ряд преимуществ: отбор проб не связан с травматизацией и исключает опасность распространения инфекционных заболеваний, пробы легко хранятся без ограничения во времени. Среди преимуществ волос как биохимического индикатора можно отметить сочетание в волосах выделительной и аккумулирующей функций, что позволяет проводить ретроспективный анализ и прогноз микроэлементного баланса во времени. Минералы, однажды включившиеся в состав волос, не находятся более в равновесии с остальным организмом. Это важно, когда человек подвергается кратковременному действию высоких концентраций металлов. Однако надо заметить, что концентрации минералов в волосах не отражают состояние организма точно во время взятия пробы. Анализ содержания микроэлементов в волосах здоровых людей показывает, что уровень концентрации микроэлементов колеблется в зависимости от пола, места жительства, национальности. Внешняя среда оказывает существенное воздействие на концентрацию отдельных элементов в волосах людей.

Для исследования элементного состава волос чукчей и якутов отобраны образцы одновременно с взятием проб крови у одних и тех же людей обоего пола. Методические возможности определения концентраций элементов в волосах с использованием РФА СИ позволили одновременно определить большее количество элементов, чем в крови.

Методом РФА СИ в образцах волос чукчей и якутов определены такие элементы, как Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Hg, Pb, Bi. Результаты анализа приведены в табл. 3. Видно, что концентрации элементов превышают предел обнаружения. Выявлены индивидуальные, половые и региональные различия по содержанию элементов в волосах изучаемых популяций. Так, в волосах якутов не обнаружены Ti и Cr, у чукчей и мужчин якутов не найден As, у мужчин чукчей и якутов – Ge, у женщин чукчей – Y.

Сравнение элементного состава волос чукчей и якутов. Выявлены значимые различия элементного состава волос чукчей по половому признаку для Ca, Mn, Ni, Ga, Se, Rb, Sr. В волосах женщин чукчей concentra-

ТАБЛИЦА 3

Элементный состав волос чукчей и якутов, мкг/г

Элемент	Чукчи			Якуты				
	мужчины		женщины	мужчины		женщины		
	$\langle x_i \rangle$	(σ_{gi}) n_i	$\langle x_i \rangle$ (σ_{gi}) n_i	$\langle x_i \rangle$ (σ_{gi}) n_i	$\langle x_i \rangle$ (σ_{gi}) n_i			
Ca	1120 (1.5)	29	1790 (1.7)	31	620 (1.7)	20	1610 (1.5)	20
Ti	7.0 (1.8)	24	5.8 (2.0)	18	н.о.		н.о.	
Cr	2.0 (1.6)	20	2.0 (1.8)	18	н.о.		н.о.	
Mn	10 (2.3)	29	24 (2.9)	31	2.4 (2.3)	8	4.3 (2.5)	10
Fe	77 (1.7)	29	78 (1.9)	31	46 (1.9)	20	53 (1.4)	20
Co	1.2 (1.6)	29	1.3 (2.0)	31	0.8 (1.9)	15	0.5 (1.9)	8
Ni	1.0 (1.5)	29	2.0 (2.1)	31	0.6 (1.6)	19	1.4 (1.9)	18
Cu	16 (1.3)	29	18 (1.6)	31	15 (1.2)	20	16 (1.2)	19
Zn	198 (1.2)	29	224 (1.4)	31	228 (1.2)	20	203 (1.3)	19
Ga	0.8 (2.7)	29	1.8 (1.5)	31	0.7 (1.4)	20	0.7 (1.3)	20
Ge	н.о.		0.15 (2.0)	6	н.о.		0.15 (1.4)	6
As	н.о.		н.о.		н.о.		0.5 (1.8)	6
Se	0.5 (1.5)	29	0.3 (1.8)	28	0.6 (1.4)	20	0.35 (1.4)	17
Br	8.0 (2.6)	29	5.3 (1.9)	31	14.5 (1.7)	20	8.1 (2.4)	19
Rb	0.7 (3.0)	27	0.3 (3.5)	27	0.5 (1.7)	20	0.3 (2.0)	12
Sr	2.5 (2.1)	29	5.1 (2.6)	31	1.9 (1.8)	20	2.3 (2.5)	19
Y	0.2 (1.3)	10	н.о.		0.05 (1.8)	9	0.25 (1.3)	17
Zr	0.2 (1.8)	29	0.15 (2.5)	31	0.06 (1.9)	16	0.1 (1.6)	8
Nb	0.07 (3.5)	11	0.05 (1.4)	16	0.04 (2.3)	4	0.07 (1.2)	4
Hg	1.6 (2.4)	28	1.1 (2.4)	31	0.3 (2.0)	18	0.2 (1.5)	11
Pb	5.7 (3.4)	26	2.9 (3.4)	31	3.5 (1.7)	20	4.3 (2.1)	17
Bi	0.2 (2.1)	6	0.3 (3.0)	14	0.2 (1.5)	20	0.2 (1.8)	14

Примечание. Обозн. см. табл. 1.

ции Ca, Mn, Ni, Ga, Sr выше, а Se и Rb ниже по сравнению с мужчинами.

Сравнительный анализ по t -критерию содержания в волосах мужчин и женщин якутов выявил достоверное различие для пяти элементов: Ca, Ni, Se, Br, Y. Концентрации Ca, Ni и Y выше в образцах волос женщин, а Se и Br – в образцах волос мужчин.

Сравнительный анализ элементного состава волос якутов и чукчей разного пола показал, что концентрации элементов Mn, Fe, Co и Hg достоверно различаются для всех изучаемых популяций обоего пола. Для элементов Ca, Ni, Zn, Br и Zr наблюдается различие концентраций только у мужского населения чукчей и якутов, а для Ga и Sr – у женского. Концентрация Ca, Mn, Fe, Co, Ni, Ga, Sr, Zr, Hg выше в образцах волос

мужчин и женщин чукчей. Содержание Zn, Br выше только для мужчин якутов.

Особенности распределения элементов в волосах якутов и чукчей. Полученные данные по элементному составу волос чукчей и якутов в целом указывают на хорошую обеспеченность исследуемых популяций таким биологически важным для организма элементом, как Zn. Этот элемент, связанный с ферментами, гормонами и витаминами, оказывает значительное влияние на многие жизненные процессы: кроветворение, размножение, рост и развитие организма, обмен углеводов, белков и жиров [29]. Одни из наиболее важных факторов, определяющих содержание Zn в волосах, – это питание [30, 31], качество среды обитания и экономический статус популяций. По сравнению с другими элемента-

ми концентрация Zn в волосах отличается низкой изменчивостью внутри и между исследуемыми группами чукчей и якутов. Волосы считаются тканью, отражающей обмен этого элемента в организме [27, 30–32]. Концентрация Zn в волосах чукчей и якутов соответствует верхней границе диапазона значений, характерных для различных регионов [2, 5, 8].

Полученные данные свидетельствуют и об относительной стабильности и большом сходстве концентраций Cu для разных групп. Содержание этого элемента в волосах якутов и чукчей соответствует средним значениям, приводимым в литературе [2, 4, 32, 33].

Уровень концентрации Fe в волосах анализируемых групп обоего пола различается. Так, его содержание в волосах чукчей выше, чем в волосах якутов. По-видимому, это зависит от геохимических и других локальных факторов. Полученные нами значения соответствуют литературным данным [4, 5, 33]. Использовать данные по содержанию Fe в волосах для выявления железодефицитных состояний, к сожалению, невозможно, поскольку до сих пор неизвестно, могут ли волосы отражать накопление Fe в организме или величину его поступления [33].

Концентрация Co – другого эссенциального элемента – имеет сравнительно высокую изменчивость. Половых различий по содержанию этого элемента в волосах каждой исследуемой группы практически не обнаружено. Концентрация Co выше у чукчей обоего пола. Содержание Se в волосах женского населения чукчей и якутов значительно ниже, чем для мужчин обеих популяций, но сопоставимо с данными для некоторых групп населения России [34], где отсутствует его аномальное поступление. В волосах мужчин обеих популяций средняя концентрация Se (0.5–0.6 мкг/г) соответствует достаточному содержанию этого элемента в организме. В последнее время селену придается большое значение, поскольку он относится к незаменимым для человека микроэлементам, а его несбалансированное поступление вызывает патологические явления [35, 36]. В работе [32, 33] приводятся данные о наличии повышенных концентраций Se в волосах некоторых групп жителей Якутии (2.08 мкг/г) и Чукотки (1.3 мкг/г). По-видимому, это связано с иссле-

дованием волос жителей прибрежных районов, где традиционно в рацион входят различные морские продукты, обогащенные Se. Наши данные характерны для людей, живущих в континентальных районах с нормальным содержанием этого элемента в окружающей среде.

Среднее содержание Hg, токсичного по воздействию на организм элемента, в волосах чукчей обоего пола оказалось выше по сравнению с якутами. Наличие повышенных концентраций этого элемента совпадает с данными работ [32, 33]. Определение этого элемента в волосах часто используется при изучении загрязнений окружающей среды ртутью [36, 37]. В естественных условиях избыток Hg в организме может быть связан с употреблением в пищу большого количества рыбы и других морских продуктов. Действительно, нами получены данные, указывающие на превышение допустимых значений содержания этого элемента в горбуше, выловленной из р. Канчалан – источника питьевой воды местных жителей.

Сравнительный анализ наших данных по концентрациям Pb в волосах чукчей и якутов с рекомендуемыми показателями для других районов не выявил критических или опасных значений для человека [28, 37]. В то же время усредненные данные по содержанию в волосах мужчин чукчей Pb (5.7 мкг/г) могут соответствовать “уровню озабоченности”, который, по оценкам западных исследователей, для волос взрослых людей составляет 6 мкг/г [38]. Кроме того, диапазон концентраций Pb в волосах чукчей оказался максимальным среди всех изученных элементов. Высокая вариабельность содержания Pb в волосах чукчей, по-видимому, свидетельствует о генетическом разнообразии популяции по пороговой чувствительности к данному элементу [33, 39].

В России, странах СНГ и Европы наибольшее распространение получило использование анализа волос для оценки воздействия Pb на человека, тогда как в США предпочитают определять его содержание в крови – наиболее информативном, по мнению американских исследователей, диагностическом биосубстрате для этого элемента [37, 38].

Нами выполнен факторный анализ элементного состава крови и волос коренных жителей Чукотки и якутов (табл. 4, 5). Видно, что

ТАБЛИЦА 4

Результаты факторного анализа элементного состава крови чукчей, эскимосов и жителей Новосибирска (контрольная группа)

Параметры	Фактор				
	1	2	3	4	5
<i>Женщины чукчи</i>					
Элементы	K, Fe, Rb	Ca, Cu, Zn	Sr	-Br	Ge
Нагрузка	0.23	0.19	0.12	0.11	0.11
<i>Мужчины чукчи</i>					
Элементы	K, Fe, Br, Rb	Ca, -Se, Sr	Ge, Pb	Cu	
Нагрузка	0.25	0.17	0.15	0.14	
<i>Женщины эскимоски</i>					
Элементы	K, Fe, Rb, Pb	Ca, Cu, Zn, Se	Br, -Sr		
Нагрузка	0.30	0.29	0.13		
<i>Мужчины эскимосы</i>					
Элементы	K, Ca, Fe, Br, Rb	Cu, Sr	-Se	-Pb	
Нагрузка	0.36	0.23	0.16	0.13	
<i>Женщины контрольной группы</i>					
Элементы	K, Zn, -Br	Cu, -Rb, Sr	Ca, -Fe, Se	Cu, -Pb	
Нагрузка	0.25	0.19	0.18	0.17	
<i>Мужчины контрольной группы</i>					
Элементы	K, Fe, Zn, Br, Rb	Pb	-Ca, -Sr		
Нагрузка	0.34	0.18	0.17		

ТАБЛИЦА 5

Результаты факторного анализа элементного состава волос чукчей и якутов

Параметры	Факторы				
	1	2	3	4	5
<i>Женщины чукчи</i>					
Элементы	Ca, Sr	Br, Rb, Pb	Hg, Cu	Fe, Zn	
Нагрузка	0.26	0.24	0.16	0.16	
<i>Мужчины чукчи</i>					
Элементы	Br, Rb, Hg	Ca, Mn, Sr	Ni, -Pb	Zn, Se	Cu
Нагрузка	0.21	0.20	0.15	0.12	0.11
<i>Женщины якуты</i>					
Элементы	Ni, Y, Hg, Bi	Cu, Br, Pb	Ca, Sr	Fe, -Se	
Нагрузка	0.26	0.25	0.24	0.18	
<i>Мужчины якуты</i>					
Элементы	Br, Sr, Zr, Bi	Ca, Co, Pb	Cu, -Se	Fe, -Ga	Rb, -Hg
Нагрузка	0.25	0.23	0.15	0.14	0.14

факторный анализ всей совокупности многоэлементного состава крови и волос позволяет выделить четыре-пять факторов для всех популяций разного пола. При этом в них суммарно входят для крови 9-10, для волос 9-13 элементов для каждого отдельного слу-

чая. Все факторы описывают для крови от 78 до 88 %, а для волос – от 80 до 93 % (факторная нагрузка) суммарной доли изменчивости многоэлементного состава крови или волос разных групп. Из данных табл. 4 следует, что для крови эскимосов обоего пола,

мужчин чукчей и мужчин контрольной группы наиболее значимый фактор в этой серии элементов – это первый фактор, объединяющий наибольшее число элементов (до 4), причем К, Fe, Rb являются общими. Эти же элементы входят в первый фактор крови женщин. В волосах жителей Якутии обоего пола наибольшее число элементов включает также первый фактор, хотя общим является только Вi. Факторный анализ волос чукчей обоего пола выделяет по значимости два фактора, которые включают разные элементы. В целом полученные данные свидетельствуют об имеющихся различиях в составе факторов. Это может быть связано с различной степенью взаимного влияния элементов на протекающие в организме процессы, зависящие как от индивидуальных реакций на факторы среды, национальных, так и от геохимических особенностей среды обитания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В цельной крови женщин и мужчин чукчей и эскимосов с использованием РФА СИ одновременно определены концентрации К, Са, Fe, Cu, Zn, Ge, Se, Br, Rb, Sr, Zr, Pb.

Методические возможности определения концентраций элементов в волосах некоторых групп женщин и мужчин якутов и чукчей с использованием РФА СИ позволили одновременно определить содержание К, Са, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Mo, Hg, Pb, Bi.

Установлены индивидуальные, половые и региональные различия в содержании элементов в крови и волосах изучаемых популяций.

Выявлены особенности в распределении элементов в крови и волосах коренных жителей Севера. Наблюдается дефицит Fe в крови чукчей и эскимосов обоего пола. Можно отметить, что данные о средней концентрации Se в крови эскимосов обоего пола свидетельствуют о хорошей обеспеченности организма этим элементом.

Выполнен факторный анализ многоэлементного состава крови и волос изучаемых популяций, свидетельствующий об имеющихся значительных различиях в составе факторов. Возможно, это связано с различной степенью

взаимного влияния элементов на протекающие в организме процессы, зависящие как от этнических, индивидуальных реакций, так и от геохимических факторов среды обитания.

Таким образом, полученный нами материал позволяет оценить уровень обмена элементов некоторых групп чукчей, якутов, эскимосов с учетом разной биогеохимической среды их обитания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Авцын А. П., Жаворонков А. А., Риш М. А., Строчкова Л. С. Микроэлементозы человека. М.: Медицина, 1991, С. 496.
- 2 Кист А. А. Феноменология биогеохимии и бионеорганической химии. Ташкент: ФАН, 1987, С. 276.
- 3 Ковальский В. В. Геохимическая среда и жизнь. М.: Медицина, 1982, С. 76.
- 4 Caroli S., Alimonti A., Coni E., Petrucci F., Senofonte O., Violante N. // *Critical Rev. Analyt. Chem.* 1994. Vol. 24, No. 5–6. P. 363–398.
- 5 Человек. Медико-биологические данные: докл. раб. группы комитета МКЗЗ по условному человеку. М.: Медицина, 1977. С. 496.
- 6 Скальный А. В., Рудаков И. А. Биоэлементы в медицине. М.: Мир ОНИКС 21 век, 2004, С. 227.
- 7 Панченко Л. Ф., Маев И. В., Гуревич К. Г. Клиническая биохимия микроэлементов. М.: ГОУ ВУНМЦ МЗ РФ, 2004. С. 362.
- 8 Эмсли Д. Элементы. М.: Мир, 1993, С. 255.
- 9 Iyengar V., Wolttlez J. // *Clin. Chem.* 1988. Vol. 34, No. 3. P. 474–479.
- 10 Рихванов Л. П., Барановская Н. В., Игнатова Т. Н. Элементный состав органов и тканей человека по данным инструментального нейтронно-активационного анализа (НАА) // Сб. докл. IV Междунар. науч.-практ. конф. “Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде” / под ред. М. С. Панина. Казахстан, Семипалатинск, 2006. Т. 1. С. 19–40.
- 11 Report of IAEA. Coordinated Research Programme NAN: The Significance of Hair Mineral Analysis as a Means for Assessing Internal Body Burdens of Environmental Pollutants. Vienna, 1993. Res-18.
- 12 Савченко Т. И., Чанкина О. В., Ковальская Г. А., Осипова Л. П. // *Сиб. экол. журн.* 2000. Т. 7, № 1. С. 85–91.
- 13 Koutzenogii K., Savchenko T., Chankina O., Kovalskaya G., Osipova L., Bgatov A. // *J. Trace Microprobe Techniq.* 2003. Vol. 21, No. 2. P. 311–326.
- 14 Куценогий К. П., Савченко Т. И., Чанкина О. В., Ковальская Г. А., Смирнова А. И., Осипова Л. П. // *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования.* 2003. № 12. P. 14–17.
- 15 Алексеева Т. И. // *Проблемы экологии человека: сб.* М.: Наука, 1986. С. 42–48.
- 16 Чукотка. Природно-экономический очерк / под ред. Д. И. Агапитова, Т. И. Астаховой, А. В. Беликович, И. В. Богданова. М.: Арт-Литекс, 1995. С. 370.
- 17 Berezovikova L. P., Mamleeva F. R. // *J. Circumpolar Health.* 2001. Vol. 60, No. 2. P. 138–142.

- 18 Прахин Е. И. // Актуальные вопросы развития здоровья и профилактика заболеваний в детском возрасте в условиях Сибири, крайнего Севера и Дальнего Востока: сб. / под ред. К. Р. Седова. Красноярск, 1987. С. 6–8.
- 19 Козлов А. И. Динамика потребления традиционной пищи и здоровье зверобоев. М.: РАКНС/RAIPON, 2003, С. 29.
- 20 Куценогий К. П., Куценогий П. К. // Сиб. экол. журн. 2000. Vol. 7, No. 1. P. 11–19.
- 21 Ryabukhin Yu. S. // J. Radioanalyt. Chem. 1980. Vol. 60, No. 1. P. 7–30.
- 22 Baryshev V. B., Kulipanov G. N., Skrinisky A. N. // Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. 1986. A 246. P. 739–750.
- 23 Baryshev V. B., Bufetov N. S., Koutzenogii K. P., Makarov V. I., Smirnova A. I. // Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. 1995. A 359. P. 297–301.
- 24 Ковальская Г. А. // Сиб. экол. журн. 2000. Т. 7, № 1. С. 93–96.
- 25 Куценогий К. П., Савченко Т. И., Чанкина О. В. // Современные достижения в исследованиях окружающей среды и экологии. Томск: STT, 2004. С. 40–45.
- 26 Лакин Г. Ф. Биометрия. М.: Высш. шк., 1990. С. 352.
- 27 Мжельская Т. И., Ларский Э. Г. // Лаборат. дело. 1983. № 1. С. 3–10.
- 28 Барабошкина Т. А. Геологические факторы экологического риска. Геозоологические исследования и охрана недр. М.: Геоинформмарк, 2001, С. 49.
- 29 Москалев Ю. И. Минеральный обмен. М.: Медицина, 1985, С. 288.
- 30 W. Mertz // Clin. Chem. 1975. Vol. 21, No. 4. P. 468–475.
- 31 Prasad S. // Trace Elements in Human Health and Disease / A. S. Prasad (Ed.). NY: Acad. Press, 1976. Vol. 11. P. 1–20.
- 32 Batzevich V. A. // Sci. Total. Environ. 1995. Vol. 164. P. 89–98.
- 33 Бацевич В. А., Ясина О. В. // Антропология – медицине: сб. / Т. И. Алексеева (ред.). М.: Изд-во МГУ, 1989, С. 198–220.
- 34 Ермаков В. В., Ковальский В. В. Биологическое значение селена. М.: ГЕОХИ, 1974. С. 300.
- 35 Селен в жизни человека и животных: сб. статей / под ред. Л. П. Никитиной, В. Н. Ивановой. М.: ВИНИТИ РАН, 1995. С. 242.
- 36 Ревич Б. А. // Гигиена и санитария. 1990. № 3. С. 55–59.
- 37 Ревич Б. А. // Гигиена и санитария. 2004. № 6. С. 26–30.
- 38 Скальный А. В., Есенин А. В. // Токсикол. вестн. 1996. № 6. С. 16–23.
- 39 Ковальский В. Геохимическая экология. М.: Наука, 1974. С. 298.