

УДК 550.47

## РЕГИОНАЛЬНЫЕ БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЗОЛЬНОМ ОСТАТКЕ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА

Т.Н. Игнатова, Н.В. Барановская, Л.П. Рихванов, А.Ф. Судыко

Томский политехнический университет

E-mail: tatyanaignatova@yandex.ru

*Выполнена комплексная количественная оценка содержания 39 химических элементов в зольном остатке организма человека. Представлены аналитические исследования независимых лабораторий современных высокочувствительных методов. Определены региональные особенности накопления элементов в зольном остатке организма человека, выявлено, что в данном материале существуют свои законы накопления и распределения, и они подчиняются универсальным законам геохимии (закон Кларка, правило Оддо-Гаркинса).*

### **Ключевые слова:**

*Зольный остаток организма человека, эколого-геохимические особенности, редкоземельные элементы, тяжелые металлы.*

### **Key words:**

*Ash material human organism, ecologo-geochemical peculiarities, rare earth elements, heavy metals.*

### **Постановка задачи и актуальность исследований**

Организм человека на протяжении всей жизни от рождения и до смерти постоянно подвергается полифакторному воздействию окружающей среды, имеющей в каждом регионе свои отличия. Эти отличия обусловлены не столько влиянием природно-географических, климато-метеорологических и других подобных факторов, к которым человек более или менее адаптируется при постоянном проживании в регионе, сколько воздействием техногенных факторов, связанных с загрязнением окружающей среды. Вследствие наложения природных и техногенных факторов формируется множество сложных ассоциаций элементов в организме человека, изменяются его функциональные особенности, происходит истощение адаптационных резервов, вызванных интенсивным и длительным влиянием комплекса неблагоприятных экологических факторов [1].

По высказыванию В.И. Вернадского [2], все организмы пропускают через себя «атомные вихри», а элементный состав их находится в тесной зависимости от состава земной коры. Важным является вопрос о потенциальной биологической опасности химических веществ.

Известно, что проникающие в организм извне химические элементы способны оказывать на него разнообразные биологические воздействия, как во время, например, катастроф, так и в условиях повседневной жизни [3, 4]. Химические элементы, являясь неотъемлемой частью ферментов, аминокислот и в целом всех живых клеток, играют чрезвычайно важную роль в нормальном функционировании организма человека.

Изменение содержания химических элементов — кратковременное по экспозиции и значительное по степени отклонения — отражается в концентрации элементов в организме человека, что может приводить к возникновению патологических состояний [5]. На сегодняшний день увеличивающийся масштаб загрязнения окружающей

среды оборачивается ростом генетических мутаций, раковыми, сердечно-сосудистыми и профессиональными заболеваниями, отравлениями, дерматозами, нарушением иммунитета и связанных с этим болезней. К сожалению, в РФ нет четких указаний на обязательность элементного анализа при медико-диагностических исследованиях. Но такая необходимость имеет место, особенно, в связи с разнотипным характером техногенного воздействия, проявляющегося на территориях разных регионов. Более того, сегодня делаются активные попытки восстановления баланса химических элементов в организме человека [6, 7], но делается это без знания о среднем оценочном уровне их содержания в норме и патологии, без учета региональных особенностей, что представляется малоэффективным. Установление региональных особенностей накопления элементов в организме человека является одним из первых шагов [8–10] к решению задачи, поставленной В.И. Вернадским еще в начале XX в.

В настоящее время одновременно актуальной и сложной задачей можно считать количественное и качественное определение элементного состава организма человека. Необходимость изучения живых организмов с геохимической точки зрения зародилась у В.И. Вернадского еще в конце XIX в. А.П. Виноградов — ученик В.И. Вернадского — в 1932 г. отмечал: «Геохимия живого вещества, иными словами биогеохимия, является частной проблемой общей геохимии... если геохимия, в целом, базируется в своих современных исканиях на неиссякаемых запасах фактов, накопленных в течение многих десятков и даже сотен лет, то геохимия живого вещества начинает свою историю заново, с первой страницы. В биогеохимии еще отсутствует количественная сторона явления» [11].

Полный элементный состав организма человека до сих пор остается неизученным и по-прежнему актуальны слова великого ученого Владимира Ивановича Вернадского: «Главным недостатком в

настоящее время является отсутствие полного элементарного химического количественного анализа живого вещества...» [12].

Наиболее полной известной сводкой по химическому составу организма человека, по имеющимся у нас данным, являются материалы доклада рабочей группы по условному человеку [13], в которые включена информация по составу 71 органа и ткани 150 взрослых, погибших в результате несчастных случаев, полученных с использованием единого метода анализа, а также обобщены данные из других источников. В этой сводке представлены данные по 47 химическим элементам, выполненным различными методами и лабораториями, но в ней полностью отсутствует информация по большой группе элементов и по содержанию редких, редкоземельных и радиоактивных элементов.

На сегодняшний день справочные данные следует использовать как сугубо оценочные, так как более современные оценки отсутствуют. Следует отметить, что наиболее полно этот вопрос обсуждается в литературе, посвященной санитарно-гигиеническому и радиобиологическому аспектам [14]. В ряде справочников [15] также имеется количественная информация по содержанию некоторых специфических элементов в органах человека, но рассматривается чрезвычайно узкий их спектр. Более того, в работе В.Ф. Журавлева [16] была представлена классификация радиоактивных изотопов в зависимости от условий их накопления в организме, например, остеотропные ( $^{35}\text{P}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и др.), избирательно накапливающиеся ( $^{129}\text{I}$ ,  $^{131}\text{J}$ ,  $^{54}\text{Fe}$  и др.) и другие элементы.

Сложности изучения элементного состава организма человека связаны с рядом причин: отбор проб биопсийного материала вообще и по этическим причинам в частности; элементный состав организма определяется многими физиологическими характеристиками (возрастными, половыми) [13], наличием патологий; трудности аналитических исследований по причине низкой концентрации элементов в пробах, а в частности, разной температуры озонения.

Как мы представляем, на современном этапе геохимических исследований человека становится чрезвычайно актуальной проблема количественного определения содержания максимально возможного количества химических элементов и установления их соотношений в органах, тканях и в целом организме человека, как в норме, так и при патологии.

Целью работы является выявление особенностей геохимического состава зольного остатка организма человека (ЗООЧ), проживавшего в разных ландшафтно-геохимических и техногенно-трансформированных условиях.

Для решения этой важной и актуальной проблемы была проведена инициативная работа по изучению элементного состава органов и тканей людей, проживавших в условиях Западной Сибири (Том-

ский регион) [8–10]. В данной работе обсуждаются первые результаты элементного состава ЗООЧ на примере жителей разных регионов страны: Южный – г. Ростов-на-Дону и Западно-Сибирский – г. Новосибирск.

#### Материалы и методы исследования

Материалом для исследования послужили 41 проба ЗООЧ. Пробы были отобраны непосредственно работниками крематория г. Ростова-на-Дону и Новосибирска в присутствии одного из авторов статьи. Работы проводились при согласовании с дирекцией крематориев по официальному обращению ТПУ. Возраст умерших жителей от 45 до 75 лет. Сжигание производилось в газовой печи при температуре около 1200 °С. В качестве методов исследований были выбраны наиболее современные высокочувствительные виды анализа: инструментальный нейтронно-активационный (ИНАА), эмиссионный спектральный полуколичественный анализ (ЭСПА) и лазерно-люминесцентный анализ.

ИНАА является одним из весьма эффективных методов определения в биосредах редких, редкоземельных и радиоактивных элементов, для его проведения не требуется специфического химического разложения пробы. ИНАА позволяет определять в различных образцах содержание 29 элементов в широком диапазоне (от  $n \cdot 1\%$  до  $n \cdot 10^{-6}\%$ ). Пробы для анализа облучались тепловыми нейтронами на исследовательском ядерном реакторе ИРТ-Т Томского политехнического университета, а измерения производились на гамма-спектрометре с германий-литиевым детектором в лаборатории ядерно-геохимических методов исследования кафедры геоэкологии и геохимии (аналитики – с.н.с. А.Ф. Судыко, Л.Ф. Богутская).

Метод ИНАА, реализуемый в лаборатории, используется также для аттестации состава стандартных образцов как отечественных, так и зарубежных (МАГАТЭ, Германия, Япония, Индия и др.), и его качество оценивается как вполне удовлетворительное. Всего во всех пробах было определено содержание 23 элементов, остальные не были идентифицированы. Возможно, по причине их низкой температуры плавления (ниже 100 °С) некоторые из них (Br, Cs) улетучились, а U не был определен, скорее всего, по причине присутствия значительных концентраций фосфора в зольном материале, который создает мощный гамма-фон от изотопа  $^{35}\text{P}$ , что не позволяет выделить спектральные линии урана.

ЭСПА выполнялся в аккредитованной аналитической лаборатории «Березовгеология» г. Новосибирска (аналитик И.Г. Филипчук). ЭСПА используется в основном для решения аналитических задач, в которых важна экспрессность анализа определения в одной пробе одновременно широкого спектра элементов (50 элементов). Относительная среднеквадратическая ошибка измерений не более 32 %. Результаты сходимости двух незави-

симых методов исследования ИНАА и ЭСПА удовлетворительные, что было показано по различным природным средам [17].

Лазерно-люминесцентным анализом определяется содержание урана в пробе ЗООЧ. Для данного анализа характерны следующие преимущества: минимальная пробоподготовка, низкий предел обнаружения, экспрессность анализа, широкий спектр его применения. Погрешность данного анализа имеет минимальное значение от 0,00 до 7,44. Определение содержания урана проводилось с помощью лазерного флуоресцентного анализатора типа «Ангара», шифр методики НСАМ № 421-Х. Лазерно-люминесцентный анализ выполнялся в аккредитованной аналитической лаборатории «Березовгеология» г. Новосибирск (аналитик К.Н. Шевченко).

### Обсуждение результатов

На рис. 1 представлена количественная оценка содержания 39 элементов в ЗООЧ. Анализируя полученные данные, можно выделить 5 групп химических элементов по уровню их концентрирования:

- I. Элементы с содержанием выше 1000 мг/кг: Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Mn, Fe.
- II. Группа характеризуется содержаниями в интервале от 100 до 1000 мг/кг: Ti, Cr, Cu, Zn, Sr, Ba, Pb.
- III. Содержания от 10 до 100 мг/кг: Li, V, Ni, Ag, Sn, Sb.
- IV. Содержания от 1 до 10 мг/кг: Co, Ga, Y, Mo, La, Ce, Bi, Au, U.
- V. Содержания от <1 мг/кг: Sc, Sm, Yb, Hf, Ta, Th.

Полученное распределение элементов в ЗООЧ подчеркивает основной закон Кларка и правило Оддо–Гаркинса о распространении химических элементов во Вселенной. Обращает на себя внимание тот факт, что содержание La в золе исследуемого материала выше содержания Ce, что не находится в согласии с общими геохимическими показателями. Обычно в природных объектах соотношение лантана и церия обратное (рис. 2), и только в некоторых органах и тканях человека (сердце, молочная и щитовидная железа), а также в морской воде на-

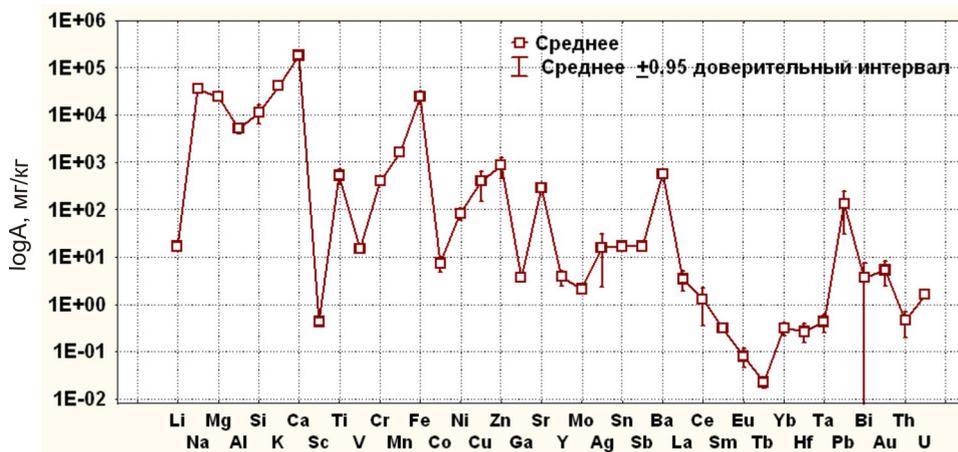


Рис. 1. Среднее содержание химических элементов в зольном остатке организма человека (41 проба)

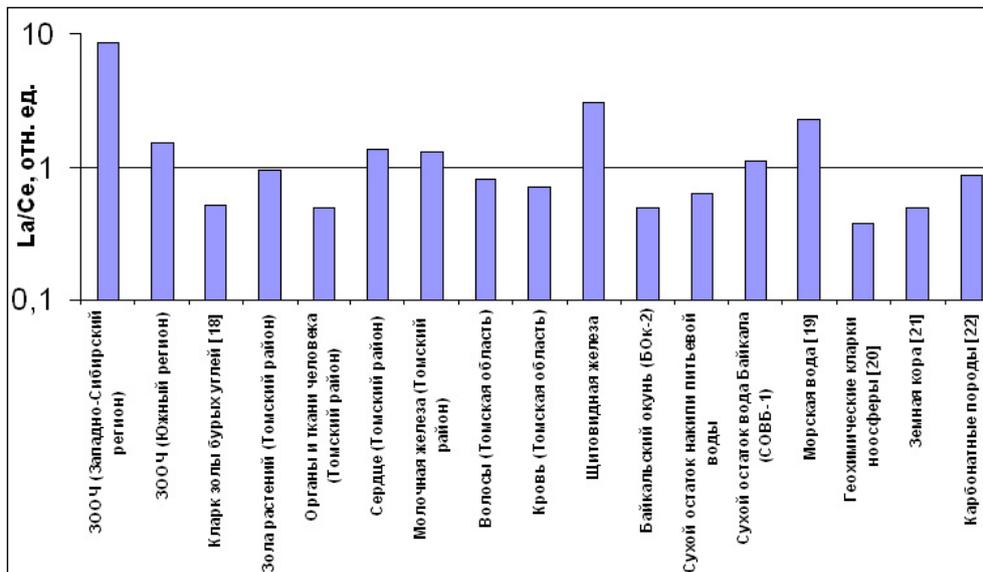


Рис. 2. Отношение La к Ce в различных средах

блюдаются нарушения общей геохимической закономерности.

Анализ обобщенных геохимических показателей по половому признаку свидетельствует о том, что достоверных отличий между полами практически нет, за исключением Si, Zn, La, Th (рис. 3).

Анализ полученных данных, рис. 4, показывает, что элементный состав ЗООЧ отражает некоторые региональные особенности накопления элементов.

Геохимическая специфика ЗООЧ жителей г. Новосибирска, главным образом, обусловлена повышенными содержаниями Sn, Au, Sb, Bi, что может быть объяснено нахождением на его территории крупных заводов по переработке олова (Новосибирского оловянного комбината) и золота (ранее функционирующий Аффинажный завод) [23]. Следует отметить, что в целом Западно-Сибирский регион является золотоносным, в его пределах развиты месторождения Au различного типа (россыпные, гидротермальные и др.). Золото, как показали исследования С.И. Арбузова и А.М. Межибор, является элементом, концентри-

рующимся в избыточных количествах в различных средах, в том числе углях и торфах Сибири [24, 25].

Можно предполагать, что более высокие концентрации Fe, Co, V в ЗООЧ жителей г. Новосибирска обусловлены дальним воздействием металлургических комплексов Южного Кузбасса (г. Новокузнецк). В настоящее время это предположение прорабатывается.

Так, в ЗООЧ жителей Южного региона специфичными элементами являются: Li, Al, Si, K, Mn, Zn, Ga, Sr, La, Ce, Sm, Eu, Hf, Ta, Pb, Th, U (уровень значимости различий существенный от  $<0,05$  до  $0,001$ ) (рис. 4). Их уровень накопления достоверно отличается от подобного для жителей Западно-Сибирского региона. Преобладающая редкоземельная специализация ЗООЧ жителей г. Ростова-на-Дону, вероятно, может быть объяснена сжиганием углей, обогащенных: Be, Sc, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Rb, Sr, Cd, Sb, Cs, La, Ce, Sm, Eu, Hf, Pb, Th, U [26], возможным отражением специфической Северо-Кавказской геохимической провинции, обусловленной

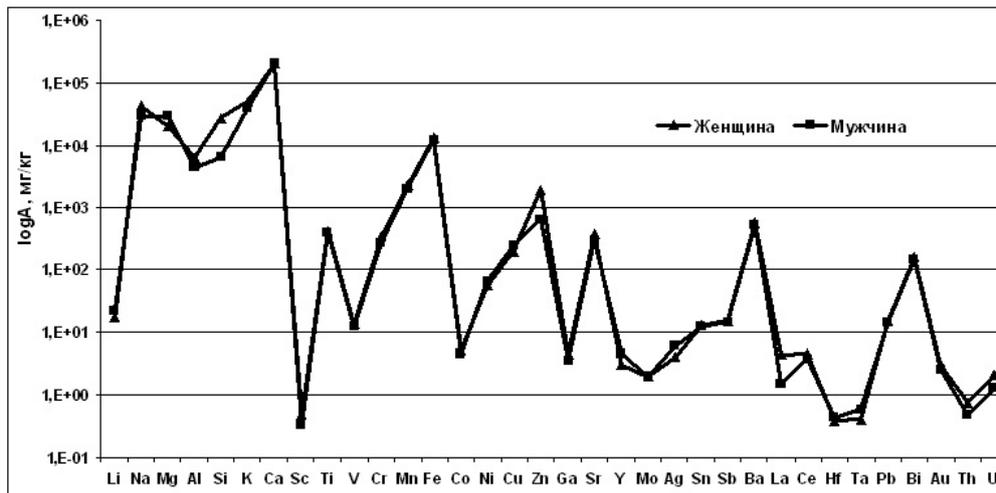


Рис. 3. Содержание элементов в зольном остатке организма человека в зависимости от пола жителей исследуемых регионов (уровень значимости различий  $>0,1$ )

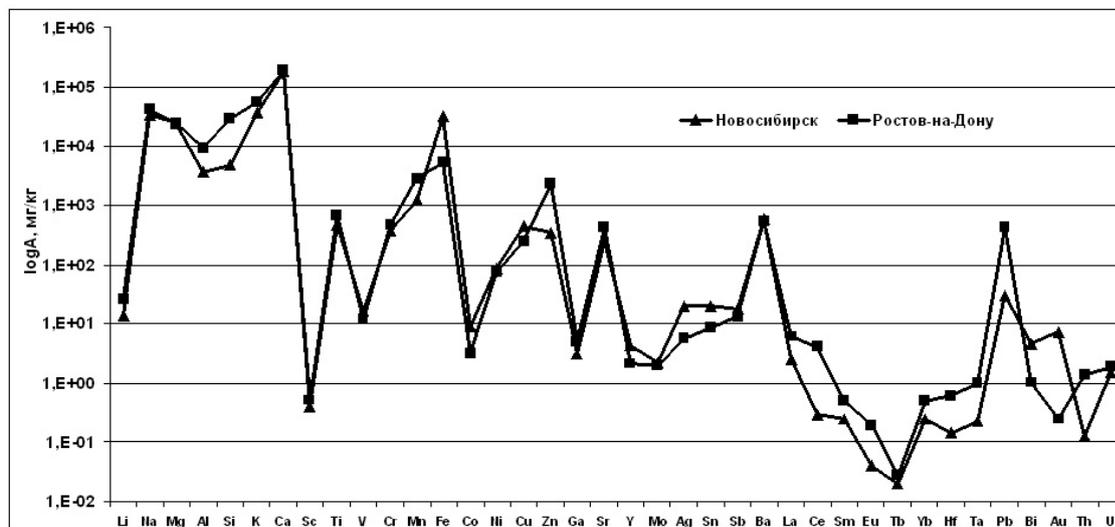


Рис. 4. Содержание элементов в зольном остатке организма человека для жителей г. Новосибирска и г. Ростова-на-Дону (уровень значимости различий от  $<0,05$  до  $<0,001$ )

титан-циркониевыми россыпными месторождениями. Вероятно, повышенные содержания широкого спектра элементов, обнаруженных в зольном остатке организма человека жителя Южного региона, может быть связано с работой комплекса разнопрофильных предприятий (например, Новочеркасский электродный завод и ряд др. [27]), в том числе и закрытых объектов, на которых использовались редкие земли и другие элементы.

Необходимо отметить еще одну особенность ЗООЧ, заключающуюся в наличии специфических

геохимических ассоциаций, которые принципиально отличают регионы (рис. 5, 6).

В ЗООЧ жителей г. Ростова-на-Дону фиксируются 104 прочные корреляционные связи при уровне значимости 0,4. Среди корреляционных связей наибольший интерес представляют ассоциации с высокими коэффициентами корреляции: Sc-U (0,76), Co-Pb (0,71), La-Ce (0,92), La-Sm (0,91), Pb-Th (0,75) – эти ассоциации элементов могут служить подтверждением сложнотрансформированной техногенной эколого-

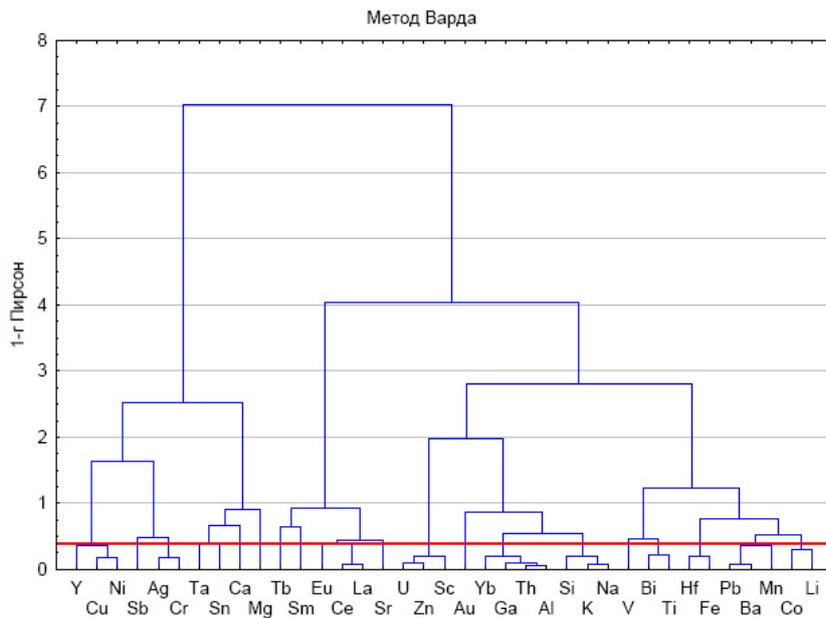


Рис. 5. Дендрограмма корреляционной матрицы геохимического спектра элементов в зольном остатке организма человека жителей г. Ростова-на-Дону ( $1-r_{0,05}$  Пирсон = 0,4; объем выборки – 11 проб)

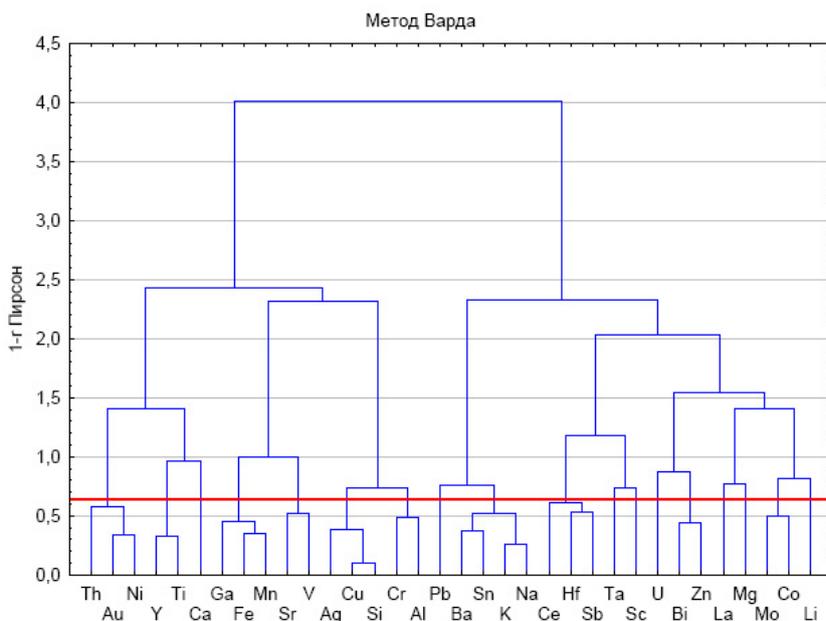


Рис. 6. Дендрограмма корреляционной матрицы геохимического спектра элементов в зольном остатке организма человека жителей г. Новосибирска ( $1-r_{0,05}$  Пирсон = 0,64; объем выборки – 30 проб)

геохимической обстановки г. Ростова-на-Дону (рис. 5).

В отличие от корреляционных связей ЗООЧ жителей Южного региона, геохимическая специфика ЗООЧ жителей г. Новосибирска характеризуется наличием 49 прочных корреляционных связей. При чем как показывает дендрограмма (рис. 6), коэффициенты корреляции в большинстве ассоциаций будут не значительно превышать 0,50, например, Na-Sn (0,48), Au-Ni (0,60), Mn-Fe (0,64), Si-Cu (0,9), уровень значимости будет 0,64.

Итак, геохимическое различие ЗООЧ двух регионов может быть объяснено как разнообразными природно-климатическими, геологическими и ландшафтно-геохимическими факторами, так и факторами современного техногенеза. Вероятно, можно говорить о том, что ЗООЧ Южного региона России характеризуется повышенным содержанием элементов в сравнении с Западно-Сибирским регионом. Несмотря на то, что в Западной Сибири ряд источников радиационной опасности природного и техногенного характера, которые формируют потенциальную

угрозу негативного воздействия на окружающую среду и здоровье население области, обусловленные наличием многочисленных разнопрофильных предприятий, г. Новосибирск можно было считать условно более благоприятным для проживания человека по сравнению с г. Ростов-на-Дону.

#### Выводы

1. Установлены и сопоставлены уровни накопления 38 химических элементов в зольном остатке организмов коренных жителей Западно-Сибирского и Южного регионов России.
2. Показано, что накопление изученных элементов в зольном остатке организма человека подчиняется общим геохимическим законам Кларка и Оддо-Гаркинса распространения химических элементов во Вселенной.
3. Геохимические особенности зольного остатка организма человека находятся в соответствии с эколого-геохимическими особенностями территорий и определяются как природными, так и техногенными факторами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Природные и антропогенные факторы, влияющие на состояние здоровья населения Республики Алтай. – Томск: Изд-во Сиб. мед. ун-та, 2003. – 150 с.
2. Вернадский В.И. Биогеохимические очерки 1922–1932 гг. – М.: Изд-во АН СССР, 1940. – 249 с.
3. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А., Строчкова Л.С. Микроэлементозы человека. – М.: Медицина, 1991. – 496 с.
4. Чучалин А.Г., Черняев А.Л., Вуазен К. Патология органов дыхания у ликвидаторов аварии на Чернобыльской АЭС. – М.: Грантъ, 1998. – 272 с.
5. Общая химия. Биофизическая химия. Химия биогенных элементов / под ред. Ю.А. Ершова, В.А. Попкова, А.С. Берлянда и др. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высшая школа, 2000. – 560 с.
6. Скальный А.В. Биоэлементы в медицине. – М.: Издат. дом «ОНИКС», 2004. – 272 с.
7. Скальный А.В. Микроэлементозы человека (диагностика и лечение). – М.: Изд-во КМК, 1999. – 96 с.
8. Рихванов Л.П., Барановская Н.В., Игнатова Т.Н., Судыко А.Ф., Сухих Ю.И., Федоров С.Ю. Элементный состав органов и тканей человека по данным инструментального нейтронно-активационного анализа // Тяжёлые металлы и радионуклиды в окружающей среде: Сб. докл. V Междунар. научно-практ. конф.- Казахстан, г. Семипалатинск, 15–18 октября 2008. – Семипалатинск, 2008. – С. 26–36.
9. Рихванов Л.П., Барановская Н.В., Игнатова Т.Н., Судыко А.Ф., Сандиминова Г.П., Пахомова Н.Н. Элементный состав органов и тканей человека // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии (Республика Казахстан, г. Семипалатинск). – 2009. – № 1 (9). – С. 67–77.
10. Игнатова Т.Н., Барановская Н.В., Рихванов Л.П. Региональные особенности накопления химических элементов в зольном остатке организма человека по данным нейтронно-активационного анализа // Тяжёлые металлы и радионуклиды в окружающей среде: Сб. докл. VI Междунар. научно-практ. конф. – Казахстан, г. Семипалатинск, 4–7 февраля 2010. – Семипалатинск, 2010. – С. 29–35.
11. Виноградов А.П. Геохимия живого вещества. – Л.: АН СССР, 1932. – 67 с.
12. Вернадский В.И. Об условиях проявления жизни на Земле. – Избранное собр. сочинений. Т. V. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – С. 147–159.
13. Человек. Медико-биологические данные. Доклад рабочей группы комитета II МКРЗ по условному человеку. – М.: Медицина, 1977. – 445 с.
14. Вредные химические вещества. Радиоактивные вещества / под ред. В.А. Филова и др. – Л.: Химия, 1990. – 464 с.
15. Эмсли Дж. Элементы / пер. с англ. Е.А. Краснушкиной. – М.: Мир, 1993. – 256 с.
16. Журавлев В.Ф. Токсикология радиоактивных веществ. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 336 с.
17. Рихванов Л.П., Нарзулаев С.В., Язиков Е.Г., Капилевич Л.В., Сарнаев С.И., Филиппов Г.П. Геохимия почв и здоровье детей Томска. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1993. – 143 с.
18. Ketris M.P., Yudovich Ya.E. Estimations of Clarkes for Carbonaceous biolithes: World averages for trace element contents in black shales and coals. // International Journal of Coal Geology. – 2009. – № 78. – P. 135–148.
19. Хорн Р. Морская химия (структура воды и химия гидросферы). – М.: Мир, 1972. – 380 с.
20. Глазовский Н.Ф. Техногенные потоки вещества в биосфере // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. – М.: Наука, 1982. – С. 7–28.
21. Виноградов А.П. Современная геохимия в свете периодической системы химических элементов Д.И. Менделеева // 100 лет Периодического закона химических элементов. – М.: Наука, 1971. – С. 205–212.
22. Беус А.А., Грабовская Л.И., Тихонова Н.В. Геохимия окружающей среды. – М.: Наука, 1976. – 248 с.
23. Состояние окружающей среды в 2006 году // Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Новосибирской области. – Новосибирск, 2007. – 235 с.
24. Арбузов С.И. Геохимия редких элементов в углях Центральной Сибири: авторефер. дис. ... д.г.-м.н. – Томск, 2005. – 48 с.
25. Межибор А.М. Экогеохимия элементов-примесей в верховых торфах Томской области: авторефер. дис. ... к.г.-м.н. – Томск, 2009. – 22 с.
26. Кизильштейн Л.Я. Экогеохимия элементов-примесей в углях. – Ростов н/Д.: СКНЦ ВШ, 2002. – 296 с.
27. О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2008 году // В сб.: Экологический вестник Дона / под общей ред. С.Г. Курдюмова, Г.И. Скрипки, М.В. Парашенко. – Ростов н/Д., 2009. – 354 с.

Поступила 26.03.2010 г.