На правах рукописи

ИГНАТОВА ТАТЬЯНА НИКОЛАЕВНА

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА И ЕГО СВЯЗЬ С ФАКТОРАМИ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ

Специальность 25.00.36 Геоэкология (науки о Земле)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата геолого-минералогических наук

Томск – 2010

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук, профессор

Рихванов Леонид Петрович

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук, профессор

Наумов Георгий Борисович, г. Москва

кандидат геолого-минералогических наук, доцент

Бернатонис Вилис Казимирович, г. Томск

Ведущая организация: **Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск**

Защита диссертации состоится 10 декабря 2010 г. в 14.00 часа на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.269.07 при ГОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634050, г. Томск, ул. Ленина, 2 строение 5, 20-й корп. ТПУ, ауд. 504

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ГОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (634050, г. Томск, ул. Белинского, 55)

Автореферат разослан « » ноября 2010

Ученый секретарь совета по защите
докторских и кандидатских
диссертаций С.И. Арбузов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. На сегодняшний день для объективной геоэкологической оценки состояния территории и степени ее трансформации в результате техногенеза необходимо изучать химический состав различных природных сред, в том числе и элементный состав биосубстратов и самого организма человека, так как, прежде всего, человек испытывает на себе комплексное воздействие факторов природной среды. В настоящее время отсутствует количественная геохимическая характеристика человека, с учетом эколого-геохимических особенностей среды его обитания. Организм человека на протяжении всей жизни постоянно подвергается полифакторному воздействию окружающей среды, имеющей в каждом регионе свои отличия, которые обусловлены не только влиянием природно-географических, климато-метеорологических, социальных, в том числе образ жизни (курение, алкоголь, питание) и других подобных факторов, к которым человек адаптируется при постоянном проживании в регионе, сколько воздействием техногенных факторов, связанных с загрязнением окружающей среды. Вследствие наложения природных и техногенных факторов формируются сложные геохимические ассоциации элементов в организме человека, под воздействием чего изменяются его функциональные особенности, происходит истощение адаптационных резервов, вызванных интенсивным и длительным влиянием комплекса неблагоприятных экологических факторов (Природные и антропогенные факторы..., 2003; Ревич Б.А.; Гичев Ю.П. и др.), в том числе и геологической среды (Medical geology, 2005).

Организм человека можно рассматривать в качестве геоиндикатора, интегрирующим в себе трансформации природной среды. Знания о геохимическом составе человека позволяют дать прогноз изменения биосферы. В.И. Вернадский первым пришел к выводу, что, несмотря на ничтожно малое содержание многих химических элементов в окружающей среде, они присутствуют в растительных и животных организмах постоянно и не случайно. Он отмечал, что химический состав организмов теснейшим образом связан с химическим составом земной коры.

Первые данные по содержанию элементов в организме человека были получены в начале XX столетия. Так, В.И. Вернадский, характеризуя химический состав человека, со ссылкой на физиолога Фолькмана, приводит данные по 24 элементам и этот оценочный уровень средних содержаний практически мало отличается от самых современных оценок (Ulf Lindh, 2005), что свидетельствует о том, что за последние 90 лет человек мало «закрасил белых пятен» в познании геохимических особенностей самого себя. Человек, изучив окружающий мир: горные породы, минералы, почвы, растительность и определив состав морской воды, крайне слабо изучил элементный состав своего собственного организма. «Главным недостатком является отсутствие полного элементарного анализа живого вещества… Мы не имеем их даже, например, для такого организма, каким является человек, организм которого изучается уже целые столетия…», – отмечал великий естествоиспытатель (Вернадский В.И., 1960).

Информацию по геохимии живого вещества – биогеохимии можно найти в обобщениях А.П. Виноградова («Геохимия живого вещества», 1932), В.В. Ковальского, А.А. Киста, А. Кабаты-Пендиас и Х. Пендиас, А.Л. Ковалевского, Г.А. Леоновой, С.М. Ткалича, Г.Н. Саенко, А.П. Авцына, Д.П. Малюги, H.J.M. Bowen, J.A.C. Fortescue, D.K. Kalani, А.А. Жаворонков, М.А. Риш, В.Л. Сусликов, Л.С. Строчкова, Н.А. Агаджанян и других исследователей. Одной из наиболее полных современных сводок по геохимии живого вещества, на примере изучения планктонных

сообществ континентальных водоемов, является работа Г.А. Леоновой (2009). Проблема точной оценки содержания химических элементов в организме человека как оставалась на уровне начала XX века, так и по-прежнему остается малоизученной.

В 1946–1949 гг. А.П. Виноградовым было сформулировано понятие «биогеохимическая провинция» и создан Институт геохимии и аналитической химии АН СССР. Позже В.В. Ковальским в 1974 г. была создана карта биогеохимического районирования, которая позволила прогнозировать заболеваемость животных и человека в зависимости от ландшафтно-геохимических и геологических особенностей региона.

В 1957 г. В.И. Войнар опубликовал первую в СССР монографию о биологической роли микроэлементов. Данной проблеме были посвящены многочисленные научные конференции, совещания и симпозиумы («Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине», Улан-Удэ, 1960; Красноярск, 1969; Омск, 1969; Самарканд, 1990 и др.; Международный симпозиум «Trace elements in human...», Jena, 2002, 2004; Athens, 2005, 2009 и др., организуемый регулярно профессором Манфредом Анке (Германия), а также научные школы и конференции, проводимые профессором М.С. Паниным в Казахстане и др. Эти проблемы освещаются в ряде международных журналов: «Trace elements in medicine» и др.

Сегодня все чаще в научной литературе встречается утверждение о том, что особенностью геохимии техногенеза (А.Е. Ферсман, 1937) XXI века, является интенсивная металлизация биосферы. Сегодня с уверенностью можно утверждать, что геохимический облик человека, проживающего во второй половине XX – начале XXI века, принципиально стал другим, например, в нем появились Pu и другие изотопы (Рихванов Л.П., 2008).

Изучением элементного состава различных биологических сред (волос, крови, щитовидной железы, слюны, мочи и т.д.) и их связи с факторами среды обитания занимались многие специалисты, среди которых были специалисты различных наук (Жук Л.И., Кист А.А., 1987, 1990; Сает Ю.Е., 1990; Барановская Н.В., 2003; Денисова О.А. и др., 2005; Зайчик В.Е., Агаджанян Н.А., 2004; Черешнев В.А., Агаджанян Н.А., Летников Ф.А. и др. 2006; I. Rodushkin, M.D. Axelsson, 2000; и др.). Обсуждается вопрос элементного состава организма человека и в литературе, посвященной санитарно-гигиеническим и радиобиологическим аспектам (Вредные химические вещества, 1990; Моисеев А.А., Иванов В.И., 1984). В большинстве случаев изучается элементный состав некоторых органов и тканей организма человека на содержание от 1 до 26 элементов (Hutchinson, 1943; Bertrand, 1950; Семенов Н.В., 1971; Эмсли Дж., 1993; Чучалин и др., 1998; Ершов и др., 2000; Мешков Н.А. и др., 2003; Скальный, 1999, 2004; Alina Kabata-Pendias, 2007 и др.), имеются данные по изотопному и атомарному составу (Lyon and Baxter, 1978; Кроуз, 1990; Man and the Geosphere, 2010; Robert A. Freitas Jr., 1999, 2003). Наиболее полной сводкой по содержанию 37 элементов в организме человека можно считать работу «Человек, медико-биологические данные» (1977), которая представлена Международной комиссией по радиационной защите, но даже в ней отсутствует информация об уровнях содержания редких, редкоземельных и радиоактивных элементов. В научной литературе по данной группе элементов вопрос крайне слабо разработан, приводятся только эксперименты по влиянию введения в организм животных радиоактивных и редкоземельных элементов (Schepers, 1955; Балабуха В.С., Разбитная Л.М., и др. 1958, 1962; Могилевская О.Я., Райхлин Н.Т., 1963; Архангельская Л.Н. и др., 1967; Мезенцева

Н.В., 1967; Штреффер К., 1972; Андреева и др., 1975). В зависимости от условий накопления радиоактивных изотопов в организме в работе В.Ф. Журавлева (1990) была предложена классификация радиоизотопов, например, выделены остеотропные (^{35}P, ^{90}Sr и др.), избирательно накапливающиеся ($^{129, 131}$J, ^{54}Fe и др.) и другие элементы. Справочные данные по элементному составу человека следует использовать как сугубо оценочные, так как более современные оценки отсутствуют. Практически ни в одной из этих работ не обсуждаются факторы природной среды, влияющие на содержание химических элементов в организме человека.

В настоящее время развиваются такие новые научные направления как, геохимическая экология болезней (Сусликов В.Л., 1999, 2000, 2001, 2002; В.А. Алексеенко, М.С. Панин, В.В. Ермаков и др.), медицинская геология (Lindh U., 2005). В последнем рассматриваются вопросы взаимосвязи геологических факторов (магматизм, вулканизм, геодинамика, геохимия, геофизика и др.) и состояние здоровья человека.

Изучением элементного состава биологического материала человека (волосы, кровь, щитовидная железа) под руководством Л.П. Рихванова в конце 90-х годов XX века начали заниматься на кафедре геоэкологии и геохимии Томского политехнического университета (Н.В. Барановская, Т.Н. Игнатова, Д.В. Швецова и др.) при сотрудничестве с Сибирским медицинским университетом (Сухих Ю.И., Денисовой О.А., Станкевич С.С. и др.).

Сложности изучения элементного состава организма человека связаны с рядом причин: чрезвычайная трудность отбора проб биопсийного материала вообще, и по этическим причинам в частности; элементный состав организма определяется многими физиологическими характеристиками (возрастными, половыми, наличием патологии и др.), образом жизни (курение, питание); трудности аналитических исследований из-за низкой концентрации элементов в исследуемом материале, а также влияния многочисленных природных факторов (качество воздуха, состояние воды, почвы, горных пород).

Сегодня делаются активные попытки восстановления баланса химических элементов в организме человека (Скальный А.В., 1999, 2004), но делается это без представления о среднем оценочном уровне их содержания в норме и патологии, без учета региональных особенностей, что ограничивает эффективность реализации этого, безусловно, правильного направления по оздоровлению организма. Поэтому на современном этапе геохимических исследований человека, становится чрезвычайно актуальной проблема 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 с учетом разнотипного характера техногенного воздействия, проявляющегося на территориях разных регионов и ландшафтно-геохимических условий.. Этому способствует и развитие аналитических методов исследования (ИСП-МС, ИНАА и ряд других), позволяющих определить ультрамикроконцентрации элементов.

Для решения этой актуальной проблемы современной науки проведена инициативная работа по изучению элементного состава органов и тканей человека (ОТЧ), проживающего в условиях Западной Сибири (Томский регион), а также элементного состава зольного остатка организма человека (ЗООЧ) на примере жителей разных регионов страны: Южный – г. Ростов-на-Дону и Западно-Сибирский – г. Новосибирск и г. Новокузнецк.

Цель исследований: оценить содержание и установить закономерности распределения химических элементов в органах и тканях человека и в зольном остатке организма человека, проживающего в разных ландшафтно-геохимических и техногенно-трансформированных условиях природной среды.

Задачи исследований:

1. Оценить содержание химических элементов в органах и тканях человека и зольном остатке организма человека – жителей урбанизированных территорий.
2. Выявить зависимость уровней накопления химических элементов в органах и тканях человека и зольном остатке организма человека от ландшафтно-геохимических и геоэкологических обстановок территорий его проживания.
3. Предложить геохимическую модель организма человека как фундаментальную основу для последующих исследований.

Фактический материал и методы исследований. В основу диссертационной работы положены результаты исследований, выполненные лично автором и совместно с сотрудниками кафедры геоэкологии и геохимии Национального исследовательского Томского политехнического университета (Н.В. Барановской, Т.Н. Игнатова, Д.В. Швецовой и др.), Томского государственного университета (Л.М. Ламанова), Сибирского медицинского университета (О.А. Денисовой, С.С. Станкевич и др.) в период с 2001 г. по 2010 г. на территории Томской области и ряде других районов. Диссертация базируется на результатах анализов биопсийных проб человека и зольного остатка организма человека. Количество проб, изученное непосредственно автором, составляет 139, из них: 13 проб органов и тканей человека – г. Анапа; 48 – Томский район; 78 проб зольного остатка организма человека из них: 11 проб – г. Ростов-на-Дону, 30 – г. Новосибирск, 37 – г. Новокузнецк. Кроме того, был обобщен материал, ранее полученный по: щитовидной железе – 117 проб из Томской области (материал был предоставлен О.А. Денисовой); волосам детей – 515 проб из Томской области (Н.В. Барановская, Д.В. Швецова); крови человека – 249 пробы из Томской области (Н.В. Барановская, Т.Н. Игнатова); аортальным клапанам (патологически измененные с разной степенью кальцинации) – 21 из Томской области (материал был предоставлен Л.М. Ламановой). Общее количество изученных проб с учетом материала различного типа живого вещества, характеризующего человека, составило 1041.

Количественное определение элементов было выполнено комплексом следующих современных методов исследования: методом инструментального нейтронно-активационного анализа в ядерно-геохимической лаборатории кафедры геоэкологии и геохимии, функционирующей на базе исследовательского ядерного реактора Томского политехнического университета (аналитики с.н.с. А.Ф. Судыко, Л.В. Богутская); методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой в лаборатории Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (г. Иркутск, аналитики Г.П. Сандимирова, Н.Н. Пахомова), а также этот вид анализа выполнялся в химико-аналитическом центре «Плазма» (г. Томск, аналитик Н.В. Федюнина); эмиссионный спектральный полуколичественный и лазерно-люминесцентный анализы выполнялись в аналитической лаборатории СФ «Березовгеология» ФГУП «Урангеологоразведка» МПР РФ (г. Новосибирск, аналитики К.Н. Шевченко, И.Г. Филипчук).

Все аналитические исследования проведены в аттестованных и аккредитованных лабораториях с использованием стандартных образцов сравнения.

При этом осуществлялся внутренний и внешний контроль параллельными определениями элементов разными аналитическими методами. Погрешность определения большинства анализируемых элементов не превышала 20 %.

Научная новизна работы:

1. Впервые оценено содержание 56 химических элементов в органах и тканях человека жителей Томского района и 63 – в зольном остатке организма человека: Западно-Сибирского (г. Новосибирск, г. Новокузнецк) и Южного регионов (г. Ростов-на-Дону).
2. Установлены закономерности распределения группы малоизученных редкоземельных элементов в органах и тканях человека в зависимости от их функциональных особенностей.
3. Выявлены закономерные взаимосвязи уровней накопления химических элементов и их ассоциаций в зависимости от ландшафтно-геохимических особенностей среды обитания человека, степени ее техногенной трансформации и вида промышленных производств, функционирующих в районах исследования.

Достоверность защищаемых положений обеспечена значительным количеством проб, изученных современными высокочувствительными аналитическими методами, большим объемом экспериментальных данных, проанализированных и обработанных с применением статистических методов анализа, а также глубиной проработки материала.

Практическая значимость работы

1. Создана база для определения региональных фоновых уровней накопления элементов в организме человека, что в дальнейшем может быть использовано:
    - в биогеохимических исследованиях при глобальном и региональном мониторинге территорий, в качестве оценочных уровней;
    - медико-биологических исследованиях в целях прогнозирования заболеваемости и оздоровления населения.
2. Предложен вариант биогеохимической таблицы Д.И. Менделеева.
3. Материалы работы частично использовались в подготовке разделов учебных курсов: «Геоэкология», «Геохимия и геохимический мониторинг природной среды», «Медицинская геология» и «Биогеохимия», читаемых для студентов специальности «Геоэкология» и магистров по направлению «Экологические проблемы геологии».

Апробация и публикации: Основные положения и результаты исследований, полученных автором, докладывались и обсуждались на научных конференциях различного уровня: XII, XIII, XIV Международных научных симпозиумах имени академика М.А. Усова студентов, аспирантов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр» (г. Томск, 2008–2010 гг.), на IV Международном совещании «Геохимия биосферы» (г. Новороссийск, 2008 г.), на V и VI Международной научно-практической конференции «Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде» (Республика Казахстан, г. Семипалатинск, 2008 г., 2010 г.), на 7th International symposium «On trace elements in human: new perspectives». (Greece, Athens, 2009).

Основные положения диссертации отражены в 19 статьях и тезисах докладов, из них 3 статьи – в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК и 4 – за рубежом.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения и списка литературы, изложенных на 228 страницах печатного текста, содержит 115 рисунков и 43 таблицы. Список литературы насчитывает 283 наименования, из них 43 – на иностранном языке.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы и проведенных исследований. Определены цели и задачи диссертационной работы, изложены основные результаты, обозначен вклад автора в исследования по данной теме, отражена научная новизна работы и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе описаны материалы и методика аналитических исследований.

Вторая глава содержит эколого-геохимическую характеристику исследуемых территорий: Западно-Сибирский регион – Томский район, г. Новосибирск, г. Новокузнецк; Южный регион – г. Ростов-на-Дону, г. Анапа.

В третьей главе дан обзор степени изученности и современного состояния проблемы.

В четвертой главе рассмотрены имеющиеся на настоящий момент классификации химических элементов и показана разработанная нами классификация в химических элементов для живого вещества, основанная на подходе, реализуемом в минералогии и кристаллохимии.

В пятой главе представлены особенности распределения 56 химических элементов в каждом из исследуемых органов человека, проведена сравнительная характеристика с некоторыми природными средами и справочными данными. Предложена биогеохимическая модель человека – жителя Томского района.

В шестой главе показаны особенности распределения редкоземельных и радиоактивных элементов в органах и тканях человека жителя Томского района.

В седьмой главе представлены результаты исследований региональных особенностей элементного состава (63 химических элемента) зольного остатка организма жителей Западно-Сибирского региона (г. Новосибирск, г. Новокузнецк) и Южного региона (г. Ростов-на-Дону).

В заключении подведены итоги исследовании, сформулированы основные выводы.

Личный вклад автора заключается: в самостоятельном отборе и подготовке к аналитическим исследованиям проб органов и тканей человека и зольного остатка организма человека; обработке полученных результатов аналитических исследований, в проработке и теоретическом осмыслении полученных данных и построении моделей человека – жителя Томского района, в формулировке защищаемых положений.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность и признательность научному руководителю профессору, доктору геолого-минералогических наук Леониду Петровичу Рихванову и научному консультанту доценту, кандидату биологических наук Наталье Владимировне Барановской за внимание, ценные советы и методическую помощь на всех этапах подготовки работы.

Автор благодарен руководителям лабораторий и исполнителям аналитических исследований: А.Ф. Судыко, Л.В. Богутской, Г.П. Сандимировой, Н.Н. Пахомовой, Н.В. Федюниной, К.Н. Шевченко, И.Г. Филипчук. Автор благодарит за

предоставленный биологический материал: патологоанатома С.Ю. Федорова, главного врача Томской районной больницы – Ю.И. Сухих, руководство крематориев гг. Новосибирск, Новокузнецк, Ростов-на-Дону. Искреннюю благодарность за ценные советы, рекомендации, помощь и поддержку при написании и оформлении работы автор выражает сотрудникам кафедры геоэкологии и геохимии: профессору, д.г.-м.н. С.И. Арбузову, доцентам к.г.-м.н. В.В. Ершову, А.В. Волостнову, И.С. Соболеву, доценту к.г.н. Н.П. Соболевой старшим преподавателям к.г.-м.н. С.В. Азаровой, к.г.-м.н. Л.В. Жорняк, к.г.-м.н. А.В. Таловской, Т.В. Усмановой, к.м.н. О.А. Денисовой научному сотруднику к.г.-м.н. А.М. Межибор, заведующему лаборатории Бабченко Г.А., аспирантам Д.В. Швецовой, Т.А. Монголиной, С.С. Ильенку. Автор благодарит за ценные замечания, высказанные по работе, докторов биологических наук М.С. Панину и В.В. Ермакову, докторам медицинских наук Н.Н. Ильинских и В.Г. Волкову, докторам геолого-минералогических наук С.Л. Шварцеву и Е.Г. Язикову.

ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

ПОЛОЖЕНИЕ 1. Содержание и особенности распределения 56 химических элементов в органах и тканях человека и 63 – в его зольном остатке, в целом, подчиняются основополагающим общим геохимическим законам Кларка–Вернадского, Менделеева и правилу Оддо-Гаркинса. При этом выявляются закономерные превышения элементов 1-го класса опасности (Zn, Cd, Pb) и Au в организме современного человека относительно их кларка в ноосфере (биосфере).

По результатам исследований в органах и тканях человека (ОТЧ) жителей Томского района установлены уровни накопления 56 химических элементов, среди которых присутствуют ранее не изученные редкие, редкоземельные и радиоактивные элементы (табл. 1). Пределы накопления элементов по ОТЧ (сырая масса), позволяют определить разброс в накоплении элементов. Подробный анализ таблицы приводит к следующим выводам: во-первых, минимальные содержания 22 элементов фиксируются в молочной железе, а также 10 – в пищеводе. Во-вторых, максимальные содержания по большинству элементов отмечаются в бронхах, трахее и селезенке. В-третьих, вторая особенность указывает на то, что именно органы дыхания и орган лимфообращения (селезенка) в организме человека, вероятно, можно считать органами-концентраторами химических элементов в человеке.

Таблица 1

Пределы накопления элементов в органах и тканях человека (сырая масса, мг/кг)

	Элемент	Минимум	Максимум
1	*2*	*3*	*4*
1	**Li**	0,02 (легкие)	0,4 (пищевод)
2	**Be**	$3,4*10^{-5}$ (желудок)	$1*10^{-3}$ (селезенка)
3	**B**	0,06 (мочевой пузырь)	1,1 (головной мозг)
4	**Na**	59,4 (надпочечник)	1477 (селезенка)
5	**Al**	0,7 (молочная железа)	43,1 (бронхи)
6	**P**	58,6 (молочная железа)	2968 (щитовидная железа)
7	**S**	3,1 (молочная железа)	1436 (трахея)
8	**Ca**	12,6 (надпочечник)	1028 (трахея)
9	**Sc**	$1*10^{-4}$ (яичник)	$8*10^{-3}$ (бронхи)
10	**Ti**	0,08 (молочная железа)	8,0 (селезенка)

Продолжение табл. 1

1	*2*	*3*	*4*
11	**V**	$1*10^{-3}$ (молочная железа)	0,07 (пищевод)
12	**Cr**	$6*10^{-4}$ (молочная железа)	3,6 (поджелудочная железа)
13	**Mn**	0,1 (молочная железа)	2,7 (селезенка)
14	**Fe**	4,2 (молочная железа)	1020 (селезенка)
15	**Co**	$3*10^{-3}$ (молочная железа)	0,1 (трахея)
16	**Ni**	$5*10^{-3}$ (молочная железа)	0,18 (сердце)
17	**Cu**	0,2 (молочная железа)	4,9 (щитовидная железа)
18	**Zn**	3,4 (яичник)	63,1 (кожа)
19	**Ga**	$2*10^{-3}$ (молочная железа)	0,1 (селезенка)
20	**Ge**	$2*10^{-4}$ (молочная железа)	$4*10^{-3}$ (селезенка)
21	**Se**	$3*10^{-4}$ (надпочечник)	0,04 (лёгкие)
22	**Br**	0,04 (надпочечник)	7,4 (аорта)
23	**Rb**	0,1 (молочная железа)	2,6 (трахея)
24	**Sr**	0,1 (молочная железа)	5,2 (трахея)
25	**Y**	$2*10^{-4}$(пищевод)	0,01 (бронхи)
26	**Zr**	0,004 (12-перстная кишка)	0,12 (головной мозг)
27	**Nb**	$2*10^{-4}$ (молочная железа)	0,016 (селезенка)
28	**Mo**	0,004 (молочная железа)	0,3 (печень)
29	**Ag**	$4*10^{-4}$ (12-перстная кишка)	0,07 (аорта)
30	**Cd**	0,03 (молочная железа)	10,1 (почка)
31	**Sn**	$2*10^{-3}$ (щитовидная железа)	0,09 (скелетная мускулатура)
32	**Sb**	$1*10^{-5}$ (яичник)	0,013 (лёгкие)
33	**Cs**	$4*10^{-4}$ (молочная железа)	0,013 (селезенка)
34	**Ba**	0,1 (мочевой пузырь)	1,8 (трахея)
35	**La**	$8*10^{-4}$ (12-перстная кишка)	0,05 (лёгкие)
36	**Ce**	$6*10^{-4}$ (молочная железа)	0,13 (лёгкие)
37	**Pr**	$1*10^{-4}$ (пищевод)	$8*10^{-3}$ (лёгкие)
38	**Nd**	$5*10^{-4}$ (пищевод)	0,02 (бронхи)
39	**Sm**	$5,9*10^{-5}$ (пищевод)	$3*10^{-3}$ (бронхи)
40	**Eu**	$7,0*10^{-5}$ (толстый кишечник)	$9*10^{-4}$ (трахея)
41	**Gd**	$9*10^{-6}$ (пищевод)	$5*10^{-3}$ (бронхи)
42	**Tb**	$6,3*10^{-6}$ (матка)	$6*10^{-4}$ (бронхи)
43	**Dy**	$4,5*10^{-6}$ (пищевод)	$4*10^{-3}$ (бронхи)
44	**Ho**	$3,0*10^{-6}$ (пищевод)	$5*10^{-4}$ (бронхи)
45	**Er**	$5,1*10^{-5}$ (пищевод)	$3*10^{-3}$ (12-перстная кишка)
46	**Tm**	$4,1*10^{-6}$ (пищевод)	$2*10^{-4}$ (бронхи)
47	**Yb**	$2,7*10^{-6}$ (пищевод)	$1*10^{-3}$ (бронхи)
48	**Lu**	$1,8*10^{-6}$ (пищевод)	$2*10^{-4}$ (бронхи)
49	**Hf**	$3*10^{-5}$ (толстый кишечник)	$4*10^{-3}$ (трахея)
50	**W**	$2*10^{-5}$ (молочная железа)	0,09 (трахея)
51	**Au**	$4*10^{-6}$ (яичник)	0,01 (бронхи)
52	**Hg**	$2*10^{-4}$ (бронхи)	0,03 (матка)
53	**Pb**	$4*10^{-3}$ (молочная железа)	0,2 (трахея)
54	**Bi**	$3,5*10^{-5}$ (тонкий кишечник)	0,01 (трахея)
55	**Th**	$7*10^{-5}$ (сердце)	$6*10^{-3}$ (жировая ткань)
56	**U**	$2*10^{-4}$ (молочная железа)	$5*10^{-3}$ (трахея)

По уровням минимально и максимально встречающихся элементов условно могут быть выделены следующие группы:

- *группа главных элементов*: Na, P, S, Ca, Fe, Zn, содержание которых в ОТЧ находится в интервале от 100 до 1000 мг/кг;
- *группа элементов с содержанием от 10 до 100 мг/кг*: Al, Ti, Mn, Cu, B, Rb, Sr, Cs, Ba;
- *группа наиболее редко встречающихся элементов* Be, Sc, Ge, Sb, Sm, Eu, Tb, Hg, Au, U и др., содержание, которых в ОТЧ менее 1 мг/кг.

В первую группу входят элементы, которые, по нашему мнению, можно отнести к сопутствующим структурообразующим компонентам. Они, наряду с главными структурообразующими элементами живого вещества (H, O, C), предопределяют состав, структуру и главные свойства белков, ферментов и других составных частей живой клетки. Ряд элементов Na, P, S, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Ba, Cs, Br и некоторые другие имеют сравнительно узкий диапазон колебаний в уровнях их накопления, что косвенно может свидетельствовать об их постоянном и сравнительно равномерном нахождении в органах и тканях человека, по-видимому, играющих определяющую физиологическую роль в их функционировании. Это то, что многие исследователи называют эссенциальными элементами (жизненно необходимыми). В то же время, существует группа элементов с чрезвычайно высокими диапазонами их содержаний: Be, Cr, Sc, Zr, Cd, La, W, Au, Bi, Pb, Th и др. По-видимому, роль данных элементов в функционировании живого вещества является еще совсем слабо изученной.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что распределение изученных элементов в каждом отдельном органе, совокупной выборке ОТЧ, в зависимости от разделения людей по половому признаку и в зольном остатке организма человека (ЗООЧ) соответствует установленным геохимическим законам Кларка-Вернадского (о всеобщем рассеянии химических элементов), Менделеева (об уменьшении распространенности элементов с ростом заряда ядра) и правилу Оддо-Гаркинса (о распределении четных и нечетных элементов), что подчеркивает их всеобщий характер распределения в материальных объектах (рис. 1, 3).

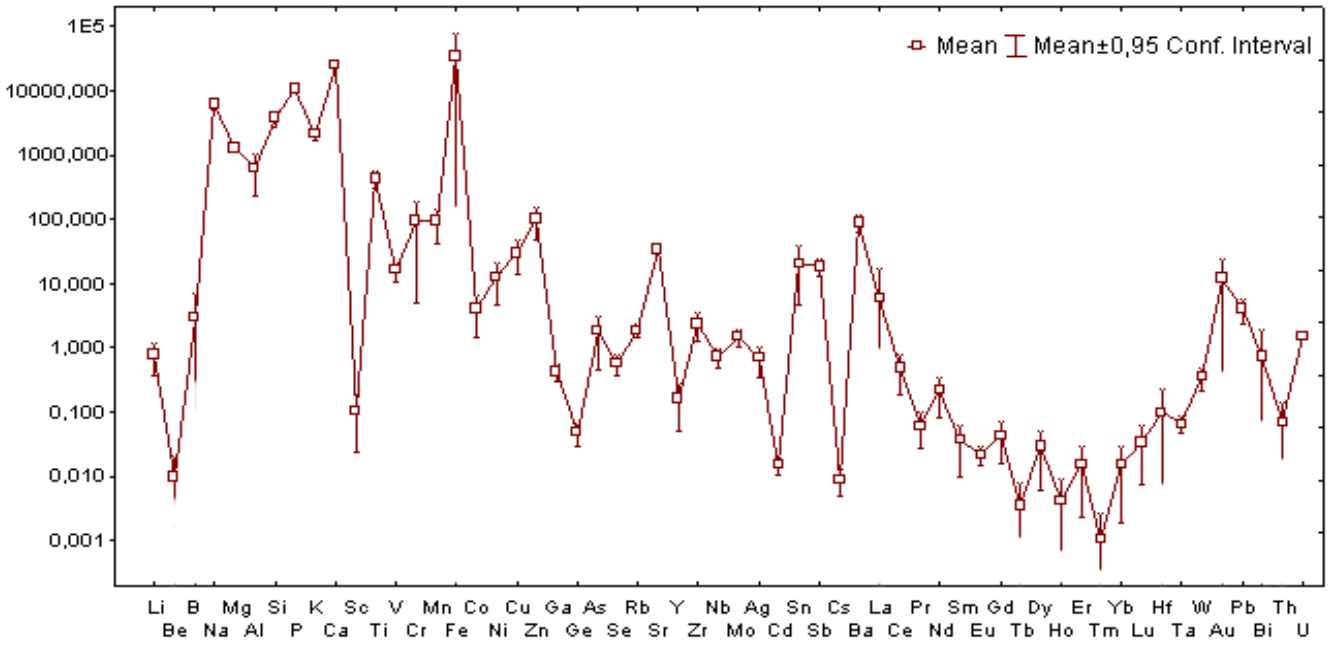

Рис. 1. Оценка среднего содержания химических элементов (мг/кг золы) в зольном остатке организма жителей разных регионов (объем выборки – 78 проб)

Живое вещество, в том числе человек, накапливает в себе химические элементы относительно их содержания в морской воде. На это акцентировал внимание один из основоположников биогеохимии А.П. Виноградов (1932). Выделяется группа элементов, содержание которых выше в морской воде, чем в организме человека. К таковым относятся B, Na, S, Ca, Br, Sr, а также компоненты, содержание которых примерно одинаковое, – Li, U. Содержание остальных 44 исследуемых элементов в организме человека выше, чем в морской воде.

Накапливаются в ОТЧ относительно геохимического кларка ноосферы (по Глазовским, 1982), такие элементы, как: P, Cd, Au, Pb (рис. 2). Примерно близкие уровни накопления отмечаются для Sr, Zn, Bi. Остальные 44 элемента в организме человека содержатся в меньших концентрациях.

Таким образом, намечается тенденция к концентрированию в организме некоторых весьма специфических элементов, относительно биосферы, таких как, кадмий и свинец, являющихся по оценке специалистов, высокотоксичными веществами I класса опасности по ГОСТ 17.4.1.02–83. На данную особенность накопления халькофильных элементов живым веществом, на примере планктона указывала Г.А. Леонова (2009).

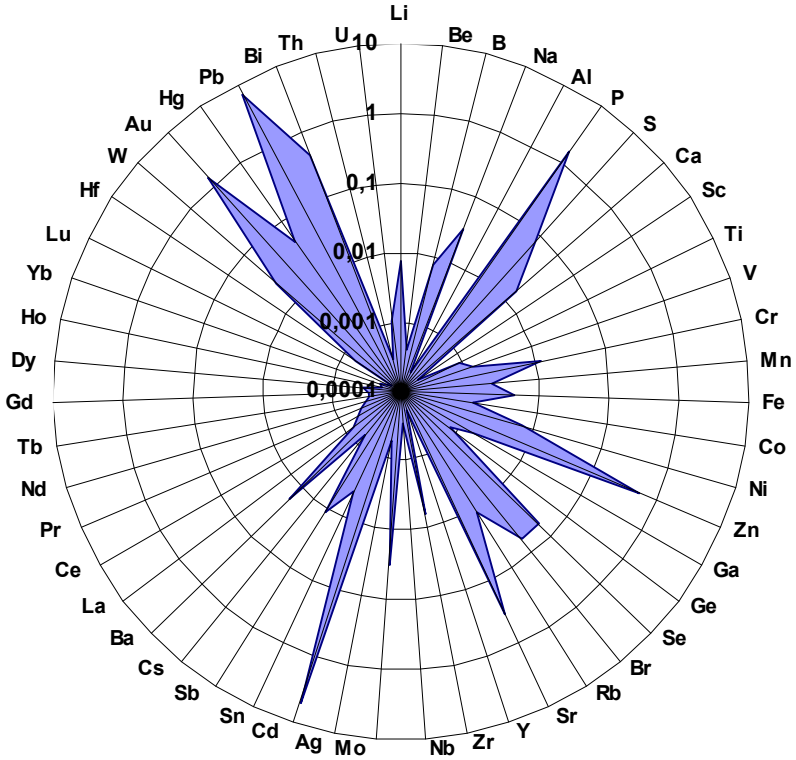

Рис. 2. Коэффициент накопления элементов в ОТЧ (сырая масса), относительно геохимического кларка ноосферы (биосферы)

ПОЛОЖЕНИЕ 2. Организм как экосистема регулирует распределение химических элементов в виде тенденции уменьшения их содержания в системах органов и тканей человека в следующем порядке:

Дыхательная ⇨ Эндокринная ⇨ Пищеварительная ⇨ ⇨ Покровная и опорно-двигательная ⇨ Крово- и лимфообращения ⇨ ⇨ Мочеполовая ⇨ Центральная нервная система, создавая защитные барьеры от избыточного поступления химических элементов, обусловленных природными и техногенными факторами среды обитания.

Установлена важная особенность ОТЧ, которая заключается в том, что в организме человека наблюдаются достаточно ярко выраженные биогеохимические барьеры, роль которых в природе чрезвычайно велика (Перельман А.И., 1973, 1989; Галлберг Р.О., 2005; Мак-Леннан С.М., 2005; Наумов Г.Б., 2010 и др.). Все системы организма человека, по уровню накопления в них элементов, особенно ярко редкоземельных, могут быть расположены в следующем порядке (по снижению концентрации химических компонентов): дыхательная, эндокринная,

пищеварительная, покровная и опорно-двигательная, мочеполовая, крово- и лимфообращения, центральная нервная система (рис. 3).

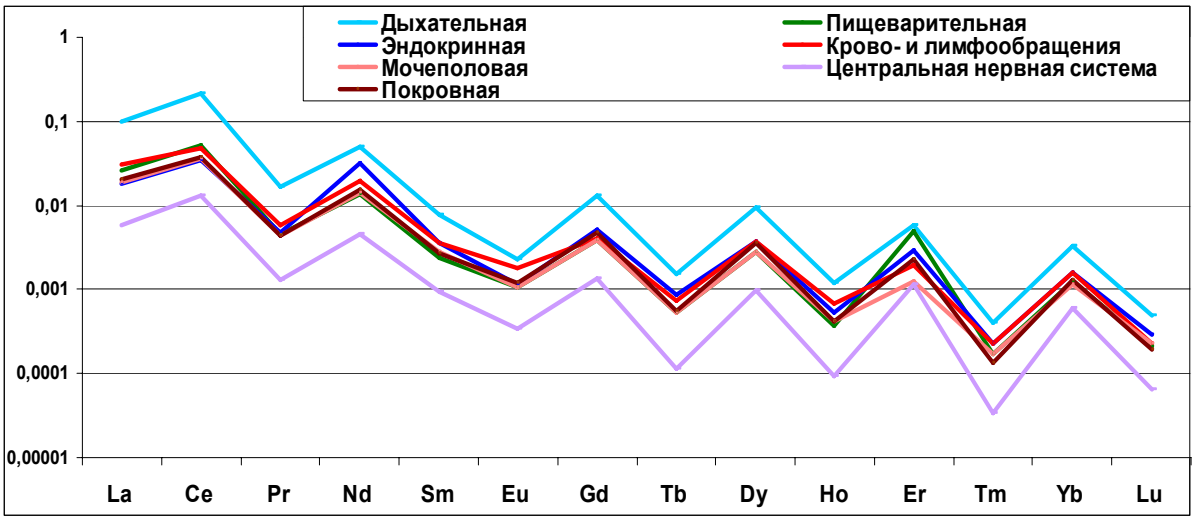

Рис. 3. Распределение редкоземельных элементов по системам органов и тканей человека (мг/кг сырой массы)

Это позволяет сделать вывод о том, что наиболее важные в функциональном отношении системы человеческого организма (крово- и лимфообращения, центральная нервная система) защищены от избыточного поступления химических элементов наличием регуляторного механизма, контролирующего их поступление, особенно в головной мозг, который, как известно, имеет специфическую защиту в виде гематоэнцефалического барьера. Основным путем поступления РЗЭ в организм, вероятно, можно считать воздушный, так как по физиологическому строению именно дыхательная система способна аккумулировать данную группу элементов.

Поступление химических элементов в организм человека происходит с продуктами питания, водой и воздухом. Поэтому эколого-геохимические особенности среды обитания жителей Томского района отражаются в элементом составе органов и тканей, особенно при рассмотрении распределения РЗЭ.

При геохимической характеристике организма, целесообразно ввести в обиход, по аналогу с устоявшейся терминологией, используемой при геохимической характеристике горных пород и минералов: минералы-носители и минералы-концентраты (Таусон и др., 1961), два новых понятия: орган (ткань)-концентратор и орган (ткань)-носитель. Выделение органов и тканей носителей и концентраторов химических элементов можно осуществлять по коэффициенту концентрации ($К_к$) относительно средневзвешенного содержания элементов в организме, т. е. речь идет о выявлении основной депонирующей среды (табл. 2). В табл. 2 для каждого элемента представлен орган-концентратор по абсолютному максимальному значению коэффициента накопления. Самый максимальный из перечисленных коэффициентов концентрации зафиксирован для Au и составляет 48,7 в бронхах. Так, наиболее ярко выделяется следующая группа органов-концентраторов: органы дыхания (трахея, бронхи, легкие), затем орган лимфообращения (селезенка). Выраженным органом-концентратором Au можно считать бронхи, Cr – поджелудочную железу, Cd – почки, S – трахею, Fe – селезенку, Mo – печень, Ag – аорту, Ce – легкие. Необходимо отметить, что все изученные специфические женские органы, ответственные за гормональные и

детородные функции, фиксируют максимальные содержания практически всех изученных элементов, в том числе и Hg.

Таблица 2

Значение коэффициента концентрации в органах и тканях человека

	ОТЧ	Кк		ОТЧ	Кк
Li	пищевод	2,6	**Ag**	аорта	**10,7**
Be	селезенка	4,3	**Cd**	почки	**22,5**
B	головной мозг	2,1	**Sn**	скелетная мускулатура	1,5
Na	селезенка	2,8	**Sb**	легкие	4,7
Al	бронхи	3,4	**Cs**	селезенка	4,3
P	щитовидная железа	6,5	**Ba**	трахея	4,8
S	трахея	**22,0**	**La**	легкие	9,2
Ca	трахея	6,0	**Ce**	легкие	**10,5**
Sc	бронхи	5,9	**Pr**	легкие	6,2
Ti	селезенка	4,6	**Nd**	легкие	4,6
V	пищевод	6,9	**Sm**	бронхи	4,9
Cr	поджелудочная железа	**27,9**	**Eu**	трахея	3,7
Mn	селезенка	4,1	**Gd**	бронхи	4,2
Fe	селезенка	**21,5**	**Tb**	бронхи	5,2
Co	трахея	9,5	**Dy**	бронхи	4,7
Ni	сердце	3,3	**Ho**	бронхи	5,2
Cu	щитовидная железа	4,6	**Er**	двенадцатиперстная кишка	3,0
Zn	кожа	2,1	**Tm**	бронхи	5,3
Ga	селезенка	6,2	**Yb**	бронхи	3,7
Ge	селезенка	5,5	**Lu**	бронхи	4,3
Se	легкие	1,9	**Hf**	трахея	1,7
Br	аорта	7,2	**W**	трахея	1,4
Rb	селезенка	3,0	**Au**	бронхи	**48,7**
Sr	трахея	6,2	**Hg**	матка	4,3
Y	бронхи	4,3	**Pb**	трахея	5,7
Zr	головной мозг	2,0	**Bi**	трахея	5,7
Nb	селезенка	1,8	**Th**	жировая ткань	1,5
Mo	печень	**12,9**	**U**	трахея	3,8

Примечание: Кк – коэффициент концентрации; жирным шрифтом показаны максимальные Кк

Предложено 4 варианта биогеохимической модели человека – жителя Томского района. Модели построены по рассчитанным коэффициентам концентрации (Кк =1–2; 2–5; 5–10; >10). В большинстве случаев именно главные и второстепенные структурообразующие элементы концентрируются в большинстве изученных органов и тканей.

ПОЛОЖЕНИЕ 3. Геохимические особенности органов и тканей человека и зольного остатка организма человека, отражают ландшафтно-геохимические и эколого-геохимические особенности регионов их проживания. Специфическими элементами зольного остатка организма человека для жителей изученных городов России являются:

г. Новосибирск – Au, Sn, Sb, Bi, Ti, V;

г. Новокузнецк – Na, Al, P, Mg, K, Ca, Rb, Sr, Ba, Cu, Ga, As, Nb, Y, Zr, Ce, Sm, Br, Se;

г. Ростов-на-Дону – Zn, Cd, Pb, La, Yb, Lu, Hf, Ta, Th, U.

Наиболее ярко взаимосвязь элементного состава организма человека и эколого-геохимических факторов природной среды его обитания, определяющихся как

природными (ландшафтно-геохимическими), так и техногенными факторами устанавливается при изучении элементного состава зольного остатка человека (крематорного материала).

Установлено среднее содержание 63 химических элементов в зольном остатке организма человека жителей Западно-Сибирского региона, например, г. Новосибирск и г. Новокузнецк и Южного региона – г. Ростов-на-Дону (табл. 3).

Таблица 3

Средние содержания химических элементов в зольном остатке организма человека (мг/кг)

	Элемент	**Новосибирск (30 проб)**	**Новокузнецк (37 проб)**	**Ростов-на-Дону (11 проб)**	**Среднее по всей выборке (78 проб)**
1	***2***	***3***	***4***	***5***	***6***
1	**[1]Li***	0,76±0,15	1,1±0,3	2,1±0,5	1,4±0,3
2	**[1]Be**	0,01±0,004	0,04±0,03	0,02±0,008	0,02±0,01
3	**[1]B**	2,9±1,5	н.п.о.	2,6±0,6	2,8±0,8
4	**[1]Na***	6187±399,0	13975±1734	6527±1574	7880±1062
5	**[1]Mg***	1324±54,4	5535±259	1112±256	2081±475
6	**[1]Al***	629±154	2351±807	756±394	1024,4±275
7	**[2]Si****	3833±401,4	4214±921,5	20000±8165	10376±3739
8	**[1]P****	10983±117,5	163255±2689	9761±526	40948±16352
9	**[1]K***	2037±158,4	9016±2145	3262±622	3923±821
10	**[1]Ca***	25080±316,4	339579±6842	15909±4679	84311±34195
11	**[1]Sc**	0,11±0,03	0,33±0,1	0,2±0,08	0,20±0,04
12	**[1]Ti**	431,4±52,4	365,5±124,1	352,7±162	386,7±68,3
13	**[2]V**	15,8±2,0	14,3±0,7	11,7±1,7	13,7±1,4
14	**[1]Cr**	95,9±35,3	74,0±27,4	41,1±6,0	69,6±15,7
15	**[1]Mn**	92,2±19,6	117,3±21,6	143,5±56	117,7±23,5
16	**[3]Fe**	37120±5886	25708±2261	45867±18746	35637±9897
17	**[1]Co***	4,1±1,0	2,5±0,3	0,9±0,12	2,5±0,55
18	**[1]Ni**	13,0±3,2	12,8±3,0	7,8±1,9	11±1,66
19	**[1]Cu**	30,7±6,4	49,1±29,9	26,6±1,5	32,7±6,0
20	**[1]Zn***	99,2±20,1	210±67	255,1±77,6	183,5±37,5
21	**[1]Ga**	0,4±0,05	1,5±0,1	0,4±0,1	0,65±0,13
22	**[1]Ge**	0,05±0,007	н.п.о.	0,02±0,008	0,03±0,01
23	**[1]As***	1,8±0,46	7,9±0,7	1,3±0,3	2,8±0,7
24	**[1]Se**	0,6±0,07	11,9±1,8	0,6±0,08	2,8±1,25
25	**[3]Br**	н.п.о.	3,1±1,1	н.п.о.	3,10±1,0
26	**[1]Rb***	1,9±0,17	7,0±1,9	4,0±1,0	3,7±0,7
27	**[1]Sr***	33,8±0,8	173,6±17,7	63,4±12,6	73,6±14,9
28	**[1]Y**	0,16±0,04	0,6±0,2	0,2±0,09	0,3±0,07
29	**[1]Zr**	2,37±0,44	4,1±1,6	1,9±0,8	2,54±0,5
30	**[1]Nb**	0,7±0,09	0,7±0,2	0,5±0,18	0,62±0,09
31	**[1]Mo****	1,5±0,2	0,7±0,1	0,4±0,06	0,88±0,15
32	**[1]Ag**	0,70±0,1	0,3±0,2	0,9±0,2	0,7±0,12
33	**[1]Cd****	0,015±0,0017	0,02±0,003	0,09±0,03	0,05±0,01
34	**[1]In**	н.д.	0,002±0,001	н.д.	0,002±0,001
35	**[2]Sn****	21,3±6,5	1,7±0,04	9,3±0,7	12,6±3,2
36	**[3]Sb****	18,3±2,2	2,1±0,6	14,2±1,8	13,4±1,9
37	**[1]Cs**	0,009±0,0016	0,03±0,01	0,03±0,006	0,02±0,004
38	**[1]Ba**	88,9±10,1	112,5±60,5	54,7±15,8	80±13,8

Продолжение табл. 3

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
39	[3]**La***	5,7±4,2	0,8±0,3	6,2±1,2	4,06±1,7
40	[3]**Ce***	0,5±0,1	1,5±0,6	1,0±0,5	0,88±0,24
41	[1]**Pr**	0,1±0,01	0,2±0,06	0,12±0,05	0,11±0,03
42	[1]**Nd**	0,21±0,05	0,6±0,2	0,38±0,2	0,4±0,09
43	[1]**Sm***	0,04±0,01	0,13±0,06	0,07±0,03	0,07±0,02
44	[1]**Eu**	0,02±0,003	0,03±0,01	0,02±0,009	0,02±0,004
45	[1]**Gd**	0,04±0,01	0,11±0,06	0,07±0,03	0,07±0,02
46	[1]**Tb**	0,004±0,002	0,02±0,007	0,02±0,004	0,01±0,003
47	[1]**Dy**	0,03±0,009	0,10±0,04	0,05±0,017	0,05±0,01
48	[1]**Ho**	0,004±0,002	0,02±0,01	0,01±0,003	0,01±0,003
49	[1]**Er**	0,02±0,005	0,05±0,03	0,02±0,009	0,02±0,01
50	[1]**Tm**	0,001±0,0006	0,009±0,005	0,002±0,001	0,003±0,001
51	[1]**Yb***	0,015±0,005	0,05±0,02	0,4±0,2	0,17±0,12
52	[1]**Lu***	0,0018±0,0005	0,008±0,005	0,02±0,001	0,02±0,01
53	[3]**Hf***	0,1±0,04	0,09±0,05	0,6±0,1	0,3±0,09
54	[1]**Ta***	0,07±0,06	0,04±0,01	0,22±0,07	0,12±0,04
55	[1]**W**	0,34±0,05	0,25±0,06	0,18±0,06	0,26±0,04
56	[1]**Pt**	н.д.	0,02±0,01	н.д.	0,02±0,01
57	[3]**Au****	7,4±1,9	0,02±0,008	0,25±0,1	4,8±2,4
58	[1]**Hg**	н.д.	0,03±0,005	н.д.	0,03±0,01
59	[1]**Tl**	н.д	0,01±0,002	н.д.	0,01±0,002
60	[1]**Pb****	3,9±0,6	1,1±0,09	54,0±34,5	23,4±14,6
61	[1]**Bi****	0,7±0,36	0,03±0,01	0,07±0,02	0,32±0,19
62	[3]**Th***	0,1±0,03	0,13±0,03	1,3±0,3	0,52±0,2
63	[4]**U***	1,5±0,1	[3]0,28±0,09	1,9±0,2	1,23±0,17
	Th/U	0,08	0,49	0,71	0,4
	La/Ce	11,4	0,5	6,2	4,6
	La/Sm	142,5	6,2	88,6	58
	La/Yb	380	16	15,5	23,9
	Ce/Yb	33,3	30,0	2,5	5,2

Примечание: среднее содержание ± стандартная ошибка; [1] – ИСП-МС; [2] – ЭСПА; [3] – ИНАА; [4] – результаты лазерно-люминесцентного анализа; * – достоверность результатов на уровне $p < 0,05$ (различие значимое); ** – достоверность результатов на уровне $p < 0,005$ (различие сильно значимое); н.п.о – ниже предела определения; н.д. – нет данных.

Особенно ярко отмеченные региональные геохимические особенности представлены на двойных и тройных диаграммах элементов состава (рис. 4, 5).

Установлено, что ЗООЧ жителя г. Новосибирск характеризуется избыточно высокой концентрацией Au (7,4 г/т), Sn (21,3 г/т), Sb, Bi, Ti, V, Co, тогда как для человека из г. Новокузнецк это: Na (13975 мг/кг), K (9016 мг/кг), Al (2351 мг/кг), P (163255 мг/кг), Mg, Ca, Cu, As, Br,

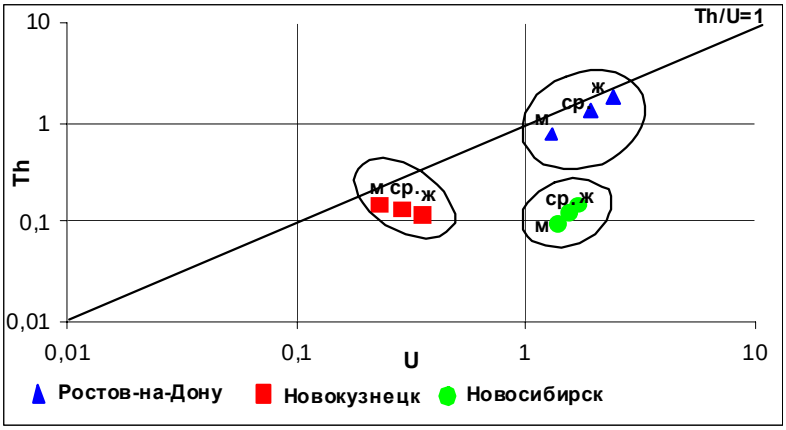

Рис. 4. Торий-урановое отношение в зольном остатке организма жителей разных регионов: м – мужской организм; ж – женский организм; ср. – среднее

Rb, Sr, Se, Zr, Ga, Y, Nb, Ba, а в зольном материале ростовчан наблюдаются максимальные накопления Pb (54,0 мг/кг), Zn (255,1 мг/кг), La, Yb, Lu, Hf, Ta, Th, U (1,9 мг/кг).

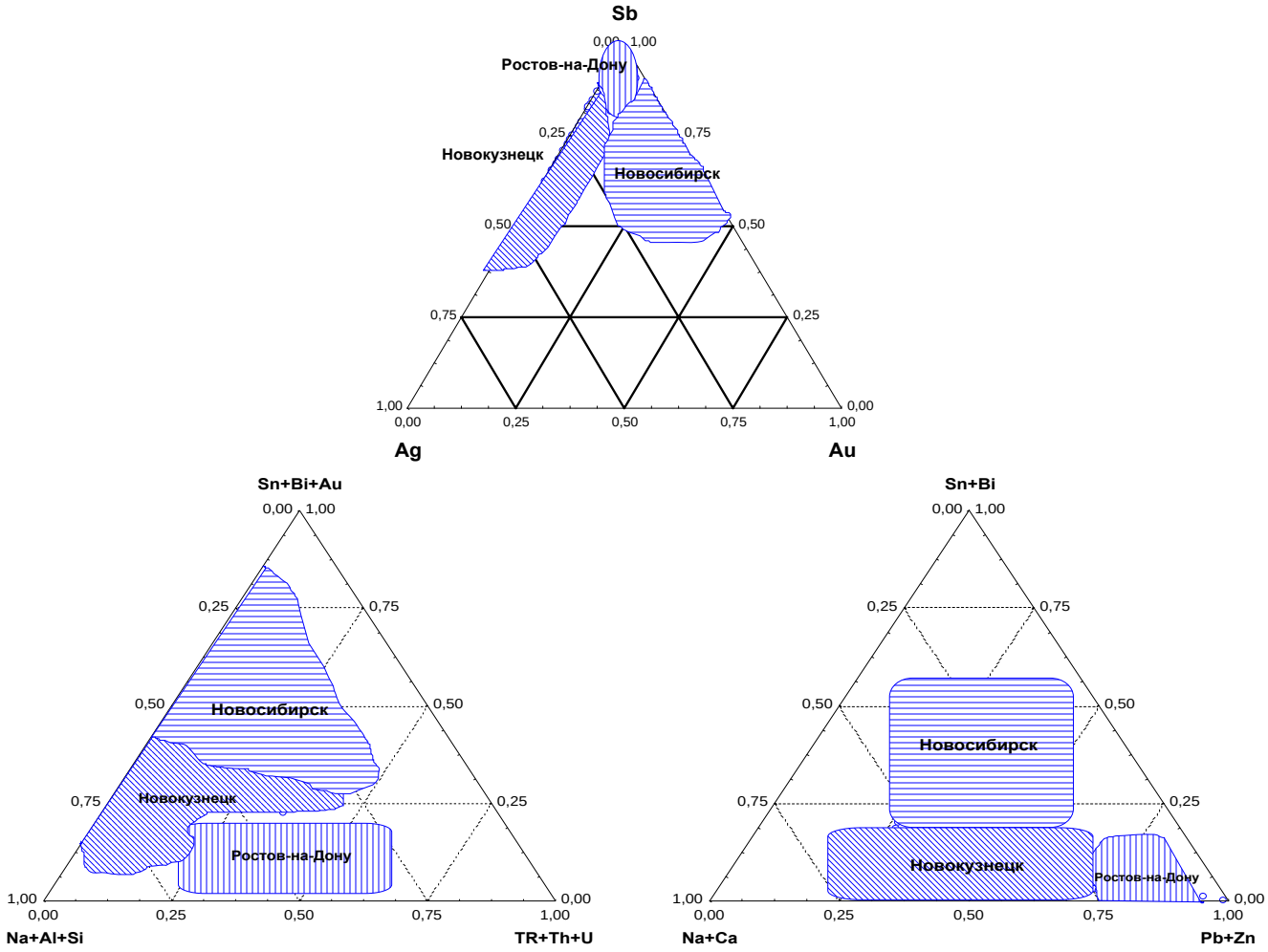

Рис. 5. Тройная диаграмма распределения специфичных элементов в зольном остатке организма человека

Результаты исследований в полной мере соответствует характеру техногенной трансформации среды обитания человека, проживающего в этих городах.

Прежде всего, таковыми для г. Новосибирск являются аффинажный завод по переработке золота (Au, Ag), Новосибирский оловокомбинат (Sn, Bi, Sb) (Девятова А.Ю., 2006), ОАО «Новосибирский завод химконцентратов» (U, Li, Hg), угольные ТЭЦ (Ti, V, Co, Sb, Au) (Экогеохимия.., 1996). Западно-Сибирский регион является золотоносным, в пределах которого развиты месторождения Au различного типа (россыпные, гидротермальные и др.). Золото, как показали исследования С.И. Арбузова (2005) и А.М. Межибор (2009), является элементом, концентрирующемся в избыточных количествах в различных средах, в том числе углях и торфах Сибири. Так, например, угли Сибири (по данным Арбузова С.И., Ершова В.В., 2007) характеризуются следующим спектром химических элементов: Be, Sc, Ti, V Cr, Co, As, Br, Sr, Sb, Ba, La, Ce, Sm, Eu, Tb Yb, Lu, Hf, Au. Для г. Новокузнецк основными источниками избыточных поступлений химических элементов являются: два комбината полного металлургического цикла – ОАО «Новокузнецкий металлургический комбинат», ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат» (Mg, Ca, Cu, As), заводы – ОАО «Новокузнецкий алюминиевый завод» (Na,

K, Al, P) и ОАО «Кузнецкие ферросплавы» и угольные ТЭЦ. Эколого-геохимическая специфика промышленного центра России характеризуется наличием следующего спектра: F, Al, Mg, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, As, Sb, Cd, Ba, La, Sm, Lu, Pb, Au, Th, U (Экогеохимия.., 1996; «О состоянии и охране окружающей природной среды Кемеровской области в 2008 году»). Ситуация в г. Ростов-на-Дону определяется наличием значительного количества предприятий металлообрабатывающего и машиностроительного комплекса (более 50 направлений), в том числе и изготовление спецсплавов, а также весьма крупных угольных ТЭЦ и ГРЭС. Существует предположение, что на данной территории ранее функционировали закрытые объекты (редкометалльное производство), на которых использовались редкоземельные элементы, но информация о них отсутствует. В качестве рабочей гипотезы можно предположить косвенное влияние крупной Северо-Кавказской провинции титан-циркониевой россыпных месторождений, но это требует дополнительного изучения других природных сред (вода, почва и т.д.). Общий мягкий морской климат (наличие высокого Br в ОТЧ) обуславливает геохимическую специфику данного региона. Эколого-геохимическая специфика г. Ростов-на-Дону: Be, Sc, V, Cr, Mn, Mg, Zn, Co, Ni, Cu, Rb, Sr, Cd, Sb, Cs, La, Ce, Sm, Eu, Hf, Pb, Hg, Th, U (радионуклиды Ra-226, Th-232 и K-40) (Кизильштейн Л.Я., 2002; Алекссеенко В.А.).

ЗООЧ жителей г. Новосибирск характеризуется наличием 49 значимых ассоциаций элементов, а ЗООЧ жителей г. Новокузнецк – 186, ЗООЧ жителей г. Ростов-на-Дону – 104. Такое различие в количестве ассоциаций можно считать одной из геохимических особенностей крупных промышленных центров.

В ЗООЧ жителей г. Новосибирск отмечаются значимые корреляционные связи между Sn с Li, Na, Sb, Ba, Pb ($r \approx 0,44–0,6$), Au с Ag, Sb ($r \approx 0,85–0,9$).

Наибольший интерес среди корреляционных связей ЗООЧ жителей г. Новокузнецк представляют: Na с Al, K, Sc, V, Cr, Br, Rb, Ag, Ba, La, Hf, Ta, Th ($r \approx 0,33–0,86$); Al с Si, K, Sc, Ti, Cr, Mn, Zn, Ga, Rb, Sn, Sb, Ba, La, Sm, Eu, Hf, Ta ($r \approx 0,32–0,74$); K с Sc, V, Cr, Br, Rb, Mo, Sn, Ba, Hf, Th ($r \approx 0,33–0,57$) данные корреляционные связи, вероятно, можно объяснить наличием ОАО «Новокузнецкий алюминиевый завод», который в производстве использует криолит (Na_3AlF_6), а ассоциации Br с Ba, Lu, Hf, Th ($r \approx 0,33–0,5$) – наличием месторождений углей и функционирующих шахт на территории и вблизи города.

ЗООЧ жителей г. Ростов-на-Дону характеризуется наличием значимых связей Th с Li, Na, Al, Si, K, Mn Co, Ga, Ba, РЗЭ, Hf, Pb ($r \approx 0,66–0,9$), что принципиально отличает жителей этого региона от жителей г. Новосибирск, где отмечается только существенная связь Th с Si, Ni, Hf ($r \approx 0,38–0,62$). Среди корреляционных связей в ЗООЧ жителей г. Ростов-на-Дону 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 сложно трансформированной в результате техногенеза эколого-геохимической обстановки и ландшафтно-геохимических условий г. Ростова-на-Дону. Как отмечает в своих исследованиях Алексеенко В.А. (2000) редкоземельное оруденение юга европейской части России можно связать с Маркопиджским месторождением, где в апатит-карбонатных рудах существенно повышены содержания La, Sm, Eu, Nd, Pr, Yb, и Gd.

Ландшафтно-геохимические условия в исследуемых городах различаются так, например, по потенциалу самоочищения от загрязняющих веществ – города Ростов-на-Дону и Новосибирск относятся к среднему, а г. Новокузнецк

характеризуется как ниже среднего (Ландшафтная эколого-геохимическая карта, 1994).

Анализ аддитивных показателей по группам элементов свидетельствует о том, что 8 изученных нетрогенных элементов (Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Fe) максимально накапливаются в ЗООЧ жителей из г. Новокузнецк (55,6) по сравнению с г. Новосибирск и г. Ростов-на-Дону – соответственно 8,3 и 7,3. Аналогичная ситуация наблюдается по основной группе, состоящей из 39 элементов, хотя различия не столь существенные. Но величина этого показателя по группе редкоземельных и радиоактивных элементов смотрится принципиально по-иному. Материал из г. Ростов-на-Дону в 3–4 раза больше накапливает эти компоненты, что подтверждает специфичность этого Северо-Кавказкого региона по условиям накопления элементов в организме человека.

Геохимические особенности ОТЧ жителей Томского района и г. Анапа принципиально отличаются. Так, в органах жителей континентального Томского района концентрируются, преимущественно, Ca, Cr, Ba, La, Hf, Au, Th, U. Данные геохимические особенности находятся в прямой взаимосвязи с эколого-геохимическими особенностями ранее исследуемых природных объектов (почва, торфа, растительность и т. д.) (Рихванов и др., 2006; Арбузов, 2008; Межибор, 2009 и др.). Необходимо учитывать и такие возможные источники элементов как комплекс предприятий Северного промышленного узла, расположенного на территории Томского района, а также многочисленные промышленные предприятия г. Томск. Сравнительный анализ накопления урана в органах и тканях человека Томского региона с аналогичными – по жителям г. Москвы и Московской области (Моисеев, Иванов, 1984) показывает, что количество урана у сибиряков выше практически на порядок, чем у жителей Центрального района России (рис. 6).

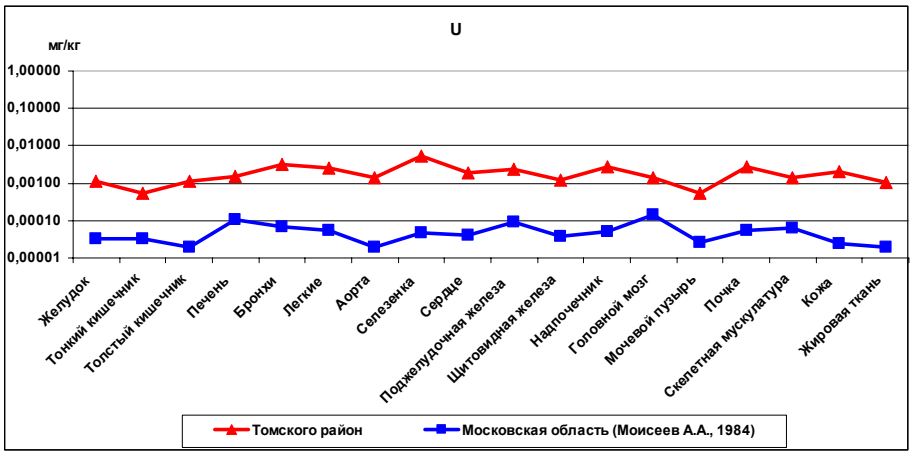

Рис. 6. Уровни накопления урана в органах и тканях жителей разных регионов

В исследуемых органах жителей г. Анапа, преимущественно концентрируются: Br, Sb, Ce, Eu, Hg. Возможным источником брома, прежде всего, можно считать присутствие моря. В прибрежных районах данный элемент всегда фиксируется во всех природных средах в значимых количествах. Возможно, что наличие Br и Sb в исследуемых органах жителей г. Анапа также можно связать с наличием нефтеперерабатывающего производства и крупнейшего порта в г. Новороссийске, где имеются нефтеперевалочные предприятия.

ВЫВОДЫ

1. Основным результатом настоящей работы является определение содержания и особенностей распределения 56 химических элементов от № 3 (Li) до № 92 (U) в органах и тканях человека – жителя Томского региона и 63 – в зольном остатке

организма человека – жителей регионов с разной степенью техногенной трансформации. Особое внимание уделялось рассмотрению малоизученным группам элементов в организме человека: редким, редкоземельным и радиоактивным. Распределение элементов в организме человека крайне неравномерное и их различия по содержанию достигает нескольких порядков.

2. Распределение изученных элементов в органах и тканях человека, и в зольном остатке организма человека подчиняется общим геохимическим законам Кларка–Вернадского, Менделеева и правилу Оддо-Гаркинса о распространении химических элементов во Вселенной.

3. Выявлено, что основная масса накопления спектра редкоземельных элементов происходит, главным образом, в системе органов дыхания, селезенке, надпочечнике и коже.

4. Выявлено, что в организме человека существует свои барьерные органы, которые выполняют защитную функцию от попадания вредных и чужеродных веществ во внутреннюю среду. Важной особенностью в распределении 56 химических элементов, а в особенности РЗЭ, можно считать наличие выявленных биогеохимических барьеров.

5. Приемы, используемые в классической геохимии для выделения минералов-концентраторов и минералов-носителей, можно использовать и при изучении биогеохимических особенностей человека. Так, например, органом-концентратором олова является скелетная мускулатура, а золота – бронхи и т.д.

6. Обнаружено принципиальное различие в накоплении химических элементов в одних и тех же органах и тканях людей, проживавших в различных природно-климатических и ландшафтно-геохимических условиях. Так, в органах жителей приморского города Анапа значимо выше концентрации Na, Br, Sb, Cs, Ce, Eu, Tb, Hg, тогда как у жителей Томского региона относительно этих урбанизированных территорий более существенное накопление Ca, Sc, Cr, Fe, Co, Rb, Sr, Ba, Hf, Ta, Au, Th, U.

7. Геохимические особенности зольного остатка организма человека находятся в соответствии с эколого-геохимическими особенностями территорий и определяются как природными, так и техногенными факторами. Так, для ЗООЧ жителей г. Новосибирск был определен следующий наиболее значимый геохимический спектр элементов: Au, Sn, Sb, Bi, Ti, V, Co; г. Новокузнецк – Na, K, Al, P (ОАО «Новокузнецкий алюминиевый завод»); Mg, Ca, Cu, As (ОАО «Новокузнецкий металлургический комбинат» и ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат»); Br, Rb, Sr, Se, Zr, Ga, Y, Nb, Ba, Ce, Sm (предприятия угольной промышленности); г. Ростов-на-Дону – Zn, Cd, Pb («приоритетные» загрязнители городов (по Гичеву Ю.П., 2002; Ревичу Б.А. и др. 2003), La, Yb, Lu, Hf, Th, U (возможно золы уноса «Новочеркасской ГРЭС»), Ta (редкометалльные производства), что отражает специфику находящихся на данных территориях предприятий, ландшафтно-геохимических условий и т. п.

8. Аддитивные показатели позволили распределить города по фактору максимальной трансформации среды обитания человека и неблагоприятных условий для его проживания в следующем порядке: Новокузнецк, Ростов-на-Дону, Новосибирск.

Список опубликованных работ по теме диссертации

1. **Игнатова Т.Н.** Региональные биогеохимические особенности накопления химических элементов в зольном остатке организма человека / Т.Н. Игнатова, Н.В. Барановская, Л.П. Рихванов, А.Ф. Судыко // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317. – №. 1. – С. 178–183.
2. Барановская Н.В. Уран и торий в органах и тканях человека / Н.В. Барановская, **Т.Н. Игнатова**, Л.П. Рихванов // Вестник Томского государственного университета. – 2010. – № 339. – С. 182-188.
3. Барановская Н.В. Современное состояние вопроса изучения геохимии человека / Н.В. Барановская, Л.П. Рихванов, **Т.Н. Игнатова** // Развитие идей континентальной биогеохимии и геохимической экологии: Материалы VI–XII Биогеохимических чтений, посвященных памяти В.В. Ковальского (2006–2010 гг.). – М.: ГЕОХИ РАН, 2010. – С. 329–339.
4. Рихванов Л.П. Элементный состав органов и тканей человека / Л.П. Рихванов, Н.В. Барановская, **Т.Н. Игнатова**, А.Ф. Судыко, Г.П. Сандимирова, Н.Н. Пахомова // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. – 2009. – № 1 (9). – С. 67–77.
5. Рихванов Л.П. Химический элементный состав органов и тканей человека и его экологическое значение / Л.П. Рихванов, Н.В. Барановская, **Т.Н. Игнатова,** А.Ф. Судыко, Г.П. Сандимирова, Н.Н. Пахомова // Геохимия. 2011. – № 4. (в печати)
6. **Игнатова Т.Н.** Естественные радиоактивные элементы в органах и тканях человека / Т.Н. Игнатова, Н.В. Барановская, Л.П. Рихванов // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы III Международной конференции, Томск, ТПУ, 23–27 июня 2009 г. – Томск: STT, 2009. – С. 214–220.
7. **Игнатова Т.Н.** Элементный состав тканей человека – жителя Томского района / Т.Н. Игнатова // Труды XII Международного научного симпозиума студентов, аспирантов и молодых ученых им. академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр», Томск, ТПУ, 14–17 апреля 2008 г. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – С. 687–688.
8. Рихванов Л.П. Геохимия живого вещества в свете учения академика В.И. Вернадского / Л.П. Рихванов, Н.В. Барановская, **Т.Н. Игнатова** // Труды XII Международного научного симпозиума студентов, аспирантов и молодых ученых им. академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр», Томск, ТПУ, 14–17 апреля 2008 г. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – С. 659–670.
9. Барановская Н.В. Сравнительная характеристика региональных особенностей элементного состава органов человека (на примере Краснодарского края и Томского района) / Н.В. Барановская, В.А. Алексеенко, Л.П. Рихванов, **Т.Н. Игнатова** // Геохимия биосферы: сборник материалов и тезисов IV Международного совещания, Новороссийск, 26–30 мая 2008 г. – Новороссийск, 2008. – С. 225–230.
10. Рихванов Л.П. Элементный состав органов и тканей человека по данным инструментального нейтронно-активационного анализа / Л.П. Рихванов, Н.В. Барановская, **Т.Н. Игнатова**, А.Ф. Судыко, Ю.И. Сухих, С.Ю. Федоров // Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде: Материалы V Международной научно-практической конференции, Семипалатинский

государственный педагогический институт, 15–18 октября 2008 г. – Т. 2. – Семипалатинск. – С. 26–36.
11. **Игнатова Т.Н.** Особенности распределения редкоземельных элементов в органах и тканях человека (на примере жителей Томского района) / Т.Н. Игнатова // Экология Южной Сибири и сопредельных территорий: Труды XII Международной научной школы-конференции студентов и молодых ученых. В 2-х т. / отв. ред. В.В. Анюшин, Абакан, 8–10 декабря 2008 г. – Абакан: Изд-во ХГУ им. Н.Ф. Катанова, 2008. – Вып. 12. – Т. 2. – С. 104–105.
12. **Игнатова Т.Н.** К вопросу о распределении редкоземельных элементов в органах и тканях человека – жителя Томского района / Т.Н. Игнатова // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XIII Международного научного симпозиума студентов, аспирантов и молодых ученых им. академика М.А. Усова, Томск, ТПУ, 6–11 апреля 2009 г. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – С. 701–705.
13. **Игнатова Т.Н.** Особенности распределения химических элементов в организме человека / Т.Н. Игнатова, Н.В. Барановская, Л.П. Рихванов // Геохимия биосферы: Сборник материалов и тезисов V Международного совещания, Новороссийск, 22–23 октября 2009 г. – Новороссийск, 2009. – С. 12–15.
14. **Игнатова Т.Н.** Региональные особенности накопления химических элементов в зольном остатке организма человека по данным нейтронно-активационного анализа / Т.Н. Игнатова, Н.В. Барановская, Л.П. Рихванов, А.Ф. Судыко // Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде: Материалы VI Международной научно-практической конференции, Семипалатинский государственный педагогический институт, 4–7 февраля 2010 г. – Т. II. – Семипалатинск, 2010. – С. 29–34.
15. **Игнатова Т.Н.** Влияние геохимической специфики региона на накопление химических элементов в золе организма человека / Т.Н. Игнатова // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XIV Международного научного симпозиума студентов, аспирантов и молодых ученых им. академика М.А. Усова, Томск, ТПУ, 5–9 апр. 2010 г. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – С. 343–344.
16. Baranovskaya N.V. Element composition of human organs and tissue / N.V. Baranovskaya, L.P. Rikhvanov, **T.N. Ignatova**, I.A. Matveenko // Proceedings 7th International symposium on trace elements in human: new perspectives, October 13–15th 2009. – Athens, Greece, 2009. – P. 212–222.
17. **Ignatova T.N.** On the problem of rare earth element distribution in human organs and tissues (by the example of the inhabitants of Tomsk region / T.N. Ignatova, N.V. Baranovskaya, L.P. Rikhvanov, I.A. Matveenko // Proceedings 7th International symposium on trace elements in human: new perspectives, October 13–15th 2009. – Athens, Greece, 2009. – P. 223–227.
18. Baranovskaya N.V. Element composition of human organs and tissue / N.V. Baranovskaya, L.P. Rikhvanov, **T.N. Ignatova**, I.A. Matveenko, G.P. Sandimirova, N.N. Pakhomova // Trace Elements and Electrolytes 27–3 (2010). – P. 171.
19. **Ignatova T.N.** On the problem of rare earth element distribution in human organs and tissues (by the example of the inhabitants of Tomsk Region) / T.N. Ignatova, N.V. Baranovskaya, L.P. Rikhvanov, I.A. Matveenko // Trace Elements and Electrolytes 27-3 (2010). – P. 172.