



# **ОЧЕРКИ ГЕОХИМИИ ЧЕЛОВЕКА**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

# **ОЧЕРКИ ГЕОХИМИИ ЧЕЛОВЕКА**

Монография

Издательство  
Томского политехнического университета  
2015

УДК 557.1:550.4

ББК 28.080.3

О-95

*Авторы*

Н.В. Барановская, Л.П. Рихванов, Т.Н. Игнатова,  
Д.В. Наркович, О.А. Денисова

О-95 **Очерки геохимии человека** : монография / Н.В. Барановская, Л.П. Рихванов, Т.Н. Игнатова и др. ; Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 378 с.

ISBN 978-5-4387-0580-2

Данная монография – единственное в своем роде на сегодняшний день издание по комплексности геохимического исследования человека. На основе количественного определения методами нейтронно-активационного и масс-спектрометрического с индуктивно-связанной плазмой анализов рассмотрены особенности распределения <sup>26</sup>а в ряде случаев 63 элементов таблицы Д.И. Менделеева, прежде всего редких, редкоземельных и естественных радиоактивных элементов. Последовательно рассматриваются уровни накопления компонентов в органах и тканях человека и его биосубстратах (волосы, кровь), зольном остатке организма человека, а также природные и техногенные факторы, определяющие накопление химических элементов в человеке. Анализируются особенности перераспределения элементов при наличии патологических состояний (заболевание щитовидной железы и др.).

Книга предназначена для широкого круга специалистов естественно-научного и медико-биологического профилей.

**УДК 557.1:550.4**

**ББК 28.080.3**

*Издание выполнено в рамках реализации программы повышения конкурентноспособности Национального исследовательского Томского политехнического университета (ВИУ\_Paris\_VI\_132\_2014)*

*Рецензенты*

Доктор медицинских наук, профессор СГМУ

В.Т. Волков

Доктор биологических наук, профессор ТГУ

*А.С. Бабенко*

**ISBN 978-5-4387-0580-2**

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2015

© Авторы, 2015

© Обложка. Издательство Томского политехнического университета, 2015

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF RUSSIAN FEDERATION  
Federal state autonomous educational institution of higher education  
**NATIONAL RESEARCH TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY**

---

# THE HUMAN GEOCHEMISTRY ESSAYS

Monograph

Tomsk Polytechnic University Publishing House  
2015

UDC 557.1:550.4

BBC 28.080.3

O-95

*The authors*

N.V. Baranovskaya, L.P. Rikhvanov, T.N. Ignatova,  
D.V. Narkovich, O.A. Denisova

**The human geochemistry essays** : monograph / N.V. Baranovskaya,  
O-95 L.P. Rikhvanov, T.N. Ignatova and others ; Tomsk Polytechnic University. –  
Tomsk : TPU Publishing House, 2015. – 378 p.

ISBN 978-5-4387-0581-9

The monograph is devoted to the geochemistry of elements in a human. So far, it is a unique complex publication containing geochemical investigations of a man. Based on the quantitative estimation through the neutron activation analysis and mass-spectrometric analysis with inductive-coupled plasma, the peculiarities of distribution of 26 elements, and in some cases 63 elements of Mendeleev's table were investigated. First of all, attention is paid to rare, rare-earth and natural radioactive elements. Twelve assays sequentially consider the accumulation levels of components in human organs and tissues and bio-substrates (hair, blood) and in ash residue of human body. The authors consider natural and technogenic factors that determine the chemical elements accumulation in a man, analyze the peculiarities of elements redistribution by diseased conditions (thyroid diseases, etc.). "The Essays" is a try to close the gap in knowledge about the chemical composition of human beings.

This book is designed for specialists of science and biomedical areas: ecologists, geo-chemists, geologists, physicians, as well as for masters and post-graduate students of these specializations.

**UDC 557.1:550.4**

**BBC 28.080.3**

*This edition is made within the program of competitive growth  
of National Research Tomsk Polytechnic University (BIY\_Paris\_VI\_132\_2014)*

*Reviewers*

Doctor of medical sciences, professor of Siberian State Medical University

V.T. Volkov

Doctor of biological sciences, professor of Tomsk State University

*A.S. Babenko*

**ISBN 978-5-4387-0581-9**

© FSAEI HE NR TPU, 2015

© The authors, 2015

© Cover. Tomsk Polytechnic University  
Publishing House, 2015

## ВВЕДЕНИЕ

---

В марте 2013 года мировое научное сообщество под эгидой ЮНЕСКО отметило 150-летие со дня рождения выдающегося учёного-энциклопедиста, естествоиспытателя Владимира Ивановича Вернадского. Сегодня историки науки дискутируют вопрос о том, к какому научному направлению можно отнести деятельность этого исследователя: к минералогии, геохимии, истории науки или философии и т. д. и, как это не странно, во всех этих и других не менее почтенных науках (астрономии, биологии и др.) он оставил своё большое научное наследие. А всего, примерно, обсуждается 14 главных направлений его научной деятельности.

Научные идеи, высказанные нашим великим соотечественником В.И. Вернадским в первой половине XX века, после долгого забвения все более активно проникают в наше мышление, способствуя осознанию неразрывных связей между Человеком и окружающей его Природой. Сам учёный пророчески предвидел такое развитие своего идейного наследия, записав в 1931 г. в своем дневнике: *«Царство моих идей впереди»*. И это прежде всего касается таких научных направлений как биосфера, ноосфера и геохимия живого вещества – биогеохимия.

Папку, посвящённую живому веществу, а у него была традиция на каждое научное направление заводить отдельную папку и отдельный стол, исследователь завёл в 1893 году, положив туда заметку Карутерса в 41 номере журнала «Природа» за 1890 год об огромной живой массе саранчи, передвигающейся по одному из регионов Африки. Учёный увидел в ней огромную энергию живого вещества и массу перемещающихся с ним химических элементов. Начиная с 1916 года, во время тяжёлой болезни, эта папка стала определяющей всю его оставшуюся жизнь.

В 1926 году на основе этой папки он пишет книгу «Биосфера», в которой он развил целостное представление о взаимодействии живого и косного вещества, о связи биосферы с космосом и роли живого вещества в эволюции земной коры. Работая над книгами по геохимии и биосфере, учёный окончательно осознаёт роль живого вещества в миграции химических элементов. Он пишет: *«в живой материи, в каждой её клетке ...идёт вихрь сменяющих друг друга химических элементов»* (В.И. Вернадский, 1994, С.168). И как только у него появляется возможность, он создаёт лабораторию по геохимическому исследованию живого вещества, ставшую знаменитой на весь мир «БИОГЕЛ», которой он лично руководил несмотря на свою огромную занятость в Академии наук. Были начаты в этой

лаборатории и исследования по геохимии человека. Об интересе к этой проблеме свидетельствуют многочисленные карточки, хранящиеся в картотеке «БИОГЕЛ».

В.И. Вернадский прекрасно понимал, что человек, изучив окружающий себя мир: горные породы, минералы, почвы, растительность, определив элементный состав морской воды, элементный состав своего собственного организма изучил крайне слабо. *«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 в своё время великий естествоиспытатель (В.И. Вернадский, 1960, С.145). К сожалению, за прошедшее время ситуация в этом вопросе мало изменилась.

В настоящий момент времени приходит понимание, что 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 геологических, ландшафтно-геохимических, климатических, социально-экономических, 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., Сусликов В.Л., и др.), в том числе и геологической среды (Medical geology, 2005).

Организм человека можно и должно рассматривать в качестве биоиндикатора, интегрирующего в себе особенности геохимической обстановки природной среды. Знания о геохимическом составе организма 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, ссылаясь на физиолога Фолькмана, приводит данные по 24 элементам (Вернадский, 1960), и этот оценочный уровень средних содержаний практически мало отличается от самых современных оценок (Ulf Lindh, 2005), что свидетельствует о том, что за последние 100 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, Н.Л.М. Bowen, J.A.C. Fortescue, D.K. Kalani, А.А. Жаворонкова, М.А. Риш, В.Л. Сусликова, Л.С. Строчкова, Н.А. Агаджаняна 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...», Жена, 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 – на-

чале 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; Саг 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., и др. 2006; 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). Следует отметить, что к сожалению изучается элементный состав некоторых органов и тканей организма человека на содержание ограниченного количества химических элементов, как правило 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 ограниченные 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 была 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 ( $^{35}\text{P}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и др.), избирательно накапливающиеся ( $^{129,131}\text{J}$ ,  $^{54}\text{Fe}$  и др.) и другие элементы. Имеющиеся справочные данные по элементному составу человека (Emsley, 1998) 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. Алексеев, 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.

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, воды, почвы, состав подстилающих горных пород и т. д.).

Сегодня делаются активные попытки восстановления баланса химических элементов в организме человека (Скальный А.В., 1999, 2004 и др.), 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.

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

Сама идея написания книги в формате очерков появилась примерно в 1993 году, когда в Томской области под руководством А.М. Адама начали проводиться системные по единой программе работы по радиационному мониторингу территории, прилегающей к Сибирскому Химическому Комбинату. В результате этих работ сотрудниками Томского государственного университета (Москвитина Н.С., Курановы В.Н. и Б.Д., Бабенко С.А., Цитленок С.И. и др.), а также Сибирского медицинского университета (Ильинских Н.Н., Матковская Т.В., Нарзулаев С.Б., Капилевич Л.В., Соломатина Т.В. и др.) исследовались биологические индикаторы воздействия и оценивались медико-биологические показатели этого воздействия. Краткий обзор этих выполненных в тот период работ в зоне влияния СХК приведён в монографии Рихванова Л.П. «Общие и региональные проблемы радиоэкологии» (Томск, Изд-во ТПУ, 1997). Уже тогда стало понятно, что геохимические показатели живых сред являются достаточно интересными индикаторами воздействия. Но потребовалось ещё долгих 20 лет исследований для того, чтобы довести это до написания очерков по геохимии человека. Именно очерков в виде монографии, допускающий более свободный стиль изложения, некоторый повтор использования материалов и некоторая незавершённость материала, предполагающая его дополнения по мере получения новых данных. Вне её рассмотрения оказались геохимические материалы по растительности, мелким млекопитающим, лягушкам и многим другим живым организмам, которые ждут ещё своего часа.

Написанию этой книги содействовала поддержка и консультации, добрые советы профессоров профессионально занимающихся теми или аспектами био-

геохимии: В.А. Алексеенко, В.С. Безеля, В.В. Ермакова, В.Е. Зайчика, Г.В. Мотузовой, Г.Б. Наумова, М.С. Панина, А.В. Пузанова, А.И. Сысо и многих других, с которыми происходили постоянные периодические встречи в Москве, Семипалатинске, Гродно, Томске и других местах, где проводились конференции, симпозиумы и школы по биогеохимии и радиоэкологии.

Авторы благодарят за техническую помощь в подготовке рукописи для печати сотрудников кафедры ГЭГХ ТПУ И.Н. Найбауэр, Е.В. Перегудину, В.В. Жукова. Слова тёплой признательности мы выражаем Н.И. Кубраковой, О.А. Васильевой и многим другим сотрудникам НТБ ТПУ и её директору Л.Н. Онищук за помощь в поисках необходимой литературы, просмотр библиографических материалов и консультации.

Особая наша признательность аналитической группе ядерно-геохимической лаборатории кафедры А.Ф. Судыко, Л.В. Богутской, обеспечившим выполнение большого объёма работ по анализу биологического материала, который лёг в основу всех представленных материалов, а также С.С. Ильинку, обеспечившему исследование зольного остатка на электронном микроскопе.

Свою лепту в сбор материалов по данной проблеме внесли студенты, бакалавры, магистранты и аспиранты кафедры Геоэкологии и геохимии Национально-исследовательского Томского политехнического университета Т. Лебедева, А. Дериглазова, Т. Дамдинова и другие.

## Очерк первый

# КРАТКИЙ ЭКСКУРС В ИСТОРИЮ ИЗУЧЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЧЕЛОВЕКА

---

### 1.1. У истоков исследования

В настоящее время можно утверждать, что любой существующий на Земле организм состоит из вполне определенного набора химических элементов. По словам В.И. Вернадского (1922, С.45; 1960, С.157, 159): «... химический состав организмов теснейшим образом связан с химическим составом земной коры... изучать биологические вопросы изучением только одного, во многом автономного организма нельзя, так как он нераздельно связан с земной корой и вне связи с ней в природе не существует».

Минеральный состав современных организмов складывался под воздействием двух процессов. С одной стороны, это эволюция состава гидро- и литосферы, характеризующаяся постоянным сдвигом соотношения химических элементов из-за различных геохимических процессов экзогенного и эндогенного характера, с другой – влияние техногенеза.

В XIX веке, например, была выявлена связь между эндемическим зобом и недостаточностью йода в окружающей среде. Во второй половине XIX века было показано, что химические элементы, содержащиеся в тканях организма в очень низком количестве, способны оказывать определенное действие на физиологические процессы. В частности, установлено, что к числу таких элементов относится Zn (Авцын А.П. и др., 1991). Крайне важную мысль о единстве организма и окружающей среды в 1864 г. высказал физиолог И.М. Сеченов.

Особый интерес представляет история развития исследований по геохимии человека. 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 (табл. 1.1), и этот оценочный уровень средних содержаний практически мало отличается от самых современных оценок (Ulf Lindh, 2005), что свидетельствует о том, что за последние 100 лет человек мало «закрасил белых пятен» в изучении геохимии своего собственного организма.

В XX веке в изучении химических элементов в организме человека выделяют два основных периода: первый с 1920 по 1956 г., и второй, современный, с 1957 г. В настоящее время можно говорить о новом, 3 этапе.

Таблица 1.1

**Современная оценка главных и сопутствующих структурообразующих (вес. %) и следовых элементов (мг/кг) в организме человека (по данным Ulf Lindh, 2005 с изменениями)**

№ п/п	Элемент	Содержание	№ п/п	Элемент	Содержание
1	кислород (O)	65,0 (65,04)	15	цинк (Zn)	0,0033 (0,00n)
2	углерод (C)	18,0 (18,25)	16	бром (Br)	0,00029 (0,000n)
3	водород (H)	10,0 (10,05)	17	медь (Cu)	0,0001 (0,000n)
4	азот (N)	3,0 (2,65)	18	мышьяк (As)	0,26 (0,n)
5	фосфор (P)	1 (0,8)	19	кобальт (Co)	0,021
6	сера (S)	0,26 (0,21)	20	хром (Cr)	0,094
7	кальций (Ca)	1,4 (1,4)	21	йод (I)	0,19 (0,0n)
8	магний (Mg)	0,5 (0,04)	22	литий (Li)	0,009
9	калий (K)	0,34 (0,27)	23	молибден (Mo)	0,08
10	натрий (Na)	0,14 (0,26)	24	никель (Ni)	0,14
11	хлор (Cl)	0,14 (0,25)	25	селен (Se)	0,11
12	кремний (Si)	0,026 (0,00n)	26	олово (Sn)	0,24
13	железо (Fe)	0,006 (0,02)	27	ванадий (V)	0,11
14	фтор (F)	0,0037 (0,000n)	28	вольфрам (W)	0,008

Примечание: в скобках данные по составу тела человека, приведенные В.И. Вернадским в 1922 г. со ссылкой на Фолькмана.

Первый период характеризуется тем, что в нашей стране создается учение о микроэлементах, которое в первую очередь связано с именем Владимира Ивановича Вернадского, пророчески предсказал большое будущее этой области знания и заложившего научные основы ее последующего развития. В.И. Вернадский (1863–1945 гг.) – создатель современного учения о биосфере, основоположник геохимии и биогеохимии.

Именно В.И. Вернадский первым (в начале XX века) организовал и поставил биогеохимические исследования в связи с разрабатываемым учением о биосфере и живом веществе, их реализация и развитие осуществлялось в организованной им же при Академии наук Биогеохимической лаборатории. Особое внимание уделялось решению проблемы геохимии живого вещества в связи с геохимией природной среды как ведущему направлению исследований. С 1916 года десятки видов растений и животных, почвы подвергались качественному и количественному химическому анализу на содержание 87 известных тогда элементов (Сытник К.М., Стойко С.М., 1984). В период 1918–1919 гг. В.И. Вернадский работал над монографией «Живое вещество в земной коре и его геологическое значение», а в 1919 г. в работе «Об участии живого вещества в создании почв» показал, что химические свойства и структура почвы суть отражения миграции вещества под влиянием живого компонента, обусловленной геологическими, климатическими факторами и физико-географическим положением. Таким образом, доказывалось

общепланетарное значение суточной, сезонной и многолетней динамики жизнедеятельности.

В 1921 г. В.И. Вернадский пишет «Записку об изучении живого вещества с геохимической точки зрения». В марте 1922 г. в своих выступлениях он сопоставляет химический состав живого вещества, земной коры, мирового океана. В докладе «Живое вещество в химии моря» акцентирует внимание на необходимости изучения баланса вещества в океане, циклических процессов миграции химических элементов.

Общая программа изучения живого вещества была подчинена основным концептуальным положениям В.И. Вернадского о планетарной значимости геохимической деятельности организмов в циклической миграции химических элементов на протяжении всей геологической истории и принципиальном различии живой и неживой материи, в том числе химическом и физическом, оценка масштабов воздействия неживой материи на геохимические процессы в биосфере.

В.И. Вернадский выделял четыре основные задачи, стоящие перед лабораторией: 1) сопоставление изотопного состава химических элементов живого и неживого вещества; 2) количественное определение элементарного химического состава живых организмов; 3) количественное определение геохимической энергии живых организмов (в своем максимальном проявлении она трактовалась как скорость распространения данного вида по всей площади земного шара с радиусом, равным экваториальному, в условиях беспрепятственного размножения данного вида), что давало возможность сопоставлять разных представителей организмов по их вкладу в миграцию атомов; 4) определение радиоактивности организмов и ее вклада в геохимическую энергию живого вещества. В.И. Вернадский считал необходимым учитывать в этих исследованиях систематическое положение живых организмов и их происхождение (по расам, видам, подвидам), характер их сообществ (выделялись гомогенные и гетерогенные, многовидовые, биоценозы), экологические особенности (в том числе унаследованные геохимические), биологические (возраст, пол, стадии развития, морфология); а также их региональную специфику (географические регионы и страны). К фундаментальным проблемам биогеохимии относилось также изучение биогенной миграции, осуществляемой человечеством (Вернадский В.И., 1930).

Успешное экспериментальное решение поставленных задач было связано с разработкой достаточно чувствительных и надежных методов определения химических элементов. Получаемый материал был уникальным, прежде всего, своей нацеленностью на оригинальную интерпретацию. Он был не менее важен как первые сведения о среднем содержании радиоактивных и редких рассеянных элементов в разных видах живых организмов, их способности к концентрированию этих элементов. Выявление специфичности в накоплении химических элементов организмами и их продуктами давало возможность использовать открытые закономерности при идентификации происхождения различных компонентов природной среды – устанавливать их биогенность.

Биогеохимическая лаборатория не имела предшественников подобного профиля ни в Союзе, ни за рубежом. На ее базе в перспективе планировалось создание самостоятельного института. «Главная работа БИОГЕЛ – точный и полный по возможности химический анализ организмов». В 1931 г. определялось уже 16 элементов: С, Н, N, О, Р, Cl, Si, К, Na, Mg, Ca, Mn, Fe, Al, Ti. В указанном наборе прослеживаются две группы элементов: первая – резко преобладающие в массе живого вещества, составляющие его основу, вторая – главные элементы земной коры, что давало возможность сопоставлять косные и живые компоненты природной среды. Исходя из того, что в живом веществе должны присутствовать все известные химические элементы, в том числе и те, физиологическая роль которых пока не изучена, лаборатория постоянно стремилась расширить круг определяемых элементов, прежде всего, за счет редких, рассеянных и радиоактивных.

Лаборатория одной из первых включилась в работы по нормированию содержания химических элементов в продуктах, что впоследствии было использовано при изучении биогеохимических провинций. С 1932 г. было положено начало работам по изучению геохимии местностей СССР, пораженных эндемическими заболеваниями (болезнь Кашина-Бека), причина которых кроется в характере состава почвы, флоры, фауны, воды и т. д., употребляемых местным населением в пищу. Одни из первых такие исследования начал проводить А.М. Симорин («Памяти ...», 1994).

В период с 1933 по 1937 гг. в лаборатории развернулись исследования по изучению химического состава организмов в связи с химизмом окружающей среды, которые легли в основу изучения биогеохимических провинций, диагностики биогенного происхождения пород, исследования миграции химических элементов в системе растения-почвы-воды. Выполненные исследования, как сообщил в своем докладе В.И. Вернадский, подтвердили фундаментальный принцип биогеохимии: количественные биогеохимические свойства являются специфическими характеристиками организмов, их рас и генераций; избирательно поглощая элементы и отражая в своей форме и составе физико-химические свойства среды, организмы, однако, не изменяют своего среднего состава. Накопление рассеянных элементов может быть и неспецифическим и определяться уровнем содержания в окружающей среде (Вернадский В.И., 1939).

В качестве фундаментальной задачи В.И. Вернадский выдвигает количественную оценку миграции химических элементов в биосфере: планировалось определение кларков биосферы, которое должно было выполняться лабораторией совместно с рядом научных учреждений (Ломоносовским, Петрографическим, Почвенным, Океанографическим институтами, Институтом рыболовства, Главной геофизической обсерваторией, Радиевым институтом). Необходимо отметить, что при определении кларков биосферы предполагались расчет массы живого вещества и оценка его критических геохимических параметров (Вернадский В.И., 1939). Вернадский В.И. указывал на необходимость изучения «технической» биогенной миграции, которая, как он полагал, имеет те же законы, что

и естественно-природная, способствует возрастанию свободной энергии в биосфере.

Неизбежность такого перехода к поликомпонентному изучению биосферы обосновывается позже в отчете 1940 г.: «Идея полного количественного изучения химического элементарного состава организмов на геохимической основе, лежащая в основе работ лаборатории, не могла не привести лабораторию к необходимости изучения химического состава также и почв, вод, воздуха, осадочных пород, иными словами среды, поскольку это касается распространения в них наиболее редких или рассеянных химических элементов. Особенно это почувствовалось при решении практических вопросов».

Комплексный, в сущности, экологический подход к региональному изучению биосферы нашел свое выражение в понятии биогеохимической провинции, сформулированном А.П. Виноградовым в 1938 г.

К началу 40-х годов XX века из проблем, поставленных В.И. Вернадским перед БИОГЕЛ, наиболее сильное развитие благодаря постоянно поддерживаемым и совершенствуемым высоким аналитическим возможностям, а также вследствие признания своего практического значения получило изучение химического состава (главным образом, содержания редких, рассеянных и радиоактивных элементов) биогенного вещества в связи с геохимией природной среды.

Подробно изучалось содержание отдельных элементов (Li, B, F, Ti, V, Co, Ni, Br, Rb, Sr, Ra и др.) в природных объектах (почвы, растения, нефть, уголь, пищевые продукты) (А.П. Виноградов, Б.К. Бруновский, Е.С. Бурксер, Д.П. Малуга, Ш.Е. Каминская, Л.С. Селиванов, С.В. Одинцова, Т.Ф. Боровик-Романова, В.А. Зильберминц и др.).

Широта и глубина задач, поставленных В.И. Вернадским перед «БИОГЕЛ», позволяет предположить, что, организуя биогеохимические исследования, он стремился подойти эмпирическим путем к решению проблемы единства мира и законов его развития на геохимической основе. В.И. Вернадский предложил установить количественно меру сходства и различия живой и неживой материи, изучать закономерности их взаимосвязи на разных ступенях организаций экспериментальным путем на элементарном химическом уровне.

Начальный период оценки химического состава живых организмов сменился к середине 30-х годов XX века изучением живого вещества в тесной связи с биокосными и косными образованиями биосферы, с исследованиями геологически выраженных продуктов жизнедеятельности (органогенных образований).

К началу 40-х годов XX века в лаборатории изучались закономерности распределения и миграции широкого круга элементов (главным образом редких рассеянных) в живых организмах и окружающей их среде, биогенных образованиях. Научные интересы сосредоточились на направлениях, имеющих важное практическое значение для сельского хозяйства, поисковой геологии, медицины. Лаборатория превратилась в мощный аналитический центр, которому было под силу не только определение 92-х известных тогда химических элементов, но и их изотопов. Это давало возможность использовать новейшие методы в разра-

ботке фундаментальных проблем генезиса химического состава различных компонентов биосферы, прикладных методов индикации геохимических процессов, выявлять мозаичную картину пространственного распределения в биосфере химических элементов, особенно микроэлементов, развивать в дальнейшем новые направления исследований в геохимии: геохимию изотопов, радиоактивных элементов; «аэрохимию»; биогеохимию микроэлементов и геохимическую экологию, геохимию органического вещества и другие.

Изучение живого вещества, количественная, композиционная, пространственная и временная оценка масштабов его деятельности – фундаментальная проблема биогеохимии, поставленная В.И. Вернадским. Выдвигаются задачи **создания единого банка данных по геохимии биосферы, дальнейшая разработка научно-методических основ биогеохимического районирования и картографирования.**

*«Нет ни одного крупного химического равновесия, в земной коре, в котором не проявилось бы основным образом влияние жизни, накладывающей неизгладимую печать на всю химию земной коры. Жизнь не является, таким образом, внешним случайным явлением на земной поверхности. Она теснейшим образом связана со строением земной коры, входит в ее механизм и в этом механизме исполняет величайшей важности функции, без которых он не мог бы существовать»* – слова великого естествоиспытателя В.И. Вернадского (2004, С.38).

А.П. Виноградов писал в 1932 г., о том, что геохимия живого вещества, другими словами биогеохимия, наука только появляющаяся. *«Биогеохимия – исходит из атомов и изучает влияние атомов, строящих живой организм, на геохимию биосферы, на ее атомную структуру»* (Вернадский В.И., 2004). В биогеохимии очень важную роль играют количественные оценки содержания химических элементов и их роль в живом организме. Наука биогеохимия имеет важное значение, прежде всего, это теоретическое, связанное, с одной стороны, с особой ролью геохимического состава среды и химического состава организмов, в том числе и человека, с другой, – исключительной ролью живого вещества в формировании условий миграции химических элементов и поддержании гомеостаза биосферы.

*«Главным недостатком в настоящее время является отсутствие полного элементарного химического количественного анализа живого вещества. Мы не имеем сейчас таких данных, сравнимых, например, с анализом минералов или новейшими анализами горных пород, ни для одного организма. Мы не имеем их даже, например, для такого организма, каким является человек, организм которого изучается уже целые столетия упорным трудом научных работников, создавших для этого огромные самостоятельные научные дисциплины, например, биогеохимия – наука об элементном составе живого вещества. При этом для человека в данных демографии и антропологии мы имеем относительно точные представления о весе вещества, составляющего относящееся к нему однородное живое вещество.*

*Для человека даются, однако, числа его среднего химического состава»* (В.И. Вернадский, 1960 С.148). Это высказывание напрямую объясняет актуаль-

ность проводимых нами сегодня исследований. Неоднократно упоминалось о связи элементного состава организма с состоянием окружающей среды.

Учеником и последователем В.И. Вернадского был Александр Павлович Виноградов (1895–1975) – руководитель химического отдела. В 1932 г. вышла работа А.П. Виноградова «Геохимия живого вещества», в которой он писал, что: *«Геохимия живого вещества, иными словами биогеохимия, является частной проблемой общей геохимии, неразрывно с ней связанной общностью идей и методик исследования. Но 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»*. В период 1946–1949 гг. А.П. Виноградовым было сформулировано понятие о биогеохимических провинциях и их роли в возникновении эндемических заболеваний человека и животных. А.П. Виноградовым и его учениками был создан Институт геохимии и аналитической химии АН СССР.

Второй период характеризуется завершением формирования микроэlementологии как отрасли медицинской науки, и связан, прежде всего, с такими именами, как Е. Underwood, В.В. Ковальский и А.П. Авцын. Теперь уже существуют международные научные общества, глубоко изучающие отдельные элементы, например, фтор (Авцын А.П. и др., 1991).

Виктор Владиславович Ковальский (1899–1984 гг.) разработал основы геохимической экологии и биогеографии химических элементов. В течение 1954–1983 гг. лабораторией биогеохимии им. В.И. Вернадского руководил д.б.н., член-корреспондент ВАСХНИЛ, проф. В.В.Ковальский. Он был председателем Научного совета АН СССР по проблемам микроэлементов, им впервые осуществлено биогеохимическое районирование СССР. Возникли многочисленные центры, в которых велась самостоятельная исследовательская работа по микроэлементам (Ковальский В.В., 1974).

Кроме биогеохимической лаборатории АН СССР, в Москве работали коллективы исследователей в Институте общей и коммунальной гигиены им. А.Н. Сысина, при Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова в Педагогическом институте им. В.И. Ленина, в НИИ морфологии человека АМН СССР и др. Каждое из этих учреждений, имело свои специфические исследовательские задачи (Авцын А.П. и др., 1991).

Необходимо указать, что в других учреждениях параллельно с активностью врачей, биогеохимиков, биологов и биогеографов развивалась не меньшая по своему объему и значению исследовательская и организаторская деятельность гигиенистов. Особое внимание уделялось определению предельно-допустимых концентраций (ПДК), а также установлению различных индикаторов, характеризующих ту или иную степень загрязнения внешней среды. Гигиенисты интересовались, кроме того, характеристикой различных синдромов, возникающих в результате контакта организма с токсичными микроэлементами (МЭ), главным образом металлами в процессе их производства (Авцын А.П. и др., 1991).

Важным историческим моментом является опубликование В.И. Войнаром в 1957 г. первой в СССР монографии по биологической роли микроэлементов.

Постепенно идеи В.И. Вернадского, заключающиеся главным образом именно в точном количественном определении среднего содержания химических элементов в организме человека, стали переходить к косвенной задаче биогеохимии и исследования именно количественного характера стали тормозиться.

Интерес к изучению биологической роли микроэлементов в СССР наблюдался с конца 50-х и до конца 80-х годов XX века, что во многом определено развитием новых аналитических методов.

Одной из наиболее полных современных сводок по геохимии живого вещества, на примере изучения планктонных сообществ континентальных водоемов, является работа Г.А. Леоновой (2009). Геохимия же человека по-прежнему остается малоизученной.

В 1982 г. впервые было сформулировано понятие о микроэлементозах (МТОЗах), которое обсуждалось на научной конференции в марте 1983 г. в Институте аналитической химии и геохимии им. В.И. Вернадского. Микроэлементозы, представляющие собой патологические процессы, вызванные дефицитами и избытками микроэлементов, были известны человечеству за несколько тысяч лет до открытия микроэлементов (Авцын А.П. и др., 1991). Недостаток, избыток, дисбаланс химических элементов в компонентах литосферы приводит к заболеваниям животных, растений, человека, именуемым в биогеохимии «биогеохимическими эндемиями». Наряду с биогеохимическими эндемиями природного происхождения, возможно возникновение эндемических болезней, являющихся реакцией на аномальный состав природной среды, измененной техногенной деятельностью человека (Жаворонков, Михалева, 1999; Скальный, 2000).

В 1983 г. была опубликована первая классификация этих своеобразных и, как выяснилось, широко распространенных болезней. В коллективной монографии «Патология человека на Севере» (1985) А.П. Авцын и А.А. Жаворонков описали проявления недостаточности жизненно важных микроэлементов (МЭ) и влияние некоторых токсичных МЭ в экстремальных зонах техногенного загрязнения на население Севера СССР. В 1986 г. были охарактеризованы важнейшие алюминозы человека. А.П. Авцын (1991) отмечал, что микроэлементология – это наука будущего и каждая из ее ветвей, в том числе и медицинская, получит свое дальнейшее развитие (Громова О.А., Кудрин А.В., 2001).

С распадом СССР исследования, связанные с развитием учения по геохимии живого вещества практически прекратились, хотя в ГЕОХИ РАН лаборатория «Биогеохимии окружающей среды» в это время работала (В.В. Ермаков). В начале 90-х годов XX века таким ученым как А.А. Жаворонков, М.А. Риш, В.Л. Сусликов, Л.С. Строчкова, Н.А. Агаджанян и другим ученым, преимущественно медикам, удалось выстоять и продолжить научную работу на этом важнейшем направлении науки.

Наиболее полно взаимосвязь между причиной многих болезней, в том числе и эндемического характера, и средой обитания человека раскрывает новое направ-

ление науки, получившее в последнее время распространение благодаря трудам В.Л. Сусликова – геохимическая экология болезней (Сусликов, 1999, 2000–2002). Направление геохимическая экология базируется на фундаментальных основах биологии, физиологии, микробиологии, геологии и экологии и позволяет установить причины распространения и формирования заболеваний на ограниченных территориях – эндемий. Это направление получило развитие в современных концепциях «Медицинской геологии».

Третий период, наиболее современный, характеризуется развитием аналитических методов исследования (ИСП-МС, ЭСПА, ИНАА и ряд других), позволяющих определить ультрамикрореконцентрации элементов, междисциплинарным подходом к решению проблем МТОЗов, возникновением нового научного направления – медицинской геологии, рассмотрению проблемы МТОЗов, вызванных природными и техногенными факторами.

Итак, ученые приходят к выводу о том, что в живом организме не только присутствуют все химические элементы, но и каждый из них выполняет определенную биологическую функцию. По мере того как развиваются исследования в данном направлении, выявляется биологическая роль все большего числа химических элементов.

В.И. Вернадский в начале XX века подчеркивал, что «... появление культурного человека начинает менять химический лик нашей планеты» (Вернадский В.И., 1960, С.158), тем самым, предвидя те геохимические изменения в биосфере, которые произошли за последние 70 лет. Эти основополагающие выводы великого ученого на зависимость элементного состава организма от среды обитания позднее были многократно подтверждены и логически развиты исследованиями А.П. Виноградова, В.В. Ковальского, А.И. Перельмана, В.А. Алексеенко, В.В. Сусликова и многими другими. Именно на этом постулате основаны биогеохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых (Н.И. Сафронов, А.П. Соловов, А.А. Сауков, Д.П. Малюга, С.М. Ткалич, Т.Т. Тайсаев, А. Левинсон и др.), создано учение о биогеохимических провинциях (А.П. Виноградов, В.В. Ковальский и др.) и о взаимосвязи этих провинций с проявлением эндемических заболеваний (А.П. Авцын, В.В. Ковальский, В.В. Ермаков, В.А. Ковда и др.), что способствовало становлению нового научного направления «Медицинская геология», активно развиваемого в настоящее время Olle Selinus (Швеция) ("Essentials of Medical Geology", 2005) и другими, появлению учения об микроэлементозах (Авцын и др., 1991; Ю.А. Москалев и др.).

Исследования по определению элементного состава организма человека, необходимы по причине в первую очередь сложной экологической ситуации наших дней, когда человек своим производством губит самого себя, а элементный состав собственного организма так и остается малоизученным.

## 1.2. Поступление и содержание химических элементов в организме человека

Общеизвестно, что для профилактики неблагоприятного воздействия химических поллютантов на организм человека необходимо, прежде всего, выяснить пути и источники их поступления (Мешков и др., 2003). Как было отмечено, элементный состав организма человека может отражать эколого-геохимическую специфику ландшафтов его существования.

Абсолютное содержание элементов в органах и тканях человека может значительно колебаться в зависимости от места жительства (Жук и др.) ... постоянных пищевых рационов, степени усвояемости элемента организмом и других причин, определяющих уровень поступления и накопления данного элемента, а также в зависимости от индивидуальных особенностей организма (Кузубова Л.И., 2000). Довольно широко распространена недостаточность микроэлементов в питании пожилых людей, что обусловлено употреблением более однообразной пищи в связи с низкой потребностью в компенсации энергетических затрат, нарушением обменных процессов.

Пищевые продукты – это одно из важнейших звеньев в связке человек – окружающая среда. Непрерывное загрязнение окружающей среды разнообразными промышленными отходами, использование сотен различных пестицидов химического и биологического происхождения в сельском хозяйстве создают устойчивый многоликий источник опасных токсикантов, попадающих в продовольственное сырье, а затем в продукты питания (Кузубова Л.И., 2000).

Пищевые продукты имеют способность аккумулировать из окружающей среды вредные вещества и концентрировать их в больших количествах, поэтому в организм человека из окружающей среды поступает 20–40% веществ-загрязнителей с водой и 40–50% – с пищевыми продуктами (Комаров, 1996). Среди классифицированных групп загрязнителей пищевых продуктов существует перечень элементов, которые к настоящему времени определенно считают потенциально опасными для человека, даже в следовых количествах (Зигель, 1993). Этот перечень, включающий Al, Cr, Fe, Co, Ni, Zn, As, Se, Mo, Cd, Sn, Sb, Hg, Pb, содержит большинство химических элементов, циркулирующих в биосфере и воздействующих на нее.

Человек с пищевыми продуктами постоянно потребляет тот или иной набор содержащихся в них химических элементов. Часть их является естественной структурной составляющей какого-либо продукта, другая – привнесена извне, чаще всего как антропогенное загрязнение из окружающей среды (Кузубова Л.И., 2000).

К группе достаточно распространенных потенциально опасных для человека элементов относят V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Mo, Cd, Sn, Sb, Hg, Pb причем определенно опасными из них считают только Cd, Sn, Hg, Pb, именно этот спектр элементов накапливается в зольном остатке организма человека по результатам наших ис-

следований. Причем это подтверждается даже по результатам нормирования к таким показателям, как кларк ноосферы, биосферы, зола бурых углей.

Как отмечал В.И. Вернадский в живом организме присутствуют все элементы таблицы Д.И. Менделеева. Все живые организмы на Земле, в том числе и человек, находятся в тесном контакте с окружающей средой. Жизнь требует постоянного обмена веществ в организме. В соответствии с рекомендацией диетологической комиссии Национальной академии США ежедневное поступление химических элементов с пищей должно находиться на определенном уровне (табл. 1.2.1). Столько же химических элементов должно ежедневно выводиться из организма, поскольку их содержания находятся в относительном постоянстве.

Таблица 1.2.1

**Суточное поступление химических элементов в организм человека (по Кукушкину Ю.Н., 1998)**

№ п/п	Элемент	Суточное поступление, мг	
		взрослые	дети
1	K	2000–5500	530
2	Na	110–3300	260
3	Ca	800–1200	420
4	Mg	300–400	60
5	Zn	15	5
6	Fe	10–15	7,0
7	Mn	2,0–5,0	1,3
8	Cu	1,5–3,0	1,0
9	Mo	0,075–0,250	0,06
10	Cr	0,05–0,2	0,04
11	Co	Около 0,2 (витамин B <sub>12</sub> )	0,001
12	Cl	3200	470
13	PO <sub>4</sub> <sup>3</sup>	800–1200	210
14	SO <sub>4</sub> <sup>2</sup>	10	–
15	I	0,15	0,07
16	Se	0,05–0,07	–
17	F	1,5–4,0	0,6

Жизненная необходимость, дефицит, токсичность химического элемента представлены в виде кривой зависимости «Концентрация элемента в пищевых продуктах – реакция организма» (рис. 1.2.1). Приблизительно горизонтальный участок кривой (плато) описывает область концентраций, соответствующих оптимальному росту, здоровью, воспроизведению. Большая протяженность плато указывает не только на малую токсичность элемента, но также на большую спо-

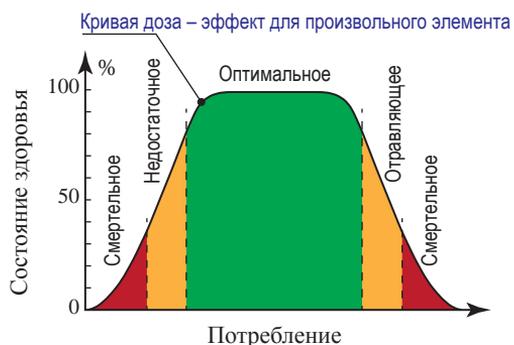


Рис. 1.2.1. Кривая зависимости реакции организма от концентрации веществ в пище (Bowen N.J.M., 1966)

При малом поступлении данного элемента организму наносится существенный ущерб. Он функционирует на грани выживания. В основном это объясняется снижением активности ферментов, в состав которых входит данный элемент. Избыток или недостаток в организме отдельных химических элементов или их соединений приводит чаще всего к возникновению патологических состояний.

Для того, чтобы избежать вышеописанных эффектов, существуют данные о суточном рационе и нормах поступления элементов в организм человека (табл. 1.2.2, 1.2.3). Даже необходимые элементы при употреблении в избыточных количествах могут оказаться токсикантами (Кузубова, 2000). Это наглядно показано в табл. 1.2.2, где приведены ориентировочное потребление и возможные пределы нормы, дефицита и токсичности химических элементов, среди которых рассмотрены тяжелые металлы и биогенные элементы, поступающие в организм человека с продуктами. По мнению специалистов, к категории тяжелых металлов с учетом токсичности, стойкости, способности к кумуляции и распространению в окружающей среде следует относить: Hg, Pb, Cd, Co, Ni, Zn, Sn, Cu, Mo, V и As (Ильин, 1991; Давыдова, 1994; Трахтенберг и др., 1994; Кузубова, 2000). Действие металлов на организм и возникающая сила ответной реакции зависят как от физико-химических свойств элементов, так и от особенностей организма (Кузубова, 2000).

Учитывая, что пищевые продукты являются одним из путей поступления микроэлементов в организм человека (табл. 3.4) и в соответствии с требованиями, предъявляемыми к качеству пищевых продуктов, Объединенная Комиссия ФАО/ВОЗ по пищевому кодексу (Codex Alimentarius) определила восемь наиболее важных в гигиеническом контроле микроэлементов – Hg, Cd, Pb, Zn, Cu, Sn, Fe, As (Рейли, 1985; Микроэлементы в питании человека, 1975). В настоящее время этот перечень дополнен такими металлами как Sb, Ni, Cr, Al. Химические токсиканты (в том числе тяжелые металлы), загрязняя воду, воздух, почву, в конечном итоге оказываются на столе у потребителя в виде опасных для здоровья ингредиентов пищевых продуктов (табл. 1.2.3) (Киприянов Н.А. и др., 1990).

способность организма к адаптации по отношению к значительным изменениям содержания этого элемента. Наоборот, узкое плато свидетельствует о значительной токсичности элемента и резком переходе от необходимых организму количеств к опасным для жизни. При выходе за плато (увеличение концентрации микроэлемента) все элементы становятся токсичными. В конечном счете, существенное увеличение концентрации микроэлементов может привести к летальному исходу.

В результате воздействия токсических веществ начинают возникать в той или иной форме и проявляться нежелательные эффекты, гигиенические и медицинские показания по которым обязывают соответствующие службы контролировать наличие обозначенных токсикантов в пищевых продуктах. Таким образом, в настоящее время обязателен контроль содержания в пищевых продуктах следующих микроэлементов: Hg, Cd, Pb, Zn, Cu, Sn, Fe, Co, Mo, As, Sb, Ni, Cr, Al, Se. Большая часть их по определению специалистов – тяжелые металлы, несомненно, влияющие в определенных условиях на здоровье человека.

В настоящее время изучается элементный состав продуктов питания человека (Бергенер П., пер. с англ. У. Сапциной, 1998), необходимо отметить, что и там количество элементов ограничено (Mg, Si, K, Ca, Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, Se). Знание уровня естественного содержания микроэлементов в пищевых продуктах является, с одной стороны, обязательным условием для изучения их баланса в организме, роли в физиологических процессах и патологии. С другой стороны,

Таблица 1.2.2

**Поступление минеральных ингредиентов пищевых продуктов в организм взрослого человека (в расчете на массу 70 кг) (по Киприянову и др., 1991)**

№ п/п	Химический элемент	Летальное, г/день	Токсичное, мг/день	Нормальное, мг/день	Дефицитное, мг/день
1	Mg		–	250–380	12
2	Al	1,3–6,2	60	0,0014–0,008	–
3	V	–	18	0,14	–
4	Cr	3–8	200	0,01–1,2	0,035
5	Mn	–	–	0,4–10,0	–
6	Fe	7–35	200	6–40	6
7	Co	–	500	0,005–1,8	0,0002
8	Ni	–	–	0,3–0,5	0,006
9	Cu	0,175–0,25	–	0,5–6,0	0,03
10	Zn	6	150–600	5–40	5
11	As(III)	0,05–0,34	5–50	0,04–1,4	0,07
12	Se		5	0,006–0,2	0,006
13	Mo	–	–	0,05–0,35	–
14	Cd	1,5–9	3–330	0,07–0,3	–
15	Sn		2000	0,2–3,5	–
16	Sb	–	100	0,002–1,3	–
17	Ba	3,7	200	0,6–1,7	–
18	W	–	–	–	0,001–0,015
19	Hg	0,15–0,3	0,4	0,04–0,02	–
20	Pb	10	–	0,06–0,5	–
21	U	–	–	0,001–0,002	–

Таблица 1.2.3

**Усредненные данные о фоновом содержании некоторых химических элементов в основных пищевых продуктах и суточных рационах питания (Методические рекомендации по определению ..., 1986)**

№ п/п	Элемент	Пищевые продукты, мг/кг							Суточный рацион, мг
		Рыба	Мясо	Молоко	Хлеб	Картофель	Овощи	Фрукты	
1	F	7,0	4,0	0,18	0,4	0,17	0,2	0,1	0,91
2	Al	2,5	1,0	0,3	12,0	18,6	5,0	4,0	13,5
3	Cr	0,15	0,09	0,02	0,05	0,05	0,04	0,03	0,09
4	Ni	0,2	0,1	0,02	0,1	0,1	0,1	0,05	0,15
5	Cu	1,5	1,5	0,02	3,0	1,4	1,1	1,0	2,4
6	Zn	10,0	25,0	4,0	15,0	3,6	4,0	1,5	16,7
7	As	0,1	0,1	0,04	0,2	0,1	0,1	0,05	0,24
8	Se	0,6	0,5	0,04	0,2	0,1	0,1	0,05	0,29
9	Cd	0,1	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,005	0,034
10	Sb	0,04	0,01	0,001	0,006	0,006	0,006	0,003	0,011
11	I	0,7	0,1	0,0	0,15	0,1	0,1	0,05	0,22
12	Hg	0,15	0,007	0,003	0,005	0,003	0,003	0,002	0,015
13	Pb	0,45	0,15	0,05	0,2	0,2	0,2	0,05	0,31

знание микроэлементного состава пищевых продуктов, рационов и питьевых вод необходимо для того, чтобы успехи физиологических, биохимических и биогеохимических исследований могли быть использованы органами здравоохранения, мониторинговыми службами при осуществлении профилактических и других оздоровительных мероприятий, в том числе для рационализации питания и водоснабжения.

Физиологически полноценное питание необходимо для роста, развития, сохранения здоровья, поддержания высокой работоспособности, сопротивления организма инфекционным заболеваниям и другим факторам окружающей среды. Установлено, что организм человека для наилучшего функционирования должен ежедневно получать около 600 различных пищевых веществ. К ним относятся аминокислоты, витамины, макро- и микроэлементы, органические кислоты, фитоконпоненты, пищевые волокна и другие вещества. В природе не существует продуктов, которые содержали бы все необходимые для человека компоненты (за исключением материнского молока для младенцев). Поэтому только комбинация разных продуктов в ежедневном рационе лучше всего обеспечивает организм наибольшим количеством необходимых веществ.

Сегодняшняя жизнь свидетельствует о значительных и неблагоприятных изменениях как количественной, так и качественной стороны питания. Снижается употребление наиболее ценных продуктов питания с высоким содержанием минералов – овощей, фруктов, цельных зерновых, бобовых, орехов, но в то же время увеличивается доля хлебобулочных изделий, очищенного картофеля и рафиниро-

ванных сладостей (сахара, конфет, сладкой воды и т. п.). Уменьшается употребление натуральных продуктов и увеличивается использование продуктов консервированных, с длительным сроком хранения, подвергающихся технологической обработке. В результате существенно снижается поступление в организм минералов и других важных веществ. Рацион современного человека, достаточный для покрытия ежедневных энергетических трат, не может обеспечить рекомендуемые физиологические нормы потребления незаменимых питательных веществ, а одними из них являются минеральные.

Содержание микроэлементов в пищевых продуктах зависит от характера почвы, ее физических свойств и химического состава, климато-географических и погодных условий, от вида, сорта и стадии вегетации растений, применяемых удобрений, от вида сельскохозяйственных животных, их породы, характера питания, упитанности и других условий. Данные о содержании микроэлементов в пищевых продуктах одной почвенно-климатической зоны не могут полностью характеризовать те же продукты из другой зоны. Кроме того, население, особенно сельское, использует для питания преимущественно продукты местного происхождения.

Пищевые продукты растительного происхождения являются основным источником многих микроэлементов для организма человека, и в свою очередь они представляют особый интерес, так как могут отражать эколого-геохимические особенности региона (Гриффит В., пер. с англ. К. Ткаченко, 2002). В тканях растений происходит синтез органических веществ из неорганических, в связи с чем в них часто содержатся большие количества микроэлементов, которые входят в состав ферментов, участвующих в синтезе. Микроэлементы извлекаются корнями растений из глубоких слоев почвы и накапливаются во всей толще стеблей, прожилках листьев и по периферии плодов. Поступление микроэлементов из почвы в растения чрезвычайно сложный процесс, на который влияет множество факторов. Одним из важнейших факторов является содержание микроэлементов в почве в легкоподвижной форме. Co, Cu, Zn, Mn, Mo и некоторые другие микроэлементы усваиваются растениями в виде органических комплексов, образующихся в почвенных растворах, соприкасающихся с тонкими корешками растений за счет выделяемых последними органических кислот (шавелевой, уксусной, лимонной, яблочной, пировиноградной и др.). Поэтому к подвижным формам микроэлементов относят те, которые растворяются не только в воде, но и в слабокислых растворах. Растворению минеральных соединений помогают и микроорганизмы, находящиеся в симбиозе с корнями. Зависимость между содержанием микроэлемента в растении и почве характеризует коэффициент биологического поглощения, под которым понимают отношение содержания микроэлемента в золе растения к содержанию его в почве. Например, марганец и железо задерживают поступление кобальта в растения (Пейве, 1960). Огромное влияние оказывает реакция среды, кислая реакция среды способствует усвоению марганца и цинка, нейтральная и щелочная – молибдена.

Потребляя, например, шиповник в виде настоя, в котором со 100% точностью содержатся: К, Mg, Cu, Co, Se, В, будет происходить дополнительное накопление таких микроэлементов как медь, кобальт, цинк. Организм человека до сих пор остается малоизучен в количественном отношении. Поэтому говорить о том, что будет, например, благоприятно сказываться на здоровье человека потребление того же шиповника с точностью утверждать нельзя, не зная количественного состава его организма.

Организм человека состоит на 60% из воды, 34% приходится на органические вещества и 6% – на неорганические (Барашков, 2011). Основными компонентами органических веществ являются С, Н, О, в их состав входят также N, P и S. В неорганических веществах организма человека обязательно присутствуют 22 химических элемента: Ca, P, O, Na, Mg, S, B, Cl, K, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Cr, Si, I, F, Se, а остальные элементы также присутствуют, но содержания их либо точно не установлено, либо их роль до конца не выяснена («Человек медико-биологические данные», 1977). Например, если вес стандартного человека составляет 70 кг, то в нем содержится (в граммах): Ca – 1700 г, K – 250 г, Na – 70 г, Mg – 42 г, Fe – 5 г, Zn – 3 г (табл. 1.2.4).

Наиболее полной сводкой по химическому составу человека на сегодняшний день, доступной для широкого пользования, по имеющимся у нас данным, являются материалы доклада рабочей группы II МКРЗ по условному человеку («Человек медико-биологические данные», 1977), 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, по содержанию редких, редкоземельных и радиоактивных элементов. По справочнику были проведены дополнительные перерасчеты и вычислено содержание химических элементов в целом в организме условно-здорового человека (табл. 1.2.5).

На сегодняшний день справочные данные следует использовать как сугубо оценочные. В ряде справочников (Эмсли, 1993) также имеется количественная информация по содержанию некоторых специфических элементов в органах человека, но опять же рассматривается чрезвычайно узкий их спектр.

Организмы развивали свою внутреннюю биохимию в близкой связи с составом окружающей среды. Человек, так же как все и млекопитающие, в отличие от прокариотов и других более низших организмов, не в состоянии легко приспособиться к любому изменению в химическом составе их среды обитания (Alina Kabata-Pendias, 2007).

Содержание химических элементов в человеческом организме значительно изменяется, и зависит это от нескольких внешних и внутренних факторов. Самое высокое изменение в концентрациях из большинства микроэлементов (за исключением Cu и Zn) в сыворотке (табл. 1.2.6).

Таблица 1.2.4

**Химический состав организма человека (по данным справочника  
«Человек медико-биологические данные», 1977)**

Рост – 170 см. Масса тела – 70 кг. Поверхность тела – 1,89 м <sup>2</sup> . Продолжительность жизни 70 лет.			
Состав организма			
Вещество	Масса, кг	% к массе тела	
Вода	40–46	57–66	
Белок	10	14	
Жир	7	10	
Углеводы	0,7	1	
Зола	3,5	5	
Химические элементы в клетках человека			
Элемент	В % к сухой массе	Элемент	В % к сухой массе
O	65	Mn	0,0003
C	18	Cu	0,0002
H	10	I	0,0004
N	3	Co	Следы
Ca	1,5	Zn	Следы
P	1	Mo	Следы
K	0,35	Ni	Следы
S	0,25	Al	Следы
Na	0,15	Ba	Следы
Cl	0,15	Sr	Следы
Mg	0,05	Ti	Следы
Fe	0,004	Li	Следы

При сравнении средних содержаний по человеку (табл. 1.2.6) со справочными материалами (табл. 1.2.5) необходимо отметить практически по всем элементам идентичное содержание.

В работе же Н.В. Семенова (1971) было изучено содержание Mn, Co, Cu, Zn в мышцах сердца, скелетных мышцах, печени, почках человека (табл. 1.2.7). Проанализировав данные табл. 1.2.5 и 1.2.6, можно говорить о том, что результаты, представленные Alina Kabata-Pendias (2007) не только новые, но, также отмечается значительное повышение уровня накопления элементов в почках, печени в сравнении с данными 1971 г. по представленным элементам.

В ряде населенных пунктов Республики Алтай в целях выявления возможного техногенного загрязнения окружающей среды на состояние здоровья проводилось обследование женщин, в том числе и матерей с новорожденными. В качестве биологического материала для оценки поступления в организм тяжелых металлов и других химических элементов исследовались: кровь матери, ново-

Таблица 1.2.5

**Содержание химических элементов в организме человека (по данным справочника  
«Человек медико-биологические данные», 1977, с нашими допол. 2008)**

№ п/п	Элемент	Содержание, г (1977)	Содержание, мг/кг (2008)
1	H	$7,0 \cdot 10^3$	$9,99 \cdot 10^4$
2	Be	$3,6 \cdot 10^{-5}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$
3	B	$2,0 \cdot 10^{-2}$	0,28
4	C	$1,6 \cdot 10^4$	$2,28 \cdot 10^5$
5	N	$1,8 \cdot 10^3$	$2,57 \cdot 10^4$
6	O	$4,3 \cdot 10^4$	$0,61 \cdot 10^5$
7	F	2,6	37,13
8	Na	$1,0 \cdot 10^2$	$1,43 \cdot 10^3$
9	Mg	19	$0,27 \cdot 10^3$
10	Al	$6,1 \cdot 10^{-2}$	0,87
11	P	$7,8 \cdot 10^2$	$1,1 \cdot 10^4$
12	S	$1,4 \cdot 10^2$	$1,9 \cdot 10^3$
13	Cl	95	$1,35 \cdot 10^3$
14	K	$1,4 \cdot 10^2$	$1,9 \cdot 10^3$
15	Ca	$1,0 \cdot 10^3$	$1,43 \cdot 10^4$
16	Cr	$6,6 \cdot 10^{-3}$	$9,4 \cdot 10^{-2}$
17	Mn	$1,2 \cdot 10^{-2}$	0,17
18	Fe	4,2	59,9
19	Co	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$21,4 \cdot 10^{-3}$
20	Ni	$1,0 \cdot 10^{-2}$	0,14
21	Cu	$7,2 \cdot 10^{-2}$	1,03
22	Zn	2,3	32,8
23	As	$1,8 \cdot 10^{-2}$	0,25
24	Br	0,2	2,8
25	Rb	0,68	9,7
26	Sr	0,32	4,5
27	Mo	$9,5 \cdot 10^{-3}$	0,13
28	Cd	$5,0 \cdot 10^{-2}$	0,71
29	Sn	$1,7 \cdot 10^{-2}$	0,24
30	Sb	$7,9 \cdot 10^{-3}$	0,113
31	I	$1,3 \cdot 10^{-2}$	0,18
32	Cs	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$21,4 \cdot 10^{-3}$
33	Ba	$2,2 \cdot 10^{-2}$	0,31
34	Au	$9,8 \cdot 10^{-3}$	0,14
35	Pb	0,12	1,7
36	Ra	$3,1 \cdot 10^{-11}$	$4,4 \cdot 10^{-10}$
37	U	$9,0 \cdot 10^{-5}$	$1,28 \cdot 10^{-3}$

рожденного и плацента. Результаты представлены по 36 пробам на 25 химических элементов (табл. 1.2.8) (Мешков и др., 2003).

Если сравнить полученные данные с предельно-допустимыми содержаниями исследованных элементов в биосредах (табл. 1.2.8), то можно сделать вывод о том, что по 21 элементу во всех исследованных объектах наблюдаются превышения.

Установлено, что плацента не является надежным барьером для химических элементов с относительно низкой молекулярной массой. В настоящее время известно более 600 химических веществ, способных проникать от матери к плоду через плаценту и отрицательно влиять на его развитие (Кирющенко, 1990). При-

Таблица 1.2.6

**Содержание микроэлементов в некоторых органах и тканях человека (Alina Kabata-Pendias, 2007)**

№ п/п	Элемент	Среднее содержание, мг/кг		Среднее содержание, нг/л		Среднее содержание в человеке, мг/кг
		Почки	Печень	Сыворотка	Молоко	
1	Li	0,01	0,01	0,8	2	–
2	B	0,5	1	1	5	0,3
3	Al	5	5	1	15	2,6
4	Ti	0,5	0,5	5	10	–
5	V	0,2	0,1	0,05	0,8	–
6	Cr	0,1	0,1	0,1	1,5	0,09
7	Mn	1	5	0,4	5	0,17
8	Fe	320	600	1090	500	60
9	Co	0,1	0,1	0,1	0,5	0,02
10	Ni	0,5	0,1	0,3	12	0,14
11	Cu	14	20	1000	280	1
12	Zn	150	250	900	1500	33
13	As	0,01	0,03	1	0,5	0,26
14	Se	0,5	2	90	18	0,11
15	Br	5	0,2	500	1520	2,9
16	Rb	5	5	160	100	9,7
17	Sr	0,05	0,05	5	10	4,6
18	Mo	0,3	1	0,5	1	0,13
19	Cd	1,5	0,8	0,1	1	0,71
20	Sb	0,05	0,05	0,3	1	0,03
21	I	0,2	0,2	50	80	0,19
22	Cs	0,01	0,1	0,7	0,5	0,02
23	Pb	3	5	3	10	1,7

Таблица 1.2.7

**Содержание микроэлементов в органах и тканях человека, мг/кг (Н.В. Семенов, 1971)**

Органы и ткани	Медь	Цинк	Марганец	Кобальт
Мышцы сердца	0,019	0,14	0,0021–0,0032	–
Скелетные мышцы	0,0125	0,3–0,515	0,005	0,00025
Печень	0,071	0,54–1,45	0,017–0,022	0,0025
Почки	0,012–0,036	0,55	0,006	–

Таблица 1.2.8

**Содержание элементов в пробах крови матери, новорожденного и плаценты (Мешков и др., 2003)**

№ п/п	Элемент	ПДС в биосредах, мг/л	Кровь, мг/г		Плацента, мкг/л
			матери	плода	
1	Li	$0,1 \cdot 10^{-4}$	$0,8 \cdot 10^{-4}$	$0,12 \cdot 10^{-4}$	$0,27 \cdot 10^{-4}$
2	Be	$0,4 \cdot 10^{-6}$	$0,7 \cdot 10^{-6}$	$0,2 \cdot 10^{-6}$	$0,13 \cdot 10^{-5}$
3	B	$0,1 \cdot 10^{-4}$	$0,9 \cdot 10^{-5}$	$0,1 \cdot 10^{-4}$	$0,1 \cdot 10^{-4}$
4	Mg	$35 \cdot 10^{-3}$	$0,1 \cdot 10^{-4}$	$0,9 \cdot 10^{-5}$	$0,2 \cdot 10^{-4}$
5	Al	$0,4 \cdot 10^{-3}$	$0,54 \cdot 10^{-3}$	$0,28 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-3}$
6	Ca	0,78	0,75	0,79	2,26
7	Ti	$0,1 \cdot 10^{-4}$	$0,12 \cdot 10^{-3}$	$0,25 \cdot 10^{-4}$	$0,21 \cdot 10^{-3}$
8	V	$0,1 \cdot 10^{-4}$	$0,14 \cdot 10^{-4}$	$0,13 \cdot 10^{-4}$	$0,3 \cdot 10^{-4}$
9	Cr	$0,1 \cdot 10^{-4}$	$0,9 \cdot 10^{-4}$	$0,5 \cdot 10^{-4}$	$0,19 \cdot 10^{-3}$
10	Mn	$0,1 \cdot 10^{-5}$	$0,1 \cdot 10^{-4}$	$0,9 \cdot 10^{-5}$	$0,2 \cdot 10^{-4}$
11	Co	$0,2 \cdot 10^{-5}$	$0,5 \cdot 10^{-5}$	$0,3 \cdot 10^{-4}$	$0,1 \cdot 10^{-4}$
12	Ni	$0,2 \cdot 10^{-4}$	$0,58 \cdot 10^{-4}$	$0,42 \cdot 10^{-4}$	$0,3 \cdot 10^{-4}$
13	Cu	$0,9 \cdot 10^{-3}$	$0,42 \cdot 10^{-3}$	$0,44 \cdot 10^{-3}$	$1,53 \cdot 10^{-3}$
14	Zn	$0,5 \cdot 10^{-4}$	$0,46 \cdot 10^{-4}$	$0,5 \cdot 10^{-4}$	$0,16 \cdot 10^{-3}$
15	As	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$0,4 \cdot 10^{-4}$	$0,6 \cdot 10^{-5}$	$0,12 \cdot 10^{-3}$
16	Se	$0,2 \cdot 10^{-4}$	$0,15 \cdot 10^{-4}$	$0,7 \cdot 10^{-5}$	$0,4 \cdot 10^{-4}$
17	Sr	$0,1 \cdot 10^{-3}$	$0,4 \cdot 10^{-4}$	$0,4 \cdot 10^{-4}$	$0,5 \cdot 10^{-4}$
18	Y	$0,5 \cdot 10^{-5}$	$0,6 \cdot 10^{-5}$	$0,4 \cdot 10^{-5}$	$0,2 \cdot 10^{-4}$
19	Mo	$0,4 \cdot 10^{-4}$	$0,16 \cdot 10^{-4}$	$0,5 \cdot 10^{-5}$	$0,23 \cdot 10^{-4}$
20	Ag	$0,1 \cdot 10^{-5}$	$0,77 \cdot 10^{-4}$	$0,1 \cdot 10^{-5}$	$0,1 \cdot 10^{-4}$
21	Cd	$0,5 \cdot 10^{-5}$	$0,54 \cdot 10^{-5}$	$0,6 \cdot 10^{-5}$	$0,5 \cdot 10^{-5}$
22	Sb	$0,1 \cdot 10^{-4}$	$0,56 \cdot 10^{-4}$	$0,1 \cdot 10^{-4}$	$0,11 \cdot 10^{-3}$
23	Ba	$0,8 \cdot 10^{-4}$	$0,31 \cdot 10^{-3}$	$0,28 \cdot 10^{-3}$	$0,26 \cdot 10^{-3}$
24	Pb	$0,25 \cdot 10^{-3}$	$0,14 \cdot 10^{-4}$	$0,8 \cdot 10^{-4}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$
25	Bi	$0,23 \cdot 10^{-4}$	$0,26 \cdot 10^{-4}$	$0,1 \cdot 10^{-4}$	$0,7 \cdot 10^{-4}$

чем большинство химических соединений могут проникать к плоду как непосредственно, так и в процессе обмена в плаценте, превращаясь при этом в более или менее токсичные метаболиты (Мешков и др., 2003).

Избирательность «задержки» химических элементов плацентой в значительной степени зависит от их физико-химических свойств. Вместе с тем повышенное поступление к плоду некоторых химических элементов связано также с их способностью избирательно накапливаться в нем в определенные периоды своего развития. Так, например, на ранних стадиях эмбриогенеза повышение концентрации Pb, Cd, Cu и Zn происходит в эмбрионе и желточном мешочке. Высокие концентрации Pb отмечаются в печени и крови (Мешков и др., 2003).

Для профилактики неблагоприятного воздействия химических поллютантов на организм человека необходимо, прежде всего, выяснить пути и источники их поступления. Так отмечается, что содержание химических элементов в крови матери прямо пропорционально связано с их содержанием в питьевой воде (Мешков и др., 2003). Связи между содержанием тяжелых металлов в пищевых продуктах и почве и их концентрацией в крови матери и плода не существует. Так, Мешков Н.А., сделал вывод, что основным путем попадания химических поллютантов, в частности тяжелых металлов, в организм является пероральный путь поступления с питьевой водой, содержание химических элементов в водах региона фактически определяют их концентрацию в крови населения.

В зарубежной литературе (Man and the Geosphere, 2010) имеются данные по изучению углеродного изотопного состава органов и тканей человека (Lyon and Baxter, 1978) (табл. 1.2.9). Отмечено, что наиболее обогащена  $^{13}\text{C}$  кровь и наименее тимус.

Таблица 1.2.9

**Разброс  $\delta^{13}\text{C}$  в органах и тканях человека**

Органы и ткани	$\delta^{13}\text{C}$ , ‰	Органы и ткани	$\delta^{13}\text{C}$ , ‰
Тимус	25,6	Печень	-22,7
Поджелудочная железа	-25,3	Легкие	-22,4
Почки	-24,0	Селезенка	-22,2
Скелетная мускулатура	-23,6	Головной мозг	-21,1
Сердце	-22,8	Плазма крови	-18,7
Щитовидная железа	-22,7	Кровь	-18,2

Об изотопном составе человека, его изменении и возможном физиологическом значении начинают говорить геохимики (Кроуз, 1990 и др.) (рис. 1.2.2). Ершов Ю.А. (2000) предложил модель человека по уровню концентрирования химических элементов в органах, тканях и биожидкостях человека (рис. 1.2.3). Казначеев В.П. (2002) в своих работах показывал, что соотношение в клетках человека  $^{12}\text{C}$  и  $^{13}\text{C}$  за 8–12 лет проживания его на Севере изменяются в сторону  $^{12}\text{C}$ , после чего организм резко стареет (Казначеев и др., 2002). Удивительную ре-

акцию по изменению изотопного состава демонстрирует человеческий организм на смену места проживания (Кроуз, 1990). На рис. 1.2.2 проиллюстрирован изотопный состав человека.

Имеются данные о проводимых экспериментах по влиянию трансурановых элементов на живой организм, в которых отмечалось, что основное отложение плутония и америция происходит в печени (Jee W.S.S., 1964, 1972; Lindenbaum A., 1968, 1972; Mango P.J., 1967).

Американский исследователь Роберт Фрейтас (2003) в монографии «Наномедицина» приводит данные об атомном составе среднего человека, так во взрослом мужчине весом 70 кг 300 г примерно  $6,27 \cdot 10^{27}$  атомов (табл. 1.2.10). Это приблизительно средние значения, а многое, особенно это касается элементов нижней части, зависит от того, где живет человек, чем питается, какие микроэлементы присутствуют в почве и воде, чем загрязнен воздух.

При поступлении элементов в организм определенное влияние оказывают факторы, влияющие на усвояемость химических элементов самим организмом.

Микроэлементы (гипо- или гипермикроэлементы) по возможности усвояемости микроэлементов организмом разделены на следующие группы (Авцын и др., 1991):

1. Природные – обусловленные содержанием микроэлементов в окружающей среде. В естественных условиях встречаются районы, так называемые провинции, где вследствие повышенного или пониженного содержания микроэлементов в почве и других объектах окружающей среды наблюдаются массовые заболевания (эндемии) среди животных и растений.

Механизм развития эндемических заболеваний у человека следующий: недостаток или избыток микроэлементов в почве ведет к дефициту или избытку их

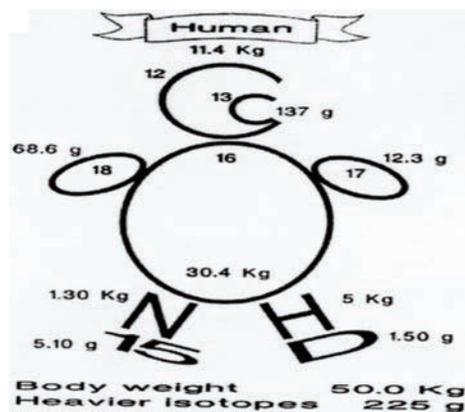


Рис. 1.2.2. Изотопный состав человека (по Г. Кроузу, 1990)

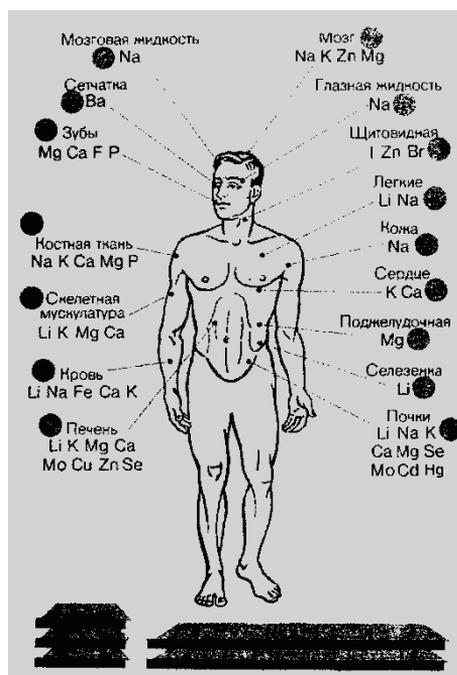


Рис. 1.2.3. Модель человека (по Ершову Ю.А.)

Таблица 1.2.10

## Атомный состав среднего человека

№ п/п	Элемент	Количество атомов		Элемент	Количество атомов		Элемент	Количество атомов
1	H	$4,22 \cdot 10^{27}$	15	Zn	$2,1 \cdot 10^{22}$	29	Sn	$4 \cdot 10^{19}$
2	O	$1,61 \cdot 10^{27}$	16	Rb	$2,2 \cdot 10^{21}$	30	Au	$2 \cdot 10^{19}$
3	C	$8,03 \cdot 10^{26}$	17	Sr	$2,2 \cdot 10^{21}$	31	Zr	$2 \cdot 10^{19}$
4	N	$3,9 \cdot 10^{25}$	18	Br	$2 \cdot 10^{21}$	32	Co	$2 \cdot 10^{19}$
5	Ca	$1,6 \cdot 10^{25}$	19	Al	$1 \cdot 10^{21}$	33	Cs	$7 \cdot 10^{18}$
6	P	$9,6 \cdot 10^{24}$	20	Cu	$7 \cdot 10^{20}$	34	Hg	$6 \cdot 10^{18}$
7	S	$2,6 \cdot 10^{24}$	21	Pb	$3 \cdot 10^{20}$	35	As	$6 \cdot 10^{18}$
8	Na	$2,5 \cdot 10^{24}$	22	Cd	$3 \cdot 10^{20}$	36	Cr	$6 \cdot 10^{18}$
9	K	$2,2 \cdot 10^{24}$	23	B	$2 \cdot 10^{20}$	37	Mo	$3 \cdot 10^{18}$
10	Cl	$1,6 \cdot 10^{24}$	24	Mn	$1 \cdot 10^{20}$	38	Se	$3 \cdot 10^{18}$
11	Mg	$4,7 \cdot 10^{23}$	25	Ni	$1 \cdot 10^{20}$	39	Be	$3 \cdot 10^{18}$
12	Si	$3,9 \cdot 10^{23}$	26	Li	$1 \cdot 10^{20}$	40	V	$8 \cdot 10^{17}$
13	F	$8,3 \cdot 10^{23}$	27	Ba	$8 \cdot 10^{19}$	41	U	$2 \cdot 10^{17}$
14	Fe	$4,5 \cdot 10^{22}$	28	I	$5 \cdot 10^{19}$	42	Ra	$8 \cdot 10^{10}$

в пищевом рационе, а отсюда и в организме. Наиболее изучены и известны два микроэлемента естественного происхождения, являющиеся причиной эндемических расстройств у человека. Это F, избыточное поступление которого в организм приводит к флюорозу, и I, недостаточность которого способствует возникновению и распространению эндемического зоба.

2. Промышленные – преимущественно бывают гипермикроэлементозы, обусловленные вредными условиями производства. Примером могут служить острые и хронические отравления свинцом, кадмием, ртутью и другими химическими элементами, вызванные избыточным попаданием в организм человека.
3. Ятрогенные – расстройства, возникающие как следствие деонтологических ошибок медицинских работников (неправильные, неосторожные высказывания или действия). Неправильное истолкование слов медицинских работников может привести к отказу или, наоборот, к чрезмерному приему тех или иных препаратов, содержащих микроэлементы, что может в свою очередь вызвать гипо- или гипермикроэлементозы.
4. Эндогенные – как и в отношении витаминов, у человека может быть обнаружено наследственное или врожденное нарушение усвояемости или повышенная способность к накоплению одного или нескольких микроэлементов. Существует зависимость всасывания и усвоения микроэлементов от заболеваний желудочно-кишечного тракта.

Таблица 1.2.11

**Рассеянные химические элементы и их влияние на  
здоровье человека (по Алексеенко В.А., 2000)**

Элемент	Воздействие элементов	Источники и районы
Пониженные концентрации		
Co	Исхудание и анемия	Почвы, формирующиеся на кислых изверженных породах, песчаниках, известняках
Cu	Истощение, задержка полового созревания	Почвы, формирующиеся на кислых изверженных породах, песчаниках, известняках, обогащенные молибденом
I	Зоб (базедова болезнь) – нарушение нормальных функций щитовидной железы у человека	Районы, подвергшиеся оледенению (Альпы, Пиренеи, Гималаи, Анды); дефицит йода в почвах большей частью обусловлен низким уровнем его концентрации в водах
Fe	Анемия, связанная с недостаточным синтезом гемоглобина	У человека дефицит железа может быть обусловлен диетическими органическими или некоторыми физиологическими факторами
Se	Мышечная дистрофия, вялость сердечной мышцы у человека	Песчаные или сильно выщелоченные почвы, иногда черноземы; центральные районы США, провинции Сычуань (Китай), Новая Зеландия
Повышенные (токсичные) концентрации		
As	Избыток мышьяка ведет к задержке роста, очень высокие концентрации оказывают смертельными для живых организмов	Почвы, загрязненные в результате выщелачивания сульфидных рудных тел и рудных отвалов или зараженные жидкими промышленными отходами
Cd	Перерождение почек, распад костной ткани, цирроз печени	
Pb	Нарушение деятельности почек и нервной системы, задержка синтеза протеина в крови	Почвы, загрязненные в результате выщелачивания сульфидных рудных тел и рудных отвалов или зараженные жидкими промышленными отходами, загрязнение мягкой воды промышленными отходами и продуктами сгорания бензина
Hg	Нарушение деятельности центральной нервной системы (болезнь Минамата)	Почвы, загрязненные в результате выщелачивания сульфидных рудных тел и рудных отвалов или зараженные жидкими промышленными отходами. Районы вблизи некоторых фумарол и вулканических жерл. В Японии (залив Минамата) заболевание связано с особенностями питания (основные продукты – морские водоросли, содержащие ртуть)

Таблица 1.2.12

**Болезни и синдромы биогеохимической природы (по Алексеевко В.А., 2000)**

Болезни, синдромы	Биогеохимические аномалии природного происхождения
<b>Мономикроэлементозы</b>	
Алюминиевая болезнь	Избыток алюминия
Арсеноз	Избыток мышьяка
Молибденовая подагра	Избыток молибдена
Никелевая экзема и другие дерматоз; хронический токсикоз	Избыток никеля
Сатурнизм (анемии, кишечная колика, энцефалопатии)	Избыток свинца
Селеноз (артриты, алопеция, ломкость ногтей)	Избыток селена
Флюороз	Избыток фтора
Хромовый токсикоз (дерматиты, рак кожи)	Избыток хрома
Хромдефицитный синдром	Недостаток хрома
Цинкдефицитный синдром	Недостаток цинка
Раковые опухоли	Избыток олова
Заболевания кожи	Избыток золота
<b>Полимикроэлементозы</b>	
Анемии биогеохимической природы	Недостаток железа, избыток меди, недостаток меди, недостаток молибдена при избытке марганца
Асбестоз	Минерал, содержащий кремний, магний, железо, кальций, натрий
Зоб эндемический	Недостаток йода, избыток марганца, фтора при недостатке молибдена, избыток кобальта при относительном недостатке йода
Кариес зубов	Недостаток фтора, избыток марганца при дисбалансе некоторых других микроэлементов
Мочекаменная болезнь	Избыток кальция, кремния при недостатке кобальта, молибдена, бора, цинка
Остеохондродистрофия, витамин-Д-резистентный рахит	Избыток стронция и кальция
Селендефицитная миокардиопатия	Недостаток селена при дисбалансе других элементов (избыток кобальта)
Уровская (Кашина-Бека) болезнь	Недостаток кальция при избытке стронция; избыток фосфатов при недостатке кальция и дисбалансе других микроэлементов

С возрастом содержание многих микроэлементов в тканях организма человека значительно меняется. Причем, в период интенсивного роста и развития организма идет значительное нарастание содержания микроэлементов, которое постепенно замедляется или прекращается к 17–20 годам. В литературных источниках отмечаются данные, что содержание Cu, Co, Ni в крови человека снижается к 50–60 годам по сравнению с содержанием этих микроэлементов в 20–25 лет (Авцын и др., 1991).

В работе Алексеенко В.А. (2000) приведены таблицы (табл. 1.2.11, 1.2.12), в которых показано влияние некоторых химических элементов (Co, Cu, I, Fe, Se, As, Cd, Pb, Hg) на здоровье человека, источником же являются, например, почвы с повышенными или пониженными содержаниями каких-либо элементов. Несмотря на существование таких таблиц, без знания точного элементного состава человека нельзя делать выводов. Так как, например, заболевание щитовидной железы может быть вызвано повышенным содержанием группы редкоземельных элементов (La, Ce, Sm, Eu, Lu) в данном органе (Денисова О.А. и др. 2005), а именно группа редкоземельных элементов остается малоизученной в настоящее время.

Поступление химических элементов в организм человека происходит с продуктами питания, водой и воздухом. В условиях большинства городов доминирующее значение приобретает ингаляционный путь. Это связано с тем, что качество питьевой воды в большинстве современных индустриальных городов является более стабильным фактором, чем состав атмосферного воздуха.

Подводя итог этим вышесказанному, можно считать, что:

1. Несмотря на известный факт поступления химических элементов в организм человека – с пищевыми продуктами, водой и вдыхаемым воздухом, обусловленный ландшафтно-геохимическими и эколого-геохимическими обстановками места проживания, элементный состав организма человека остается малоизученным.
2. Проблема по изучению количественной характеристики элементного состава человека была начата великим геохимиком В.И. Вернадским, который активно развивал это направление и считал весьма перспективным и необходимым. Нормы точного элементного состава человека в настоящее время отсутствуют, таким образом, нет информации и о региональных особенностях элементного состава человека, а это очень важная информация, и она необходима главным образом для мониторинговых служб.
3. Информации о точном содержании химических элементов в организме человека в литературе практически отсутствует, существует единственный источник, в котором показано содержание 37 элементов в 71 органе и ткани человека – в работе 1977 года «Человек, медико-биологические данные...». Но этих данных, конечно же, мало, так в настоящее время весьма широко развиваются различные методы исследований, но вероятно, по этическим нормам биогеохимия человека остается малоизученной. В справочниках встречаются данные, во-первых, устаревшие, а во-вторых,

это весьма малый спектр элементов и далеко не все органы. Такие группы элементов, как редкие, редкоземельные и радиоактивные в организме человека не изучены.

В 2010 г. в Нью-Йорке вышла книга под названием "Man and the Geosphere", в которой указывается взаимосвязь организма человека и геосферных оболочек, но, к сожалению, элементный состав органов и тканей человека не представлен в достаточной мере.

Исходя из этих выводов, можно говорить о том, что проводимые нами исследования вносят свой вклад в идею об изучении связи элементного состава организма с эколого-геохимической обстановкой, заложенной еще в начале XX века Владимиром Ивановичем Вернадским.

## Очерк второй

# К ВОПРОСУ О КЛАССИФИКАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА

---

В 1869 г. Д.И. Менделеев, выбрав принцип классификации химических элементов по расположению их в порядке возрастания атомных масс, обнаружил не только связь свойств элементов с их атомными массами, но и сформулировал знаменитый периодический закон, позволивший предсказать наличие в природе новых, неизвестных элементов, но уже с известными свойствами (он назвал их, например, экабором, экаалюминием и т.п.), которые должны были заполнить «пропуски» в его таблице.

В настоящее время существует множество различных подходов к классификациям химических элементов вообще. Согласно одной классификации, при условии, что массовая доля элемента в организме превышает  $10^{-2}\%$ , этот элемент следует считать макроэлементом. Доля микроэлементов в организме составляет  $10^{-3}$ – $10^{-5}\%$ . Если содержание элемента ниже  $10^{-5}\%$ , его считают ультрамикроэлементом (по А.П. Виноградову). Конечно, такая градация условна. По ней, например, магний попадает в промежуточную область между макро- и микроэлементами.

Разнообразие классификаций порождает не только подходы, но и множество различных терминов: тяжелые металлы, эссенциальные элементы и др. **Тяжелые металлы** – это группа химических элементов с относительной атомной массой более 40. Появление в литературе термина «тяжелые металлы» было связано с проявлением токсичности некоторых металлов и опасности их для живых организмов. Однако в группу «тяжелых» вошли и некоторые микроэлементы, жизненная необходимость и широкий спектр биологического действия которых неопровержимо доказаны (Алексеев, 1987; Минеев, 1988; Краснокутская и др., 1990; Саэт и др., 1990; Ильин, 1991; Кадмий: экологические..., 1994; Тяжелые..., 1997; Пронина, 2000). Тяжелые металлы относятся к приоритетным загрязняющим веществам, наблюдения за которыми обязательны во всех средах.

Например, в зависимости от суточного поступления химических элементов в организм человека, элементы разделяются на элементы с наиболее высоким баллом, которые характеризуют жизненно необходимые элементы (H, O, C, N, Na, Mg, Mn, Cr, Fe, Co и др.), а наименьшим – элементы, биологическая роль которых малоизучена, или элементы малонеобходимые организму (Ga, Ge, Hg, Pb, La, Ce, Dy и ряд др.).

Существует классификация минеральных элементов применительно к особенностям питания человека (Петровский К.С., Ванханен В.Д., 1982). В основу этого варианта классификации положено свойство минералов изменять кислотно-щелочное равновесие. Изучение минерального состава пищевых продуктов показало, что одни из них характеризуются преобладанием состава минеральных элементов, обуславливающих в организме электроположительные (катионы), другие вызывают преимущественно электроотрицательные (анионы) сдвиги. В связи с этим пищевые продукты, богатые катионами, имеют щелочную ориентацию, а пищевые продукты, богатые анионами, – кислотную ориентацию. Учитывая важность поддержания в организме кислотно-щелочного состояния и возможное влияние на него кислотных и щелочных веществ пищи, авторы этой классификации посчитали целесообразным разделить минеральные элементы пищевых продуктов на вещества щелочного и кислотного действия. Кроме того, как самостоятельная группа биомикроэлементов выделены минеральные элементы, встречающиеся в пищевых продуктах в небольших количествах, проявляющих в организме высокую биологическую активность.

Условно предлагают руководствоваться следующей ориентировочной классификацией минеральных элементов.

1. Минеральные элементы щелочного характера (катионы): Ca, Mg, K, Na.
2. Минеральные элементы кислотного характера (анионы): P, S, Cl.
3. Биомикроэлементы: Fe, Cu, Co, I, F, Zn, Sr, Mn, Ni, Sb и др.

Согласно этой классификации биоэлементы рассматриваются с точки зрения их присутствия в продуктах питания, суточной потребности в элементах для взрослого человека и биологической роли с точки зрения их участия в сохранении кислотно-щелочного равновесия. Так, к минеральным веществам **щелочно-го действия** относят Ca, Mg, Na, K. Этими элементами богаты молоко и молочные продукты, овощи, фрукты, картофель, которые могут рассматриваться как продукты щелочной ориентации.

Согласно другой классификации (Авцын и др. 1991) все элементы в зависимости от их биологического значения условно разделены на группы:

- а) незаменимые элементы, входящие в состав ферментов, гормонов, витаминов, – O, K, H, Ca, P, C, S, Cl, Na, Mg, Zn, Fe, Cu, I, Mn, V, Mo, Co, Se;
- б) постоянно определяемые в животных организмах элементы, значение которых изучено еще недостаточно, – Sr, Cd, F, Br, B, Si, Cr, Be, Li, Ni, Cs, Sn, Al, Ba, Rb, Ti, Ag, Ga, Ge, As, Hg, Pb, Ti, Bi, Sb, U, Th, Ra;
- в) обнаруживаемые в организме животных и человека элементы, в отношении которых данные о количественном содержании в тканях, органах и биологической их роли отсутствуют – Tl, Nb, La, Pr, Sm, Tb, W, Re, Au.

Существуют и другие классификации элементов. В некоторых из них считается, что микроэлементы – это группа химических элементов, которые содержатся в организме человека в очень малых количествах, в пределах  $10^{-3}$ – $10^{-12}$ % (при этом микроэлементы с содержанием ниже  $10^{-5}$ % иногда называют ультрамикро-

элементами). Именно это определяет их названия: «следовые элементы» (trace elements) в немецком и английском языках, «олигоэлементы» – у французских авторов, «рассеянные элементы» – в трудах В.И. Вернадского. Была предложена группировка химических элементов таблицы Д.И. Менделеева в биосфере на главные (major), второстепенные (minor), следовые (trace) и редкие газы (Medical Geology, 2005).

Уже на первых этапах изучения живого вещества обращалось внимание на весьма существенные диапазоны вариаций уровней накопления в нем химических элементов. «Химический состав организмов колеблется едва ли менее, чем состав минералов», – писал В.И. Вернадский (1960).

Неравномерность распределения химических элементов в организме ЖВ, его отдельных органах и тканях хорошо известна. Так, например, В.Ф. Журалев (1990), в зависимости от особенностей накопления радиоактивных элементов в организме человека, выделил четыре основные группы избирательно накапливающиеся радионуклидов:

- остеотропные ( $^{35}\text{P}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $\text{u}$ ,  $\text{Pu}$  и др.);
- тканевые ретикулоэндотелиальные ( $^{140}\text{La}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ ,  $\text{Th}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ , нитраты и др.);
- избирательно-накапливающиеся ( $^{129,131}\text{I}$  в щитовидной железе,  $^{59}\text{Fe}$  в эритроцитах и т.д.);
- равномерно распределяющиеся ( $^3\text{H}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ , и т.д.).

По степени полезности и вредности для организма макро- и микроэлементы Е. Underwood (1962) были разделены на следующие группы (табл. 2.1):

- Эссенциальные (жизненно-важные) элементы – это все структурные элементы (H, O, N, C, Ca, Cl, F, K, Mg, Na, P, S) + 8 микроэлементов (Cr, Cu, Fe, I, Mn, Mo, Se, Zn) – всего 20 шт.
- Условно-эссенциальные (жизненно-важные, но вредные в определенных дозах) микроэлементы (Ag, Al, Au, B, Co, Ge, Li, Si, V) – 9 шт.

Таблица 2.1

**Классификация элементов в организме человека по распространенности и полезности (Е. Underwood, 1962)**

Элементы в организме человека (81)					
Структурные элементы, (СЭ) – все эссенциальные Э (12) – 99 %	Основные элементы (4 – H, O, N, C)	Микроэлементы, МЭ (39)	Эссенциальные, Э (8 – Cr, Cu, Fe, I, Mn, Mo, Se, Zn)	Ультрамикроэлементы, УМЭ – все условно-токсичные, УТ (30)	Редкоземельные элементы, включая лантаноиды (16)
	Макроэлементы (8 – Ca, Cl, F, K, Mg, Na, P, S)		Условно-эссенциальные, УЭ (9 – Ag, Al, Au, B, Co, Ge, Li, Si, V)		Платиноиды (6)
	Не исследуются 6 структурных элементов: 4 основных + 2 летучих макроэлемента (Cl, F)		Условно токсичные, УТ (22, в том числе Hg)		Радиоактивные (2)
			Не исследуются 5 крайне редких элементов (Ru, Os...)		

- Условно-токсичные микроэлементы и ультрамикроэлементы (Be, Sc, Ti, Ni, Ga, As, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ru, Rh, Pd, Cd, In, Sn, Sb, Te, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Hg, Tl, Pb, Bi, Th, U) – всего 52. Считается, что ртуть (Hg) вредна для человека в любом количестве, поэтому ее можно назвать (безусловно) токсичным элементом.

В учении о МЭ особенно отчетливо видна справедливость слов Парацельса о том, что «нет токсичных веществ, а есть токсичные дозы».

В настоящее время наблюдается невероятная путаница в делении элементов по их отношению к живым организмам – на биогенные и абиогенные, на макро-, микро- и ультрамикроэлементы, на ятрогенные (т.е. вроде бы и нужные, но вредящие), эссенциальные (жизненно важные) и условно эссенциальные, на токсичные и условно токсичные. Это усугубляет также тот факт, что полезность, нейтральность или «вредность» того или иного элемента для человека отнюдь не означает таковых свойств для других представителей животного мира или для представителей мира растительного.

Поведение токсикантов в природных средах определяется их комплексобразующей способностью, подвижностью, склонностью к гидролизу, растворимостью и т. д. (табл. 2.2).

Существует еще одна классификация, которая называется биогенная (Бгатов А.В., 1999).

Таблица 2.2

**Основные биохимические свойства некоторых тяжелых металлов  
(Экология и безопасность жизнедеятельности, 2000)**

Свойства	Тяжелые металлы						
	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Hg	Pb
Биохимическая активность							
Токсичность							
Канцерогенность							
Обогащение глобальных аэрозолей							
Минеральная форма распространения							
Органическая форма							
Подвижность							
Тенденция к биоконцентрированию							
Эффективность накопления							
Комплексообразующая способность							
Склонность к гидролизу							
Растворимость							
Время жизни							

Примечание: Степень проявления биохимических свойств: ■ – высокая, ■ – умеренная, ■ – низкая, □ – отсутствует; время жизни: ■ – длительное, ■ – короткое.

Несмотря на огромное количество исследований, посвященных функциям отдельных химических элементов в живом организме, вопрос о том, какие из элементов действительно жизненно необходимы, а какие присутствуют случайно, за счет попадания с пищей, водой и воздухом или, по крайней мере, могут без ущерба для организма замещаться в метаболических цепях, остается открытым (Бгатов А.В., 1999).

Общее число элементов, определяемых как жизненно важные, варьирует у разных авторов в весьма широких пределах. Например, один из классиков биохимии А. Ленинджер полагает, что таковых лишь 22 (табл. 2.3), встречаются во всех классах организмов.

Таблица 2.3

**Жизненно важные элементы, входящие в состав организмов (по А. Ленинджеру, 1985)**

Элементы, входящие в состав органических веществ	Одноатомные ионы	Элементы, обнаруживаемые в следовых количествах	
Кислород	Натрий	Марганец	Алюминий
Углерод	Калий	Железо	Ванадий
Азот	Магний	Кобальт	Молибден
Водород	Кальций	Медь	Йод
Фосфор	Хлор	Цинк	Кремний
Сера	–	Бор	–

Согласно классификации Aggett P.J. (1985), к четырем органогенам (O, C, H и N) и семи макроэлементам (P, S, Na, K, Mg, Ca, Cl) как важнейшим эссенциальным элементам добавляется еще девять: Fe, Cu, Zn, Mn, Cr, Se, Mo, I, Co. Всего жизненно важных элементов – 20.

Один из выдающихся специалистов по микроэлементам Mertz W. (1982), предлагает к 11 органогенам и макроэлементам добавить следующие элементы, избыток или дефицит которых имеет значение для здоровья человека: Fe, Cu, Zn, Cr, Se, Mo, I, Cd, Pb и Hg. Таким образом, всего получается 21, но сравнивая с классификацией Aggett P.J. состав группы другой.

Согласно более широкой трактовке, предлагаемой Anke M. (2001), к эссенциальным микроэлементам наряду с «классическими» эссенциальными элементами Aggett P.J. следует отнести «новые» эссенциальные: Li, F, Si, V, Ni, As, Sn, Cd, Pb. Всего их общее количество составляет 29.

Все эти разночтения относительно количества, свойств и участия различных химических элементов в метаболизме животных организмов связаны в первую очередь с отсутствием системного подхода. Биогенная классификация основана на эволюционном подходе, т.е. от появления первичной жизни. Выделяют элементы «первичной жизни», органогены, к которым традиционно причисляют че-

Таблица 2.4

Содержание некоторых химических элементов в растительных и животных организмах (по Bowen N.J.M. (1966), Фортескью Дж. (1985)) и организме человека («Человек...», 1977) (сырая масса, мг/кг)

	Элемент	Наземные растения	Наземные животные	Организм человека
1	H	55000	70000	99900
2	Li	0,098	0,021	
3	B	50,9	0,506	0,28
4	C	454000	465000	228000
5	N	30002	100002	25700
6	O	410000	186000	610000
7	F	0,49–40	150–499,7	37,13
8	Na	1196	4002	1430
9	Mg	3168	984	270
10	Al	494	3,9–96,2	0,87
11	Si	196–5012	112–5992	
12	P	2294	16988–45440	11000
13	S	3392	4992	1900
14	Cl	2023,5	2804,5	$1,35 \cdot 10^3$
15	K	14040	7410	$1,9 \cdot 10^3$
16	Ca	18000	200–8500	14300
17	Ti	0,96	0,192	
18	V	1,53	0,153	
19	Cr	0,228	0,073	$9,4 \cdot 10^{-2}$
20	Mn	629,7	0,22	0,17
21	Fe	140	162,4	59,9
22	Co	0,472	0,0295	$21,4 \cdot 10^{-3}$
23	Ni	43,2	0,82	0,14
24	Cu	14	2,54	1,03
25	Zn	99,4	159	32,8
26	Ga	0,056	0,0055	
27	Rb	19,5	17	9,7
28	Sr	26,4	14,08	4,5
29	Zr	0,64	0,27	
30	Ba	13,7	0,685	0,31
31	Pb	2,7	2,07	1,7
32	U			$1,28 \cdot 10^{-3}$

тыре элемента с общим содержанием в живом веществе 98,72% – это О, С, Н и N, – именно в данной последовательности исходя из их весовых отношений (т.е. г/г).

В табл. 2.4, основанной на данных Bowen N.J.M. (1966) и Фортескью Дж. (1985), показано содержание некоторых химических элементов в растительных и животных организмах и организме человека (по данным справочника «Человек...», 1977). Анализ табл. 2.4 свидетельствует о том, что содержание элементов в организме человека понижается в ряду от растений к животным и человеку, исключение: Н, О, в некоторой степени Са.

Из четырех элементов: Н, С, N и О можно построить абсолютно весь ряд органических молекул, таких как простые углеводороды, альдегиды, спирты, и некоторые аминокислоты. Эти же элементы являются каркасом любой органической молекулы.

В табл. 2.5 сравнивается элементный состав современного океана с составом крови некоторых животных и человека, приводятся данные, полученные разными исследователями, в том числе и наши данные по крови человека. Очевидно, на основании этих данных можно судить о том, как происходило формирование системы натрий-калиевого насоса в живых клетках.

Таблица 2.5

**Концентрация катионов в морской воде и жидкостях организмов некоторых млекопитающих и птиц, мг/кг (Бгатов А.В., 1999, с пересчетами и нашими данными)**

Объект	Ткань	Концентрация элемента				
		Na	K	Ca	Mg	Отношение Na:K
Морская вода		10580	390	440	1336	27,1:1
Курица	Сыворотка	3542	234	224	55,2	15,1:1
Крыса	Плазма	3335	206,7	124	38,4	16,3:1
Собака	Сыворотка	3461,5	206,7	212	88,8	16,7:1
Марал	Сыворотка	3284,4	187,2	80	14,4	17,5:1
Человек	Сыворотка	3289	195	200	52,8	16,8:1
Человек (Томская область)	Кровь	8012	–	620	–	–

Судя по всему, если учесть химические свойства элементов, в древнем океане на начальных этапах выщелачивания концентрация калия была выше, чем концентрация натрия. Впоследствии, однако, это соотношение изменилось на противоположное. Оберегающие свой внутренний минеральный гомеостаз клетки «изобрели» фермент, закачивающий внутрь катионы калия и выбрасывающий во внешнюю среду катионы натрия – натрий-калий АТФ-азу. В сыворотке крови животных (табл. 2.5) соотношение натрия и калия достаточно стабильно и составляет приблизительно 15,1–17,5:1. В современном же океане это соотношение равняется примерно 27,1:1. Отсюда можно сделать вывод, что, вероятно, соотношение 15,1–17,5:1 было в океане в момент возникновения многоклеточных форм жизни (Бгатов А.В., 1999).

Биогенная классификация химических элементов Бгатова А.В. с учетом процессов эволюции представлена в табл. 2.6. В ней имеются элементы, которые в относительно больших количествах являются ядами, а в низких концентрациях оказывают полезное влияние. Например, мышьяк – сильный яд, нарушающий сердечно-сосудистую систему и поражающий почки и печень, в небольших дозах полезен, и врачи прописывают его для улучшения аппетита. Например, кислород, необходимый человеку для дыхания, в высокой концентрации (особенно под давлением) оказывает ядовитое действие. По большому счету получается, что все химические элементы токсичны (Бгатов А.В., 1999). Парацельс (Paracelsus, настоящее имя Филипп Теофраст Бомбаст фон Гогенгейм, 1493–1541), утверждал, что «все вещества яд и нет ничего, чтобы не было ядом, но всё определяет доза, которая делает вещество ядом или лекарством». Эти слова говорят о том,

Таблица 2.6

**Биогенная классификация химических элементов (Бгатов А.В., 1999)**

Тип	Группа	Элементы	Примечание
Биогенные	Первозлементы	H, C, O, N	Каркасные элементы органических молекул, возникших еще в докембрии. Составляющие большинства аминокислот
		P, S	Непременные участники белковых молекул, ДНК и РНК. Создатели первичной, доклеточной жизни
	Макроэлементы	K, Na, Ca, Mg, Cl, Si	Элементы буферной системы первых одноклеточных организмов и клеточного потенциала. Первые элементы скелетного аппарата простейших организмов
	Эссенциальные микроэлементы	Fe, Cu, Zn, Mn, Cr, Se, Mo, I, Co, F	Включились в метаболизм с возникновением кровеносной системы. Участвуют в окислительно-восстановительных реакциях. Составляющие коферментов организма
	Условно эссенциальные микроэлементы	As, Br, Li, Ni, V, Cd, Pb	Узкоспециализированная группа элементов, «работающая» не у всех видов организмов. Некоторые входят в состав коферментов
	Брэйи-элементы	Au, Sn, Tl, Te, Ge, Ga	Предположительно, участвуют в проводимости импульсов головного мозга млекопитающих. Очевидно, включились в метаболизм в четвертичном периоде
Абиогенные	Нейтральные	Al, Ti, Rb	Не заняли своего места в метаболизме животных из-за слабой реакционной способности, несмотря на широкую распространенность в литосфере
	Конкуренты	Ba, Sr, Cs	Участвовали в метаболизме морских форм организмов, что и определило их дальнейшую конкуренцию в метаболизме сухопутных видов (ведущую к патологии)
	Агрессивные	Hg, Be, Os, Bi	Элементы поздней вулканической деятельности. В связи с тем, что не нашли места в метаболизме организмов, вредны в малых дозах

что любой макро- или микроэлемент, когда его слишком много, он может стать токсичным, таким образом, нет токсичных или ядовитых элементов, а есть их токсичные концентрации. Из этих примеров видно, что концентрация элемента в организме играет весьма существенную, а порой и катастрофическую роль. Классификация относится к 45-ти химическим элементам.

На наш взгляд, биогенная классификация, разработанная Бгатовым А.В., как и любая созданная классификация имеет право на свое существование, в ней есть некоторые особенности, например, рассматриваются особые брейн-элементы. Данная классификация возможно полезна в различных областях естественных наук, включающих теорию эволюции, генетику, медицину. Но также есть и некоторые недостатки, например, группа таких элементов как редкоземельные вообще не рассматривается, также без внимания остались и радиоактивные элементы.

Нами также был предложен вариант классификации химических элементов. Для типизации химических элементов в живом веществе (ЖВ) мы считаем можно использовать подходы, реализуемые в кристаллохимии (Рихванов Л.П., Барановская Н.В., Игнатова Т.Н., 2006). Так, все известные в ЖВ химические элементы могут быть подразделены в зависимости от их роли в образовании стереохимических структур органических и неорганических соединений на следующие основные группы (рис. 2.1):

- 1. Главные структурообразующие (конституционные) химические элементы** простых молекул, участвующих в биохимических процессах, взаимодействующих друг с другом и образующих при этом макромолекулы (биополимеры) весьма сложной структуры, например, полисахариды, белки, построенные из аминокислот и нуклеиновые кислоты. К ним относятся такие элементы как H, C, O, N, S, P. Так элементарный состав основных белков представлен: C – 50,6–54,5%; O – 21,5–23,5%; H – 6,5–7,3%; N – 15–17,6%; S – 0,3–2,5%; (БСЭ, Т.3, 1970, С.110). В.И. Вернадский предлагал называть эти элементы органогенными. Эти химические элементы играют фундаментальную роль в структуре и функциональной деятельности живого вещества. Их извлечение из структуры данного соединения невозможно без её разрушения. Возможно, предполагать изоморфное замещение тех или иных компонентов, особенно фосфатных группировок и серы.
- 2. Сопутствующие структурообразующие химические элементы**, которые могут входить или не входить в структуру некоторых специфических белков, например, ферментов, а также пигментов, витаминов, гормонов.

Все эти компоненты ЖВ находятся в сложных взаимоотношениях друг с другом, нередко образуя сложные по строению соединения, например, липидов и белков (липопротеиды в составе протоплазмы), белков и порфиринов, например, гемоглобин (хромопротеид) и т. д.

Как правило, многие из них содержат металлы, например, ферменты или пигменты, например, порфирины, содержащие хромофорные группы.



К химическим элементам этой группы, по-видимому, следует отнести: Mg, Ca, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, а также, вероятно, V, Cr, Ni, Mo, Cd (Яцимирский К.Б., 1976; Неорганическая химия, 1978 и др.). Именно эти элементы чаще всего рассматриваются как «металлы жизни» (Уильямс Д. 1975 и др.) или эссенциальные и условно эссенциальные элементы (Авцын А.П. и др., 1991). Их количество в структурах может быть чрезвычайно изменчиво, вплоть до того, что они могут отсутствовать. В процессе их замещения другими металлами или с изменением их валентности могут происходить конформационные изменения биополимеров, например, переход гемоглобина в метгемоглобин при изменении валентности  $Fe^{+2} \Rightarrow Fe^{+3}$  с совершенно иными биохимическими и физиологическими свойствами. Следует отметить, что наличие или отсутствие ферментов, содержащих те или иные металлы, у организмов может зависеть как от типа тканей, так и условий среды обитания (Кирби Р., 2005).

### **3. Неструктурообразующие химические элементы**, к которым относится большинство химических элементов, не попадающих в 1 и 2 группы.

Формы нахождения этих химических элементов в ЖВ, как и в твердых телах, самые разнообразные. Прежде всего, они могут присутствовать в форме истинных, коллоидных и комплексных соединений, растворённых в воде, на долю которой в ЖВ может приходиться от 60 до 99% от веса организма (Глазовский Н.Ф., 2005). В.И. Вернадский отмечал, что все организмы представляют полужидкие, а иногда жидкие водные системы. Вода в жидкой (несвязанной) форме необходима для всех клеточных биохимических реакций, хотя и существуют некоторые ферменты, активные в безводной среде (Кирби Р., 2005). Вода является главным транспортирующим средством многих химических компонентов. В ней, кроме растворённых компонентов (катионов  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  и др., анионов  $Cl^-$ ,  $F^-$ ,  $Br^-$  и др.) могут присутствовать растворённые газы ( $O_2$ ,  $CO_2$  и др.), твердые нерастворимые соли. В этом плане вода живых организмов чрезвычайно схожа с морской водой (Хорн Р., 1972), являющейся чрезвычайно динамической физико-химической системой, а на взаимосвязь химического состава ЖВ и вод мирового океана обращал внимание еще В.И. Вернадский. При этом, как следует из анализа данных по составу планктона (Леорова Г.А., 2009), на долю главных и сопутствующих структурообразующих химических элементов в этих одноклеточных животных приходится около 98,1% всей их массы, тогда как на долю растворимых анионов и катионов ( $Cl^-$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ), поддерживающих осмотическое давление в клетках ЖВ через механизм «Na насоса» приходится 1,9%.

Кроме того, неструктурообразующие химические элементы могут находиться в адсорбированном рассеянном состоянии на клеточных мембранах, кровеносных и лимфатических сосудах и т.д., либо находиться в форме собственных минеральных образований, в том числе микронных и наномикронных размеров, формирующихся в процессе биохимических реакций в ЖВ. В настоящее время появилось новое научное направление морфология биологических жидкостей или медицинская минералогия (Шабалин В.Н., Шатохина С.Н., 2001). Авторами

доказано, что в организме человека обнаруживается более 30 минералов (фосфаты, карбонаты и др.). Особый интерес вызывают патогенные минеральные образования человека, сопровождающие такие тяжелые и общераспространенные заболевания как атеросклероз, инфаркт миокарда, ревматические пороки клапанов сердца, варикозное расширение вен и др., которые в той или иной степени сопровождаются кальцинозом сердечно-сосудистых тканей (Бабенко Г.А., Нейко Е.М., и др., 1981; Ламанова Л.М., 2010).

*Существующие классификации химических элементов в организме человека учитывают не все элементы, так как количественная оценка в организме человека большей части таблицы Д.И. Менделеева отсутствует. Разработанная нами классификация элементов в организме человека схожа с подходом, реализуемым в классической геохимии при классификации минералов, и учитывает связь элементного состава организма человека и косной материи (по В.И. Вернадскому).*

## Очерк третий

# ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ОРГАНАМ И ТКАНЯМ ЧЕЛОВЕКА НА ПРИМЕРЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖИТЕЛЕЙ ТОМСКОГО РЕГИОНА

Представленная нами геохимическая классификация химических элементов в зависимости от их роли в живом веществе (Очерк 2) находит прямое подтверждение в распределении, показанном на рис. 3.1. На рис. 3.1 ярко выделяется тенденция в увеличении содержания в среднем по исследуемым органам и тканям человека, построенным в зависимости от половых различий людей. Так, минимальное содержание отмечается для тулия (0,001 мг/кг), а максимальное для фосфора (41786 мг/кг).

Анализ рис. 3.2 свидетельствует о том, что в организме при рассмотрении распределения редкоземельных элементов имеются биогеохимические барьеры, подобные геохимическим барьерам. Вероятно, условно можно выделить барьер-

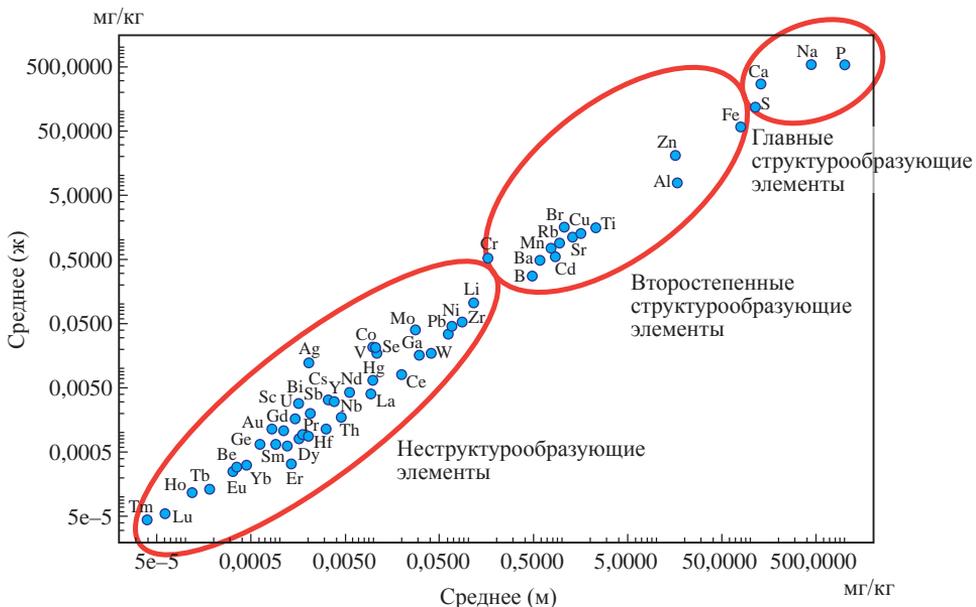


Рис. 3.1. Характер взаимосвязи 56 элементов в среднем по изученным органам и тканям человека (сырая масса, мг/кг)

ные системы в организме человека по уровню содержания в них элементов в следующем порядке: система органов дыхания, эндокринная, покровная и опорно-двигательная, крово- и лимфообращения, центральная нервная, пищеварения, мочеполовая.

Анализируя рис. 3.2 и 3.3 можно сделать вывод, что общий характер распределения элементов сохраняется, независимо от того, какой материал представлен: зола или сырая масса. Рассмотрение особенностей элементного состава систем органов и тканей человека (ОТЧ) в золе (рис. 3.3) позволяет выделить геохимические барьеры с более четкими границами в следующем порядке: мочеполовая система, эндокринная, дыхательная, крово- и лимфообращения, покровная, пищеварительная, центральная нервная система.

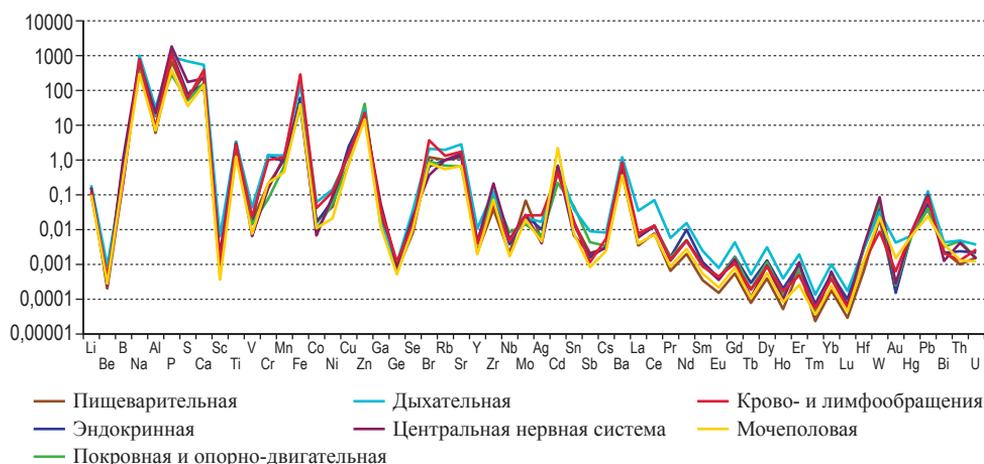


Рис. 3.2. Распределение элементов по системам органов и тканей человека (мг/кг сырой массы)

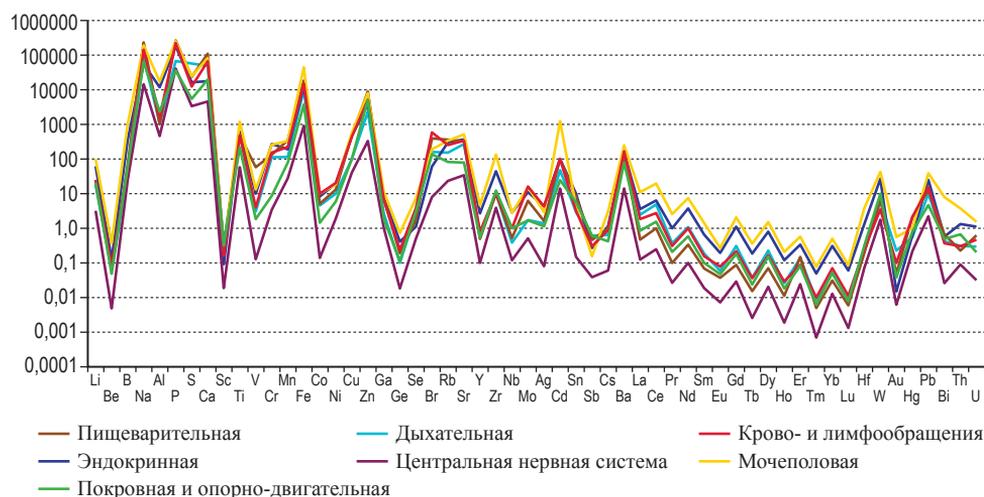


Рис. 3.3. Распределение элементов по системам органов и тканей человека (мг/кг золы)

Анализ особенностей накопления химических элементов в органах дыхательной системы человека – жителя Томского района (рис. 3.4) свидетельствует о том, что, как правило, в изученных органах этой системы концентрация элементов в них у мужчин выше, чем у женщин. Особенно ярко это наблюдается для бронхов и легких.

Дыхание выполняет ряд важнейших функций в организме человека – газообмен между легочным воздухом и внешним атмосферным воздухом – внешнее дыхание (выполняют носовая полость, носоглотка, трахея, бронхи и бронхиолы);

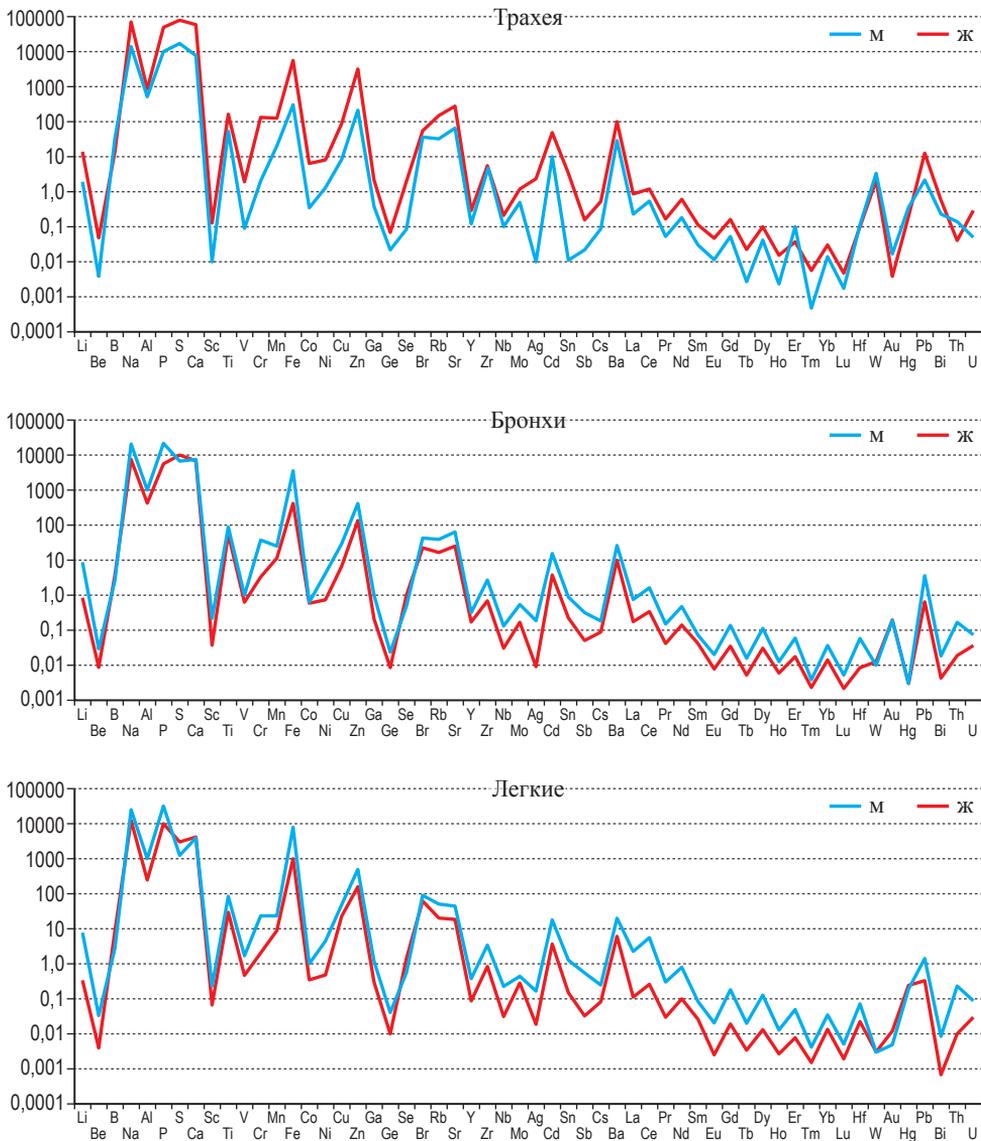


Рис. 3.4. Распределение элементов в органах системы дыхания (мг/кг золы) жителей Томского района

обмен газов в легких между альвеолярным воздухом и кровью капилляров малого круга кровообращения; транспорт газов кровью к тканям; обмен газов в тканях между кровью капилляров большого круга кровообращения и клетками тканей и органов; потребление  $O_2$  и выделение  $CO_2$  в клетках (биологическое окисление в митохондриях клеток) (Лемеза Н.А. и др., 2002).

При изучении элементного состава органов системы дыхания жителей Томского района можно отметить следующие особенности (рис. 3.4): во-первых, идентичная тенденция изменения накопления элементов в органах мужчины и женщины, но существенные различия в содержании; во-вторых, в трахеи женщины отмечается повышенное содержание практически всех 56 элементов, за исключением В и Th; в-третьих, повышенное содержание всех исследуемых элементов в бронхах и легких мужчины, относительно женщины, и тенденция изменения, идентичная между органами; в-четвертых, в органах системы дыхания отмечаются высокие содержания свинца. Так, поступив в трахею женщины, элементы далее не накапливаются в бронхах и легких, что подтверждают графики распределения, а в органах мужчины данная особенность выглядит иначе, что может говорить, о возможном влиянии курения, либо о месте работы, так как в трахее содержание элементов у мужчины ниже в сравнении с женщиной, а в бронхах и легких они обнаруживаются у него уже в высоких количествах. Курение считается провоцирующим фактором и усиливает накопление элементов и, главным образом, редкоземельных.

Одной из функций пищеварительной системы считается всасывательная функция, которая осуществляется слизистой оболочкой желудка, тонкого и толстого кишечника. Этот процесс обеспечивает поступление растворенных органических веществ, солей, витаминов и воды во внутреннюю среду организма.

Из желез, играющих важную роль в процессе пищеварения, нами изучен элементный состав печени и поджелудочной железы (рис. 3.5. 3.6). Так как поджелудочная железа в организме человека выполняет функции пищеварительной и эндокринной систем, то ее элементный состав будет рассмотрен при анализе элементного состава органов эндокринной системы.

Печень – это самая крупная железа пищеварительной системы человека. Масса ее составляет около 1,5 кг (Лемеза Н.А. и др., 2002).

Печень – важная железа пищеварительной системы, функциями которой являются:

- желчеобразующая (желчь усиливает двигательную функцию кишечника. Она создает щелочную среду кишечника. Соли желчных кислот способствуют всасыванию витамина К, необходимого для свертывания крови);
- гликогенообразующая (при необходимости под влиянием гормона адреналина гликоген превращается в глюкозу и выводится в кровь);
- барьерная.

Барьерная функция печени заключается в обезвреживании ядовитых веществ, образующихся в процессе пищеварения, а также поступающих из внеш-

ней среды. Например, продуктом азотистого обмена является ядовитый аммиак, из которого в печени синтезируется менее токсичная мочевина.

Тенденция изменения содержания элементов на графиках у мужчины и женщины практически идентичная (рис. 3.5). В языке отмечается общая картина в уровнях накопления как у мужчины, так и у женщины, но в у языке женщины больше Li, Be, S, Co, Ni, Br, Rb, Sr, Ag, W, Th, U, а у мужчины Hg, Bi. Анализ рис. 3.5 свидетельствует о том, что вероятно можно отметить такие органы как:

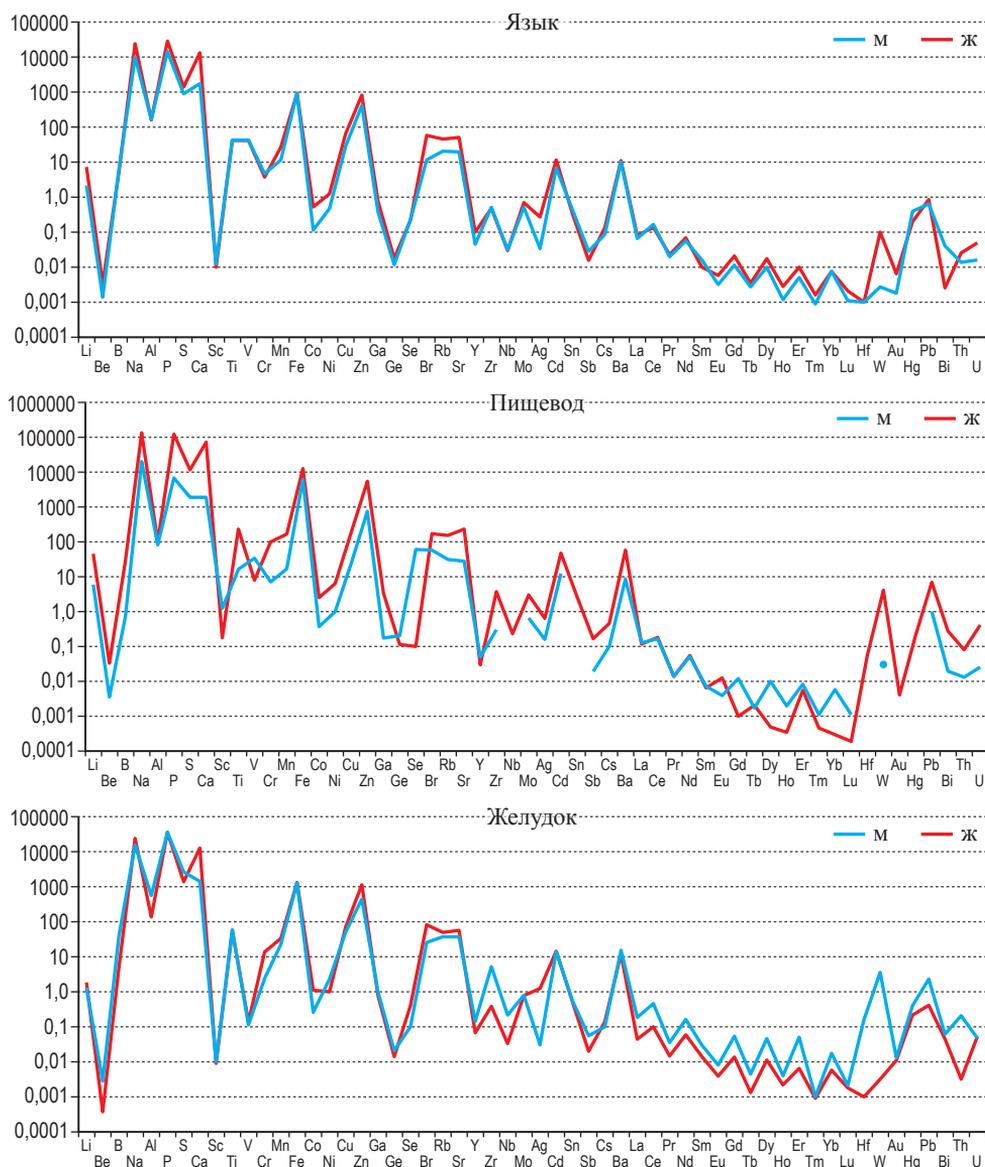
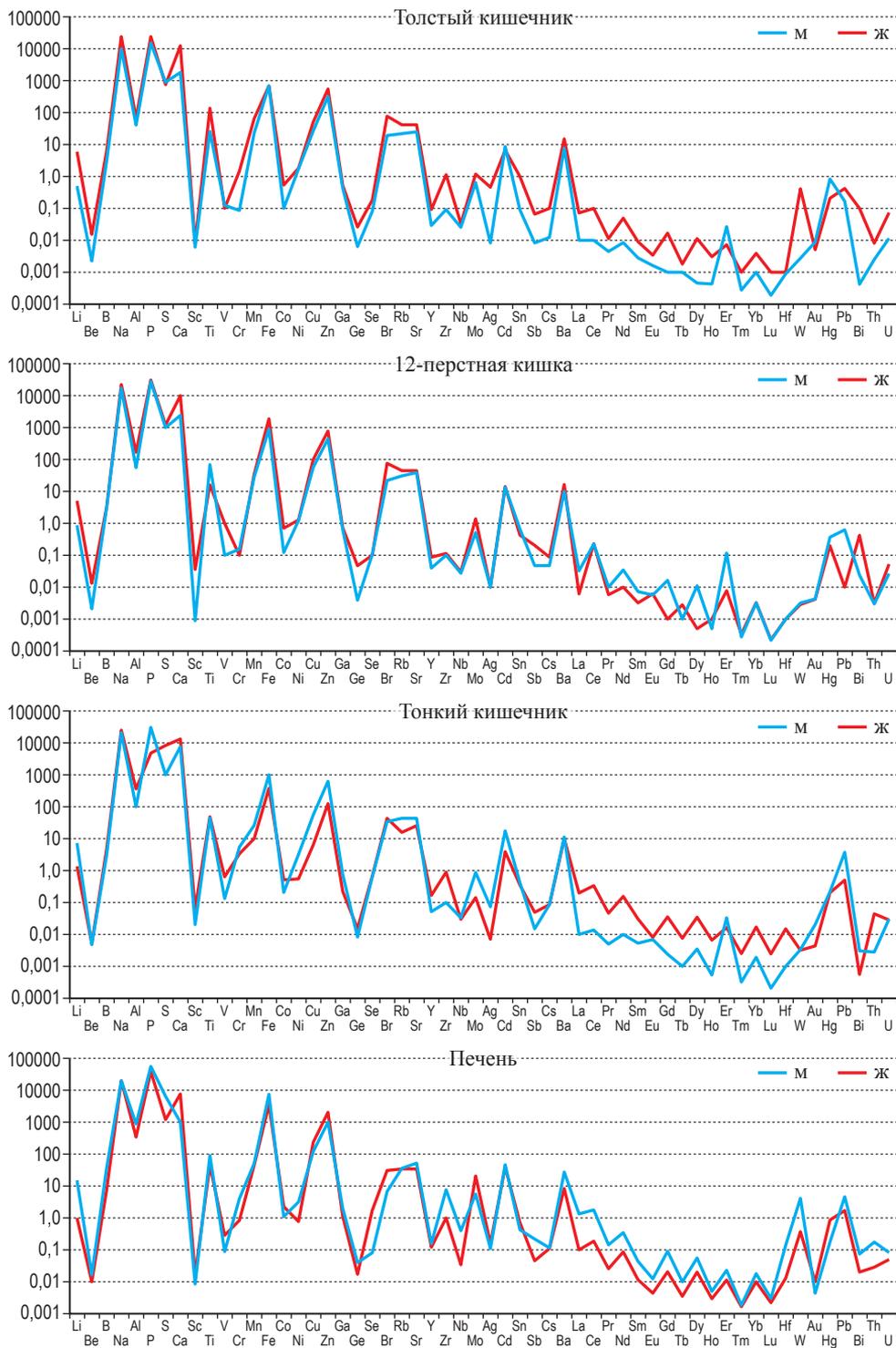


Рис. 3.5. Распределение элементов в органах пищеварительной системы (мг/кг золы) жителей Томского района



Продолжение рис. 3.5

толстый, тонкий кишечника и 12–перстная кишка, содержание элементов в которых у женщины выше в отличие от таковых у мужчины, хотя исключением является повышенное содержание редкоземельных элементов (РЗЭ) в 12-перстной кишке у мужчины. Вероятно, это можно объяснить различиями в пищевом рационе. Возможно, указывает и на половое различие. В тонком кишечнике мужчины отмечается повышенные содержания Li, P, Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Mo, Ag, Cd, Pb, Bi. Распределение РЗЭ для толстого и тонкого кишечника идентичные. В печени у мужчины также повышенное содержание Pb, что можно объяснить тем, что печень в организме, как было отмечено выше, выполняет барьерную функцию. Для женского пищевода характерно повышенное содержание практически всех элементов по сравнению с мужским пищеводом. В пищевode повышенное содержание Pb по сравнению с другими органами пищеварительной системы. Для органов пищеварительной системы практически соблюдается общие геохимические законы. Отмечается повышенное содержание легких элементов и относительно пониженное содержание более тяжелых ядер, хотя содержание таких элементов как W, Hg, Pb, Bi, также повышенное.

Система крово- и лимфообращения представлена: аортой, полой веной, селезенкой и сердцем. Отдельно будут рассмотрены особенности элементного состава крови жителей Томской области.

Данную систему часто называют «транспортной системой», потому что она доставляет всем тканям тела пищу и кислород, удаляет ненужные продукты обмена, переносит гормоны из эндокринных желез в те органы, на которые они действуют, и выравнивает температуру различных частей тела. Клетки тела омываются тканевой жидкостью, и концентрация различных веществ в каждой клетке отчасти регулируется концентрацией их в тканевой жидкости, которая в свою очередь зависит от содержания тех же веществ в крови, что, в свою очередь, регулируется почками, легкими, печенью и кишечником (Лемеза Н.А. и др., 2002).

Селезенка – это включенный в систему кровообращения лимфоретикулярный орган, который, по меньшей мере, выполняет 4 задачи:

1. Является частью иммунной системы.
2. Участвует в накоплении и разрушении нормальных и патологических клеток крови.
3. Она может компенсировать повышение давления крови в системе воротной вены и при этом сглаживать изменения объемов.
4. Селезенка наряду с печенью и костным мозгом относится к важным кроветворным органам. Эта функция у взрослых может быть активирована при патологических состояниях или прекращении нормального внутрикостного образования крови.

Анализ графиков, представленных на рис. 3.6 позволяет утверждать, что: тенденция изменения содержания в органах мужчины и женщины идентичное, но в органах женщины уровни накопления элементов несколько выше. Так, содержание элементов в аорте и селезенке у женщины выше, чем у мужчины. В данной системе отмечается повышенное содержание таких элементов как Pb, W.

В сердце повышенное содержание Ва по сравнению с другими органами данной системы (рис. 3.6). Содержание следующих элементов в органах мужчины и женщины одинаковое – Си, Zn (аорта, полая вена, сердце), Ва (аорта и полая вена), Hg (аорта, полая вена, селезенка). При анализе графиков, представленных на рис. 3.6, исключением по накоплению элементов является лишь полая вена мужчины, так как в ней происходит концентрирование легких элементов (примерно до Ва). Содержание элементов в селезенке в сравнении с другими исследуемыми

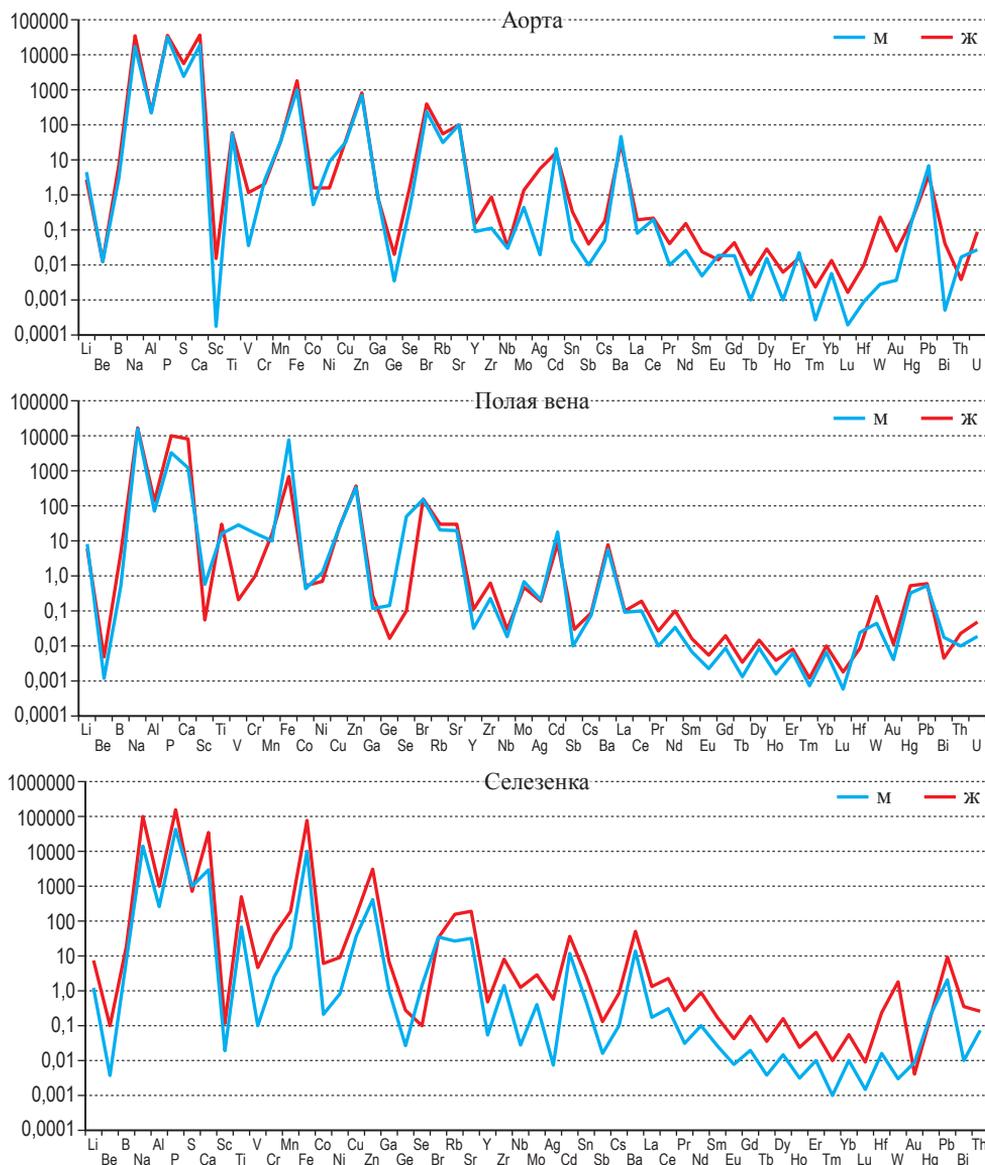
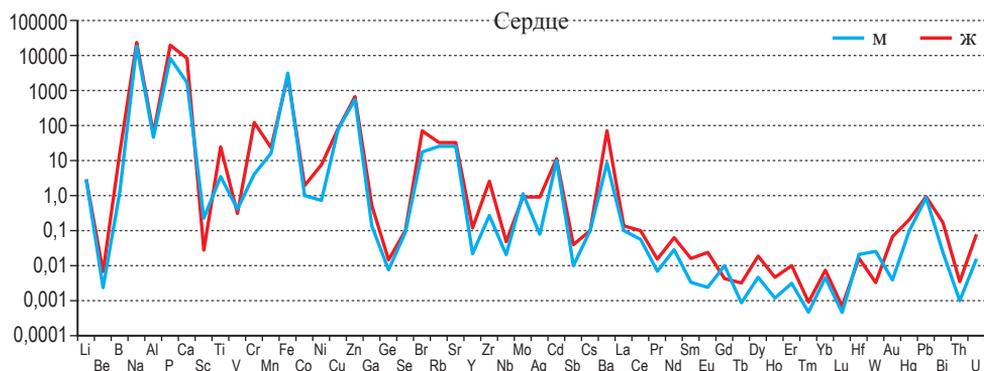


Рис. 3.6. Распределение элементов в органах системы крово- и лимфообращения (мг/кг золы) жителей Томского района



Продолжение рис. 3.6

органами системы кровообращения выше, и именно селезенка в организме представляет собой орган ретикулоэндотелиальной системы, защищающий организм от попадания чужеродных веществ, т.е. нагрузка на селезенку высокая. В целом про систему крово- и лимфообращения, а в частности про селезенку, вероятно, можно говорить, как о специфической женской системе, во всяком случае именно в рассмотренном примере, возможно именно селезенка отражает физиологическую особенность женщины.

Анализ особенностей накопления элементов в головном мозге – в органе центральной нервной системы человека – жителя Томского района (рис. 3.7) свидетельствует о том, что в головном мозге у мужчины накапливаются максимально практически все определенные элементы, за исключением содержания Sc, V, Вг, количество которых в головном мозге женщины выше.

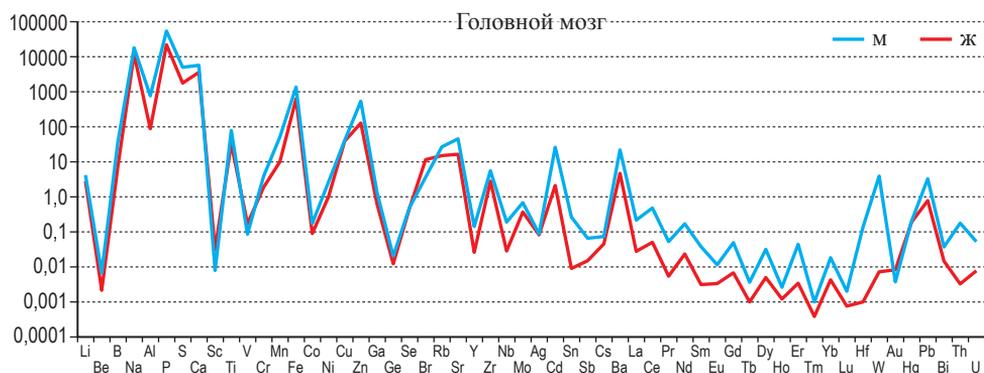


Рис. 3.7. Распределение элементов в головном мозге (мг/кг золы) жителей Томского района

Следует отметить, что в головном мозге мужчины, вероятно, концентрируются, как это показывает рис. 3.7 тяжелые металлы, редкие и редкоземельные, а также радиоактивные элементы. Возможно, данная особенность связана либо с половыми различиями, либо обусловлена спецификой работы мужчины.

Информация о содержании и распределении элементов в головном мозге человека весьма ограничена, несмотря на то, что их содержание изучается достаточно длительное время. Так, например, по данным С.А. Боровика и В.В. Ковальского еще в 1920 году некоторыми авторами было показано, что мозг ребенка содержит около 8,8 мг/кг цинка.

Большие полушария головного мозга являются высшим отделом центральной нервной системы, который контролирует, координирует, объединяет отдельные части организма в единое целое, осуществляет регуляцию функций всех органов (Лемеза Н.А. и др., 2002).

Железами внутренней секреции, или эндокринными, называются железы, не имеющие выводных протоков. Продукты их жизнедеятельности – выделяются во внутреннюю среду организма (кровь или тканевую жидкость). Гормоны обладают высокой биологической активностью, специфичностью действия, дистантным воздействием (вливают на жизнедеятельность органов, расположенных вдали от места образования гормона). Гормоны сравнительно быстро разрушаются, поэтому необходимо их постоянное поступление в кровь. Гормоны оказывают влияние на обмен веществ (Лемеза Н.А. и др., 2002).

Щитовидная железа вырабатывает тироксин, трийодотиронин, место действия, которых не локализовано, они ускоряют обмен веществ и потребление кислорода в тканях. Следующий гормон – это тиреокальцитонин, место действия которого – кости, он влияет на обмен кальция и фосфора.

Поджелудочная железа является железой как внешней, так и внутренней секреции, т.е. смешанной. Поджелудочная железа имеет 2 секторные функции: пищеварительную и эндокринную. Поджелудочная выделяет поджелудочный сок с выраженными щелочными свойствами (рН 8,5). Химус, вышедший из желудка и имеющий кислую реакцию, нейтрализуется секретом поджелудочной железы. Ферменты, выделяемые поджелудочной железой, как и ферменты, выделяемые стенкой кишечника, не способны оказывать свое действие в кислой среде, поэтому кислотность пищевых масс, поступающих из желудка, должна быть нейтрализована.

Поджелудочная железа, как железа внутренней секреции, вырабатывает инсулин, который не локализуется в определенном месте и способствует усвоению глюкозы клетками, а также вырабатывает глюкагон, его место действие – печень, он стимулирует распад гликогена до глюкозы. Инсулин – белок, повышает скорость поглощения глюкозы из крови некоторыми клетками, особенно клетками скелетных мышц. Недостаточное количество инсулина (сахарный диабет) влечет за собой нарушение использования глюкозы, повышенное содержание глюкозы в крови и выделение больших количеств глюкозы с мочой, так как концентрация ее повышает почечный порог (Лемеза Н.А. и др., 2002).

Надпочечники – парные эндокринные железы человека. Играют важную роль в регуляции обмена веществ и в адаптации организма к неблагоприятным условиям (реакция на стрессовые условия) (Лемеза Н.А. и др., 2002).

Анализ особенностей накопления элементов в органах эндокринной системы человека – жителя Томского района (рис. 3.8) свидетельствует о том, что, как правило, в изученных органах этой системы концентрация элементов в них у женщины значительно выше, чем у мужчины. Особенно ярко это видно на материалах по поджелудочной железе, в которой уровень накопления большинства изученных элементов выше, чем таковой у мужчины.

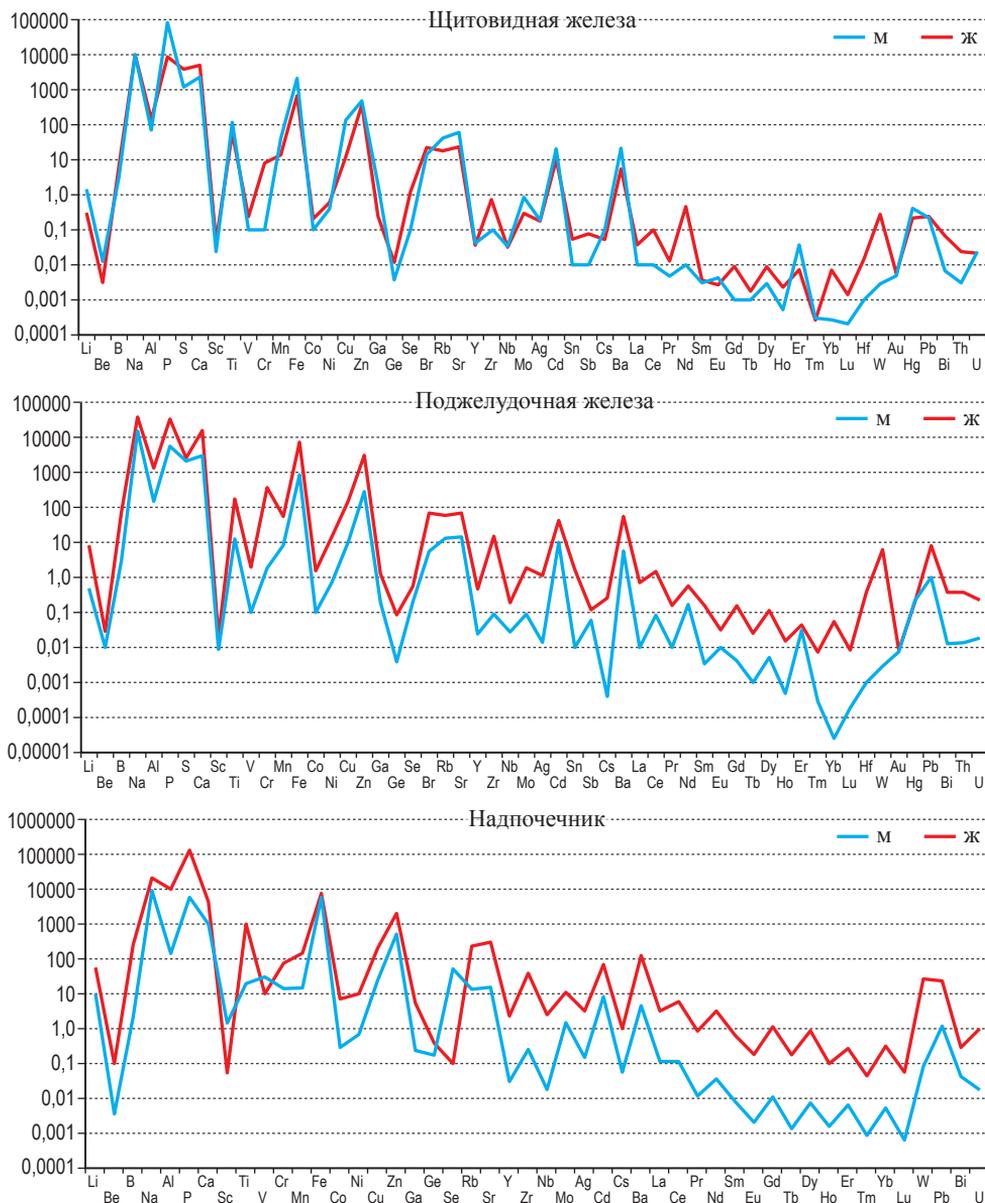


Рис. 3.8. Распределение элементов в органах эндокринной системы (мг/кг золы), жителей Томского района

Аналогичная ситуация наблюдается в надпочечнике. Здесь исключения составляют Sc, V, Se, так как у мужчин их концентрация выше.

Наиболее ярко соблюдается всеобщий характер распределения элементов в надпочечниках (рис. 3.8). Необходимо отметить, что уровень содержания практически всех элементов в надпочечниках женщины выше, чем у мужчины.

Представляется, что эта особенность отражает, прежде всего, половое развитие, так как гормональный статус женщин, выраженный через органы эндокринной системы по физиологической природе выше.

В щитовидной железе эта картина менее ярко выражена и общей стабильной картины, как в двух других органах, не наблюдается.

Анализ элементного состава щитовидной железы показывает, что наблюдается резкое повышение Р у мужчины, данный факт может указывать на нарушение одной из функций щитовидной железы: обмена Р и Са, что, возможно, связано с повышенным потреблением консервированных продуктов (Скальный А.В., 2005). В щитовидной железе у мужчины содержание Са уменьшается, содержание Р увеличивается (рис. 3.8). В надпочечниках у женщины отмечается повышенное содержание Р по сравнению с другими органами данной системы, но пониженное содержание Са.

Элементный состав мочеполовой системы, охарактеризован у следующих органов: мочевого пузыря, почки, яичник, матка и молочная железа (рис. 3.9).

Мочевой пузырь – мышечный орган, выполняющий функцию накопления, удержания (непрерывно поступающей из почек по мочеточникам) и выделения мочи (Лемеза Н.А. и др., 2002).

Почки – главный и наиболее важный парный орган мочевой системы человека.

Основные функции почек состоят:

1. В регуляции водно-солевого баланса организма (поддержание необходимых концентраций солей и объема жидкости в организме).
2. В выведении ненужных и вредных (токсичных) веществ из организма.
3. В регуляции артериального давления.
4. В регуляции общего объема крови.
5. В регулировании рН крови.
6. В регулировании химического состава жидкости.

Яичники – парная женская половая железа, расположенная на боковой стенке малого таза, сбоку и сзади от матки. Детородный орган, кроме того, яичники представляют собой железы внутренней секреции, в которых вырабатываются женские половые гормоны, обуславливающие развитие половых органов и молочных желез, вторичных половых признаков, влияющие также на обмен веществ, состав крови и т. д. (Лемеза Н.А. и др., 2002).

Матка – мышечный полый орган женщины. Она расположена в малом тазу между мочевым пузырём и прямой кишкой. Матка выполняет детородную функцию, в ней развивается и вынашивается плод.

Молочные железы – парный железистый орган, продуцирующий после родов молоко.

Анализ особенностей элементного состава органов мочеполовой системы (рис. 3.9) свидетельствует о том, что тенденция изменения содержания в мочевом пузыре и почке мужчины и женщины идентичные; содержание элементов в почке у женщины выше в сравнении с мужской; в почке отмечается повышенное со-

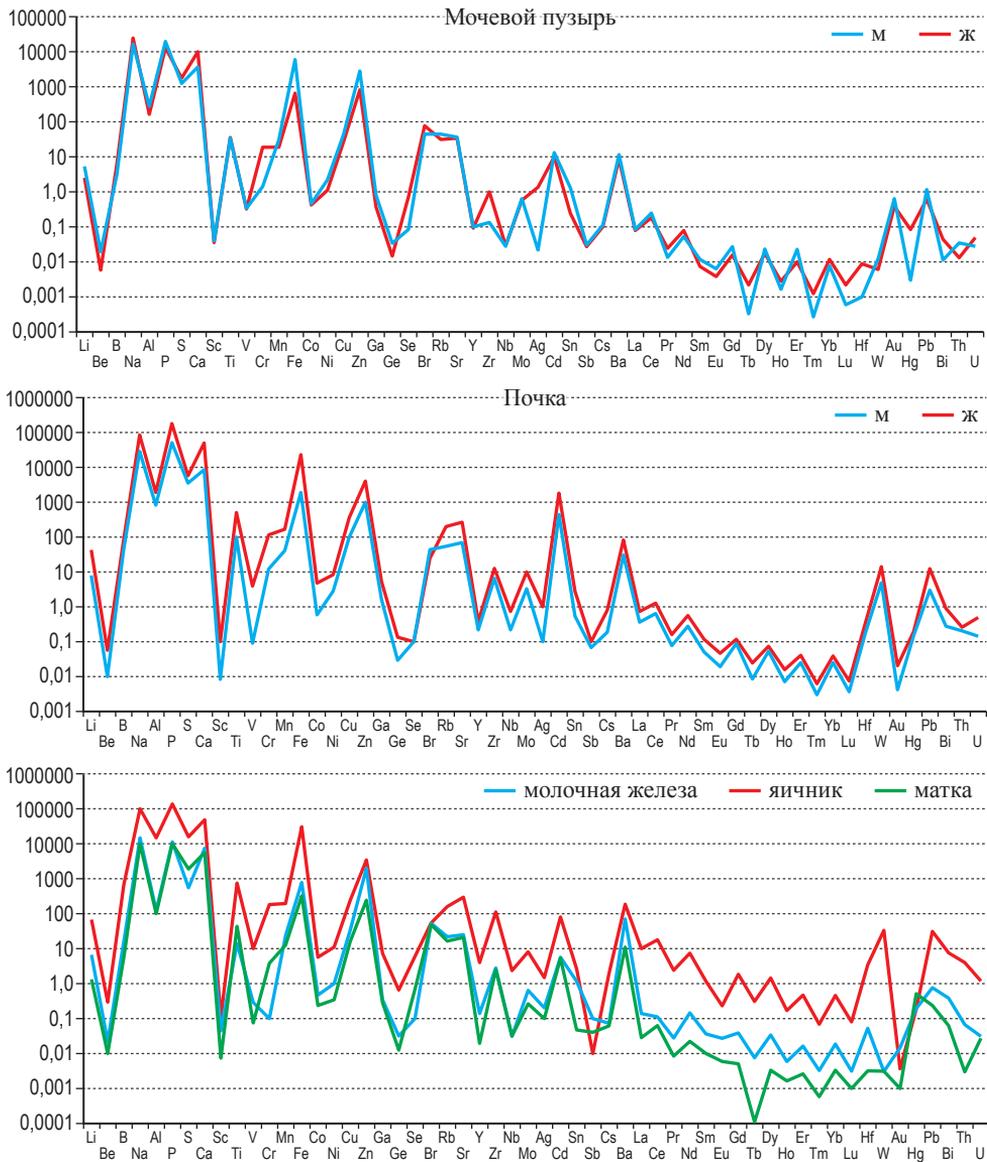


Рис. 3.9. Распределение элементов в органах мочеполовой системы (мг/кг золы) жителей Томского района

держание Pb и Cd – это яд для почек; в мочевом пузыре у мужчины повышенные содержания относительно женской Li, Fe, Ni, Cu, Zn, Ge, Sn, Er, Au, Pb и Th.

Необходимо отметить схожую тенденцию в распределении элементов в матке и молочной железе. В этих органах фиксируется одинаковое содержание следующих элементов: Na, Al, P, Ca Ga, Br, Rb, Sr, Zr, Nb, Cd, Cs, W, U. В яичнике отмечается максимальное содержание всех исследуемых элементов, особенно необходимо отметить высокие содержания W и Pb, а исключение представляет содержание Au, которое в молочной железе выше, и Hg в матке. Содержание Br в яичнике, матке и молочной железе одинаковое. Повышенное содержание Ba отмечается во всех детородных органах, известно, что в высоких количествах он считается токсичным и оказывает негативное воздействие на систему кроветворения. Видимо такие выявленные особенности можно считать специфическими, характерными для детородных органов, связанных с физиологическими функциями организма, а также нельзя исключать того, что яичник – барьерный орган, поэтому, как и ранее выделенные печень, селезенка, надпочечник, он также выполняет функцию фильтра и тем самым концентрирует элементы.

Из органов и тканей покровной системы и опорно-двигательного аппарата изучен элементный состав: кожи, жировой ткани, скелетной мускулатуры (рис. 3.10).

Кожа – наружный орган человека. Она выполняет различные функции: образует покров организма, защищающий его подлежащие части от различного рода повреждений. Здоровая кожа непроницаема не только для микроорганизмов, но даже для многих растворенных ядовитых и вредных веществ. Кожа участвует в общем обмене организма (Лемеза Н.А. и др., 2002).

Жировая ткань – разновидность соединительной ткани организма.

Основное физиологическое значение жировой ткани: она несёт функцию энергетического депо организма (при голодании количество жира в клетках уменьшается, при усиленном питании увеличивается) и предохраняет его от потери тепла.

За последнее время получено очень много интересных данных о том, что жировая ткань клетки является не просто хранилищем запасенной энергии, а является активным эндокринным органом, то есть органом, вырабатывающим гормоны. Наиболее изучено в настоящее время выделение жировыми клетками двух гормонов – лептина и эстрогенов (Лемеза Н.А. и др., 2002).

Некоторые другие функции жировой ткани:

- превращение углеводов в жиры (с участием инсулина);
- расщепление жиров с образованием углеводов;
- накопление витаминов А, D, Е; пассивное обезвреживание (депонирование) вредных веществ;
- участие в водном обмене (при голодании, усиленной физической работе, обильном потоотделении усиливается расход жиров с образованием воды, и наоборот – ограничение воды ведет к уменьшению жиroadобразования).

Скелетная мускулатура (мышца) представляет удлиненную массу ткани, состоящую из миллионов отдельных мышечных волокон, связанных между собой соединительнотканными волокнами.

Анализ элементного состава покровной ткани и опорно-двигательной системы человека – жителя Томского района (рис. 3.10) свидетельствует о том, что тенденция изменения содержания изученных элементов в коже, жировой ткани и скелетной мускулатуре мужчины и женщины идентичная. В коже и скелетной мускулатуре мужчины отмечается повышенное содержание элементов, начи-

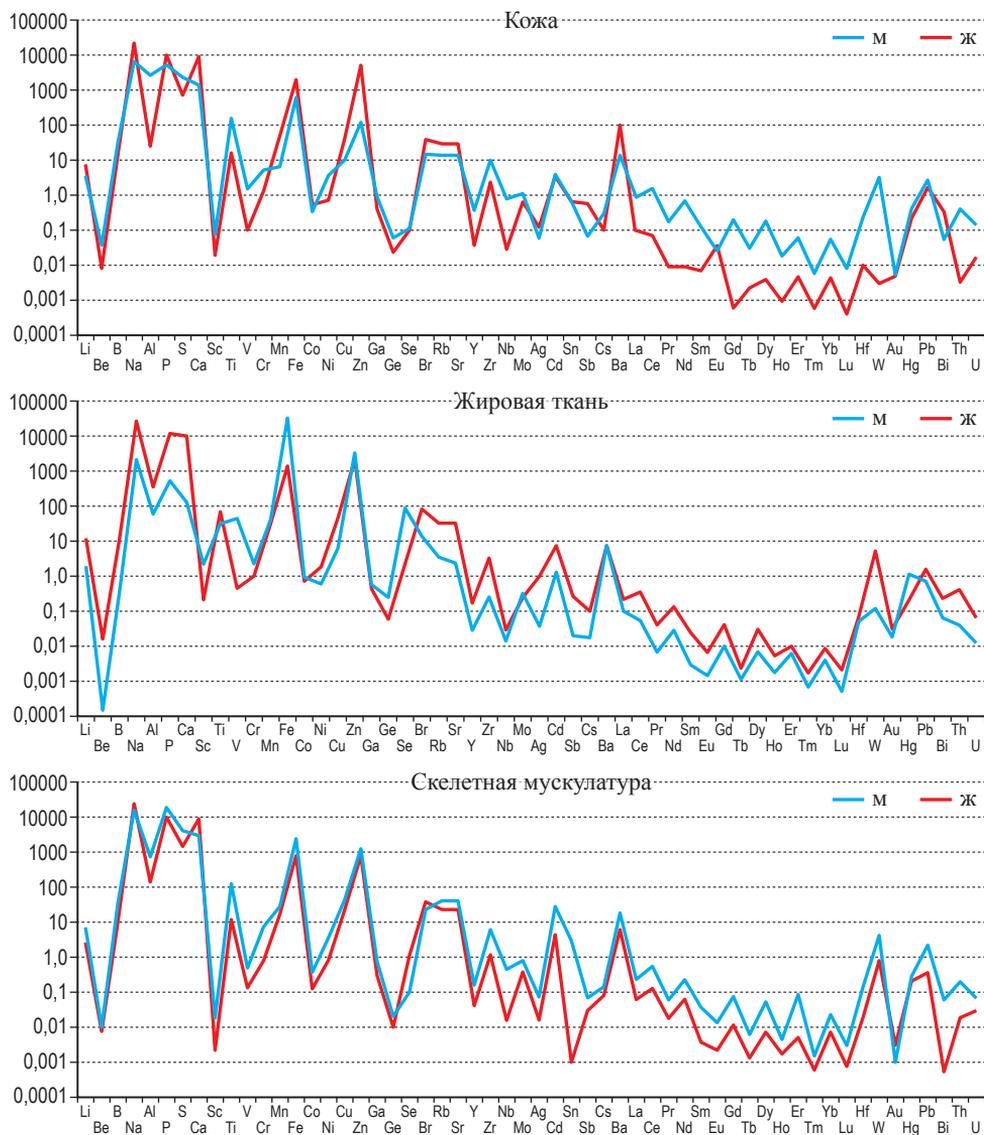


Рис. 3.10. Распределение элементов в покровной ткани и опорно-двигательного аппарата (мг/кг золы) жителей Томского района

ная с редкоземельных и по уран. В коже и жировой ткани женщины отмечается высокое содержание цинка. Такие особенности можно объяснить воздействием окружающей среды на организм жителей Томского района. Уровень накопления элементов в жировой ткани женщины в целом характеризуется повышенным содержанием относительно мужской. Жировая ткань и скелетная мускулатура мужчины отмечаются повышенным содержанием Fe.

Жизнедеятельность и адаптация организма к окружающим условиям среды обитания в значительной степени зависят от обеспеченности его химическими элементами. Данный параметр во многом связан с биогеохимическими факторами среды (Ковальский Д.Д., 1987, Саев Ю.Е., 1990).

Дисбаланс химических элементов в организме человека непосредственно влияет на функционирование практически всех систем и органов, в том числе вызывая и значительное напряжение адаптационных механизмов (Агаджанян Н.А., 2000).

Процесс поддержания адекватной жизнедеятельности в конкретных условиях среды обитания осуществляется, прежде всего, за счет тесного взаимодействия основных регулирующих систем человеческого организма: эндокринной, нервной и крово- и лимфообращения со средой обитания, т.е. как с природными, так и техногенными факторами окружающей среды.

Таким образом, нами выделены органы, в которых:

- в повышенных содержаниях концентрируются все элементы только у женщины (трахея, толстый кишечник, аорта, сердце, селезенка, поджелудочная железа, почка, жировая ткань), только у мужчины (легкие, бронхи, головной мозг, скелетная мускулатура);
- содержание элементов примерно одинаковое (язык, щитовидная железа, мочевой пузырь);
- содержание элементов первой части периодической таблицы Д.И. Менделеева до бария концентрируется у женщины, тогда, как с бария до урана у мужчины (желудок, двенадцатиперстная кишка, кожа);
- содержание элементов первой части периодической таблицы Д.И. Менделеева концентрируется у мужчины, а вторая часть у женщины (тонкий кишечник);
- барьерные органы накопители элементов: печень, селезенка, надпочечник, кожа, яичник.

В процессе выполнения работы нами была сделана попытка сравнительного анализа биопсийного материала ряда органов и тканей жителей г. Анапа и Томского района.

Анализ особенностей накопления элементов в золе печени жителей разных регионов (рис. 3.11) свидетельствует о том, что в печени жителей г. Анапа отмечается накопление Вг, Се, Еи, Тб в отличие от печени жителей Томского района, которая характеризуется концентрированием Са, Sc, Sr, La, Hf, Au, Th, U, а содержание остальных элементов идентичное.

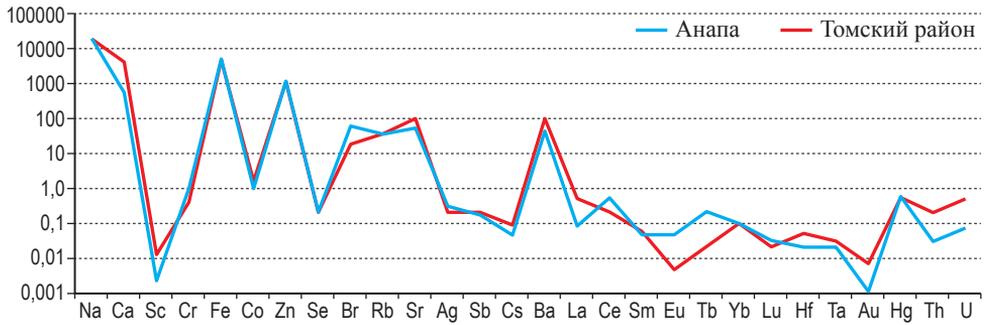


Рис. 3.11. Сравнение уровней накопления элементов в золе печени людей, проживающих в разных регионах (мг/кг золы)

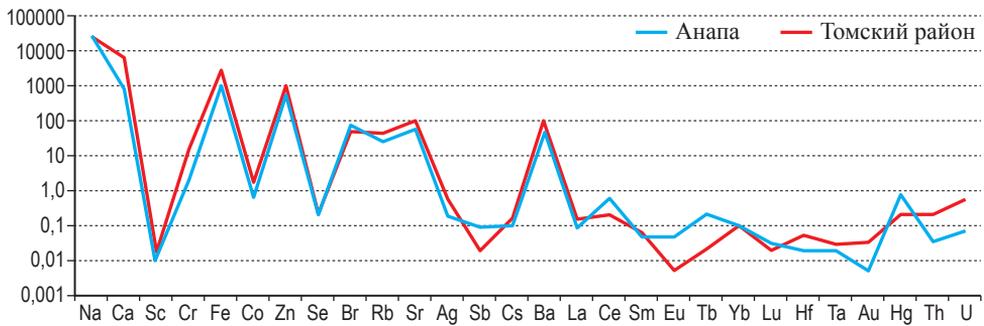


Рис. 3.12. Сравнение уровней накопления элементов в золе сердца людей, проживающих в разных регионах (мг/кг золы)

Элементный состав сердца жителей Томского района отличается более высокими значениями Ca, Cr, Fe, Co, Rb, Sr, Ba, Hf, Ta, Au, Th, U (рис. 3.12). Геохимические особенности сердца жителей г. Анапа характеризуются преобладанием Br, Sb, Ce, Eu, Tb, Hg.

Анализируя содержание элементов в золе головного мозга жителей разных регионов, можно отметить, что региональной особенностью проб Томского райо-

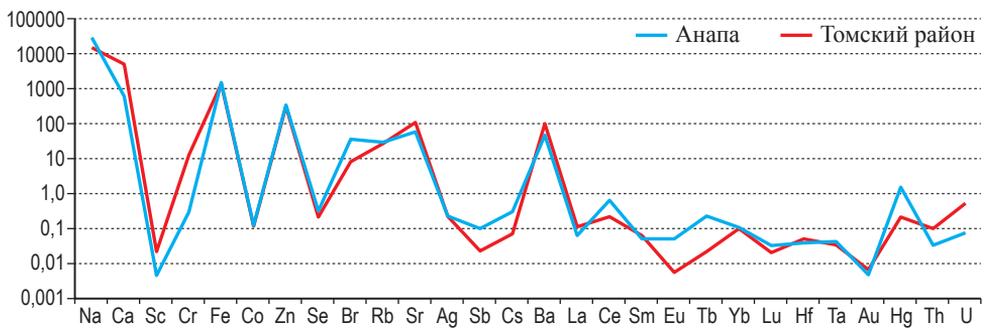


Рис. 3.13. Сравнение уровней накопления элементов в золе головного мозга людей, проживающих в разных регионах (мг/кг золы)

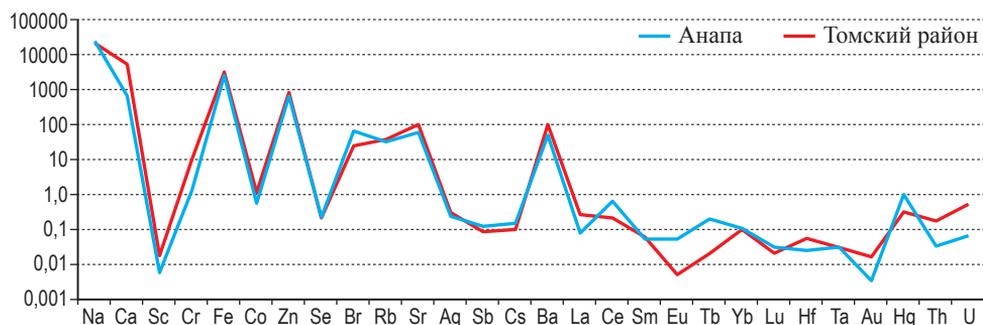


Рис. 3.14. Сравнение уровней накопления элементов в исследуемых органах людей, проживающих в разных регионах (мг/кг золы)

на является аномально высокая концентрация Cr и значительное накопление Ca, Sc, Sr, Th, U, в то время как для проб жителей г. Анапа характерны повышенные значения Na, Br, Sb, Ce, Eu, Tb и Hg (рис. 3.13).

Итак, анализ проб органов жителей разных регионов (рис. 3.11–3.13) позволяет определить геохимические региональные особенности каждого региона (рис. 3.14).

Так, в органах жителей Томского же района концентрируются преимущественно Ca, Cr, Ba, La, Hf, Au, Th, U. Данные геохимических особенностей находятся, вероятно, в прямой взаимосвязи с таковыми в ранее исследуемых природных объектах Томского региона (Рихванов и др., 2006; Арбузов, 2008; Межибор, 2010 и др.). Необходимо учитывать и такие возможные источники элементов как наличие предприятий Северного промышленного узла, расположенного на территории Томского района, а также многочисленные промышленные предприятия г. Томска.

В исследуемых органах жителей г. Анапа преимущественно концентрируется Br, Sb, Ce, Eu, Tb, Hg. Возможным источником брома, вероятно, прежде всего, можно считать море. Так, в прибрежных районах данный элемент всегда фиксируется в более высоких количествах. Наличие Br и Sb в исследуемых органах жителей г. Анапа, можно так же связать с наличием нефтеперерабатывающего производства и наличие, крупнейшего порта в г. Новороссийске, где имеются нефтеперевалочные предприятия.

Анапа – это зона российского Причерноморья, являющаяся важным компонентом рекреационного потенциала РФ. В этом районе отмечаются повышенные концентрации химических элементов в почвах (Zn, Sr, Ag, Mo, Cd, Pb) (Дьяченко В.В., 2004).

Трансформация ландшафтов связана не только с увеличением рекреационной нагрузки, но и с закономерным расширением деятельности человека, приумножающей число видов природопользования на данной территории. Это ставит под сомнение рекреационный потенциал и вынуждает еще более внимательно относиться к проблемам установления качества окружающей среды.

Необходимо отметить и тот факт, что в настоящее время нами начаты работы по изучению элементного состава поросят, обитавших на территориях с разной степенью техногенной нагрузки Томского района. Установлено, что в элементном составе поросенка из с. Кижирова в зоне СПУ, содержание всех элементов на порядок выше, чем в поросенке из с. Верхнесеченово в противоположном направлении от СПУ. В поросенке с. Кижирова обнаруживается главным образом спектр элементов, характеризующий предприятия ЯТЦ (REE) и ТНХК (Br, Sb). Данный объект можно считать легкодоступным для исследований, а также необходимо учитывать и схожесть физиологических особенностей поросенка с организмом человека.

Таким образом, видимо уровень накопления элементов в организме человека определяется не только биохимическими и биофизическими особенностями функционирования живых тканей, но и половыми, вероятно, возрастными особенностями, патологическими изменениями, а также с разнообразными природно-климатическими, геологическими и ландшафтно-геохимическими факторами, так и факторами современного техногенеза.

## Очерк четвертый

# РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ СИСТЕМАМ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА

---

### 4.1. Сравнительная оценка элементного состава организма человека

Химические элементы, поступившие в организм человека, оказывают влияние на обмен веществ и на различные функции жизнедеятельности. Организм в процессе жизнедеятельности поглощает различные элементы из окружающей среды, использует их и затем выделяет.

Не вызывает сомнения грандиозная роль химических элементов в многообразных функциях организма и каждой клетки в отдельности. В.И. Вернадский утверждал, что *«Живая материя является совершенно особой химической областью в химии земной коры... В живой материи, в каждой её клетке... идёт вихрь сменяющих друг друга химических элементов»* (В.И. Вернадский, 1994, С.168)

Особенно актуальной проблема изучения химических элементов стала в последние десятилетия, что связано, в первую очередь, с катастрофическим ухудшением экологической обстановки и загрязнением окружающей среды различными химическими веществами в связи с производственной деятельностью человека (Гичев Ю.П., 2002).

В результате многочисленных исследований выявлено, что в живом организме находятся все известные химические элементы, включая, редкие, редкоземельные и радиоактивные (В.И. Вернадский, 30-е годы XX века). Основную массу составляют кислород, азот, водород и углерод, которые входят, главным образом, в состав органических веществ – белков, жиров, углеводов, на долю которых приходится 25% от массы тела.

Пределы накопления изученных нами элементов по ОТЧ (табл. 4.1), позволяют определить разброс в накоплении элементов. Анализ таблицы позволяет сделать следующие выводы: 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. Это свидетельствует о том, что именно органы дыхания и органы лимфообращения (селезенка) в организме человека, вероятно, являются органами-концентраторами химических элементов.

Таблица 4.1

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

№ п/п	Элемент	Минимум	Максимум
1	Li	0,02 (легкие)	0,4 (пищевод)
2	Be	$3,4 \cdot 10^{-5}$ (желудок)	$1 \cdot 10^{-3}$ (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	$1 \cdot 10^{-4}$ (яичник)	$8 \cdot 10^{-3}$ (бронхи)
10	Ti	0,08 (молочная железа)	8,0 (селезенка)
11	V	$1 \cdot 10^{-3}$ (молочная железа)	0,07 (пищевод)
12	Cr	$6 \cdot 10^{-4}$ (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	$3 \cdot 10^{-3}$ (молочная железа)	0,1 (трахея)
16	Ni	$5 \cdot 10^{-3}$ (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	$2 \cdot 10^{-3}$ (молочная железа)	0,1 (селезенка)
20	Ge	$2 \cdot 10^{-4}$ (молочная железа)	$4 \cdot 10^{-3}$ (селезенка)
21	Se	$3 \cdot 10^{-4}$ (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	$2 \cdot 10^{-4}$ (пищевод)	0,01 (бронхи)
26	Zr	0,004 (12-ти перстная кишка)	0,12 (головной мозг)
27	Nb	$2 \cdot 10^{-4}$ (молочная железа)	0,016 (селезенка)
28	Mo	0,004 (молочная железа)	0,3 (печень)
29	Ag	$4 \cdot 10^{-4}$ (12-ти перстная кишка)	0,07 (аорта)
30	Cd	0,03 (молочная железа)	10,1 (почка)
31	Sn	$2 \cdot 10^{-3}$ (щитовидная железа)	0,09 (скелетная мускулатура)
32	Sb	$1 \cdot 10^{-5}$ (яичник)	0,013 (лёгкие)
33	Cs	$4 \cdot 10^{-4}$ (молочная железа)	0,013 (селезенка)
34	Ba	0,1 (мочевой пузырь)	1,8 (трахея)
35	La	$8 \cdot 10^{-4}$ (12-ти перстная кишка)	0,05 (лёгкие)

Окончание таблицы 4.1

№ п/п	Элемент	Минимум	Максимум
36	Ce	$6 \cdot 10^{-4}$ (молочная железа)	0,13 (лёгкие)
37	Pr	$1 \cdot 10^{-4}$ (пищевод)	$8 \cdot 10^{-3}$ (лёгкие)
38	Nd	$5 \cdot 10^{-4}$ (пищевод)	0,02 (bronхи)
39	Sm	$5,9 \cdot 10^{-5}$ (пищевод)	$3 \cdot 10^{-3}$ (bronхи)
40	Eu	$7,0 \cdot 10^{-5}$ (толстый кишечник)	$9 \cdot 10^{-4}$ (трахея)
41	Gd	$9 \cdot 10^{-6}$ (пищевод)	$5 \cdot 10^{-3}$ (bronхи)
42	Tb	$6,3 \cdot 10^{-6}$ (матка)	$6 \cdot 10^{-4}$ (bronхи)
43	Dy	$4,5 \cdot 10^{-6}$ (пищевод)	$4 \cdot 10^{-3}$ (bronхи)
44	Ho	$3,0 \cdot 10^{-6}$ (пищевод)	$5 \cdot 10^{-4}$ (bronхи)
45	Er	$5,1 \cdot 10^{-5}$ (пищевод)	$3 \cdot 10^{-3}$ (12-ти перстная кишка)
46	Tm	$4,1 \cdot 10^{-6}$ (пищевод)	$2 \cdot 10^{-4}$ (bronхи)
47	Yb	$2,7 \cdot 10^{-6}$ (пищевод)	$1 \cdot 10^{-3}$ (bronхи)
48	Lu	$1,8 \cdot 10^{-6}$ (пищевод)	$2 \cdot 10^{-4}$ (bronхи)
49	Hf	$3 \cdot 10^{-5}$ (толстый кишечник)	$4 \cdot 10^{-3}$ (трахея)
50	W	$2 \cdot 10^{-5}$ (молочная железа)	0,09 (трахея)
51	Au	$4 \cdot 10^{-6}$ (яичник)	0,01 (bronхи)
52	Hg	$2 \cdot 10^{-4}$ (bronхи)	0,03 (матка)
53	Pb	$4 \cdot 10^{-3}$ (молочная железа)	0,2 (трахея)
54	Bi	$3,5 \cdot 10^{-5}$ (тонкий кишечник)	0,01 (трахея)
55	Th	$7 \cdot 10^{-5}$ (сердце)	$6 \cdot 10^{-3}$ (жировая ткань)
56	U	$2 \cdot 10^{-4}$ (молочная железа)	$5 \cdot 10^{-3}$ (трахея)

Особенности распространенности элементов в золе органов и тканей человека по их минимальным и максимально встречающимся значениям представлены на рис. 4.1. Анализ этих данных показывает, что среди всех изученных элементов по уровням минимально и максимально встречающихся элементов условно могут быть выделены несколько групп: 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 и 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), которые определяют состав, структуру и главные свойства белков, ферментов и других составных частей живой клетки.

Обращает на себя внимание тот факт, что 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 по-

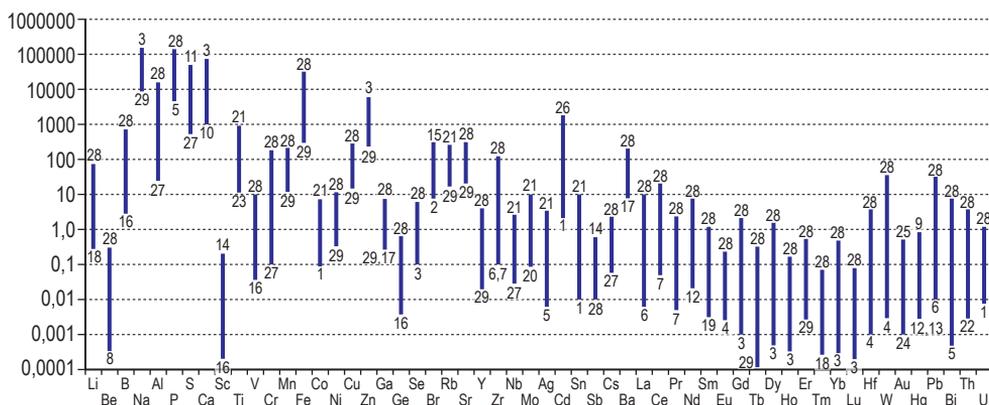


Рис. 4.1. Общая картина распространенности элементов в золе органов и тканей человека по их минимально и максимально встречающимся значениям (мг/кг зола)

Примечание: цифра на графике соответствует органу или ткани: 1 – ж. головной мозг, 2 – м. головной мозг, 3 – ж. пищевод, 4 – м. толстый кишечник, 5 – ж. тонкий кишечник, 6 – ж. 12-перстная кишка, 7 – м. 12-перстная кишка, 8 – ж. желудок, 9 – ж. печень, 10 – м. печень, 11 – ж. трахея, 12 – ж. бронхи, 13 – м. бронхи, 14 – м. легкие, 15 – ж. аорта, 16 – м. аорта, 17 – ж. полая вена, 18 – ж. щитовидная железа, 19 – м. щитовидная железа, 20 – м. поджелудочная железа, 21 – ж. надпочечники, 22 – ж. кожа, 23 – ж. скелетная мускулатура, 24 – м. скелетная мускулатура, 25 – м. мочевого пузыря, 26 – ж. почка, 27 – ж. молочная железа, 28 – ж. яичник, 29 – ж. матка; (ж – женщина, м – мужчина).

стоянном и сравнительно равномерном нахождении в органах и тканях человека, по-видимому, играющих определяющую физиологическую роль в их функционировании.

В то же время, существует группа элементов с чрезвычайно высокими диапазонами их содержаний: Be, Cr, Sc, Zr, Cd, La, W, Bi, Th и др. По-видимому, роль данных элементов в функционировании живого вещества является еще совсем слабо изученной.

Данные материалы свидетельствуют о том, что распределение изученных элементов во всех ОТЧ соответствуют установленным геохимическим законам Кларка-Вернадского (о всеобщей рассеянии химических элементов), Менделеева (распространенность элементов и его содержание уменьшается с ростом заряда ядра) и правилу Оддо-Гаркинса (о распределении четных и нечетных элементов), что еще раз подчеркивает их всеобщий характер распределения в материальных объектах (рис. 4.2).

Анализ рис. 4.3 свидетельствует о том, что различия по половому признаку присутствуют и наглядно наблюдается соответствие закону Кларка-Вернадского, Менделеева и правилу Оддо-Гаркинса.

Анализ дендограммы ассоциаций химических элементов (рис. 4.4) позволяет выделить существенные корреляционные связи следующих ассоциаций: Pr-Ce-La-Sb-Sc, Th-Nd-Tb-Tm-Ho-Sm-Lu-Yb-Dy-Gd-Y-Al, Mo-Cu, Ag-Br, Hg-Se, Eu-Ba-Ni-Cr, Bi-Er, Pb-U-Co-Ca-S-Sr-Rb-Mn-Na, Ti-Ga-P-Ge-Fe-Cs-Be, W-Hf-Zr-B, Sn-Nb-Zn-Li. Эта дендограмма указывает на то, что в организме человека редкие и

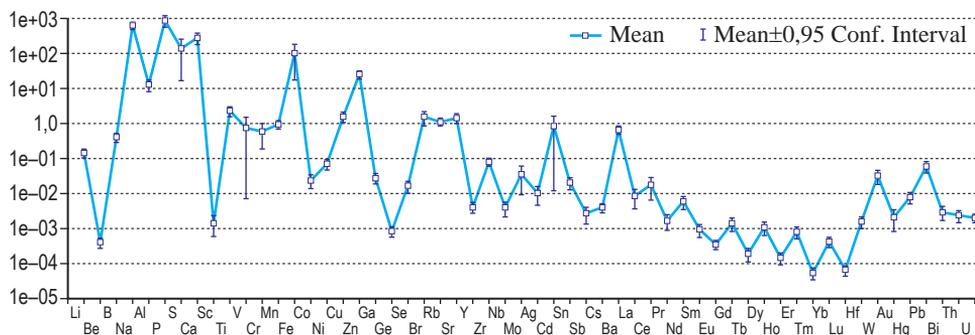


Рис. 4.2. Среднее содержание элементов в ОТЧ (мг/кг сырой массы)

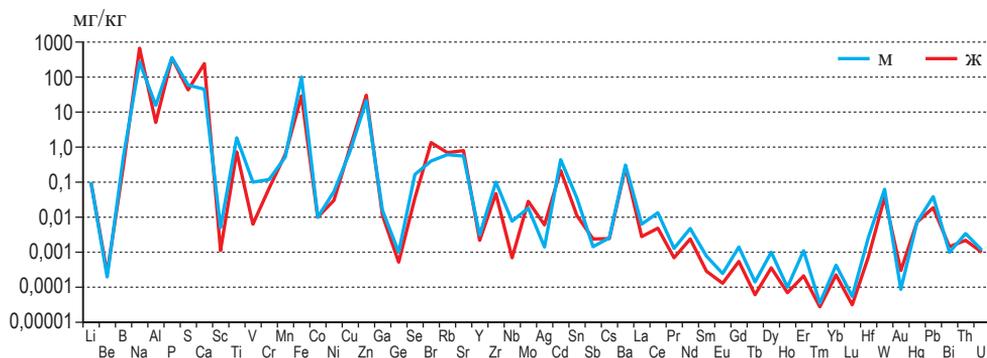


Рис. 4.3. Оценка средневзвешенного содержания химических элементов по половому признаку (мг/кг сырой массы)

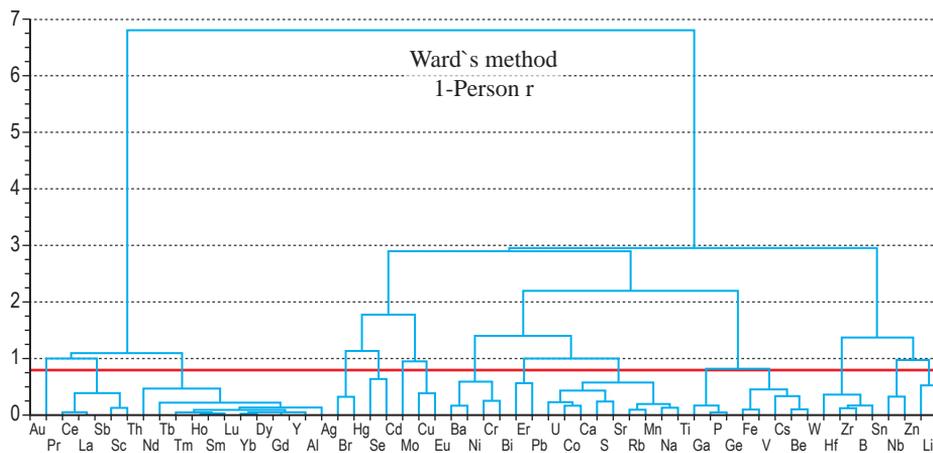


Рис. 4.4. Дендограмма корреляционной матрицы геохимического спектра элементов в органах и тканях человека – жителей Томского района (1-Person  $r_{0,05} = 0,8$ ; объем выборки – 48 проб)

редкоземельные элементы образуют прочные корреляционные связи, т.е. видимо в организме человека эти элементы присутствуют постоянно и возможно замещают главные структурообразующие и второстепенные неструктурообразующие элементы.

Первостепенная функция главных и второстепенных структурообразующих элементов состоит в построении тканей, поддержании постоянства осмотического давления, ионного и кислотно-основного состава.

Второстепенные неструктурообразующие элементы, входя в состав ферментов, гормонов, витаминов, биологически активных веществ в качестве комплексообразователей или активаторов, участвуют в обмене веществ, процессах размножения, тканевом дыхании, обезвреживании токсических веществ. Эти элементы активно влияют на процессы кроветворения, окисления – восстановления, проницаемость сосудов и тканей.

Например, такие элементы как: Ca, P, F, I, Al, Si – определяют формирование костной и зубной тканей.

Несомненно, время внесет коррективы в современные представления о числе и биологической роли определенных химических элементов в организме человека. В настоящее время, биологическая роль и содержание изучено далеко не для всех элементов, входящих в органы и ткани человека. В работе же представляется полная сводка данных по уровню накопления широкого спектра (56) элементов.

В ходе исследований было установлено, что закон Кларка-Вернадского-Менделеева и правило Оддо-Гаркинаса соблюдается не только для совокупных проб (органов и тканей человека), как было представлено на рис. 4.2, но и для конкретных органов и тканей. Так, в качестве примера можно рассмотреть распределение элементов на материале из представительных выборок исследованных биосубстратов: волосы детей (515 проб), кровь (249 проб), щитовидная железа (117 проб) (рис. 4.5).

Существует различие в накоплении элементов в исследованных биосубстратах (рис. 4.5). Так, некоторые среды накапливают высокие содержания, выполняя функцию концентраторов (щитовидная железа), есть биосреды, для которых характерны относительно стабильные содержания элементов (волосы), а для других – варьирование в зависимости от экзогенных и эндогенных процессов (кровь) (рис. 4.5). При сравнении трех сред, выявлено, что в крови концентрируется: Na,

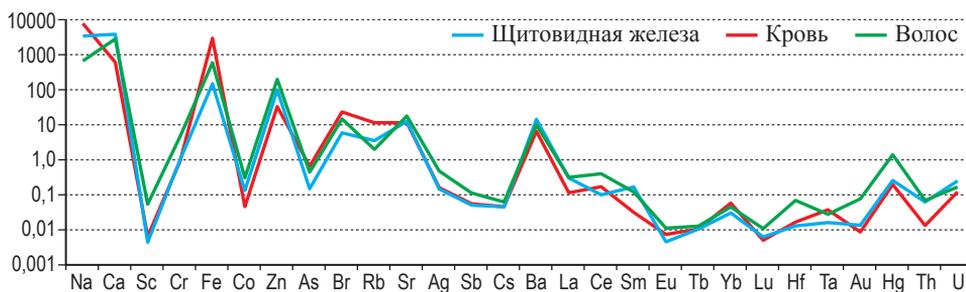


Рис. 4.5. Содержание элементов в исследуемых биосубстратах (мг/кг) жителей Томского района

Fe, Br, Rb, в щитовидной железе – Ca, Ba, Sm, U, в волосах – Sc, Cr, Co, Zn, Ag, Sb, Ce, Hf, Au, Hg.

При анализе литературных данных по биологической роли элементов в организме человека (Вредные химические вещества, 1988–1989; Дж. Эмсли, 1993; Иванов В.В., 1994; Власюк П.А., 1997; Кукушкин Ю.Н., 1998; Уильямс Д., 1998; Ершов Ю.А., 2000; Скальный А.В. и др., 2005 и др.) было выявлено, что изучается чрезвычайно узкий спектр элементов и далеко не во все органах и тканях человека. Количественные оценки по содержанию таких элементов как, например, редкие, редкоземельные и радиоактивные (особенно торий) в научной литературе отсутствуют. Нами изучено содержание и распределение, в том числе и этих элементов. Так, например, скандий, содержание которого в земной коре составляет  $2,2 \cdot 10^{-3}\%$ , в организме человека, вероятно, является следовым (неструктурообразующим) элементом. По содержанию и роли в организме человека информация практически отсутствует. В костной ткани скандия содержится 0,001 мг/кг, в крови 0,008 мг/л (Дж. Эмсли, 1993).

Результаты исследований представляют особый интерес, так как ранее таких данных по содержанию скандия в ОТЧ не было известно. Для Sc характерно неравномерное распределение по ОТЧ жителей Томского района, так максимальное содержание фиксируется в бронхах ( $8 \cdot 10^{-3}$  мг/кг), а минимальное  $1 \cdot 10^{-4}$  (мг/кг) – в яичниках. Повышенные содержания можно отметить в бронхах легких, т.е. возможно, именно органы дыхания можно считать органами-концентраторами Sc (рис. 4.6).

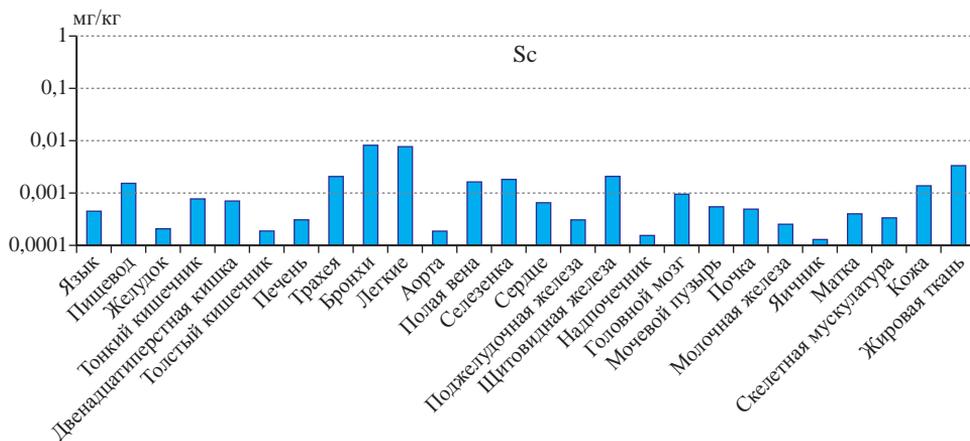


Рис. 4.6. Распределение скандия в ОТЧ (мг/кг сырой массы)

Иттрий относится к следовым (неструктурообразующим) элементам, о его содержании в организме человека данные отсутствуют. Известно, что Y концентрируется преимущественно в костях 0,07 мг/кг, в мышечной ткани содержание – 0,02 мг/кг, в крови – 0,0047 мг/л (Дж. Эмсли, 1993). Иттрий в кости связывается в

основном с цитратом, на что оказывает влияние рН среды. Более низкое рН среды уменьшало связывание иттрия с костью.

Из анализа рисунка 4.7 видно, что содержание иттрия в ОТ по справочным данным выше, чем в таковых у жителей Томского района. Максимальное содержание Y в ОТЧ Томского района фиксируется в бронхах (0,01 мг/кг), а минимальное – в пищеводе ( $2 \cdot 10^{-4}$  мг/кг). Видимо, так как данный элемент плохо изучен в организме человека, то оценка в содержания дана весьма высокая. Как показывают наши исследования уровень содержания практически на 2 порядка ниже среднеоценочных данных справочника (Человек медико-биол. данные., 1977).

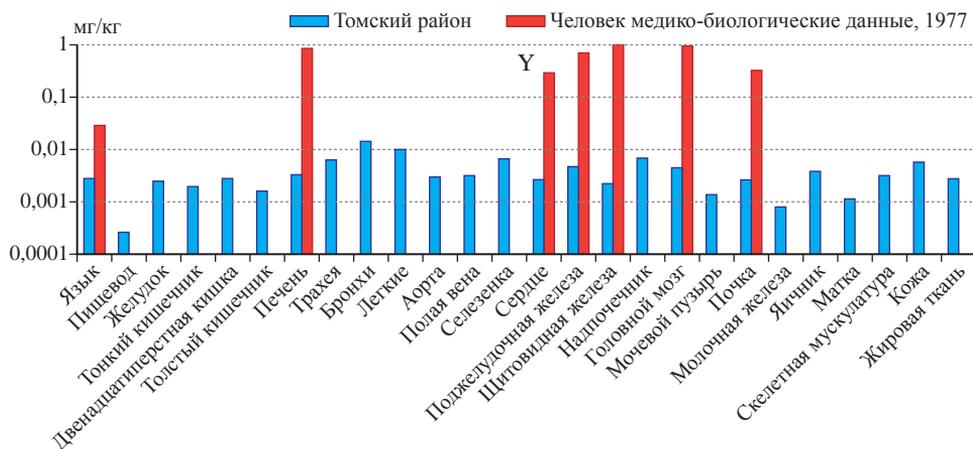


Рис. 4.7. Распределение иттрия в ОТЧ (мг/кг сырой массы)

Содержание Zr в организме человека составляет 1 мг (Дж. Эмсли, 1993), он относится к следовым (неструктурообразующим) элементам. Содержание Zr в крови составляет 0,011 мг/л, в костной ткани – 0,1 мг/кг, в мышечной ткани – 0,08 мг/кг (Дж. Эмсли, 1993). Систематический контакт с цирконием (более 40 лет) может приводить к интоксикации. Повышенное содержание Zr в организме возможно у рабочих атомной промышленности и машиностроительных отраслей. При остром ингаляционном отравлении возможно развитие острой пневмонии.

Содержание Zr в ОТЧ Томского района ниже его содержания в ОТ по справочным данным. Максимальное содержание Zr среди ОТЧ Томского района фиксируется в головном мозге (0,12 мг/кг), а минимальное в 12-перстной кишке (0,004 мг/кг) (рис. 4.8). Данный элемент также плохо изучен и слабо представлен в справочной литературе.

В организме человека содержание ниобия составляет примерно 1,5 мг, он относится к следовым (неструктурообразующим) элементам. Обнаруживается Nb в мышечной ткани 0,14 мг/кг, в костной ткани 0,07 мг/кг, в крови 0,005 мг/л. Ниобий является гипоаллергеном.

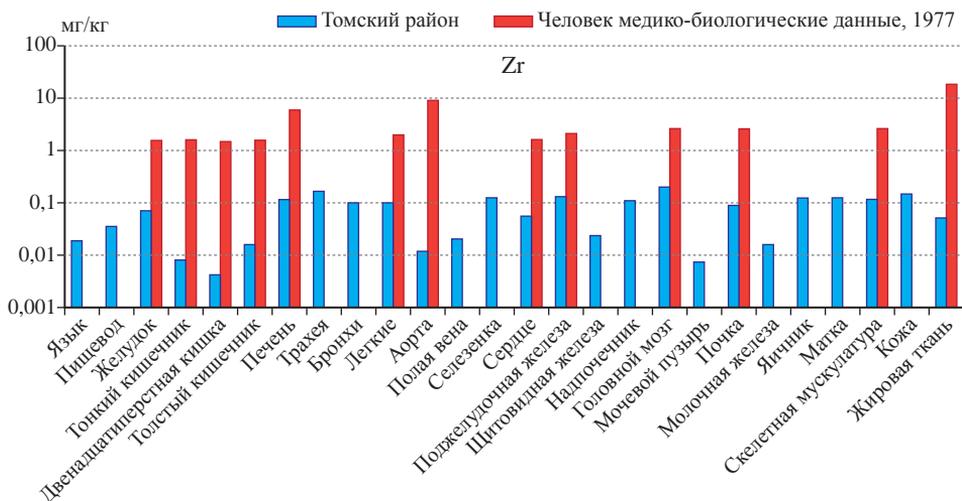


Рис. 4.8. Распределение циркония в ОТЧ (мг/кг сырой массы)

Анализ рис. 4.9 позволяет сделать вывод о том, что содержание ниобия в ОТЧ жителей Томского района ниже его содержания по справочным данным. Максимальное содержание Nb отмечается в селезенке (0,016 мг/кг), повышенные содержания фиксируются также в скелетной мускулатуре, коже, а минимальное – в молочной железе ( $2 \cdot 10^{-4}$  мг/кг).

Nb (гафний) относится к следовым (неструктурообразующим) элементам, содержится во всех живых организмах, в том числе и в организме человека, куда гафний поступает с пищевыми продуктами и водой. Биологическое значение гафния остается неясным. Гафний накапливается в печени, скелете и селезенке. Ана-

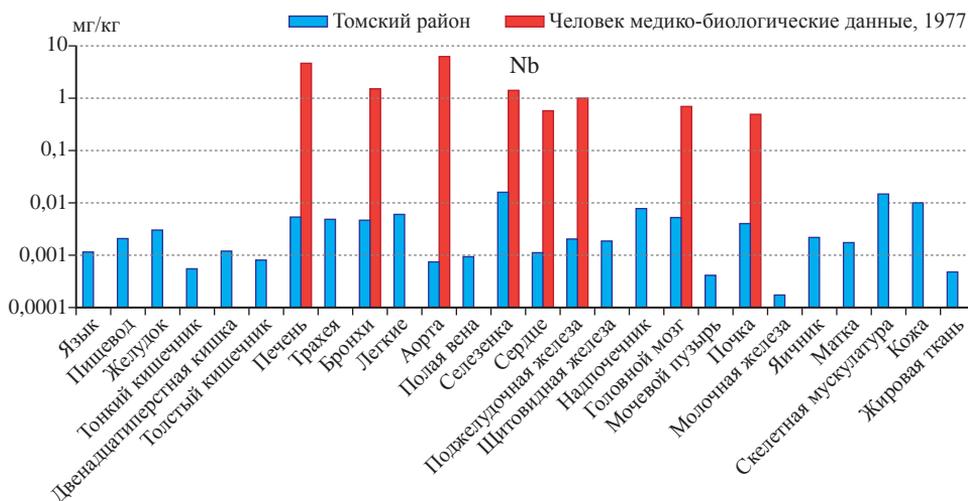


Рис. 4.9. Распределение ниобия в ОТЧ (мг/кг сырой массы)

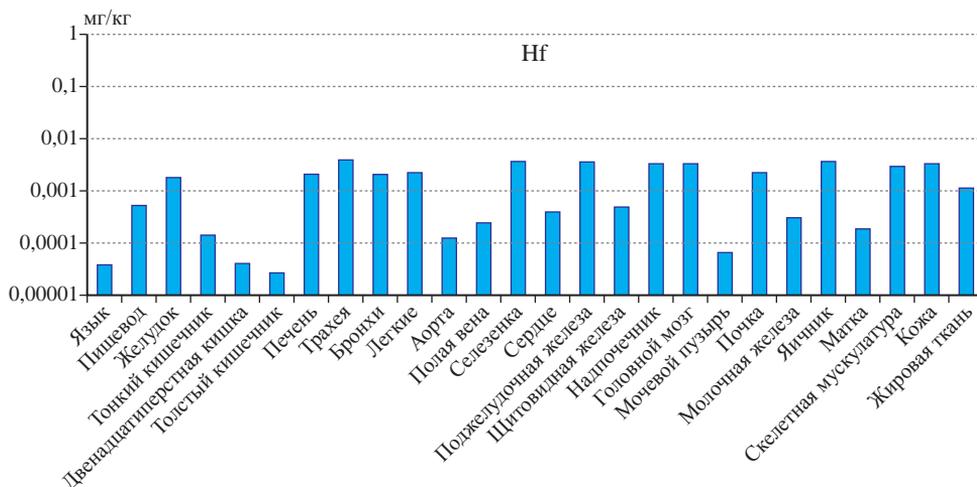


Рис. 4.10. Распределение ниобия в ОТЧ (мг/кг сырой массы)

лиз рис. 4.10 позволяет сделать вывод о том, что распределение гафния по ОТЧ Томского района неравномерное. Максимальное содержание Hf фиксируется в трахее ( $4 \cdot 10^{-3}$  мг/кг), а минимальное в толстом кишечнике ( $3 \cdot 10^{-5}$  мг/кг).

Особый интерес представляет информация сравнения наших результатов с ранее проведенными исследованиями (табл. 4.2). Усредненные значения содержания элементов в ОТЧ жителей Томского района были пронормированы к среднему содержанию элементов в суточном рационе человека (Кузубова Л.И., 2000) (рис. 4.11). Так, в органах и тканях человека происходит накопление Cr, Zn и Cd.

Сравнение полученных результатов со средними оценочными данными элементного состава органов и тканей человека, представленных в докладе рабочей группы МКРЗ (Человек, медико-биол. данные, 1977) показывает, что изученные нами органы и ткани жителей Томского района имеют некоторые различия. Выделяются элементы, содержание которых в органах жителей Томского района выше по сравнению с этими сугубо оценочными справочными данными. Таковыми являются Li, Al, Ca, Ti, Cr, Zn, Sr, Ba. Примерно одинаковое содержание элементов отмечается для Fe, Co, Ni (рис. 4.12).

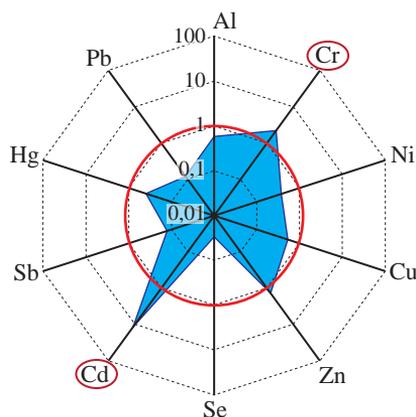


Рис. 4.11. Коэффициент накопления элементов в ОТЧ (сырая масса) жителей Томского района относительно среднего содержания химических элементов в суточном рационе человека

Таблица 4.2

**Сравнительная биогеохимическая характеристика человека – жителя Томского района, относительно средних оценок по человеку и природных образований**

Сравниваемые среды	Концентрирование*	Примерно одинаково*	Рассеяние*
Условно-здоровый человек по данным спра-вочника «Человек ме-дио-биологические данные», 1977	Li, Al, Ca, Ti, Cr, Fe, Zn, Sr, Ag, Ba	Co, Ni	Be, B, Na, P, S, V, Mn, Cu, Sc, Br, Rb, Y, Zr, Mo, Cd, Sn, Sb, Cs, Au, Hg, Pb, Bi, U
Суточный рацион человека (Кузубова Л.И., 2000)	Cr, Zn, Cd	Al	Ni, Cu, Se, Sb, Hg
Среднее содержание элементов в подземных водах Томского водо-забора (Шварцев С.Л., 1998)	Li, Na, P, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Ba, Pb, U	Hg	
Морская вода (по Хор-ну Р., 1972)	Be, Al, P, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, Se, Rb, Y, Nb, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Ho, Tm, Yb, Lu, W, Au, Hg, Pb, Bi, Th	Li, U	B, Na, S, Ca, Br, Sr
Геохимический кларк ноосферы (биосферы) (по Глазовским, 1982)	P, Cd, Au, Pb	Sr, Zn, Bi	Li, Be, B, Na, Al, S, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Ga, Ge, Se, Br, Rb, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Sn, Sb, Cs, La, Ce, Pr, Nd, Tb, Gd, Dy, Ho, Yb, Lu, Hf, W, Hg, Th, U
Кларк золы бурых уг-лей (по Юдовичу Я.Э., Кетрис М.П. 2009)	P, Zn, Br, Cd	Cu, Rb, Ag, W, Hg,	Li, Be, B, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Ga, Ge, Se, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Sn, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Au, Pb, Bi, Th, U

\* в ОТЧ жителей Томского района относительно других сред или показателей.

земных водах Томского водозабора (по данным Шварцева С.Л., 1998) (рис. 4.13). Анализ рис. 4.13 свидетельствует, что все элементы накапливаются в организме человека, за исключением Hg, содержание которой в организме (0,0076 мг/кг), а в воде 0,0078 мг/л.

Аналогичные различия наблюдаются и при сравнении органов и тканей человека, жителя Томского региона с составом морской воды, считающейся колы-белью живого вещества, состав которой близок по составу к крови человека, на что обращал внимание в свое время В.И. Вернадский (1954) (рис. 4.14).

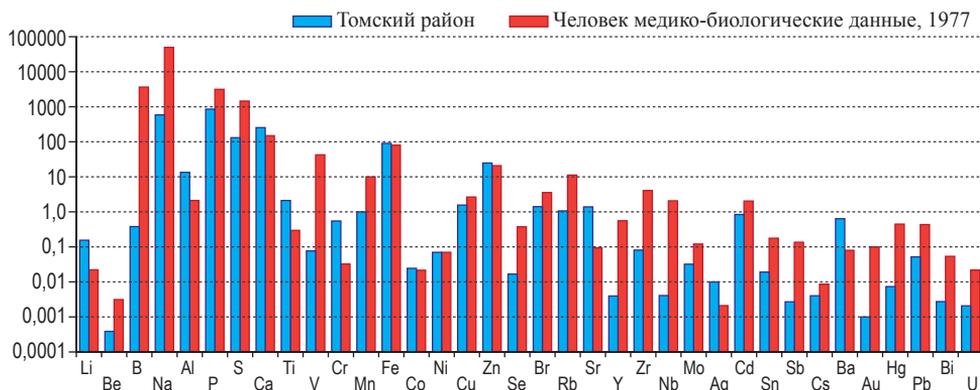


Рис. 4.12. Сравнительная биогеохимическая характеристика человека – жителя Томского района, относительно условно-здорового человека (мг/кг)

Живое вещество, в том числе человек, накапливает в себе химические элементы относительно их концентрации в морской воде, на что акцентировал внимание один из основоположников биогеохимии А.П. Виноградов (1932). Исключением является Вг и в какой-то мере Na. Есть элементы, содержание которых в морской воде выше по сравнению с живым веществом человека. К таковым относятся В, Na, S, Ca, Вг, Sr, можно выделить элементы, содержание которых, примерно, близко к таковому – Li, U. Коэффициенты накопления остальных 44 исследуемых элементов в организме человека выше 1 относительно среднего содержания химических элементов в морской воде (рис. 4.14).

Повышенным содержанием в организме человека относительно геохимического кларка ноосферы (по Глазовским, 1982), характеризуются такие элементы

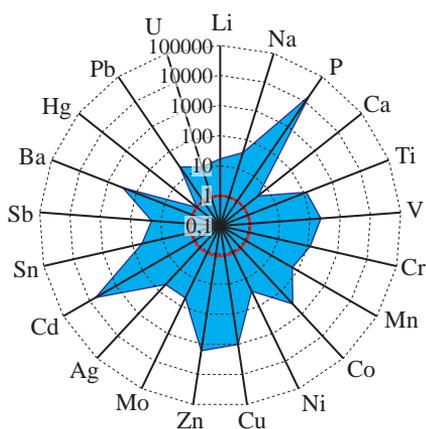


Рис. 4.13. Коэффициент накопления элементов в ОТЧ (сырая масса) жителей Томского района относительно среднего содержания химических элементов в подземных водах Томского водозабора

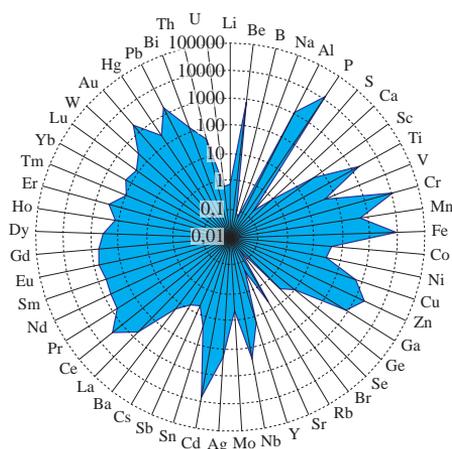


Рис. 4.14. Коэффициент накопления элементов в ОТЧ (сырая масса) относительно среднего содержания химических элементов в морской воде

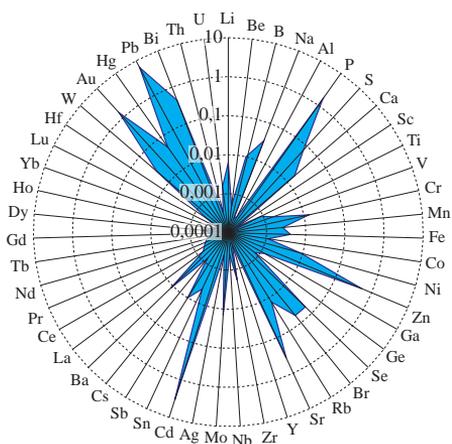


Рис. 4.15. Коэффициент накопления элементов в ОТЧ (сырая масса) относительно геохимического кларка ноосферы (биосферы)

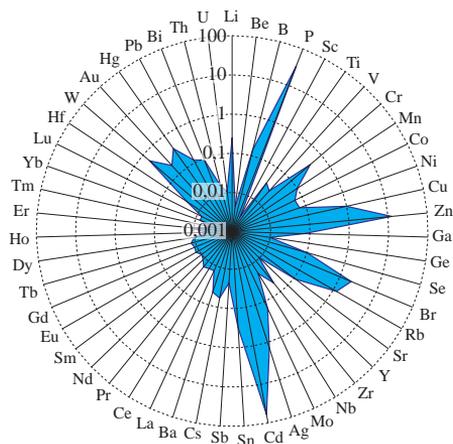


Рис. 4.16. Коэффициент накопления элементов в ОТЧ (зола) относительно кларка золы бурых углей (по Я.Э. Юдовичу, Кетрис М.П. 2009)

как: P, Cd, Au, Pb (рис. 4.15). Примерно близкие уровни накопления отмечаются для Sr, Zn, Bi. Содержание остальных 44 элементов в организме человека ниже ноосферного кларка. Таким образом, намечается тенденция к концентрированию в организме некоторых элементов, например, кадмия и свинца, являющихся по оценке специалистов высокотоксичными веществами.

Элементный состав золы органов и тканей жителей Томского района был пронормирован к кларку золы бурых углей. Данный кларк был выбран по причине его органической природы. В результате был выделен спектр элементов с коэффициентом накопления выше 1: P, Cu, Zn, Br, Rb, Ag, Cd, причем коэффициенты по P и Cd весьма высокие, соответственно 34 и 57 (рис. 4.16). Это говорит о том, что токсичные элементы по каким-то причинам максимально концентрируются в организме человека.

## Очерк пятый

# РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ОРГАНАХ И ТКАНЯХ ЧЕЛОВЕКА

---

### 5.1. Общие сведения по геохимии и биогеохимии редкоземельных элементов

Редкоземельные элементы относятся к группе химических элементов, обнаруженных в составе человеческого организма, для которого еще не изучены порядки их содержания в отдельных тканях и органах, и их биологическая роль не выяснена до конца.

Несмотря на то, что еще в 30-х годах XX века В.И. Вернадский говорил, о том, что все элементы таблицы Д.И. Менделеева входят в состав организма, группа редкоземельных элементов (РЗЭ) до сих пор остается малоизученной, количественная оценка их содержания в организме отсутствует.

Развитие новых отраслей промышленности предъявляет большой спрос на материалы и металлы, удовлетворяющие специальным требованиям. К числу последних относятся редкоземельные элементы, нашедшие широкое применение в различных отраслях современных наукоемких производств, например, на атомных электростанциях (Андреева и др., 1975, Коган, 1979).

Получение редкоземельных элементов, имеющих важное промышленное значение, связано с переработкой материалов и руд, содержащих значительное количество радиоактивных элементов. Наличие разнообразных операций по получению и очистке редкоземельных элементов может обуславливать загрязнение природной среды не только редкоземельными, но и радиоактивными компонентами. Большую важность представляет знание физико-химических свойств и биологического действия на организм как редкоземельных, так и встречающихся при их получении радиоактивных примесей в сырье.

Редкоземельные элементы довольно широко распространены в природе. На примере относительного содержания РЗЭ в земной коре наиболее ярко представлено правило Оддо-Гаркинса о том, что четные элементы распространены больше, чем нечетные (рис. 5.1). Работы советских геохимиков А.Е. Ферсмана, В.И. Вернадского, А.П. Виноградова и др. изменили мнение о редкоземельных элементах как о редких. Описано 250 минералов, содержащих лантаноиды, из них около 55 минералов – собственно редкоземельные. Практически все минералы РЗЭ содержат естественные радиоактивные элементы рядов тория, урана, что

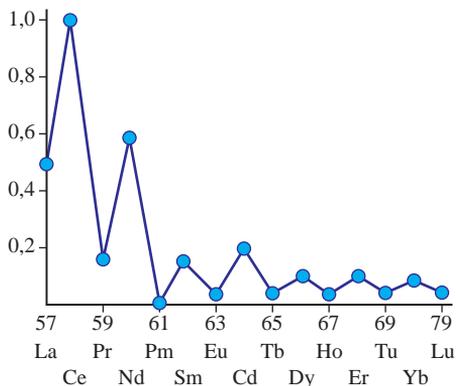


Рис. 5.1. Относительное содержание лантаноидов в земной коре

имеет важное санитарно-гигиеническое значение. Основное промышленное значение имеют россыпные месторождения монацита (Бразилия, Индия, Мадагаскар, Цейлон, Австралия, США). В титан-циркониевых россыпях в виде сопутствующих компонентов в значительных количествах встречаются РЗЭ (Рихванов и др., 1999).

Согласно основной геохимической сводке по геохимии редкоземельных элементов, группа редкоземельных элементов – явление уникальное и не имеющее аналогов в

Периодической системе Д.И. Менделеева. Она характеризуется близкими химическими свойствами, именно по этой причине существует сложность разделения РЗЭ. Селективное накопление редкоземельных элементов в минералах и горных породах может быть обусловлено различиями в их радиусах ионов. Атомные радиусы в группе редкоземельных элементов относительно большие (в среднем больше 1 Å), но с заполнением 4f-орбиты, т.е. с увеличением атомного номера, происходит так называемое лантоидное сжатие. Вследствие лантоидного сжатия при переходе от La к Lu ионные радиусы РЗЭ и их атомные радиусы (кроме Eu и Yb) плавно уменьшаются (рис. 5.2, 5.3), а ионные потенциалы и потенциалы

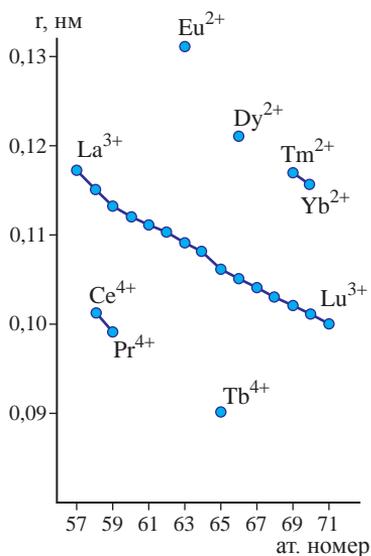


Рис. 5.2. Зависимость ионных радиусов РЗЭ от их атомного номера

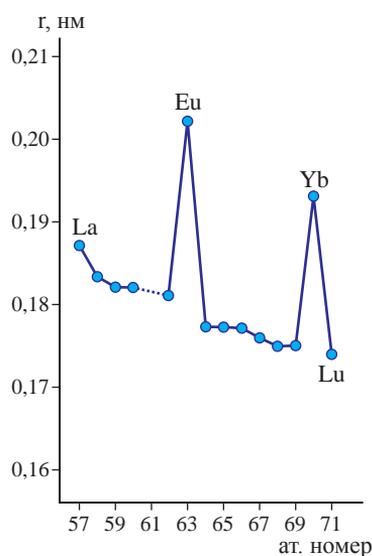


Рис. 5.3. Зависимость атомных радиусов РЗЭ от их атомного номера

ионизации увеличиваются. В ряде случаев это усиливает склонность РЗЭ к комплексообразованию. В целом устойчивость комплексов увеличивается с уменьшением радиуса, т.е. от лантана к лютецию образующиеся комплексы устойчивее. Вследствие этого возможно преимущественное изоморфное замещение в зависимости от степени различия в размерах замещённых ионов редкоземельных элементов.

Кислотно-щелочные свойства редкоземельных элементов и размеры их ионных радиусов близки к таковым для  $\text{Th}^{4+}$  и  $\text{U}^{4+}$  (рис. 5.3), что обуславливает их постоянную взаимосвязь и широкий изоморфизм.

Для группы редкоземельных элементов в большинстве случаев характерна III-валентное состояние, но имеются исключения: Ce, Pr, Tb (+3, +4); Eu, Dy, Tm, Yb (+3, +2), эти группы элементов образуют сходные комплексные соединения. Способность, например, такого редкоземельного элемента к комплексообразованию усиливается при переходе из обычного трехвалентного в четырехвалентное состояние. Переход  $\text{Ce}^{3+}$  в  $\text{Ce}^{4+}$  приводит к уменьшению ионного радиуса и увеличению ионного потенциала.  $\text{Ce}^{4+}$  образует более прочные и разнообразные комплексные соединения в отличие от  $\text{Ce}^{3+}$ .

Редкоземельные элементы отличаются друг от друга строением *4f*-орбиты. Так  $\text{La}^{3+}$  не имеет электронов на *4f*-орбите. У  $\text{Ce}^{3+}$  появляется один *4f*-электрон, а Lu уже имеет 14 электронов на этой орбите (табл. 5.1). Считается, что редкоземельные элементы состоят: из легких – La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu и тяжёлых – Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu. Иногда выделяют группу средних РЗЭ.

Таблица 5.1

Строение и размеры редкоземельных элементов (Балабуха В.С. и др. 1962)

Элемент	Атомный номер	Электронная конфигурация	Атомный радиус (экспериментальный), Å
La	57	$5d^1 6s^2$	1,22
Ce	58	$4f^1 5d^1 6s^2$	1,18
Pr	59	$4f^2 5d^1 6s^2$	1,16
Nd	60	$4f^3 5d^1 6s^2$	1,15
Sm	62	$4f^5 5d^1 6s^2$	1,13
Eu	63	$4f^6 5d^1 6s^2$	1,13
Gd	64	$4f^7 5d^1 6s^2$	1,11
Tb	65	$4f^8 5d^1 6s^2$	1,09
Dy	66	$4f^9 5d^1 6s^2$	1,07
Ho	67	$4f^{10} 5d^1 6s^2$	1,05
Er	68	$4f^{11} 5d^1 6s^2$	1,04
Tm	69	$4f^{12} 5d^1 6s^2$	1,04
Yb	70	$4f^{13} 5d^1 6s^2$	1,00
Lu	71	$4f^{14} 5d^1 6s^2$	0,99

Таблица 5.2

**Произведения растворимости  
редкоземельных элементов (Ln(OH)<sub>3</sub>)  
(Рябчиков, Рябухин, 1966)**

Элемент	ПР
La	$1 \cdot 10^{-20}$
Ce (III)	$1 \cdot 10^{-20}$
Pr	$1 \cdot 10^{-21}$

Одним из геохимических свойств РЗЭ является малое значение произведения растворимости образующихся соединений (табл. 5.2), по этой причине соединения данной группы элементов сложнее выводится из организма человека и тем самым легче в нем задерживаются.

Для организма человека характерны свои физико-химические особенности, которые заключаются главным образом в изменении таких параметров, как, например, кислотность среды (pH).

Одной из особенностей поведения РЗЭ в организме является их склонность к адсорбции. Это свойство объясняется тем, что поверхность любой частицы, даже пылинки, оказывается сравнительно большой для количеств РЗЭ. В живых организмах условия для адсорбции и осаждения особенно благоприятны (большая поверхность молекул белка). Этим объясняется способность редкоземельных элементов к комплексообразованию. Только лишь включаясь в комплексы редкоземельные элементы могут проходить через барьерные органы в организме человека: кожу, головной мозг, селезенку, печень. Способность РЗЭ к адсорбции неодинакова и зависит от степени растворимости их соединений. Чем лучше растворимость, тем меньше склонность к адсорбции, и наоборот (Балабуха В.С., Фрадкин Г.Е., 1958). Особенно склонны к адсорбции и осаждению группа редкоземельных элементов, так как растворимость их солей и оснований крайне незначительна, например, произведение растворимости  $\text{La(OH)}_3$  составляет  $1,0 \cdot 10^{-20}$ .

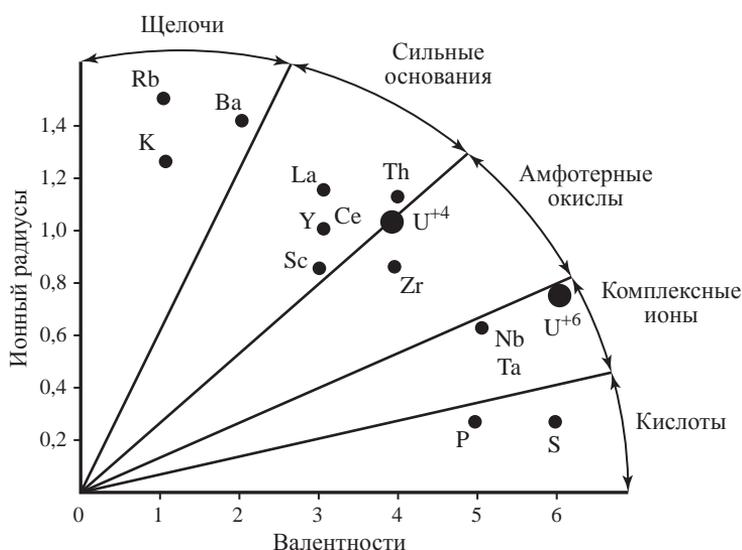


Рис. 5.3. Кислотно-щелочные свойства урана, тория, редких и редкоземельных элементов (Арбузов, Рихванов, 2009)

Редкоземельные элементы ведут себя в организме сообразно своим химическим свойствам. Так, например, образуют комплексные соединения. На поведение элементов в организме огромное влияние оказывает форма соединения, в составе которых они могут находиться в организме. В связи с тем, что физико-химические условия в различных средах неодинаковы, формы соединений могут быть также разными. Сталкиваясь с разнообразными химическими соединениями, входящими в состав тканевых структур или являющимися продуктами обмена веществ, редкоземельные элементы вступают с ними в обменные реакции. Соли редкоземельных элементов переходят в нерастворимые гидроокиси при рН, равном 6,8–8,4: рН(La)=8,4; рН(Ce)=7,4; рН(Pr)=7,1; рН(Nd)=7,0; рН(Sm)=6,8 (Балабуха В.С., Фрадкин Г.Е., 1958). У соединений La, Ce преобладают основные свойства (рис. 5.3). Такие практически нейтрально-щелочные условия характерны для следующих органов и тканей человека: слюна – преимущественно щелочная реакция (колебание рН 6,0–7,9), печень – реакция пузырной желчи близка к нейтральной (рН около 7,0), реакция печеночной желчи щелочная (рН 7,5–8,0), поджелудочная железа – панкреатический сок слабощелочной, тонкий кишечник – щелочная реакция, толстый кишечник – слабо-кислая реакция. Таким образом, редкоземельные элементы, именно в этих органах и тканях превращаются в труднорастворимые соединения.

Комплексоны обладают способностью образовывать растворимые, но малодиссоциированные, т.е. прочные комплексные соединения с большинством катионов, имеющих заряд больше единицы. Кроме того, комплексоны связывают щелочноземельные элементы, которые обнаруживают относительно малую склонность к образованию прочных комплексов с обычными комплексообразующими веществами. Способность комплексонов связывать те или иные элементы зависит в большей степени от рН среды. Двухвалентные катионы в щелочных растворах прочно связываются комплексоном. Особенно прочны комплексные соединения редкоземельных элементов, а также Fe, Co, Ni, и Cr (в кислой среде). Для трехвалентных элементов с некоторыми комплексономы может быть достигнута рН=13 без осаждения гидроокисей металлов.

Прочность комплексного соединения определяется природой центрального иона металл, прежде всего его зарядом, атомным радиусом и электронной структурой. С увеличением заряда центрального иона происходит закономерное возрастание прочности комплексных соединений (Балабуха В.С. и др. 1962).

Наиболее реальным путем попадания элементов, в частности и РЗЭ в организм являются органы дыхания (Андреева и др., 1975). Проводились экспериментальные работы, в которых РЗЭ вводились через дыхательные пути (интратрахеальные и ингаляционные заправки). При введении в органы дыхания морских свинок пылевых смесей, содержащих фториды и окислы РЗЭ (Schepers, 1955) наблюдалась гибель части животных от пневмонии, причем введенные пылевые смеси имели склонность к накоплению в легочной ткани. Большая часть пигмента постепенно транспортировалась в лимфатические узлы, не вызывая там значительных реакций. При интратрахеальном введении смеси РЗЭ с преобла-

дающим содержанием фторидов у экспериментальных животных прогрессирует развитие острой преходящей пневмонии, подострого бронхита и бронхиолита. При ингаляционном введении имело место развитие фокальной гипертрофической эмфиземы, региональных бронхиоларных изменений и подострого бронхита (Scherpers, 1955).

При введении животным интратрахеально 50 мг порошка окиси неодима отмечалось развитие выжженной эмфиземы легких (Могилевская О.Я., 1962). В целом эксперименты по исследованию физиологического механизма действия смеси РЗЭ проведенные учеными (Рощин И.В., 1961, 1967; Архангельская Л.Н. и др., 1967; Могилевская О.Я., Райхлин Н.Т., 1963; Мезенцева Н.В., 1967), указывают на пневмонию, патоморфологические изменения в органах дыхания, начальные явления склероза, хронический бронхит, отек легких, развитие некрозов и узелков, состоящих из пролиферирующих клеток типа эпителиоидных с включением глыбок введенного порошка. Узелки располагаются преимущественно по ходу лимфатических путей – периваскулярно и перибронхиально. Это указывает на развитие в легких продуктивного воспаления с наличием узелкового и диффузного склероза.

Несмотря на близость физических и химических свойств, каждая окись РЗЭ, а также их сумма обладают специфическим действием. Наибольшим фиброгенным действием, обуславливающим развитие в легких подопытных животных узелкового и диффузного фиброза, обладают окись иттрия, а также сумма РЗЭ иттриевой группы. Суммарное действие РЗЭ цериевой группы проявляется гораздо резче и сильнее, чем отдельное действие окислов тех же элементов. При введении интратрахеально крысам 50 мг порошка окиси самария и европия наблюдаются изменения в легочной ткани (Мезенцева Н.В., 1967).

Одно из специфических проявлений РЗЭ на организм – воздействие на кровь. Отмечается факт увеличения времени свертываемости крови при введении животным некоторых РЗЭ: неодима, празеодима, церия. Многие лантаноиды рассматриваются как антипротромбины и антикоагулянты крови (Fabbiaani G, Jacgmin M.Z., Selys H., 1966). Антикоагулянтные свойства органического препарата церия – церанила при внутривенном введении 2–2,5%-ного его раствора больным людям (25 человек) наблюдалось удлинение времени свертывания крови, достигающее максимума через 2–3 часа и затем постепенно снижающееся (Thies T.H., 1957).

При респираторной заправке белых крыс порошком РЗЭ цериевой группы наблюдались эритроцитопения, уменьшение содержания гемоглобина и небольшая лейкопения (Архангельская Л.Н. и др., 1967). Отмечается уменьшение на 60% количества лимфоцитов.

При интратрахеальном введении крысам 25 мг порошка РЗЭ цериевой группы дважды через 1 месяц (Архангельская Л.Н. и др., 1967) отмечается эритроцитоз у подопытных животных, увеличение гемоглобина, увеличение количества палочкоядерных нейтрофилов (почти в 4 раза). Вместе с тем заметно снизилось количество лимфоцитов от 71,0 до 49,1%.

При заправке животных порошком РЗЭ иттриевой группы количество эритроцитов снизилось на 18% от исходного уровня, а содержание гемоглобина на 16%. При анализе лейкоцитарной формулы крови подопытных животных было установлено уменьшение содержания палочкоядерных нейтрофилов почти вдвое (с 1,7 до 0,8%). При интратрахеальном введении 50 мг данного вещества наблюдалось также снижение количества эритроцитов у затравленных животных (на 11% по сравнению с контролем). Содержание гемоглобина уменьшилось (Архангельская Л.Н. и др., 1967).

РЗЭ обладают способностью накапливаться в купфероских клетках печени (Vinche E, 1961).

Некоторые исследователи при внутрибрюшинном введении хлоридов РЗЭ наблюдали развитие у мышей и морских свинок разлитого перитонита. Летальной дозой для животных была 300–500 мг/кг хлорида иттрия. Токсические реакции проходят две сложные и различные стадии. Первая стадия характеризуется одышкой и отеком легких, вторая – отеком печени и застоем в портальной вене, подплевральными кровоизлияниями и гиперемией легких (Graca J.G., Garst E.L., Lowry W.E., 1957).

Другие ученые вводили крысам внутрибрюшинно 60 мг/мл смеси хлоридов церия, лантана, иттрия, празеодима и неодима и получили при этом гранулематозный перитонит. В печени находились очаги некроза. При введении солей иттрия на месте инъекций могут образовываться абсцессы. Соли РЗЭ замедляют заживление ран (Haley T.J., 1963).

При исследовании сравнительной токсичности хлоридов и цитратов ряда РЗЭ установлено (Graca J.G., Garst E.L., Lowry W.E., 1957), что степень токсичности хлорида диспрозия и хлорида гадолиния мало отличается от степени токсичности хлоридов других РЗЭ, за исключением цитрата лантана.

Общетоксическое действие РЗЭ наблюдается и при введении их перорально. Введение белым мышам перорально 5 г/кг порошка РЗЭ иттриевой группы вызывало гибель подопытных животных в 16% случаев; при 10 г/кг – в 50% (Архангельская Л.Н. и др., 1967). Масса тела подопытных животных отставала от массы тела контрольных, а весовые коэффициенты некоторых органов, в частности печени, превышали весовые коэффициенты органов животных контрольной группы на 35–46% (в зависимости от количества введенного вещества).

При введении белым мышам перорально 5 г/кг порошка суммы РЗЭ цериевой группы гибель животных наблюдалась в 3,3% случаев, а при 10 и 15 г/кг соответственно 13,0 и 50,0% (Архангельская Л.Н. и др., 1967).

При изучении токсичности окислов самария и европия в опытах на белых мышах, установлено, что введение в желудок 10000 мг/кг окислов самария и европия не вызвало гибели животных. На основании этого отмечается, что эти вещества относятся к веществам со слабо выраженными токсическими свойствами (Мезенцева Н.В., 1967).

Исследования токсичности окисей гадолиния и диспрозия, показали, что введение перорально мышам 10000 мг/кг однократно указанных веществ не вызвало

у животных никаких нарушений в поведении и состоянии. На основании этих наблюдений были сделаны выводы о том, что опасность острого токсического действия окислов гадолия и диспрозия невелика (Могилевская О.Я., Райхлин Н.Т., 1963). Невысокая степень их токсичности отмечается и при хронической загрузке животных.

Экспериментальные работы (Левина Э.Н., 1965) дали возможность установить, что РЗЭ иттриевой группы откладываются в основном в скелете (50–65% введенного количества); цериевая группа РЗЭ перераспределяется, переходя из мягких тканей в кости, а европий и гадолий обнаруживаются в печени и скелете примерно в одинаковых количествах.

Выделение тяжелых РЗЭ происходит в основном через почки, легких – через кишечник. Период полувыведения длительный.

Анализируя имеющуюся информацию, можно отметить следующую особенность: исследования начали проводиться после 1940 года за рубежом и в 1950–1960 гг. в нашей стране. Исследования затем были либо свернуты, либо вообще закрыты. Так как информация по экспериментам, проводимым на животных по выяснению механизма воздействия РЗЭ, была до 70-х годов XX века, то в научной литературе имеются немногочисленные сведения по воздействию РЗЭ на организм человека. Исследований по установлению уровня содержания в организме человека не было, исследовался только механизм воздействия и общетоксическое действие.

Архангельская Л.Н., Быстрова Т.А. и Спаский С.С. (1967) проводили медицинское обследование рабочих, занятых на переработке иттропаризитового концентрата и подвергавшихся воздействию нерадиоактивного аэрозоля суммы РЗЭ иттриевой группы. На данном производстве 42% составляли женщины, так были установлены некоторые нарушения в состоянии здоровья. Однако авторы (Архангельская Л.Н. и др., 1967) отмечают, что это связано не с профессиональными заболеваниями. Вместе с тем у 18% обследованных найдены так называемые профессиональные приметы (стигмы), выражающиеся в сухости и шелушении кожи рук, трещинах на пальцах, зуде отдельных участков тела, пигментации кожи, выпадении волос. Выявленные профессиональные приметы наблюдались у лиц, имеющих большой стаж работы (7–10 лет). Наибольшее число поражений установлено отоларингологом. Возникновение заболеваний: фарингита, ринита, ларингита, является результатом воздействия на верхние дыхательные пути химически вредных веществ, в частности аэрозолей РЗЭ.

У рабочих, в течение многих лет вдыхавших дым, содержащий аэрозоли церия, при рентгеноскопии обнаружилось изменения в легких, подобные мелкозелковому силикозу (Андреева и др., 1975).

При исследовании крови у рабочих, занятых на производстве РЗЭ, выявлена тенденция к снижению количества эритроцитов и гемоглобина. У большинства рабочих отмечалось уменьшение количества тромбоцитов (Архангельская Л.Н. и др., 1967).

При воздействии на работающих дыма и пыли, содержащих лантан, были зарегистрированы жалобы на головные боли и тошноту (Левина Э.Н., 1965). РЗЭ при воздействии на организм обладают как общетоксическим, так и специфическим действием на органы дыхания. Наибольшей токсичностью обладают РЗЭ иттриевой группы и окиси иттрия, несколько меньшей РЗЭ цериевой группы. Причем действие всей группы проявляется более резко, чем отдельных ее элементов.

Изучение данной группы элементов в организме человека весьма актуальна не только для нашего региона, где развита деятельность предприятий ЯТЦ, продуктами которого могут быть РЗЭ, а также наличием природных геохимических аномалий в виде месторождений циркон-ильменитовых песков, богатых РЗЭ, но и для других регионов России. Проблему определения количественной оценки содержания РЗЭ в организме человека необходимо решать.

## 5.2. Распределение редкоземельных элементов в органах и тканях жителя Томского региона

В органах и тканях жителей Томского района уровень содержания редкоземельных элементов колеблется от 0,00003–0,00004 (Dy, Ho, Tm, Yb – пищевод) до 0,12 мг/кг (Ce – легкие) (сырая масса). Распределение лантаноидов по органам и тканям человека неравномерное.

### Лантан (La)

Максимальное содержание лантана отмечается в легких (0,05 мг/кг), повышенные содержания распределяются по органам дыхания, затем селезенка, печень, кожа, яичник и надпочечник. Необходимо отметить, что при рассмотрении распределения остальных редкоземельных элементов будет отмечаться данная

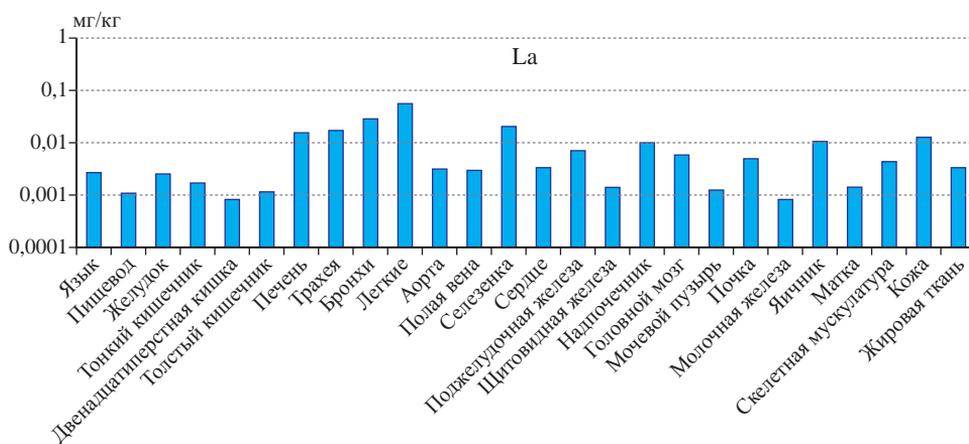


Рис. 5.4. Распределение лантана в органах и тканях человека (сырая масса) жителей Томского района

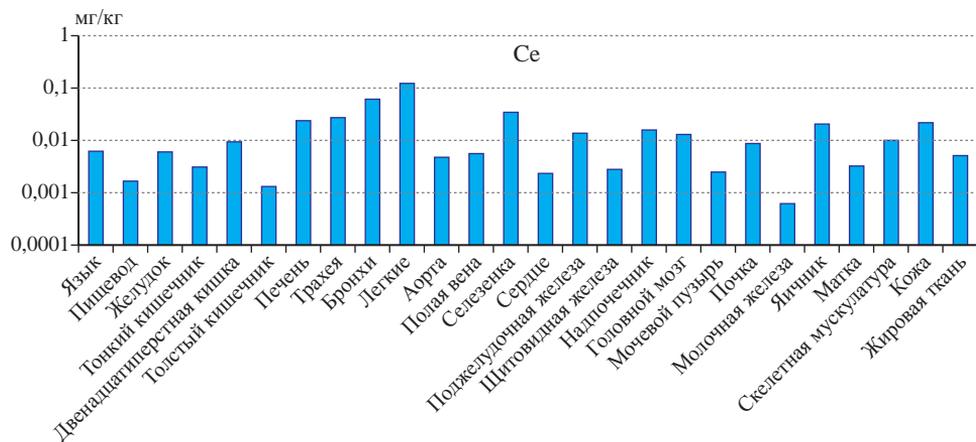


Рис. 5.5. Распределение церия в органах и тканях человека (сырая масса) жителей Томского района

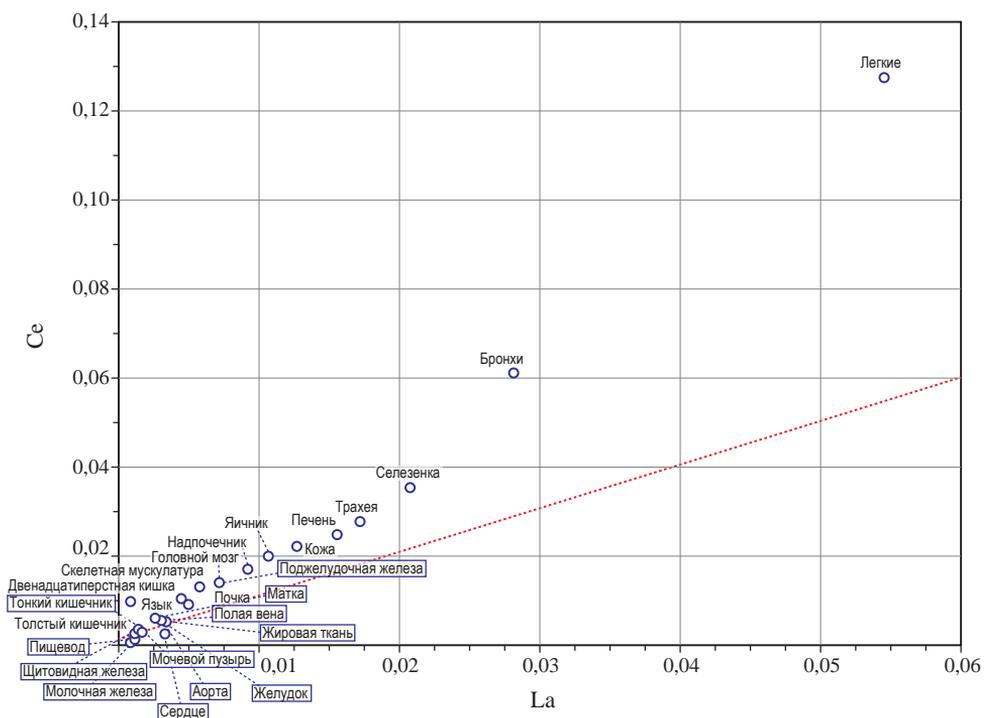


Рис. 5.6. Характер взаимосвязи группы легких редкоземельных элементов в органах и тканях человека (мг/кг сырой массы) жителей Томского района

тенденция распределения. Минимальное же содержание лантана отмечается в 12-перстной кишке и молочной железе (0,0008 мг/кг) (рис. 5.4).

### Церий (Ce)

Максимальная аккумуляция в легких (0,13 мг/кг), а затем, бронхи, селезенка, печень и минимальное содержание отмечается в молочной железе (0,0006) (рис. 5.5).

Для РЗЭ характерна линейная зависимость друг от друга, на рис. 5.6 проиллюстрирована взаимосвязь между легкими РЗЭ в изученных ОТЧ.

### Празеодим (Pr)

Максимальное содержание празеодима из анализа диаграммы наблюдается в легких (0,007 мг/кг), далее тенденция распределения повышенных содержаний: бронхи, трахея, селезенка, печень, надпочечник, кожа. Минимальное содержание отмечается в пищеводе (0,00012 мг/кг) (рис. 5.7).

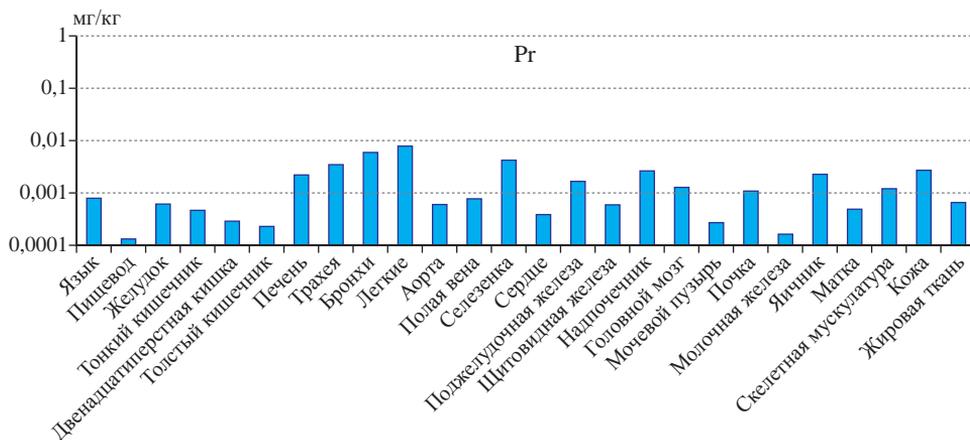


Рис. 5.7. Распределение празеодима в органах и тканях человека (сырая масса) жителей Томского района

### Неодим (Nd)

Распределение неодима схоже с распределением ранее рассмотренных элементов: La, Ce. Максимальное содержание Nd фиксируется в легких (0,019 мг/кг), повышенными содержаниями характеризуются: бронхи, щитовидная железа, селезенка, трахея, надпочечник и кожа. Минимальное содержание отмечается в пищеводе (0,00047 мг/кг) (рис. 5.8).

### Самарий (Sm)

Характер распределения самария по органам и тканям также имеет общую тенденцию, характерную для распределения РЗЭ, но для данного элемента уже тенденция по максимальному содержанию меняется. Так, максимальное содер-

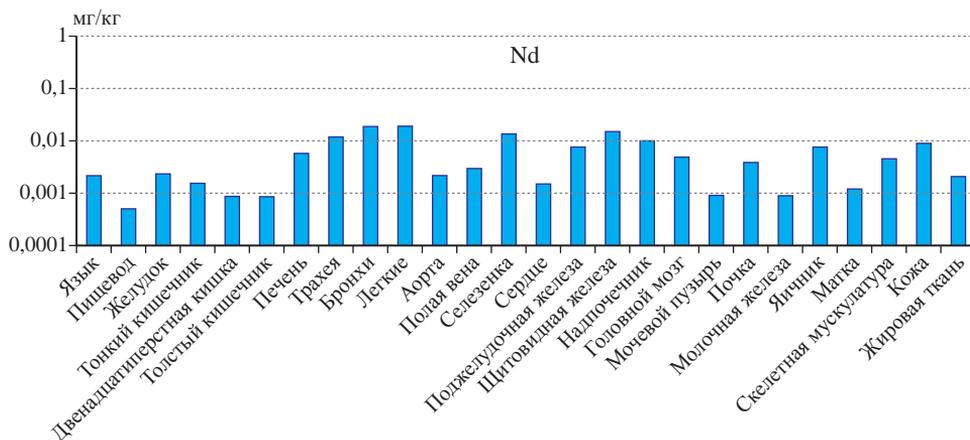


Рис. 5.8. Распределение неодима в органах и тканях человека (сырая масса) жителей Томского района

жание Sm отмечается в бронхах (0,003 мг/кг), повышенными содержаниями самария характеризуется группа органов: трахея, легкие, селезенка, надпочечник, поджелудочная железа и кожа, а минимальное отмечается в пищеводе (0,00006 мг/кг) (рис. 5.9).

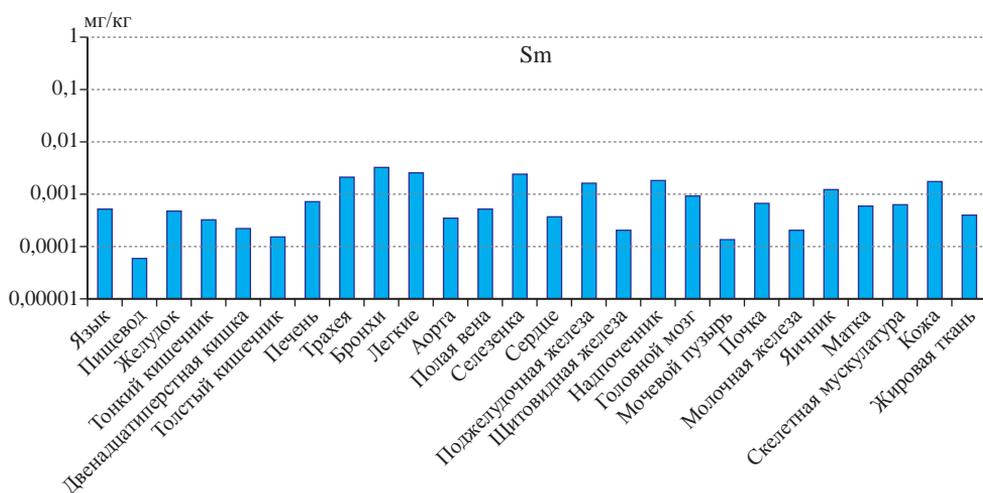


Рис. 5.9. Распределение самария в органах и тканях человека (сырая масса) жителей Томского района

### Европий (Eu)

Европий, один из самых химически активных редкоземельных элементов. В соединениях европий бывает двух- и трехвалентным. В природные воды европий может попасть в районах залегания пород, содержащих редкоземельные элемен-

ты, в результате его реакции с водой. Нельзя исключать и попадание европия в природные воды с промышленными стоками, например, имеющегося вблизи г. Томска предприятия ЯТЦ, в сбросах вод которого  $\text{Eu}$  установлен.

В целом европий относится к малотоксичным элементам (Вредные химические вещества, 1990). Единственное, что можно с большой степенью достоверности утверждать, так это то, что в силу своих химических свойств, европий (как и другие лантаноиды) может замещать в биологических системах кальций, что приводит к хрупкости костей. На данный момент в литературе отсутствуют какие-либо данные о биологической роли европия в организме человека. Только есть информация, что важная роль радиоактивного европия, полученного в атомных реакторах, заключается в его использовании при лечении некоторых форм рака.

При уровнях pH ниже 6 европий способен мигрировать в ионном виде. При более высоких уровнях pH ( $>7$ ) европий образует плохо растворимые и, соответственно, менее подвижные гидроксиды. Предельно допустимая концентрация (ПДК) в воде нормируется только российскими нормами и равна для питьевой воды 0,3 мг/л.

Вероятность попадания европия в организм человека с водой представляется незначительной. Нельзя исключать вероятности и других путей попадания в организм у людей, сталкивающихся с соединениями европия, например, на производстве. Уровень содержания в органах человека жителя Томского района изменяется в пределах от 0,0009 мг/кг (трахея) до 0,00007 мг/кг (мочевой пузырь). Повышенное содержание европия в коже (рис. 5.10) свидетельствует о прямом контакте с соединениями европия и вообще группой редкоземельных элементов.

На рис. 5.10 отчетливо выделяются органы дыхания, органы, богатые кровью (аорта, сердце, селезенка), надпочечник и головной мозг, в которых максимально

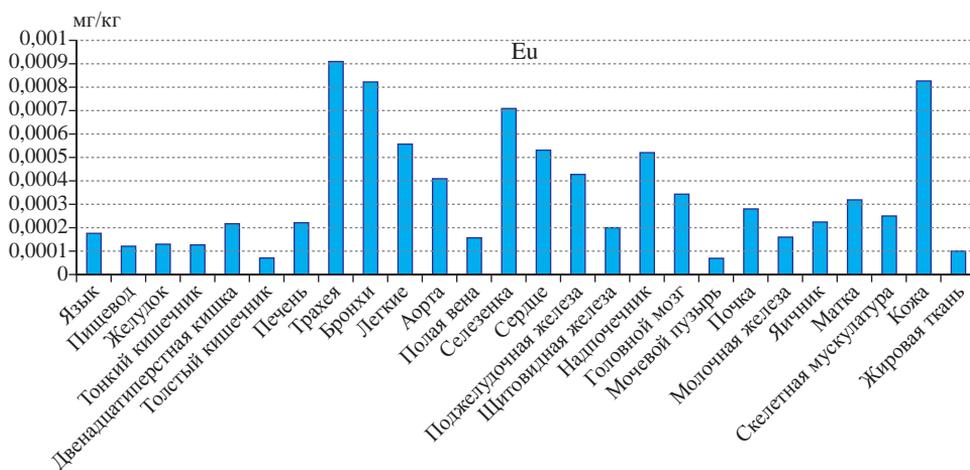


Рис. 5.10. Распределение европия в органах и тканях человека (сырая масса) жителей Томского района

накапливается европий, видимо в этих органах образуются устойчивые комплексы.

Представлен линейный характер зависимости распределения группы средних редкоземельных элементов в исследуемых ОТЧ (рис. 5.11).

### **Гадолиний (Gd)**

Как видно из диаграммы представленной на рис. 5.12, максимальное содержание гадолиния отмечается в бронхах (0,005 мг/кг), повышенные содержания – легкие, трахея, надпочечник, селезенка, кожа, яичник, печень. Минимальное содержание в пищеводе (0,000009 мг/кг).

### **Тербий (Tb)**

Максимальное содержание Tb отмечается в бронхах (0,0006 мг/кг), повышенные содержания отмечаются в трахее, легких, селезенке, надпочечнике, яичнике и коже, а минимальное – в матке (0,000006 мг/кг) (рис. 5.13). Для тербия нет сильной дифференциации в исследуемом материале.

### **Диспрозий (Dy)**

Тенденция распределения диспрозия схожа с распределением гадолиния (рис. 5.14). Максимальное содержание Dy отмечается в бронхах (0,004 мг/кг), повышенные содержания – легкие, трахея, селезенка, надпочечник, яичник, кожа. Минимальное содержание в пищеводе (0,0000045 мг/кг).

### **Гольмий (Ho)**

Распределение гольмия (рис. 5.15) имеет общую тенденцию с распределением тербия (рис. 5.13). Максимальное содержание Ho отмечается в бронхах (0,0005 мг/кг), повышенные содержания – в легких, трахее, селезенке, надпочечнике, коже, яичнике, а минимальное – в пищеводе (0,000003 мг/кг).

### **Эрбий (Er)**

Эрбий – тяжелый лантаноид таблицы Д.И. Менделеева. Если сравнивать рис. 5.10 и 5.16, то вероятно, можно сделать вывод о том, что содержание тяжелого редкоземельного элемента в некоторых органах, например (12-перстная кишка, трахея, бронхи, щитовидная железа), на порядок выше, чем содержание среднего редкоземельного элемента (европия), что можно объяснить более устойчивым комплексообразованием тяжелыми РЗЭ. Необходимо отметить, что в отличие от европия, распределение эрбия по ОТЧ практически равномерно высокое, исключения составляют пищевод и молочная железа. Как ранее отмечалось, повышенное содержание эрбия является одной из причин заболеваний эндокринной системы и системы пищеварения, на рис. 5.16 ярко видно, повышенное содержание эрбия в 12-перстной кишке (0,0026 мг/кг), что можно объяснить сменой pH среды с кислой в желудке на слабощелочную в 12-перстной кишке, а минимальное отмечается в пищеводе (0,00005 мг/кг).

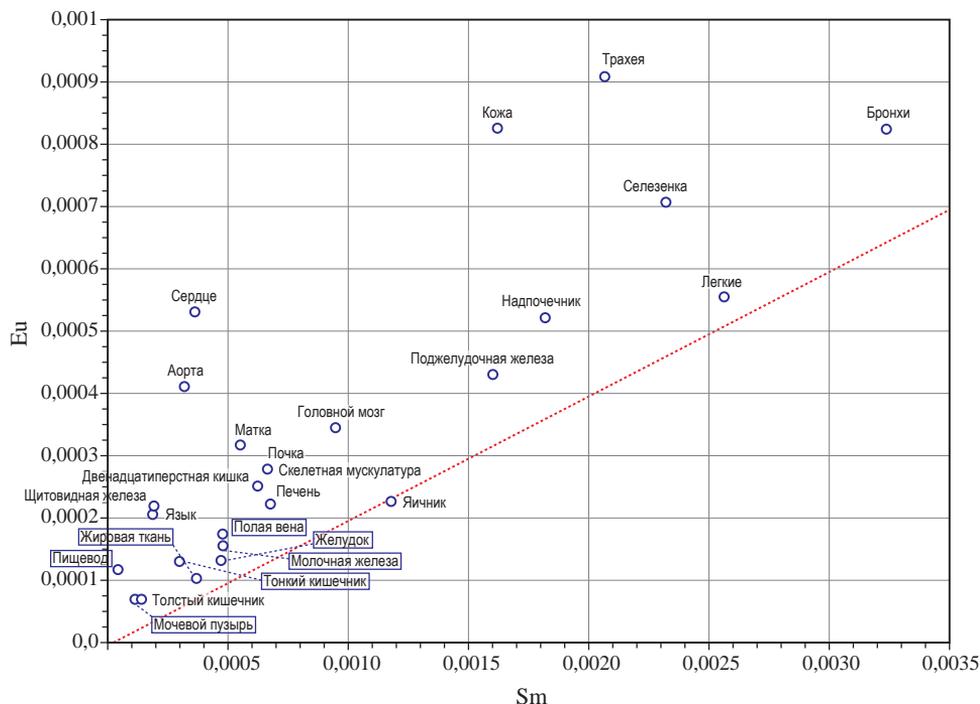


Рис. 5.11. Характер взаимосвязи группы средних редкоземельных элементов в органах и тканях человека (мг/кг сырой массы) жителей Томского района

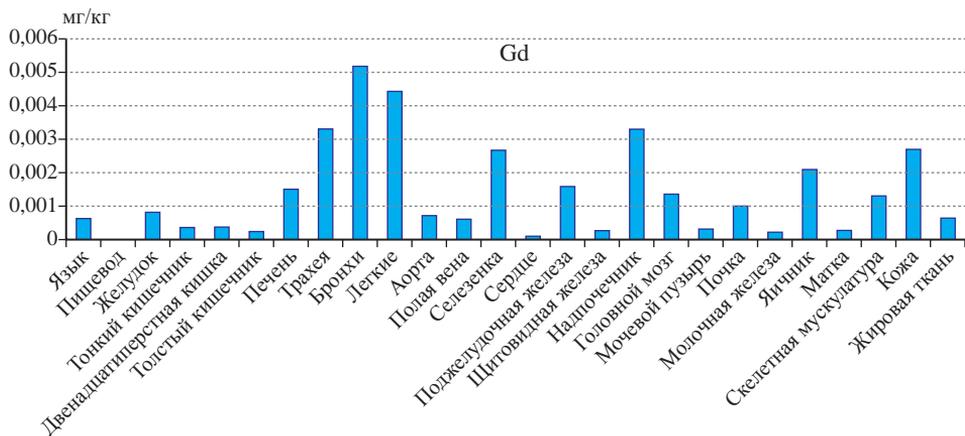


Рис. 5.12. Распределение гадолиния в органах и тканях человека (сырая масса) жителей Томского района

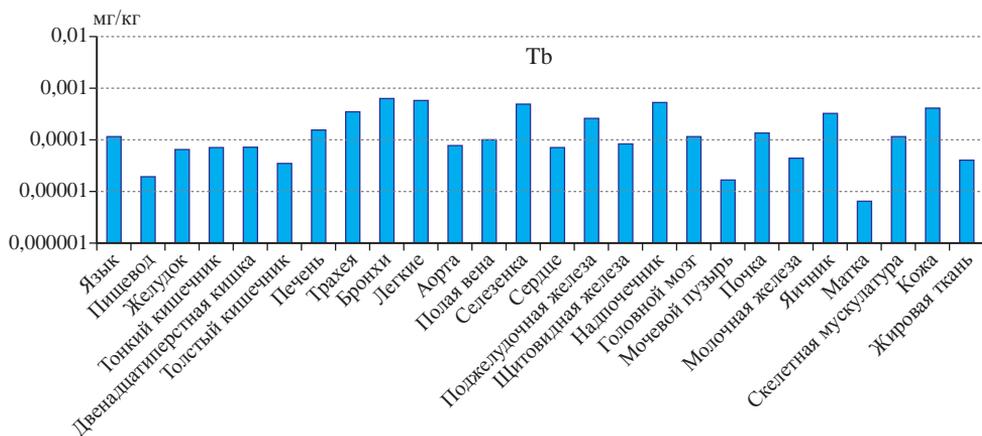


Рис. 5.13. Распределение тербия в органах и тканях человека (сырая масса) жителей Томского района

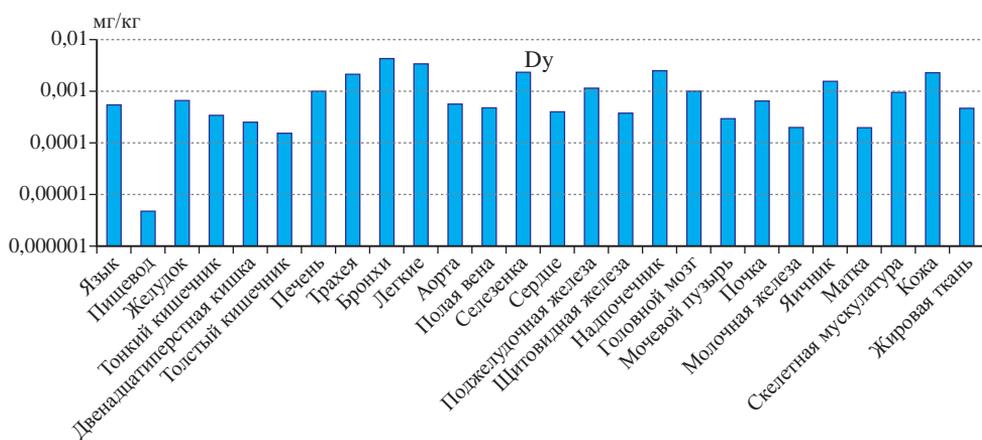


Рис. 5.14. Распределение диспрозия в органах и тканях человека (сырая масса) жителей Томского района

### Тулий (Tm)

Необходимо отметить идентичность в распределении группы всех редкоземельных элементов. Тулий не является исключением, так как максимальное содержание его фиксируется в бронхах (0,00018 мг/кг), в повышенных содержаниях отмечаются следующие органы: селезенка, надпочечник, легкие, печень, поджелудочная железа, кожа, а минимальное в пищеводе (0,000004 мг/кг) (рис. 5.17).

### Иттербий (Yb)

Максимальное содержание иттербия фиксируется в бронхах (0,0014 мг/кг), при чем это содержание выше, чем содержание тулия в бронхах. В повышенных концентрация фиксируется данный элемент в органах дыхания, затем в селезен-

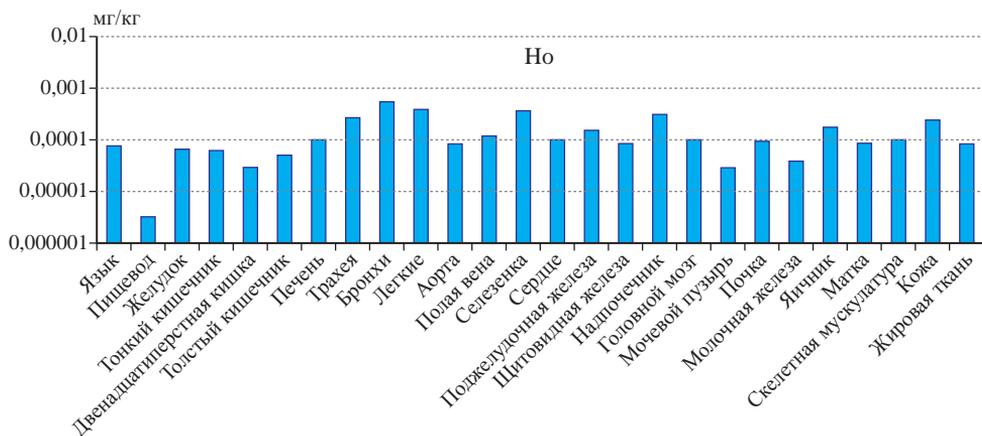


Рис. 5.15. Распределение кобальта в органах и тканях человека (сырая масса) жителей Томского района

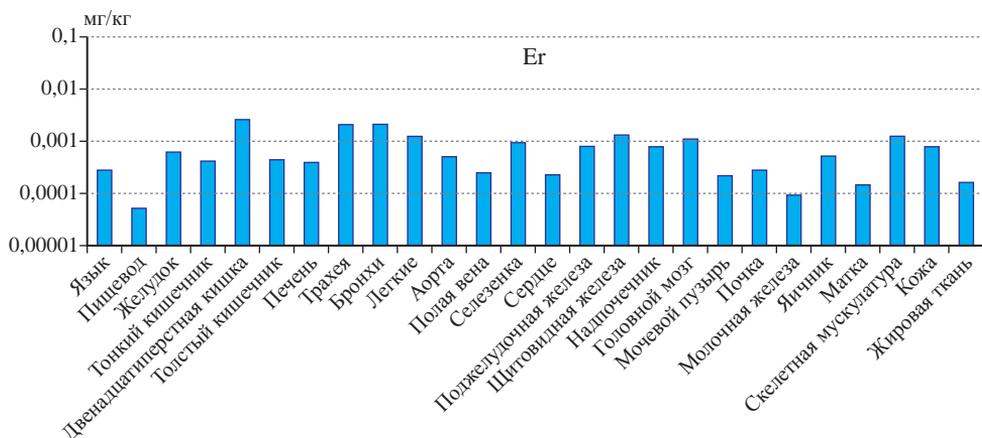


Рис. 5.16. Распределение эрбия в органах и тканях человека (сырая масса) жителей Томского района

ке, надпочечнике, коже. Минимальное содержание отмечается, как и предыдущим элементом именно в пищеводе (0,0000027 мг/кг) (рис. 5.18).

### Лютеций (Lu)

В распределении лютеция можно отметить схожую тенденцию, характерную для ранее рассмотренного тулия. Максимальное содержание Lu отмечается в бронхах (0,00022 мг/кг), также как и ранее было отмечено, выделяются следующие органы с повышенным содержанием лютеция: дыхания, селезенка и надпочечник, а минимальное – в пищеводе. (0,0000018 мг/кг) (рис. 5.19).

Наблюдается линейный характер распределения группы тяжелых редкоземельных элементов в ОТЧ (рис. 5.20)

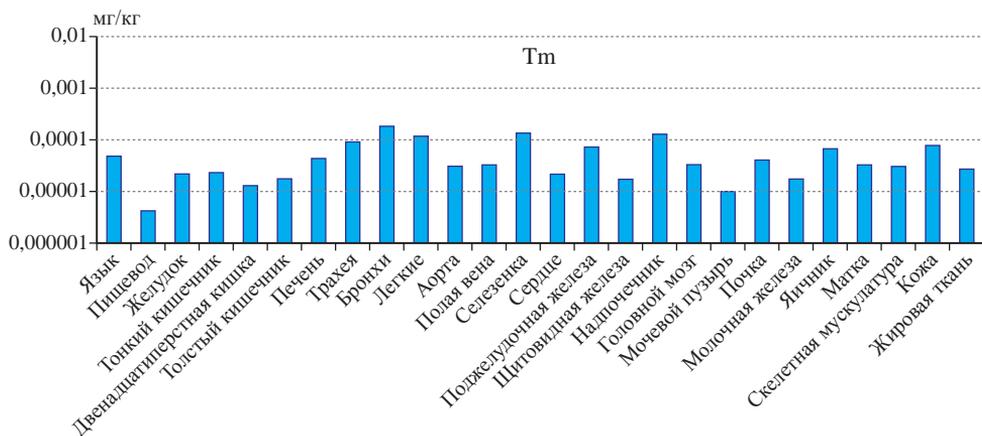


Рис. 5.17. Распределение тулия в органах и тканях человека (сырая масса) жителей Томского района

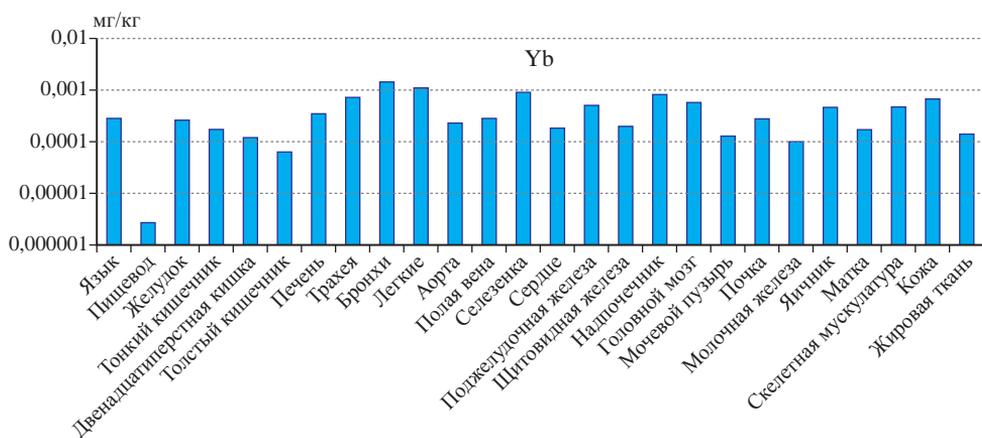


Рис. 5.18. Распределение иттербия в органах и тканях человека (сырая масса) жителей Томского района

Важным при такого рода исследований является расчет различных индикаторных отношений. Так на рис. 5.21 показаны отношения  $La/Ce$ ,  $La/Sm$ ,  $La+Ce/Yb+Lu$ .

Наглядно видно (рис. 5.21), что отношение  $La/Ce$  в ОТЧ по большинству органов ниже 1 (среднее примерно 0,57), что находится в соответствии с природными объектами, но имеются исключения. Так например, молочная железа, в которой отношение составляет 1,29 и сердце – 1,34, что может свидетельствовать либо о патологии в функционировании данных органов, либо об их физиологических особенностях. Отношение легких лантаноидов к средним ( $La+Ce/Sm+Eu$ ) в целом на уровне от 4,1 (молочная железа) до 58,3 (легкие), но для основной части органов это соотношение 16,9. Отношение легких лантаноидов к тяжелым

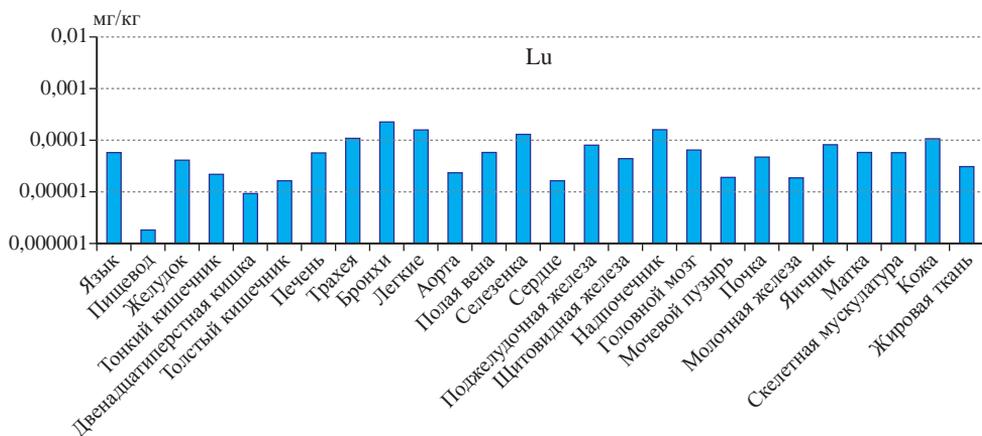


Рис. 5.19. Распределение лютеция в органах и тканях человека (сырая масса) жителей Томского района

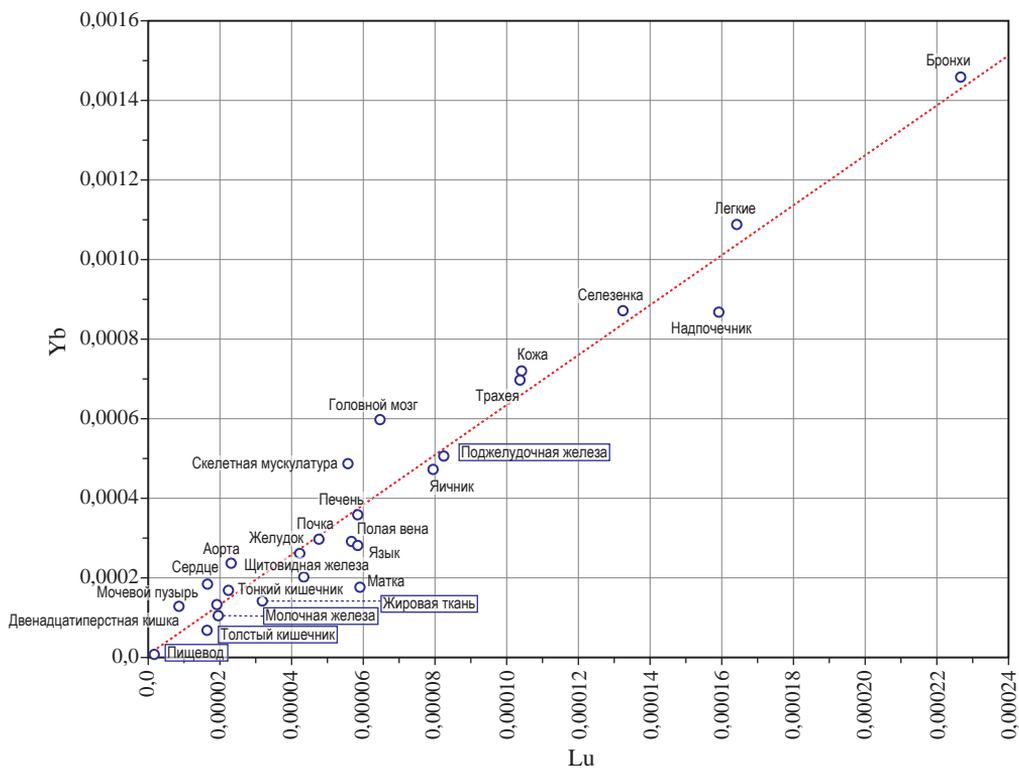


Рис. 5.20. Характер взаимосвязи группы тяжелых редкоземельных элементов в органах и тканях человека (mg/kg сырой массы) жителей Томского района

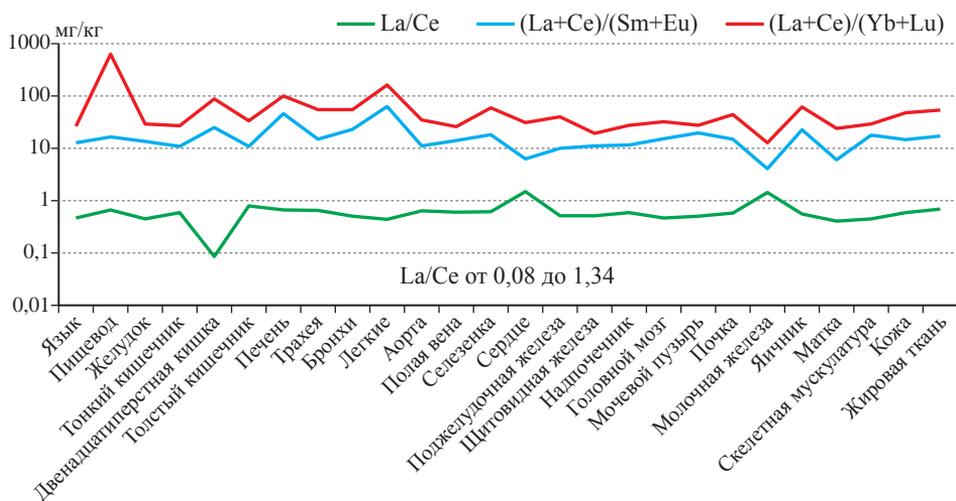


Рис. 5.21. Отношения группы редкоземельных элементов в органах и тканях человека

(La+Ce/Yb+Lu) в ОТЧ составляет от 12,2 (молочная железа) до 633,5 (пищевод), но в среднем для ОТЧ характерно 65,5.

В табл. 5.3. приведены расчеты отношений лантаноидов для органов и тканей человека жителя Томского района и для глинистой фракции циркон-ильменитовых песков (Туганское, Георгиевское), распространенных на исследуемой территории, с целью сравнения этих отношений.

Месторождение циркон-ильменитовых песков, расположенное на территории Томского района, характеризуется минералами, богатыми редкоземельными элементами и торием. Так, отношения РЗЭ в ОТЧ близки к природным, но в некоторых органах, как было отмечено выше, имеются отклонения (сердце и молочная железа). Полученные отношения РЗЭ в ОТЧ выше, чем в природных объектах (табл. 5.3), особенно это видно из отношения La+Ce/Sm+Eu, La/Yb. Данные месторождения, вероятно, могут быть возможными источниками РЗЭ, попадающими в организм человека через воду, в районах, где известны такого типа месторождения.

Таким образом, рассчитанные отношения лантаноидов указывают на то, что вероятно, можно говорить о взаимосвязи между биогеохимическими особенно-

Таблица 5.3

Сравнительная характеристика геологических объектов и человека

Отношения	Туганское месторождение	Георгиевское месторождение	Человек
La/Ce	0,63	0,5	0,57
La+Ce/Sm+Eu	5,22	6,03	16,9
La+Ce/Yb+Lu	34,2	81,2	65,5
La/Yb	12,3	7,6	20

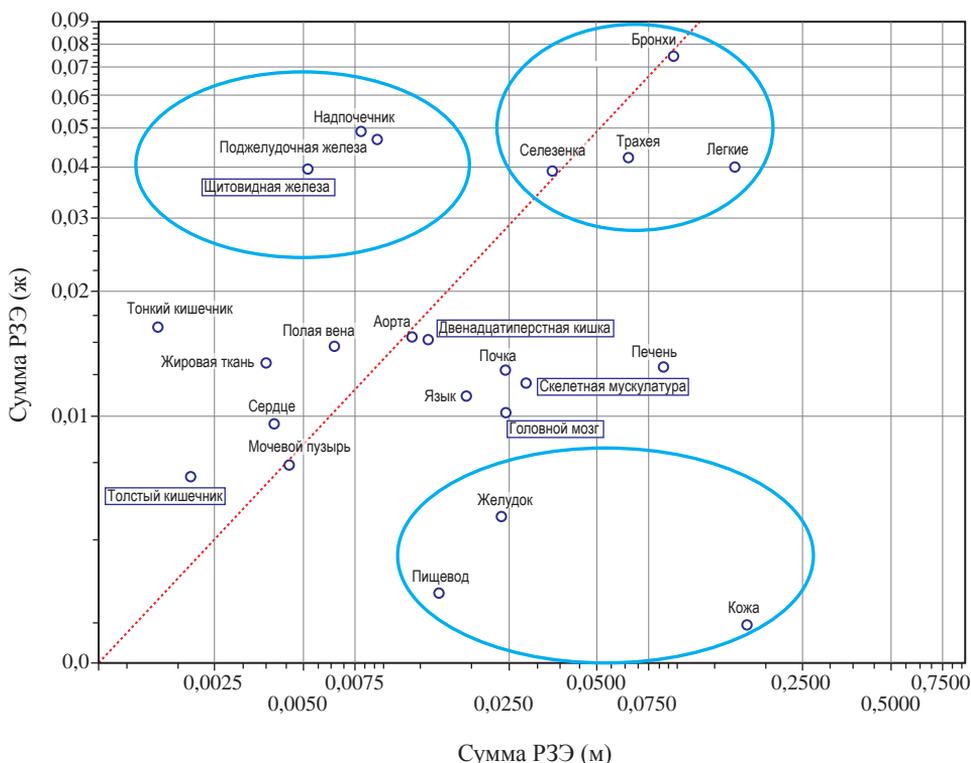


Рис. 5.22. Сравнение распределения суммы редкоземельных элементов в органах и тканях человека (мг/кг сырой массы) в зависимости от пола

стями человеческого организма и эколого-геохимическими особенностями территорий. Организм, вероятно, выступает в качестве концентратора элементов.

Данные, представленные на рис. 5.22, позволяют выделить органы, возможно, максимально концентрирующие редкоземельные элементы. Органами накопителями РЗЭ, вероятно, можно считать: бронхи, легкие, трахею, селезенку, надпочечник, кожу. Для таких элементов как Nd и Er можно накопителем считать щитовидную железу. Сделанные выводы сочетаются с приведенными выше распределениями редкоземельных элементов по ОТЧ (рис. 5.21, 5.22).

### 5.3. Редкоземельные элементы в функциональных системах жителя Томского региона

Безусловно, представляет интерес распределение элементов по системам органов и тканей человека, так как именно функционирование таковых протекает в тесной взаимосвязи друг с другом.

Возможно, предположить, что отдельные системы будут различаться как на уровне накопления химических элементов, так и по их соотношениям.

Такой анализ более обстоятельно рассматривается нами по наиболее полно нами изученной, но слабо освещенных в научной литературе по живому веще-

ству, группе редкоземельных и радиоактивных элементов.

Все исследуемые ОТЧ в зависимости от функционального предназначения разделены согласно принятой в медицине классификации (Синельников, 1996; Привес и др., 2001; Сапин, 2002 и др.) на следующие системы:

1. Пищеварительная система человека (язык, пищевод, желудок, тонкий кишечник, двенадцатиперстная кишка, толстый кишечник, печень, поджелудочная железа).
2. Дыхательная система человека (трахея, бронхи, лёгкие).
3. Система крово- и лимфообращения (сердце, аорта, полая вена, селезенка).
4. Нервная система (головной мозг).
5. Эндокринная система (щитовидная железа, поджелудочная железа, надпочечники).
6. Опорно-двигательный аппарат (скелетная мускулатура) и покровная система (жировая ткань и кожа).
7. Мочеполовая система (мочевой пузырь, почки, яичники, матка, молочная железа).

Максимально РЗЭ концентрируются в системе органов дыхания. Анализ тройной диаграммы (рис. 5.23) позволяет сделать вывод о том, что существует фракционирование в накоплении разных групп РЗЭ в системах ОТЧ. Итак, имеется существенная тенденция к накоплению максимально легких и средних редких земель, и в меньшей степени тяжелых. Ряд систем ОТЧ отражает наличие биогеохимических барьеров, о которых шла речь в главе 5.

Рассмотрим каждую систему ОТЧ по отдельности и затем сравним их между собой по содержаниям группы РЗЭ. Начнем рассматривать и выявлять закономерности с дыхательной системы (рис. 5.24).

Анализ особенностей распределения в органах системы дыхания человека – жителя Томского района группы РЗЭ свидетельствует о том, что тенденции распределения РЗЭ по исследуемым органам практически идентичные. В целом, в трахее содержание ниже, чем в бронхах и легких, за исключением европия. Уровень содержания РЗЭ в трахее находится в следующих пределах от 0,00009 (Tm) до 0,027 мг/кг (Ce); в бронхах – от 0,0008 (Eu) до 0,06 мг/кг (Ce); в легких – от 0,0005 (Eu) до 0,12 мг/кг (Ce).

Легкие лантаноиды максимально накапливаются в легких, а средние и тяжелые аккумулируются главным образом, поступая через трахею, в бронхах. Таким тенденциям можно найти объяснение исходя из строения самих органов, бронхи и сами легкие представляют собой структуру в виде губки, способную к аккумуляции элементов. Вероятно, имеет место способность РЗЭ к комплексообразованию и непосредственному осаждению в данной системе.

Повышенное содержание группы редкоземельных элементов в органах дыхания, вероятно, свидетельствует об аэрогенном пути их поступления. Источником их поступления на территории Томского района могут быть природные геохимические аномалии (месторождения циркон-ильменитовых песков), а также техно-

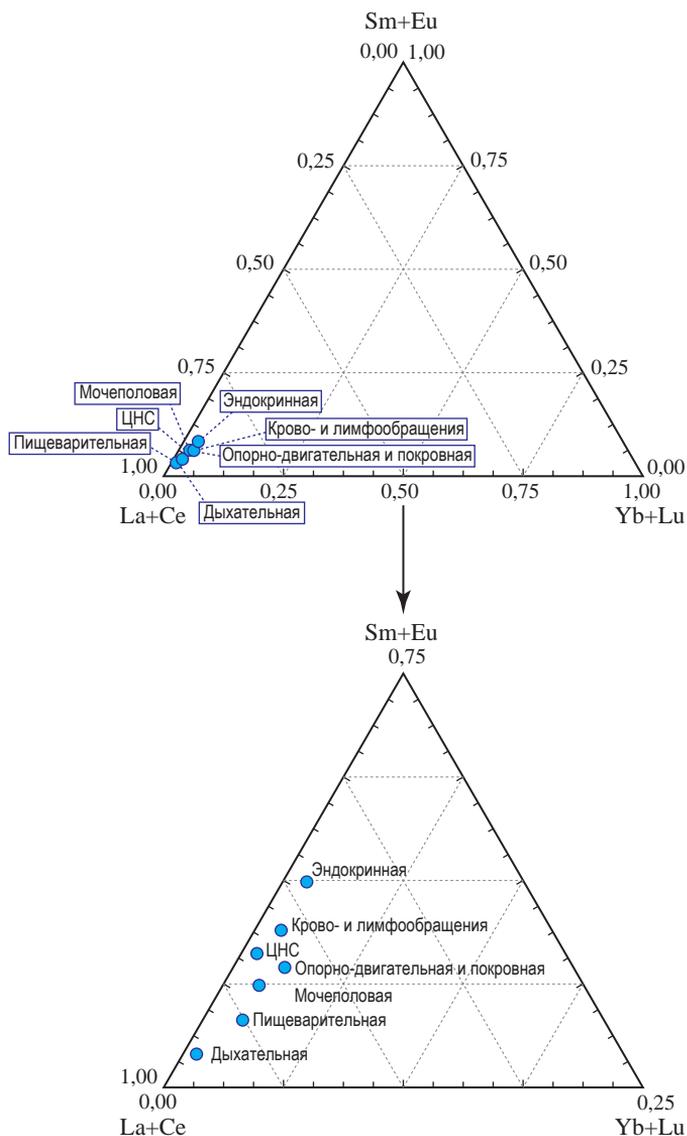


Рис. 5.23. Тройная диаграмма разных групп РЗЭ в системах органов и тканей жителей Томского района

генные компоненты от близрасположенного Сибирского химического комбината, а также – курение.

Если рассмотреть все органы дыхания по их анатомическому расположению в организме человека, то представляется возможным утверждать, что исследуемый мужчина курил (рис. 5.25). Так, РЗЭ поступали через трахею, причем у женщины содержание элементов выше чем, у мужчины, затем РЗЭ поступали в бронхи, где их содержание уже изменялось. При этом у мужчины содержание элементов увеличивалось, и максимальное накопление уже происходило в легких, которые

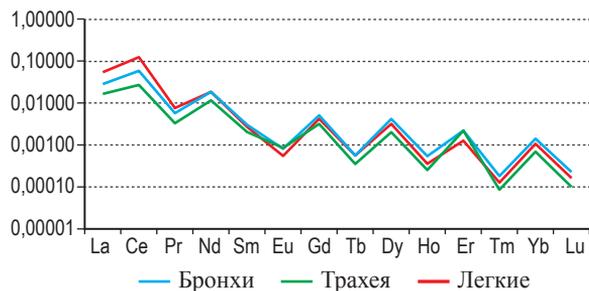


Рис. 5.24. Распределение РЗЭ в дыхательной системе (мг/кг сырой массы)

накопления в органах пищеварительной системы человека – жителя Томского района (рис. 5.26) свидетельствует о том, что редкоземельные элементы в первую очередь накапливаются в печени, затем в поджелудочной железе и желудке. В печени содержание легких лантаноидов находится на уровне 0,016–0,025 мг/кг, средних – 0,0003–0,0007 мг/кг, тяжелых – 0,00006–0,0003 мг/кг. Анализируя полученные данные, вероятно можно отметить такую особенность, как накопление легких РЗЭ в печени, затем средних и тяжелых РЗЭ в поджелудочной железе.

Особо выделяется 12-перстная кишка, в которой максимально концентрируется эрбий 0,0026 (мг/кг). В пищеварительной системе европейский минимум наблюдается в: языке, желудке, тонком и толстом кишечнике, поджелудочной железе, печени, а вот в пищеводе и 12-перстной кишке по какой-то причине фиксируется европейский максимум.

В системе крово- и лимфообращения, как показывает анализ особенностей накопления РЗЭ (рис. 5.27), максимальное

отличаются своим губчатым строением. Все это указывает, на то, что мужчина, вероятно, курил – провоцирующий фактор, который способствует увеличению содержания РЗЭ и, возможно, имел непосредственный контакт с данной группой элементов (место его работы, к сожалению, неизвестно).

Анализ особенностей

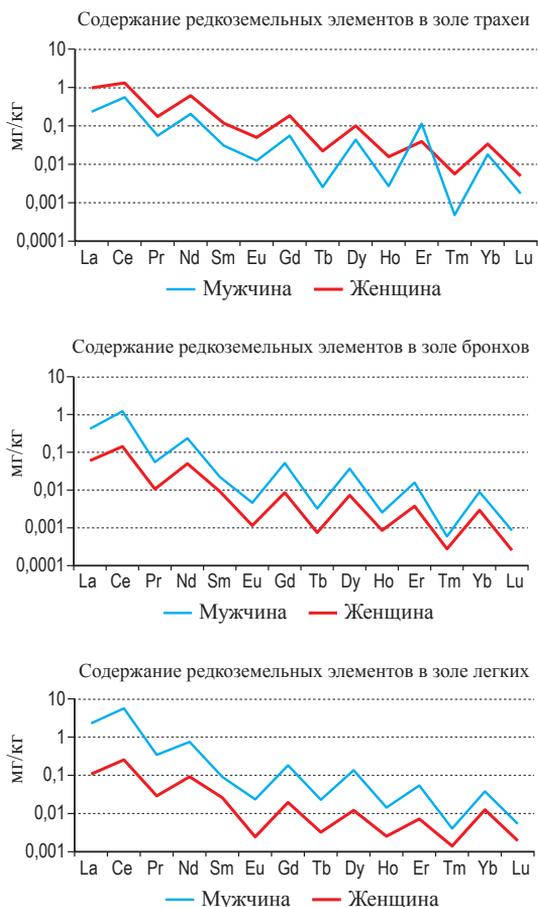


Рис. 5.25. Закономерности распределения редкоземельных элементов по органам жителей Томского района

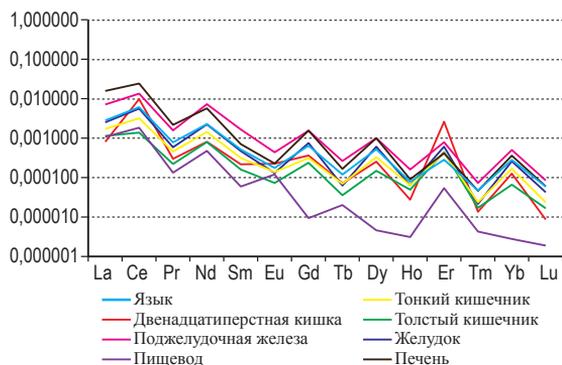


Рис. 5.26. Распределение РЗЭ в органах пищеварительной системы (мг/кг сырой массы)

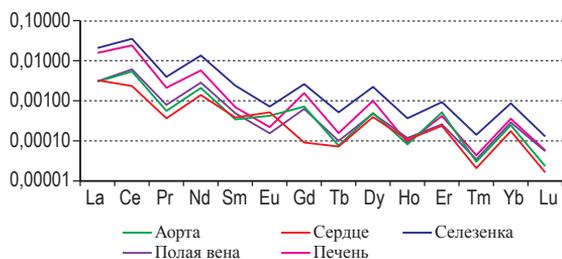


Рис. 5.27. Распределение РЗЭ в органах систем крово- и лимфообращения (мг/кг сырой массы)

содержание фиксируется в селезенке. Уровень накопления РЗЭ в селезенке находится в следующих пределах: от 0,00013 (Lu) до 0,035(Се) мг/кг, в печени от 0,000043 (Tm) до 0,024 (Ce) мг/кг. Накопление и распределение как макро- и микроэлементов, так и таких элементов как, например, рассматриваемая группа малоизученных редкоземельных элементов в отдельных органах и тканях, вероятно, зависит от кровоснабжения органов, обладающих способностью задерживать то большее, то меньшее количество крови (селезенка – «депо крови», печень – «кладбище эритроцитов»). Селезенка и печень – органы представляют собой своеобразные барьеры, а также относятся к ретикулоэндотелиальной системе, которая выполняет защитную функцию при поступлении чужеродных веществ, главным образом она реагирует на редкоземельные и радиоактивные элементы.

В аорте, полой вене и сердце распределение РЗЭ практически равномерное, в среднем для легких лантаноидов уровень их содержания до 0,005 мг/кг, для средних – 0,0005 мг/кг, для тяжелых отмечается дисбаланс, так, например, иттербия 0,0002 мг/кг, а лютеция 0,00002 мг/кг. В сердце фиксируется европиевый максимум и содержание La выше по сравнению с Се.

Особо следует отметить, что в живом организме существуют так же как и в геохимии природной среды, свои специфические биогеохимические барьеры. Необходимо отметить, что несмотря ни на что, природа создала и способствовала выработке у человека защитных механизмов на поступление различных вредных и чужеродных веществ в его организм. О защитных реакциях живых организмов, показанных на экспериментальных животных, писали исследователи в 60–70-х годах XX века (Балабуха В.С., 1958, Штреффер К., 1972, и др). Эти данные были подтверждены при рассмотрении распределения наиболее малоизученной группы элементов – редкоземельных в органах и тканях жителей Томского района. Как было описано выше, существует ретикуло-эндотелиальная система органов, к которой относятся такие органы как: селезенка, печень, костный мозг. В селезенке

(рис. 5.28, А) группа редкоземельных элементов распределяется стабильно закономерно, это может непосредственно свидетельствовать о ее защитной роли в организме человека, а также, если рассмотреть каким образом распределяются элементы в данном органе, то можно сделать вывод о соблюдении и применении геохимических правил и законов распределения к живому организму человека (закон Кларка-Вернадского-Менделеева и правило Оддо-Гаркинса). Печень является органом ретикуло-эндотелиальной ткани и там также наблюдается весьма закономерное распределение (рис. 5.28, Б).

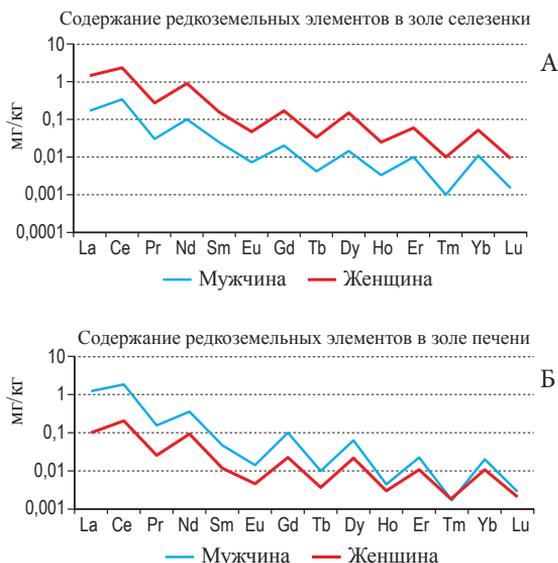


Рис. 5.28. Соответствие законов распространения химических элементов

Отмечается неравномерное распределение редкоземельных элементов по органам эндокринной системы (рис. 5.29). Так максимальное накопление происходит в основном в надпочечнике, затем в поджелудочной и щитовидной железах.

Уровень накопления РЗЭ в надпочечнике следующий: легкие РЗЭ 0,007–0,01 мг/кг, средние РЗЭ – 0,0004–0,0016 мг/кг, тяжелые РЗЭ – 0,00008–0,0005 мг/кг.

Поджелудочная железа имеет 2 секторные функции: пищеварительную и эндокринную. Поджелудочная выделяет поджелудочный сок – прозрачную водянистую жидкость с выраженными щелочными свойствами (рН 8,5). В поджелудочной железе отмечается также неравномерное распределение, так содержание легких лантаноидов находится в следующих пределах 0,007–0,01 мг/кг, средних – 0,0004–0,0016 мг/кг, тяжелых – 0,00008–0,0005 мг/кг.

Необходимо отметить, что в щитовидной железе отмечается достаточно высокое содержание неодима, выше даже чем таких элементов как лантан, церий и празеодим, а также высокое содержание эрбия. Это, вероятно, может указывать на патологию щитовидной железы. В щитовидной железе легкие редкие земли находятся на уровне 0,001–0,003 мг/кг, средние – 0,0002 мг/кг, тяжелые 0,00004–0,0002 мг/кг.

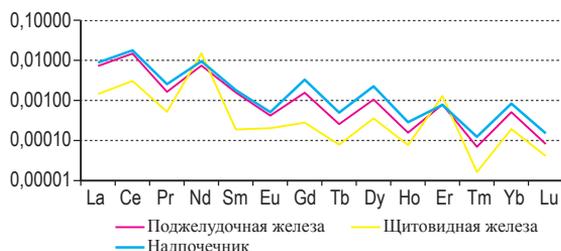


Рис. 5.29. Распределение РЗЭ в органах эндокринной системы (мг/кг сырой массы)

Итак, по дисбалансу и нарушению законов распределения редкоземельных элементов в органах и тканях, можно говорить о возможности существования патологии.

На рис. 5.30 показано сравнение элементного состава щитовидной железы без патологии (10 проб) и патологически измененной щитовидной железы (107 проб). В щитовидной железе без патологии отмечается повышенное содержание лантана и самария, в отличие от патологически измененной, в которой повышенное содержание иттербия и лютеция.

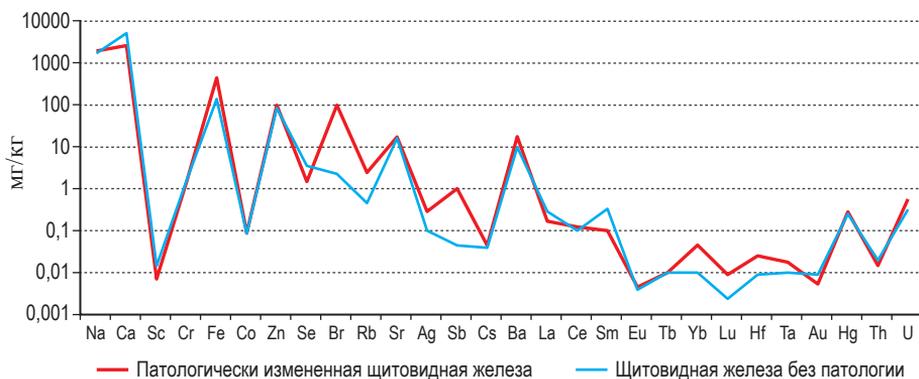


Рис. 5.30. Сравнительная биогеохимическая характеристика щитовидной железы жителей Томской области с патологией и без патологии (117 проб) (мг/кг)

В органах мочеполовой системы отмечается неравномерное распределение лантаноидов (рис. 5.31). В почках аккумулируется значительное количество РЗЭ. Пределы накопления РЗЭ в почках следующие: от 0,00004 мг/кг (Tm) до 0,01 (Ce) мг/кг.

При рассмотрении распределения редкоземельных элементов женских детородных органов можно делать следующие выводы. Распределение лантаноидов неравномерное (рис. 5.31). В яичнике отмечается повышенное содержание группы РЗЭ (0,00007 (Tm) – 0,02 (Ce) мг/кг). Распределение РЗЭ в матке и молочной железе практически равномерное (0,00002(Tm) – 0,003 (Ce) мг/кг). В матке наблюдается европиевый максимум, а в молочной железе – содержание La выше, чем Ce.

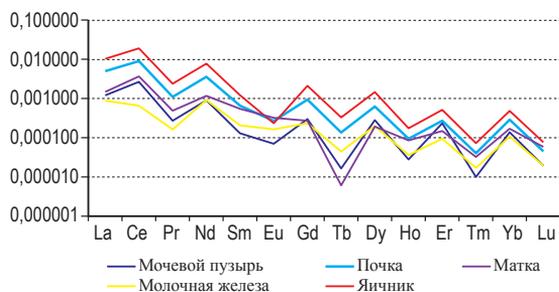


Рис. 5.31. Распределение РЗЭ в органах мочеполовой системы (мг/кг сырой массы)

Анализ особенностей накопления РЗЭ в органах покровной системы и опорно-двигательного аппарата человека – жителя Томского района (рис. 5.32) сви-

детельствует о неравномерном распределении. Особо выделяется распределение РЗЭ в коже (в барьерном органе), где фиксируются повышенные содержания лантаноидов (0,00007 (Tm) – 0,02 (Ce) мг/кг), затем можно отметить скелетную мускулатуру (0,00003 (Tm) – 0,01 (Ce) мг/кг), повышенное содержание эрбия (0,0013 мг/кг) причем выше, чем в коже и жировой ткани (0,00002 (Tm) – 0,005 (Ce) мг/кг).

Кожа – наружная ткань человека. Здоровая кожа непроницаема не только для микроорганизмов, но даже для многих растворенных ядовитых и вредных веществ. Кожа участвует в общем обмене организма.

Специфическая функция жировой ткани – накопление и обмен жира, заполняет жировая капля, окруженная ободком цитоплазмы с оттеснённым на периферию ядром. Жировая ткань клетки является не просто хранилищем запасенной энергии, а является активным эндокринным органом, то есть органом, вырабатывающим гормоны (лептин и эстроген) (Лемеза Н.А. и др., 2002).

Одной из функций жировой ткани является обезвреживание (депонирование) вредных веществ.

Необходимо отметить очень важную особенность ОТЧ, которая заключается в наличии достаточно ярко выраженных биогеохимических барьеров. Все системы организма человека, по уровню накопления в них элементов особенно 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. 5.33). 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, т.е. естественный механизм, контролирующий их поступление, особенно в мозг, который, как известно, имеет специфическую защиту в виде гематоэнцефалического барьера.

Элементы, попадая в организм человека, проходят несколько биогеохимических барьеров.

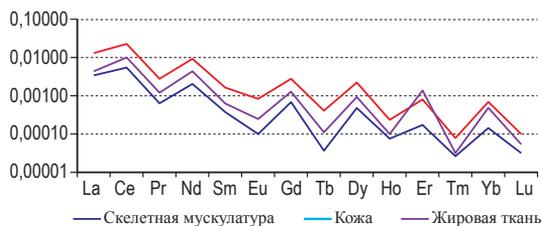


Рис. 5.32. Распределение РЗЭ в органах покровной и опорно-двигательной систем (мг/кг сырой массы)

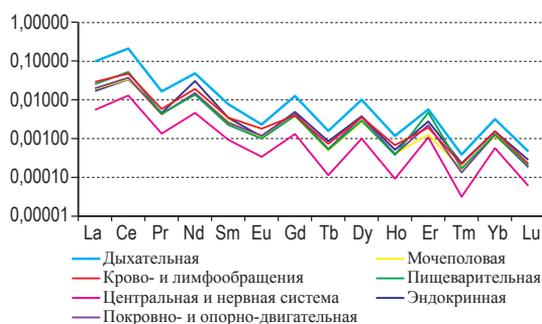


Рис. 5.33. Распределение РЗЭ по системам (мг/кг сырой массы)

Распределение редкоземельных элементов по системам органов и тканей весьма неравномерно (рис. 5.33). Наиболее ярко выделяются дыхательная и центральная нервная системы, а такие системы органов как эндокринная, пищеварительная, покровная и опорно-двигательная, мочеполовая, крово- и лимфообращения по содержанию РЗЭ незначительно различаются по их накоплению.

На первом месте по накоплению и содержанию РЗЭ находится система органов дыхания, максимальное содержание Се (0,21 мг/кг), а минимальное содержание Тм (0,0004 мг/кг).

Анализ графиков показывает, что содержание и распределение РЗЭ в системах эндокринной, пищеварительной, покровной, мочеполовой и крово- и лимфообращения практически идентичные.

В системе пищеварения максимальное содержание отмечается Се (0,05 мг/кг), а минимальное Тм (0,0001 мг/кг). В рассматриваемой системе наблюдается нарушение в распределении РЗЭ, вероятно, это можно объяснить тем, что Er, Tm, Yb, Lu – тяжелые редкоземельные элементы и у них способность к комплексообразованию выше, чем у легких и средних лантаноидов из-за уменьшающегося атомного радиуса. В систему пищеварения эти лантаноиды поступают лишь в связанном виде с комплексами, а также там необходимые физико-химические условия среды, как например, резкоизменяющийся показатель pH от 3 до 8,5.

В системе крово- и лимфообращения можно выделить следующие пределы накопления РЗЭ: максимальное содержание отмечается для Се (0,048 мг/кг), а минимальное по Тм (0,0002 мг/кг).

По уменьшению накопления и содержания РЗЭ можно отметить мочеполовую систему, в которой отмечаются следующие пределы: выше максимальное содержание отмечается по Се (0,036 мг/кг), а минимальное по Тм (0,0002 мг/кг).

Содержание РЗЭ в покровной и опорно-двигательной системе можно охарактеризовать следующими пределами: максимальное содержание Се (0,037 мг/кг), а минимальное – Тм (0,0001 мг/кг).

В эндокринной системе самое высокое содержание Се (0,034 мг/кг) и Nd (0,031 мг/кг), а наименьшее содержание Ho (0,0005 мг/кг).

На последнем месте по уровню содержания РЗЭ в организме человека стоит центральная нервная система, в исследованиях она была представлена головным мозгом. Как было отмечено выше, в организме один из серьезных барьеров находится в головном мозге – гематоэнцефалический барьер, он не пропускает чужеродные вещества, но, несмотря на это, РЗЭ в головном мозге также фиксируются, причем их количество составляет более 0,0001 мг/кг (La, Ce, Nd), 0,00001–0,0001 мг/кг (Pr, Sm, Gd, Dy, Er, Yb). Так максимальное содержание отмечается по Се (0,013 мг/кг), а минимальное по Тм (0,00003 мг/кг).

Итак, в организме человека существует свои барьерные органы, которые выполняют защитную функцию от попадания вредных, чужеродных веществ во внутреннюю среду. Поэтому важной особенностью в распределении РЗЭ можно считать наличие выявленных биогеохимических барьеров. Следует отметить, что аналогичные геохимические барьеры установлены и при изучении органов и

тканей поросенка, являющихся, на наш взгляд, модельным видом для дальнейшего изучения геохимии редких земель в живом организме, физиологически близким к человеку (Барановская Н.В., Рихванов Л.П., 20...). При изучении уровней содержания и распределения редкоземельных элементов были выделены органы, в которых соблюдаются законы распространности элементов во Вселенной (Оддо-Гаркинса, Менделеева и Кларка-Вернадского), эти особенности четко прослеживаются в следующих органах: селезенка, бронхи, легкие, печень. Выявленные особенности в ходе исследований с одной стороны можно объяснить физиологическим состоянием организма, а с другой стороны, вероятно, формой нахождения элементов.

В изучении распределения группы редкоземельных элементов ОТЧ четко реализуется закон Кларка:  $TR(L) > TR(Cp) > TR(T)$ ; правило Оддо-Гаркинса соблюдается, хотя имеются исключения, так, например, содержание La в сердце и молочной железе выше по сравнению с Ce (рис. 5.34, А).

В данных исследованиях была отмечена следующая особенность – европейский минимум, что отмечается в природе (щелочные массивы горных пород), а вот в ОТЧ наблюдается нарушение данной особенности, так в 12-перстной кишке, пищеводе, сердце и матке (рис. 5.34, Б). В целом было отмечено, что содержание РЗЭ в ОТЧ мужчины выше, чем у женщины, но имеются и исключения, так например, селезенка, трахея и репродуктивные женские органы, в которых максимально накапливается данная группа элементов.

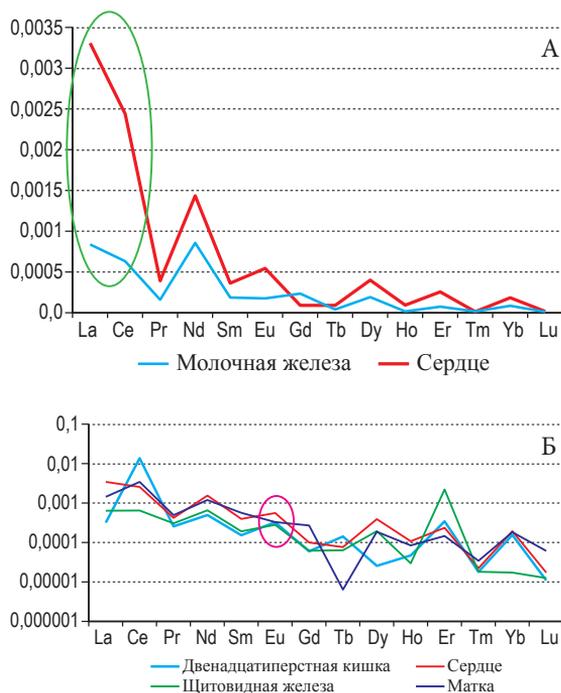


Рис. 5.34. Геохимические особенности в распределении РЗЭ по системам (мг/кг сухой массы)

## Очерк шестой

# ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОРГАНАХ И ТКАНЯХ ЧЕЛОВЕКА

---

Изучением радиоактивных элементов в организме живых существ начали основательно заниматься в связи с возрастающим применением радиоактивных элементов в науке, технике (Балабуха В.С., 1962), с интенсивным внедрением достижений атомной физики в практическую деятельность человечества.

В данном разделе делается акцент на уровни накопления и процессы распределения естественных радиоактивных элементов в органах и тканях человека (ОТЧ). Изучение особенностей миграции, рассеяния и концентрирования радиоактивных элементов невозможно без представления о связи между химическими, физико-химическими свойствами этих элементов и биохимическими особенностями организма.

Уран и торий – наиболее распространенные члены семейства актинидов, в которое входят также актиний, протактиний и еще десять трансурановых элементов. Это определяет значительную общность их химических свойств. Семейство актинидов (*5f* элементов) – химический аналог семейства лантаноидов (*4f* элементов). Близость к лантаноидам играет важную роль в геохимии урана и тория. По величине ионных радиусов  $U^{4+}$  ближе к группе «тяжелых» лантаноидов («иттриевая группа»), а  $Th^{4+}$  – к группе «легких» («цериевая группа») (табл. 6.1). Еще более близки величины ионных радиусов  $U^{4+}$  и  $Th^{4+}$ , что обуславливает идентичность их химических свойств.

Уран – широко распространенный радиоактивный элемент 3-й группы периодической системы элементов. Уран является самым тяжелым из относительно распространенных на Земле элементов. Представлен тремя радиоактивными природными изотопами:  $^{238}U$  (99,275%),  $^{235}U$  (0,720%) и  $^{234}U$  (0,005%).

Уран (U) ( $5f^3 6d^1 7s^2$ ) является *fd*-металлом и принадлежит к 6-й группе Периодической системы, подгруппе актиноидов: по группе наиболее близок к W, Mo, в какой-то мере к Ho, Nd, а по периоду – к Th.

Характерная особенность химии U – высокая летучесть его карбидов, галогенидов, уранилов и др.

Химически U весьма активен, имеет переменную валентность – 3+, 4+, 5+, 6+; особенно устойчивое состояние в геохимии и минералогии имеют  $U^{6+}$  и  $U^{4+}$ , которые ведут себя в природных процессах как разные элементы. В природе уран

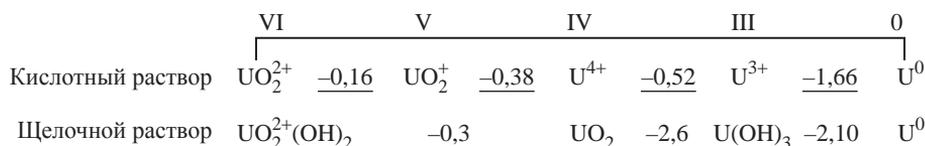
Таблица 6.1

Величины ионных радиусов (по Аренсу), А\* (Арбузов, Рихванов, 2009)

Элемент	Группа	Валентность			
		3+	4+	5+	6+
Ac	Актиноиды	–	–	–	–
Th		(1,08)	1,02		
Pa		(1,05)	0,98	0,80	
U		1,03	0,97	0,87	0,80
La	Лантаноиды	1Д4	–	–	
Ce		1,07	0,94	–	
Pr		1,06	0,92	–	
Nd		1,04	–	–	
Sm		1,00	–	–	
Eu		0,98	–	–	
Gd		0,97	–	–	
Tb		0,93	0,81	–	
Dy		0,92	–	–	
Ho		0,91	–	–	
Er		0,89	–	–	
Tm		0,87		–	
Yb		0,86		–	
Lu		0,85		–	
Y	Иттрий	0,92			

существует в двух степенях окисления: +4 и +6 (Арбузов, Рихванов, 2009). И они обладают разными геохимическими свойствами.

U<sup>4+</sup> в природе по свойствам наиболее близок к Th<sup>4+</sup>, лантаноидам: TR<sup>4+</sup> (Ce<sup>4+</sup>, Pr, Tb), TR<sup>3+</sup> (Nd, Ho) и к элементам иттриевой группы. U отличается от всех элементов очень крупным размером комплексного катиона (UO<sub>2</sub>)<sup>2+</sup>, способным образовывать собственные урановые минералы. В этом отношении катион U<sup>6+</sup> сходен с анионами W<sup>6+</sup> (WO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), а особенно с Mo<sup>6+</sup> (Mo<sub>4</sub><sup>2-</sup>), устойчивостью анионных комплексов. Менее устойчивы другие состояния окисления U. Стандартные потенциалы восстановления E° (В):



Уран (IV) в своих соединениях присутствует в форме иона  $U^{4+}$ . По химическим свойствам он близок к Tb(IV), Y(III) и тяжелым лантаноидам иттриевой группы. С химической точки зрения ион  $U^{4+}$  является слабым основанием. Он существует лишь в сильнокислых растворах и при понижении кислотности гидролизуетсся с образованием  $U(OH)_4$ . Гидроксид  $U(OH)_4$  слабо растворим в воде, но хорошо растворяется в кислотах.

Особенностью, отличающей геохимию  $U^{4+}$  от лантаноидов,  $Ti^{2+}$  и других элементов-гидролизатов, является высокая среди катионов степень подвижности в водных растворах. Этот вывод впервые был сделан В.И. Вернадским в 1930 г. в его работе «Очерки геохимии». Он писал, что история и совершенно иная, чем у Th. *«Во-первых, существование нескольких окисей урана, обладающих очень различными свойствами, и, во-вторых, существование многочисленных природных соединений, легко растворимых в воде биосферы, и в подземных водах...»*.

Уран (VI) – наиболее устойчивая степень окисления урана при свободном доступе воздуха. Валентность 6 является высокой даже для такого крупного катиона, как  $U^{6+}$ . Он энергетически неустойчив и в водных растворах мгновенно гидролизуетсся с образованием комплексного двухвалентного катиона уранила  $UO_2^{2+}$ , например,  $UF_6 + 2H_2O \Rightarrow UO_2F_2 + 4HF$ .

$U(VI)$  проявляет большую склонность к образованию комплексных соединений, которые играют важную роль в его геохимии. Во всех этих соединениях уран находится в форме уранилиона, который имеет координационные числа 4 и 6. Комплексообразование  $U(VI)$  с  $Cl^-$ ,  $Br^-$  и  $NO_3^-$  идет слабо. Наиболее важное значение в природных условиях имеют карбонатные, сульфатные, фторидные, фосфатные и гидроксильные комплексы (Арбузов, Рихванов, 2009).

Ионы  $U^{6+}$  наиболее устойчивы в условиях окислительной обстановки и отличаются от  $U^{4+}$  более высоким значением ионной плотности; в водных растворах неустойчивы и гидролизуютсся с образованием  $UO_2^{2+}$  и  $[UO_2(H_2O)_6]^+$ ,  $[UO_2(H_2O)_5]^+$  и др., а при наличии  $CO_3^{2-}$  –  $UO_2(CO_3)_2^{2-}$  и др. Гидроксил-уранильный комплекс  $UO_2(OH)_2$  устойчив при pH 4,5–7, осаждение карбонатных комплексов начинается при pH > 4,5, сульфатных – 4, гуминовых и фульвокомплексов – при pH ~ 7. Важное химическое свойство U (особенно  $U^{6+}$ ) – его сильная восстановительная способность, например, для  $Fe^{3+}$ . Соединения  $U^{6+}$  растворимы в  $H_2O$ , особенно уранил-нитраты, а также сульфаты и оксигалогениды летучи, но легко гидролизуютсся, образуя оксигалогениды. Главные нерастворимые соединения  $U^{6+}$  – оксиды, фосфаты, арсенаты и ванадаты, которые известны в качестве экзогенных урановых минералов. Характерна тенденция  $U^{6+}$  к образованию комплексов с карбонатными, сульфатными, фторидными, фосфатными (но не  $Cl^-$ ,  $Br^-$  и  $NO_3^-$ ). Важное значение имеют устойчивые гидроксокомплексы, карбонатные и органические (с щавелевой, лимонной, гумусовыми и другими кислотами) комплексы; сульфатные характерны только для кислой среды. Существенное значение в геохимии имеют потенциалы окисления-восстановления в условиях различных pH с изменением направления реакции  $2Fe^{2+} + U^{6+} = 2Fe^{3+} + U^{4+}$  в кислой среде справа налево, а в щелочной – слева направо. Этим объясняется разнообразие природ-

ных обстановок, приводящих к миграции и осаждению U на различных геохимических барьерах (Арбузов, Рихванов, 2009).

Средняя концентрация U в земной коре составляет около  $4 \cdot 10^{-6}$  г. на 1 г. породы, а в океанических водах –  $1,3 \cdot 10^{-6}$  г. на 1 л. воды. Как радиоактивный элемент уран в значительной степени влияет на формирование естественного радиационного фона Земли, особенно в районах залегания урановых руд (Вредные химические вещества, 1990).

Уран в микроколичествах ( $10^{-5}$ – $10^{-6}$ %) обнаруживается во всех тканях растений, животных и человека. В золе растений (при содержании урана в почве около  $2 \cdot 10^{-4}$ ) его концентрация составляет  $1,5 \cdot 10^{-5}$ % (Василенко О.Н., 2004). В наибольшей степени U накапливается некоторыми грибами и водорослями (последние активно участвуют в биогенной миграции U по цепи вода – водные растения – рыба – человек). В организм животных и человека U поступает с пищей и водой в желудочно-кишечный тракт, с воздухом в дыхательные пути, а также через кожные покровы и слизистые оболочки. Соединения U всасываются в желудочно-кишечном тракте – около 1% от поступающего количества растворимых соединений и не более 0,1% труднорастворимых; в лёгких всасываются соответственно 50% и 20%. Распределяется U в организме неравномерно. Основными местами отложения и накопления являются скелет, лёгкие и бронхо-лёгочные лимфатические узлы, селезёнка, почки, печень (Вредные химические вещества, 1990; Иванов В.В., 1997, и др.). Нередко уран в литературе называют «почечным ядом». В скелете содержится более 90% отложившегося в организме урана. В крови U (в виде карбонатов и комплексов с белками) длительно не циркулирует (Штреффер К., 1972, Gmelin L., 1982). Содержание U в органах и тканях животных и человека по литературным данным не превышает 0,1 мг/кг (Василенко О.Н., 2004). На характер распределения и особенно миграцию оказывает влияние валентность урана. Установлено, что шестивалентный уран накапливается в почках до 20%, в скелете – 10÷30% и в незначительном количестве откладывается в печени, тогда как четырехвалентный уран накапливается в печени и селезенке до 50%, в костях и почках до 10÷20% (Вредные химические вещества, 1990; Иванов В.В., 1997, и др.). Такое распределение связывают с тем, что четырехвалентный уран легко присоединяется к белкам и не проникает через мембраны клеток. Шестивалентный уран такими свойствами не обладает (Вредные химические вещества, 1990).

Анализ имеющейся доступной информации по содержанию урана в ОТЧ показывает, что уровень его содержания колеблется от 0,00052 (красный костный мозг) до 0,0319 (надпочечники) мг/кг (Моисеев А.А., Иванов В.И., 1984). Имеются данные о содержании урана в головном мозге на уровне 0,0001 мг/кг, а волосах людей 0,13 мг/кг (Новиков Ю.В., 1974). При пересчете с активности (мБк/кг) была получена информация о том, что содержание урана колеблется от 0,0004 (в красном костном мозге, щитовидной железе, почках) до 0,0163 (костях) мг/кг (Моисеев А.А., Иванов В.И., 1984; Эмсли Дж., 1993), по данным (Моисеев А.А., Иванов В.И., 1984) в костях содержится урана 0,0026–0,06 мг/кг. По данным (Эмсли Дж., 1993) в мышечной ткани содержится 0,0009 мг/кг, костной ткани – от

0,000016 до 0,07 мг/кг, крови – 0,0005 мг/л. Из иностранных данных (George A. Welford, Ruth Baird, 1967; Hoffman J., 1942, 1943) имеются представления о накоплении урана в печени и селезенке примерно 0,01 мг/кг, наименьшие содержания отмечаются в головном мозге 0,0003 мг/кг (зола). В теле человека содержится 100÷125 мкг урана, из которых 70 мкг депонировано в скелете («Человек...», 1977). Эти величины широко варьируют и, по-видимому, отражают содержания урана в воде, воздухе, пище. Вклад питьевой воды в суммарное поступление урана человеку незначителен (Василенко О.Н., 2004). Суточное поступление с пищей оценивается в  $1,9 \cdot 10^{-6}$  г и с воздухом –  $7 \cdot 10^{-9}$  г. Выводится уран из организма с мочой и калом в количестве  $0,5 \div 5 \cdot 10^{-7}$  и  $1,4 \div 1,8 \cdot 10^{-6}$  г соответственно (Вредные химические вещества, 1990; Моисеев А.А., Иванов В.И., 1984; Ярмоненко С.П., Вайнсон А.А., 2004). В районах с нормальным естественным радиационным фоном годовое поступление урана оценивается в 4,5 мкг (Моисеев А.А., Иванов В.И., 1984).

Существует мнение, что U необходим для нормальной жизнедеятельности животных и растений, однако его физиологические функции до конца не выяснены (Василенко О.Н., 2004).

В таблице 6.2 показаны имеющиеся на сегодняшний день справочные данные и результаты наших исследований по содержанию урана и тория в органах и тканях человека. В таблицу сведены данные, полученные разными аналитическими методами из разных регионов и могут рассматриваться не более, чем оценочные.

Весьма интересными являются данные по накоплению продукта распада урана – радия в костях человека. Средняя удельная концентрация  $^{226}\text{Ra}$  в костной золе колеблется от  $4 \cdot 10^{-3}$  пкюри/г (Чили, Япония, 1959) до  $1340 \cdot 10^{-3}$  пкюри/г (в одном из городов Средней Азии, 1965) (Моисеев А.А., Иванов В.И., 1984). Активность радия в костях человека отражает наличие в местах его проживания специализированных на уран геологических формаций (фосфориты, высокорadioактивные граниты и т.д.), так и наличие месторождений радиоактивного сырья и производств по его переработке.

Величина значений в содержании урана может колебаться в пределах 2–3-х порядков. Повышенная концентрация урана в костях человека от 0,0081 до 0,036 мг/кг золы отмечается в районах испытания ядерного оружия (External doses of residents near Semipalatinsk nuclear test site., 1999).

По результатам исследования (Рихванов Л.П., Барановская Н.В., Игнатова Т.Н., 2006) установлено, что содержание урана в органах и тканях людей приближается к его содержанию в морской воде и значительно ниже его геохимического кларка ноосферы по Глазовским (1982).

Полученные данные по Томскому району показывают, что концентрация U в органах и тканях человека колеблется от 0,00018 (молочная железа) до 0,0031 мг/кг (трахея) (рис. 6.1). Согласно справочным данным, приведенным на рис. 6.1 максимальные содержания урана фиксируются в поджелудочной железе и надпочечнике, но в результатах, представленных в данной работе, картина наблюдает-

Таблица 6.2

Сравнительный анализ содержания U и Th в различных ОТЧ (мг/кг сырой массы)

1	2	Источники информации									
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Органы и ткани	Элементы	Справочные данные «Человек...», 1977»	Справочные данные (Новиков Ю.В., 1974)	Справочные данные (Моисеев А.А., 1984)	Справочные данные (Эмсли Дж, 1993)	George A. Welford, 1967	Московская область (Моисеев А.А., 1984)	Томский район (наши данные)	Западно-Сибирский регион (зола) (наши данные)		Южный регион (зола) (наши данные)
Организм человека	U	0,0013			0,09				1,5	0,28	1,9
	Th								0,1	0,13	1,3
Волос	U		0,13					0,16*			
	Th							0,07*			
Язык	U							0,0008			
	Th							0,0006			
Пищевод	U							0,0037			
	Th							0,00076			
Желудок	U						0,00003	0,0011			
	Th							0,0024			
12-перстная кишка	U							0,0017			
	Th							0,00012			
Тонкий кишечник	U						0,00003	0,00054			
	Th							0,0004			
Печень	U		0,006				0,0001	0,0015			
	Th			0,0005				0,0024			
Поджелудочная железа	U	0,07					0,00009	0,0018			
	Th							0,0022			
Толстый кишечник	U						0,00002	0,0010			
	Th							0,00015			
Полая вена	U							0,0015			
	Th							0,00067			
Сердце	U	0,013					0,00004	0,0019			
	Th							0,00008			
Аорта	U						0,00002	0,00137			
	Th							0,00018			

Продолжение табл. 6.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Кровь	U	0,0015	0,004		0,0005			0,11**
	Th				0,0002			0,013**
Эритроциты	U	0,004						
	Th							
Селезенка	U		0,005				0,00005	0,0019
	Th							0,0028
Трахея	U							0,0031
	Th							0,0039
Бронхи	U						0,00007	0,0025
	Th							0,0046
Паренхима + капиллярная кровь и бронхи	U	0,0006						
	Th							
Легкие	U		0,006–0,009	0,0048		0,0007–0,003	0,00005	0,0017
	Th			0,0049				0,0021
Щитовидная железа	U			0,0004			0,00004	0,0012 (0,014*** 0,018****)
	Th			0,00004				0,00073 (0,004*** 0,0012****)
Надпочечник	U	0,03					0,00005	0,0027
	Th							0,0035
Мочевой пузырь	U						0,000026	0,0006
	Th							0,0004
Почка	U		0,005	0,0004			0,00005	0,002
	Th			0,00074				0,002
Моча	U	0,0052				0,00004–0,00018		0,18*****
	Th							0,07*****
Головной мозг	U		0,0001				0,00014	0,0008
	Th							0,0019
Костная ткань	U			0,0163	0,000016–0,07			
	Th			0,0014–0,0059	0,002–0,012			
Красный костный мозг	U	0,0005	0,001	0,0004				
	Th			0,00004				

Окончание табл. 6.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Кожа	U						0,00002	0,003
	Th							0,0009
Скелетная мускулатура	U		0,001	0,00016	0,0009	0,020 (з)	0,000065	0,0012
	Th							0,0024
Все мягкие ткани	U	0,0005						
	Th							
Жировая ткань	U	0,0006						0,00058
	Th							0,003
Молочная железа	U							0,00018
	Th			0,00004				0,0002
Грудное молоко	U							0,097*****
	Th							0,033*****
Предстательная железа	U	0,009						
	Th							
Семенники	U	0,0015						
	Th							
Матка	U							0,0014
	Th							0,0002
Яичник	U							0,0012
	Th							0,004

\* данные по выборке из 515 проб; \*\* данные по выборке из 249 проб; \*\*\* данные по выборке патологически измененной щитовидной железы из 106 проб; \*\*\*\* данные по выборке щитовидной железы без патологии из 11 проб; \*\*\*\*\* данные по выборке из 64 проб (молока и мочи); 10 – данные по г. Новосибирску; 11 – г. Новокузнецке.

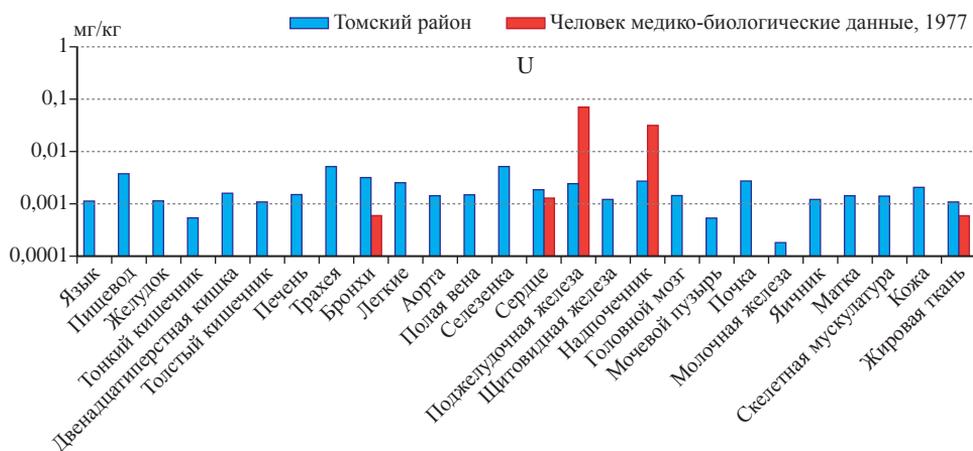


Рис. 6.1. Распределение урана по органам и тканям (мг/кг сырой массы) жителей Томского района

ся иная – у жителей Томского района максимальные содержания фиксируются в трахее и селезенке.

При сравнительном анализе содержания урана в органах мужчины и женщины видно (рис. 6.1), что максимальное содержание отмечается в коже мужчины (0,0057 мг/кг) и пищеводе женщины (0,0037 мг/кг), а минимальные его значения, определяемые на уровне пределов обнаружения используемых методов анализов, отмечаются в мужской жировой ткани (0,00008 мг/кг), женской коже (0,0002 мг/кг) (рис. 6.2) и молочной железе (0,00018 мг/кг) (рис. 6.1).

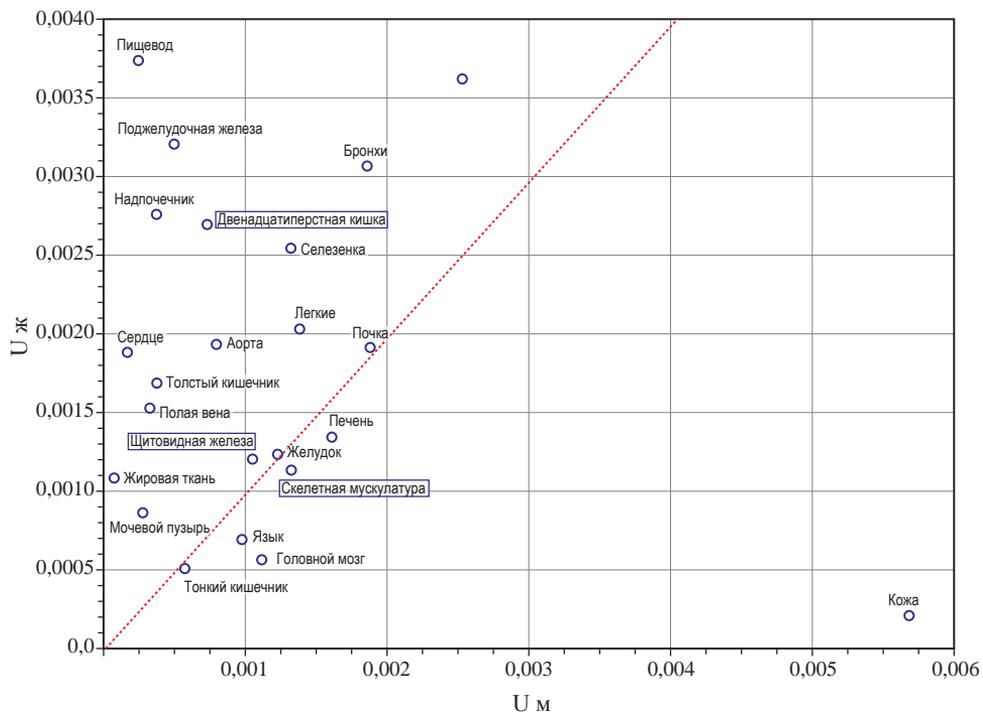


Рис. 6.2. Сравнение распределения урана по органам и тканям в организме мужчины и женщины (мг/кг сырой массы)

Обращают на себя внимание, что пищевод, поджелудочная железа, трахея и бронхи женщин содержат урана на уровне 0,003–0,004 мг/кг живой массы, тогда как аналогичные органы мужчин содержат его меньше (рис. 6.2). Такие органы и ткани человека как тонкий кишечник, щитовидная железа, почки, скелетная мускулатура содержат уран в примерно одинаковых количествах как у мужчины, так и женщины (на уровне 0,001–0,002 мг/кг) (рис. 6.2).

В сравнении со справочными полученные данные находятся в близком соответствии и приблизительно идентичные (табл. 6.2).

Сравнительный анализ накопления урана в органах и тканях человека Томского региона с аналогичными по жителям г. Москвы и Московской области

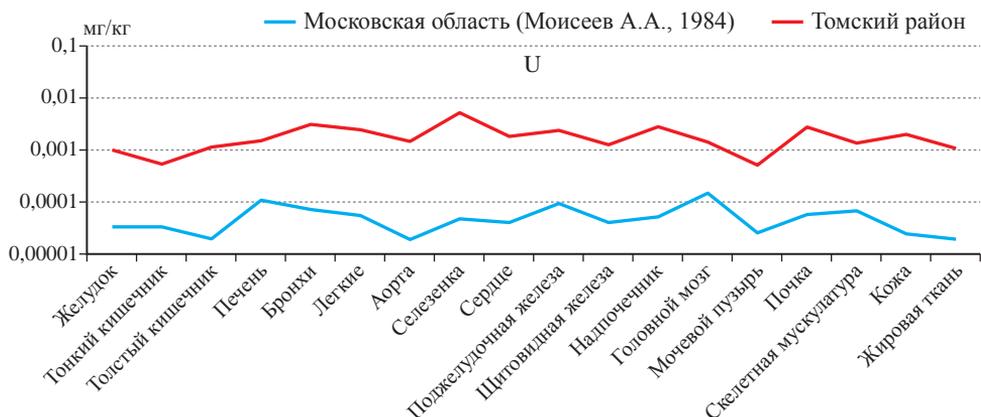


Рис. 6.3. Уровни содержания урана в ОТЧ жителей разных регионов

(Моисеев А.А., Иванов В.И., 1984) показывает, что количество урана у сибиряков практически выше на порядок, чем у жителей Центрального района России (рис. 6.3).

Объяснить повышенное содержание урана в органах и тканях жителей Томского региона, вероятно, можно, рассмотрев геохимическую специфику Томской области, на территории которой располагаются крупные промышленные предприятия (ЯТЦ), а также наличием на территории области месторождений ураноносных бурых углей, титан-циркониевых россыпей и ряда других источников (Рихванов Л.П., 1997). Все эти факторы могут оказывать влияние на непосредственное поступление элементов в организм человека.

Достаточно низкое содержание урана (менее 0,001 мг/кг) отмечается в органах пищеварительной системы (тонкий кишечник, язык), головном мозге (барьерный орган) и мочевом пузыре. Однако, как видно из рис. 6.2, есть органы, в которых содержание элемента выше 0,001 мг/кг. К ним относятся печень, сердце, селезенка, легкие и почки, которые выполняют функции хранения и являются своеобразными биогеохимическими барьерами.

Торий (Th) ( $5f^0 6d^2 7s^2$ ) – радиоактивный *fd*-металл из группы Ac, в Периодической системе расположен в 7-м периоде в IV группе вместе с Ti, Zr, Hf и лантаноидами. При совместном рассмотрении с лантаноидами является гомологом Ce, по диагонали соседствует с La, Gd, Lu, по горизонтали – с Ac, Ra и Pa, U. Ко всем этим металлам он более или менее близок по химическим свойствам. По химическим свойствам он довольно близок к РЗЭ, особенно к Ce. Оба проявляют наиболее устойчивую в природе валентность ( $\text{Th}^{4+}$ ,  $\text{Ce}^{4+}$ ), но по сравнению с Ce торий образует более устойчивые комплексные соединения. Многие соли Th (галогениды, кроме F, сульфаты) растворимы в  $\text{H}_2\text{O}$  и разбавленных кислотах. Не растворимы фосфаты, хроматы, молибдаты, оксикарбонат, оксалат и сульфит. Характерно образование многочисленных комплексных соединений  $\text{Th}^{4+}$ , в том числе растворимых (карбонатные и другие комплексы) (Арбузов, Рихванов, 2009).

Стандартный потенциал восстановления  $E^0(\text{В}): \text{Th}^{4+} \Rightarrow \text{Th}^0 = -1,83$  (кислый раствор);  $\text{ThO}_2 \Rightarrow \text{Th}^0 = -2,56$  (щелочной раствор) и окисления  $\text{Th}(\text{тв.}) \Rightarrow \text{Th}(\text{ОН})_4(\text{тв.}) = -2,48$ . Произведение растворимости  $\text{Th}(\text{ОН})_4 = 10^{-39} - 10^{-42}$ , осаждается раствор при  $\text{pH} > 3,5$ . В присутствии карбонатов щелочных металлов и солей органических кислот образует растворимые комплексы (Титаева, 1991). При  $\text{pH} > 3,5$  микроконцентрации тория образуют в растворе коллоидный  $\text{Th}(\text{ОН})_4$ . Процесс гидролиза  $\text{Th}^{4+}$  носит сложный характер, предполагает наличие, кроме  $\text{Th}(\text{ОН})_4$ , и других форм:  $\text{Th}(\text{ОН})^{3+}$ ,  $\text{Th}_2(\text{ОН})_2^{6-}$  и др.

Торий постоянно присутствует в тканях растений, животных и человека. Так, например, коэффициент накопления тория (отношение его концентрации в организме к концентрации в окружающей среде) в морском планктоне – 1250, в донных водорослях – 10, в мягких тканях беспозвоночных – 50–300, рыб – 100. В пресноводных моллюсках его концентрация колеблется от  $3 \cdot 10^{-7}$  до  $1 \cdot 10^{-5}\%$ , в морских животных от  $3 \cdot 10^{-7}$  до  $3 \cdot 10^{-6}\%$ . Экспериментально установлено, что в организме человека торий поглощается главным образом печенью и селезёнкой, а также костным мозгом, лимфатическими железами и надпочечниками; плохо всасывается из желудочно-кишечного тракта. При пересчете имеющихся данных (Моисеев А.А., Иванов В.И., 1984) с активности тория (мБк/г) в его весовые концентрации в ОТЧ намечается следующий их ряд по величине накопления: от 0,000037 (в молочной железе, красном костном мозге, щитовидной железе) до 0,0049 (легкие) – 0,0059 (кости) мг/кг. В костной ткани от 0,002 до 0,012 мг/кг (Эмсли Дж., 1993), общее содержание в костной золе – 30 мкг (Иванов В.В., 1997), по другим данным 0,006–0,019 мг/кг (Моисеев А.А., Иванов В.И., 1984), а в крови 0,0005–0,002 мг/л (Иванов В.В., 1997), по другим данным 0,00016 мг/л (Эмсли Дж., 1993), в легких 0,0001 мг/кг (ж.в) (Иванов В.В., 1997). У человека суточное поступление тория с продуктами питания и водой составляет 3 мкг (Моисеев А.А., Иванов В.И., 1984), по другим данным поступление тория в организм в течение суток составляет от 0,05 до 4 мг (Вредные химические вещества, 1990); выводится из организма с мочой и калом (0,1 и 2,9 мкг соответственно) (Вредные химические вещества, 1990; Моисеев А.А., Иванов В.И., 1984). По данным Дж.Эмсли (Эмсли Дж., 1993) поступление тория с пищей находится в пределах от 0,00005 до 0,003 мг. Торий – малотоксичен, однако как природный радиоактивный элемент вносит свой вклад в естественный фон облучения организмов (Моисеев А.А., Иванов В.И., 1984). Результаты исследования тория в ОТЧ жителей Томского региона приведены на рис. 6.4.

Минимальное содержание тория 0,000036 мг/кг зафиксированы в коже женщины и 0,000011 мг/кг в сердце мужчины, а максимальное в жировой ткани женщины 0,006 мг/кг и 0,015 мг/кг коже мужчины (рис. 6.5).

Самые наименьшие содержания (менее 0,0001 мг/кг) сосредоточены в органах пищеварительной, кровяной и лимфообращения, мочевой системах.

Распределение тория по организму весьма различается. На рис. 6.5 видно, что повышенное содержание тория отмечается в органах мужчины на уровне от

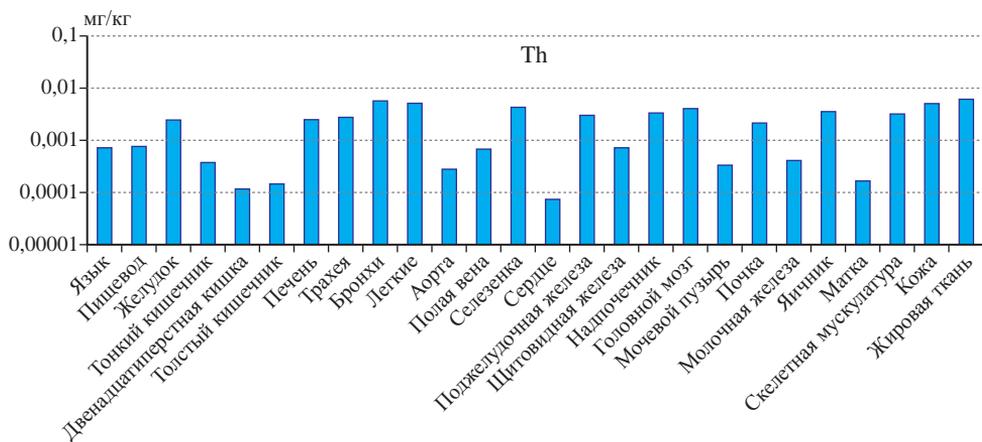


Рис. 6.4. Распределение тория по органам и тканям (мг/кг сырой массы) жителей Томского района

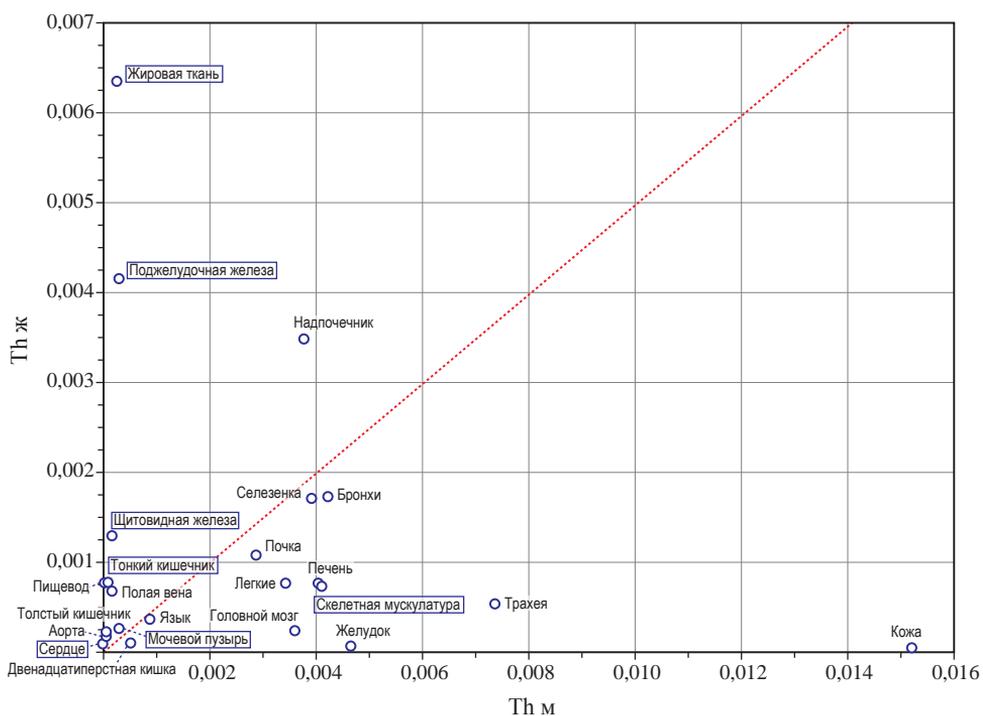


Рис. 6.5. Сравнение распределения тория по органам и тканям в организме мужчины и женщины (мг/кг сырой массы)

0,001 до 0,01 мг/кг. Повышенные его содержания фиксируются в органах женщины: жировая ткань, яичники, поджелудочная железа, надпочечники.

Анализируя полученные данные (рис. 6.5) по содержанию тория в ОТЧ, можно говорить о таких тенденциях, как, например, о более высоком содержании тория в мужских органах: желудке, печени селезенке, бронхах, легких, почках, головном мозге, скелетной мускулатуре по сравнению с женскими. Тогда как в женских аналогичных органах его концентрации значительно ниже, причем на уровне от 0,0001 до 0,001 мг/кг. Можно отметить только женскую поджелудочную железу, содержание тория в которой составляет 0,00415 мг/кг, а в мужской – 0,00033 мг/кг.

Особенности такого распределения тория в ОТЧ, вероятно, можно объяснить с точки зрения химических процессов, протекающих в организме. Распределение данного радионуклида в организме непосредственно зависит и от пути его поступления (Вредные химические вещества, 1990). Значительное увеличение содержания тория в организме мужчины также может свидетельствовать о том, что он, по-видимому, имел контакт с источниками поступления этого элемента, возможно как активный курильщик. Необходимо отметить, что на территории Томского района имеется 2 достаточно крупных месторождения циркон-ильменитовых песков, богатых торием (Циркон-ильменитовые россыпные месторождения..., 2001). Весьма широкий разброс в содержании тория в желудке у мужчины (0,00 мг/кг) и женщины (0,00007 мг/кг) свидетельствует, вероятно, о биохимических особенностях организма человека. В нем происходит реакция гидролиза. Соли тория гидролизуются в кислой среде. Соли тория переходят в нерастворимые гидроокиси при pH, равном 3,5 (Балабуха В.С., Фрадкин Г.Е., 1958). Растворимость гидроокисей тория весьма мала. Содержание Th в желудке у мужчины на 2 порядка выше, чем у женщины. В экспериментах на животных показано (Вредные химические вещества, 1990), что при пероральном введении растворимых соединений радионуклида до 75% его количества находилось в костной ткани, в то время как в других органах оно не превышало 2%. Это, по-видимому, связано именно с высокой гидролизуемостью солей тория в кислой среде желудка и низкой всасываемостью их из ЖКТ. В результате реакции гидролиза торий находится в биосредах в виде радиоколлоида и свободных катионов.

Радиоколлоиды, образующиеся в биосредах, подвергаются фагоцитозу. Вследствие этого происходит накопление тория в органах, богатых ретикуло-эндотелиальными клетками (селезенка и печень) (Балабуха В.С., Фрадкин Г.Е., 1958; Балабуха В.С. и др., 1962). Повышенное содержание тория в селезенке и печени отмечается также именно у мужчины (рис. 6.5). В организме мужчины отмечается повышенное содержание тория по ряду органов, в том числе и органам системы дыхания (легких), что находит подтверждение и в литературных данных (Вредные химические вещества, 1990). Нерастворимые соединения тория могут длительное время задерживаться в легких. В организме срабатывает защитная функция, которую выполняют органы ретикуло-эндотелиальной системы, в этой системе задерживается и накапливается торий.

Свободные радиоактивные катионы могут вступать в реакцию химического взаимодействия с белками. Торий дает с белком прочные трудно диссоциирующие соединения, таким образом, здесь можно с точностью утверждать, что данный элемент в обменные реакции организма не может вступать из-за плохой растворимости соединения, он осаждается на органах (Балабуха В.С., Фрадкин Г.Е., 1958). Таким образом, следует, что благодаря реакции соединения свободного радиоактивного катиона тория с белком, торий сохраняется и аккумулируется преимущественно в скелете человека, а также, исходя из наших исследований, можно предположить, что повышенное содержание тория в жировой ткани женщины свидетельствует о том, что, вероятно, произошла биохимическая реакция взаимодействия с липидами.

Таким образом, результаты наших исследований косвенно могут свидетельствовать о том, что в организм мужчины данный элемент поступал в большей степени с вдыхаемым воздухом, наряду с пищеварительной системой в то время, как для женщины более вероятно поступление только через ЖКТ. Высокие концентрации в жировой ткани подтверждают наше предположение о преимущественном поступлении тория через ЖКТ с дальнейшим связыванием в прочные комплексы с органическими структурами.

Торий-урановое отношения в ОТЧ колеблется от 0,03 в сердце до 5,85 в жировой ткани, что достаточно хорошо видно на диаграмме (рис. 6.6).

Из анализа рис. 6.6–6.8 следует, что по величине Th/U отношения выделяют-

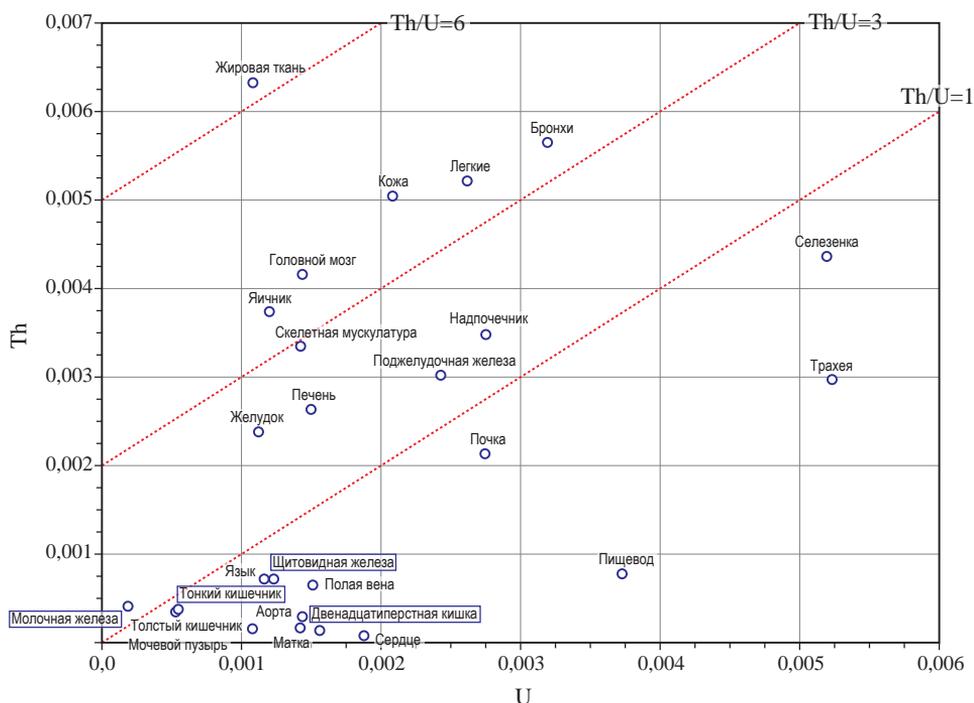


Рис. 6.6. Торий-урановое отношение в органах и тканях человека

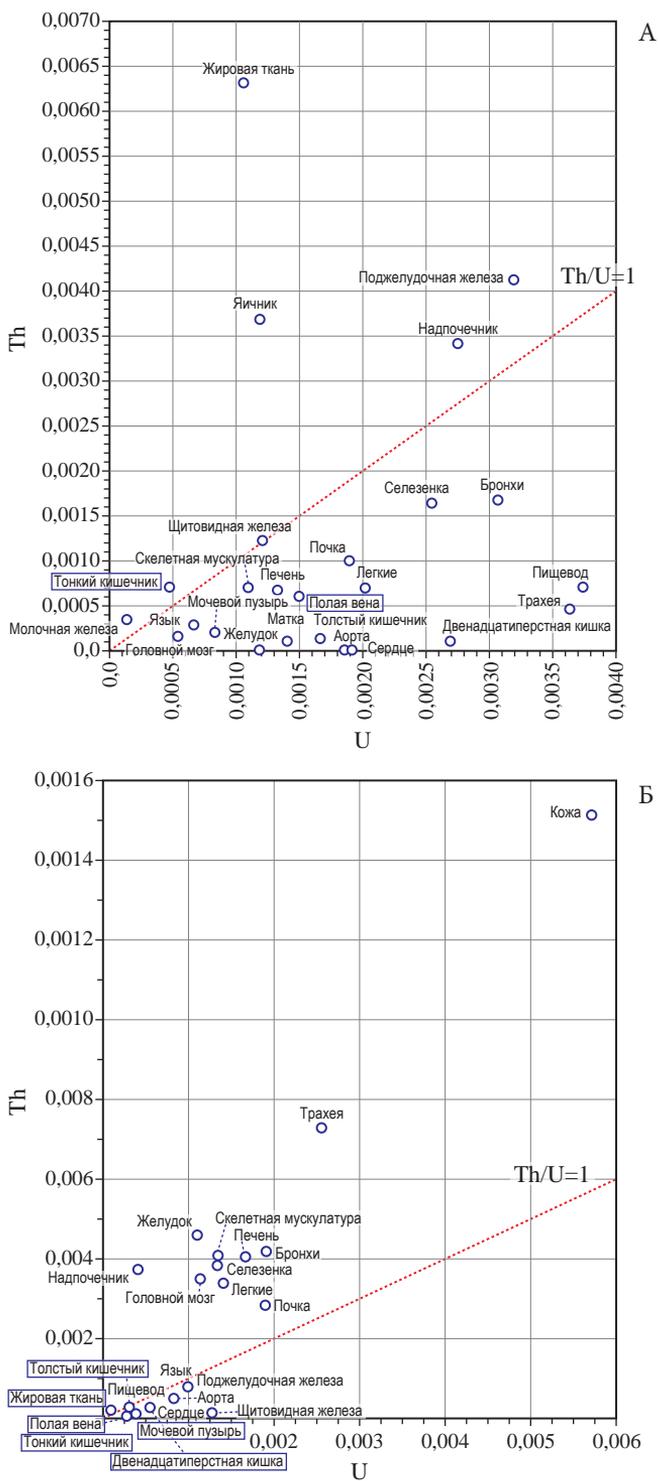


Рис. 6.7. Торий-урановое отношение в органах и тканях человека: А (женщины); Б (мужчины)

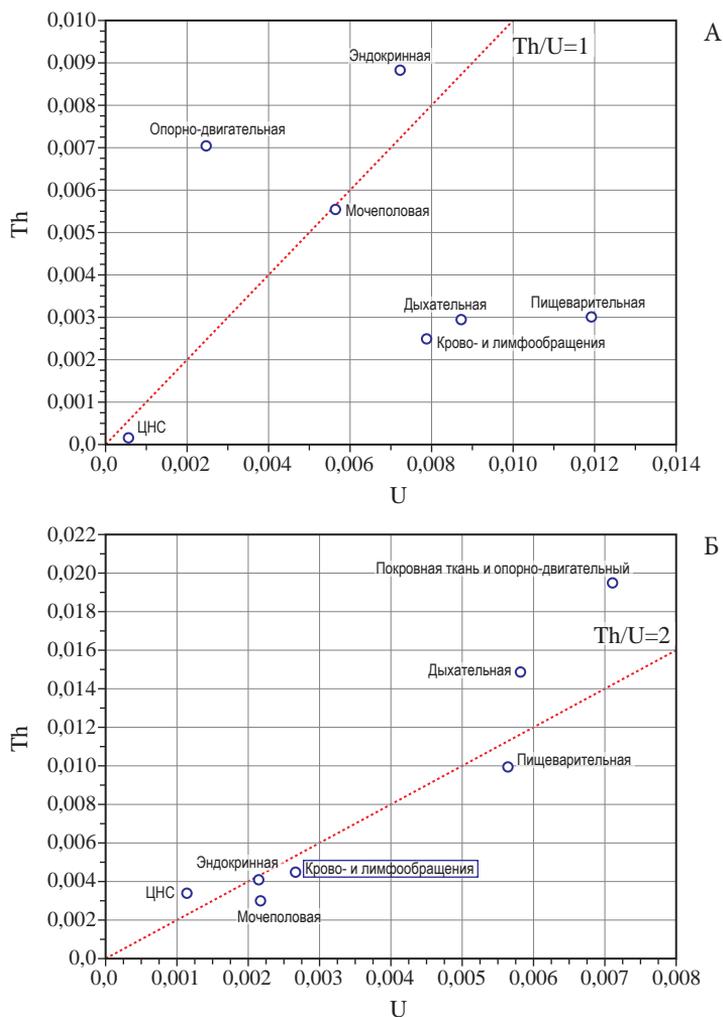


Рис. 6.8. Торий-урановое отношение в системах органов человека: А (женщины); Б (мужчины)

ся группы ОТЧ с преобладанием U ( $Th/U < 1$ ), самый наименьший коэффициент 0,039 рассчитан для сердца у женщины и 0,087 у мужчины в тонком кишечнике. В целом для женского организма при анализе имеющихся органов и тканей можно говорить о преобладании торий-урановых отношений ниже 1. Тогда как у мужчины в основном эти отношения выше 1. Как у мужчины, так и у женщины смешанная природа торий-урановых отношений ( $2,5 < Th/U < 5$ ) отмечается в следующих органах мужчины: желудок, печень, селезенка, трахея, бронхи, легкие, головной мозг, скелетная мускулатура, кожа; женщины – молочная железа, яичник. Наблюдается группа ОТЧ с преобладание тория над ураном, особенно ярким их представителем является жировая ткань женщины  $Th/U > 5$ .

Показатель  $Th/U < 1$  у женщины позволяет прийти к выводу о том, что это объясняется физиологическими особенностями человека и физико-химическим

условиям биосред. У женщины не срабатывает, по всей вероятности, механизм, который торий осаждает в органах пищеварительной системы, а срабатывает механизм, который связывает торий с жирами, белками, как мы отмечали выше, и тем самым торий аккумулируется в жировой ткани. Объяснения полученным результатам можно попытаться сделать, используя данные о возможных биохимических процессах, происходящих в ОТЧ.

Th/U во всех исследуемых системах ОТЧ у мужчины выше 1, когда как у женщины данный факт отмечается в: мочеполовой, эндокринной и покровной системе, опорно-двигательном аппарате (рис. 6.8).

На рис. 6.5 видна достаточно четкая взаимосвязь между U и Th в ОТЧ, но для организма мужчины и женщины она различная, так у женщины коэффициент корреляции составляет 0,18, тогда как у мужчины – 0,95. Следовательно, можно говорить о том, что у мужчины различий в распределении урана и тория нет, а у женщины такие различия существенны.

При попадании радиоактивных элементов в организм происходит ряд сложных процессов. Радиоактивные элементы преимущественно входят в состав комплексных соединений. Так, например, уран в значительной степени связывается в организме с водородно-карбонатными комплексами (Штреффер К., 1972). То, что в легких по нашим данным отмечается повышенное содержание урана, вероятно, можно объяснить еще и формой поступления, например, поступление его в труднорастворимой форме ( $U^{4+}$ ), обуславливающей его осаждение на легочных тканях. Повышенные содержания урана и тория в надпочечниках – основном гормональном органе человека, по-видимому, объясняется гормональной реакцией самого организма. На поведение тория и урана в организме оказывает влияние форма соединения, в составе которого он может находиться в организме. В связи с тем, что физико-химические условия в различных биологических средах неодинаковы, формы соединения также могут быть различными. Кислая среда организма человека способствует увеличению концентрации тория.

Значительное количество органов, имеющих существенно ториевое накопление объясняется тем, что он значительно более труднорастворим, а в живом организме условия для адсорбции и осаждения особенно благоприятны (большая поверхность молекул белка и других соединений). Способность микроколичеств радиоактивных элементов к адсорбции неодинакова и зависит от степени растворимости их соединений. Чем лучше растворимость, тем меньше склонность к адсорбции, и наоборот (Балабуха В.С., Фрадкин Г.Е., 1958). Произведение растворимости  $(Th(OH)_4) = 1,0 \cdot 10^{-50}$ , растворимость  $Th(OH)_4 = 9 \cdot 10^{-6}$  мг/л. Это значение достаточно низкое, поэтому данное соединение считается труднорастворимым соединением, растворимость крайне незначительна, что должно приводить, в сочетании со свойством солей тория гидролизироваться даже при кислом pH, к значительному насыщению тканей организма радиоколлоидными частицами. Эта закономерность позволяет понять, почему одни радиоактивные элементы быстро выводятся из организма, а другие надолго задерживаются в нем (Балабуха В.С., Фрадкин Г.Е., 1958).

Организм человека – это весьма сложная биогеохимическая система, в которой существуют свои законы миграции, накопления и распределения, некоторые из них совпадают с законами геохимии, но, несмотря на многообразие минералов в геологической науке, в организме существуют еще более сложные образования и некоторым из них до сих пор не нашли объяснения. В целом, наличие в организме буферных систем, минеральных депо и других приспособлений обеспечивает при регулирующей роли нервных механизмов постоянство физико-химических условий внутренней среды. Ряд физико-химических показателей биосреды – рН, минеральный состав, осмотическое давление – являются в организме жизненными константами, резкое изменение которых нарушает нормальный ход физиологических процессов. Ранее было отмечено, что основными радиочувствительными органами считаются печень, сердце, селезенка и почки. Как было показано нами в работе, именно печень и селезенка у мужчины захватывает торий и ретикуло-эндотелиальная система сохраняет его. Так как судьба радиоактивных элементов (урана, тория) зависит от биохимических особенностей, физико-химических условий в биосредах, то при относительном постоянстве этих условий сохраняется и постоянство поведения радиоактивных элементов в организме.

## Очерк седьмой

# К ВОПРОСУ О СОЗДАНИИ БИОГЕОХИМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЧЕЛОВЕКА

---

Как нам представляется (Рихванов и др., 2006) 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 ( $K_k$ ) относительно содержания элемента в биологическом виде в целом, т.е. речь идет о выявлении основной депонирующей среды.

Если  $K_k > 1$ , следует говорить об органе или ткани – концентраторе, при  $K_k < 1$  – носителе.

Так, например, для йода органом – концентратором будет щитовидная железа ( $K_k > 1000$ ), для кобальта – жировая ткань, подкожная клетчатка, скелет, соединительная ткань («Человек...», 1977).

В.И. Вернадский (1960) делал попытку выделять организмы по количеству накапливаемого им элемента относительно среднего валового состава ЖВ.

По этому показателю организмы он делил на четыре группы:

- организмы данного элемента;
- организмы, богатые ими;
- организмы обычные;
- организмы, бедные ими.

В табл. 7.1 представлены рассчитанные средневзвешенные содержания 56 химических элементов в организме мужчины и женщины (в расчетах учитывались органы и ткани, за исключением костной ткани).

Из анализа этой таблицы видно, что выделяется группа элементов, средневзвешенное содержание на 1 кг сырой массы среднего человека составляет более 100 мг. К ним относятся в порядке уменьшения содержания Na, P, Ca. Достаточно четко просматривается группа с содержанием десятков мг. Таковыми являются S, Fe, Zn, Al. В количестве более 1 мг на кг живой массы отмечаются Ti, Cu, Br.

По-видимому, именно эти 10 элементов важны для функционирования организма человека, которые вместе с главными структурообразующими элементами H, C, O составляют около 97% всей массы химических элементов.

Обращает на себя внимание на фоне других элементов, встречающихся в количествах 0,1–1 мг/кг, наличие в относительно повышенном количестве Cd

Таблица 7.1

Средневзвешенное содержание в организме мужчины и женщины (сырая масса, мг/кг)

№ п/п	эле-мент	мужчина	женщина	организм	№ п/п	эле-мент	мужчина	женщина	организм
1	Li	0,11	0,13	0,16	29	Ag	0,001	0,006	0,01
2	Be	0,0002	0,0003	0,0003	30	Cd	0,44	0,23	0,45
3	B	0,5	0,30	0,52	31	Sn	0,035	0,011	0,06
4	Na	252,4	699,4	<b>532,7</b>	32	Sb	0,001	0,002	0,003
5	Al	15,8	5,5	<b>12,8</b>	33	Cs	0,003	0,002	0,003
6	P	357,1	388,8	<b>456,8</b>	34	Ba	0,30	0,28	0,38
7	S	60,3	49,1	<b>65,4</b>	35	La	0,006	0,003	0,01
8	Ca	47,0	267,3	<b>171,5</b>	36	Ce	0,013	0,005	0,01
9	Sc	0,005	0,001	0,001	37	Pr	0,001	0,001	0,001
10	Ti	1,9	0,79	<b>1,8</b>	38	Nd	0,005	0,002	0,004
11	V	0,10	0,007	0,01	39	Sm	0,001	0,0003	0,001
12	Cr	0,12	0,07	0,13	40	Eu	0,0002	0,0001	0,0002
13	Mn	0,5	0,6	0,67	41	Gd	0,001	0,001	0,001
14	Fe	100,3	31,1	<b>47,4</b>	42	Tb	0,0001	0,0001	0,0001
15	Co	0,009	0,010	0,01	43	Dy	0,001	0,0004	0,001
16	Ni	0,06	0,033	0,06	44	Ho	0,0001	0,0001	0,0001
17	Cu	0,72	1,06	<b>1,07</b>	45	Er	0,001	0,0002	0,001
18	Zn	22,0	30,1	<b>30,7</b>	46	Tm	0,00003	0,00003	0,00004
19	Ga	0,016	0,012	0,02	47	Yb	0,0004	0,0002	0,0004
20	Ge	0,001	0,001	0,001	48	Lu	0,0001	0,00003	0,00005
21	Se	0,17	0,039	0,02	49	Hf	0,003	0,001	0,002
22	Br	0,39	1,4	<b>1,03</b>	50	W	0,060	0,039	0,07
23	Rb	0,60	0,8	0,83	51	Au	0,0001	0,0003	0,0002
24	Sr	0,58	0,8	0,84	52	Hg	0,007	0,007	0,01
25	Y	0,003	0,002	0,003	53	Pb	0,038	0,020	0,04
26	Zr	0,10	0,050	0,10	54	Bi	0,001	0,002	0,002
27	Nb	0,007	0,001	0,01	55	Th	0,003	0,002	0,004
28	Mo	0,018	0,031	0,03	56	U	0,001	0,001	0,001

(0,23–0,44 мг/кг), природа которого в организме человека, по данным исследования только жителей Томского региона, трудно объяснима. При этом отмечается, что максимальное его концентрирование происходит в почках, в которых его содержание в 22,5 раза выше, чем в целом по организму человека, и на порядок выше, чем в печени и щитовидной железе.

Анализ табл. 7.2, свидетельствует о том, что концентрирование элементов происходит во всех 26 исследованных органах и тканях человека. Для удобства

Таблица 7.2

**Количество элементов концентрирующихся в органах и тканях человека – жителя Томского района**

№ п/п	Органы и ткани	Общее количество элементов с коэффициентом > 1	Количество элементов с коэффициентами 1–2	Количество элементов с коэффициентами 2–5	Количество элементов с коэффициентами 5–10	Количество элементов с коэффициентом > 10
1	Язык	15	15	–	–	–
2	Пищевод	26	15	9	2	–
3	Желудок	10	9	1	–	–
4	Тонкий кишечник	2	2	–	–	–
5	Двенадцатиперстная кишка	23	18	5	–	–
6	Толстый кишечник	6	5	1	–	–
7	Печень	32	23	8	–	1
8	Трахея	51	19	24	6	2
9	Бронхи	44	10	27	6	1
10	Легкие	46	21	21	3	1
11	Аорта	18	10	6	1	1
12	Полая вена	13	11	2	–	–
13	Селезенка	45	12	27	5	1
14	Сердце	17	10	5	1	1
15	Поджелудочная железа	33	28	5	–	1
16	Щитовидная железа	25	13	11	1	–
17	Надпочечники	28	14	14	–	–
18	Головной мозг	35	30	5	–	–
19	Мочевой пузырь	3	2	–	–	1
20	Почки	24	17	6	–	1
21	Молочная железа	1	1	–	–	–
22	Яичники	20	18	2	–	–
23	Матка	18	15	3	–	–
24	Скелетная мускулатура	22	22	–	–	–
25	Кожа	32	16	16	–	–
26	Жировая ткань	12	9	3	–	–

анализа рассчитанные коэффициенты накопления относительно средневзвешенного содержания в организме элементов были разбиты на группы по количеству концентрирующихся элементов. Так, максимальные коэффициенты накопления ( $>10$ ) характерны для 10 органов, среди которых: печень, трахея, причем в трахее концентрируется 2 элемента (S, Cr), бронхи, легкие, аорта, селезенка, сердце, поджелудочная железа, мочевой пузырь и почки. Коэффициенты накопления от 5–10 отмечаются в 8 ОТЧ, коэффициенты от 2–5 – в 22 ОТЧ, а коэффициенты 1–2 – в 26 ОТЧ.

Анализ табл. 7.2 показывает, что для организма человека может быть получен последовательный ряд органов и тканей по количеству концентрирующихся в них элементов, содержание которых в 2 и более раза превышает их среднее содержание в организме в целом, т.е. коэффициент концентрации  $>2$ . Он выглядит следующим образом: бронхи, селезенка (27) – трахея (24) – легкие (21) – кожа (16) – надпочечники (14) – щитовидная железа (11) – пищевод (9) – печень (8) – почки, аорта (6) – сердце, поджелудочная железа, головной мозг, двенадцатиперстная кишка (5) – жировая ткань, матка (3) – полая вена, яичники (2) – желудок, толстый кишечник (1).

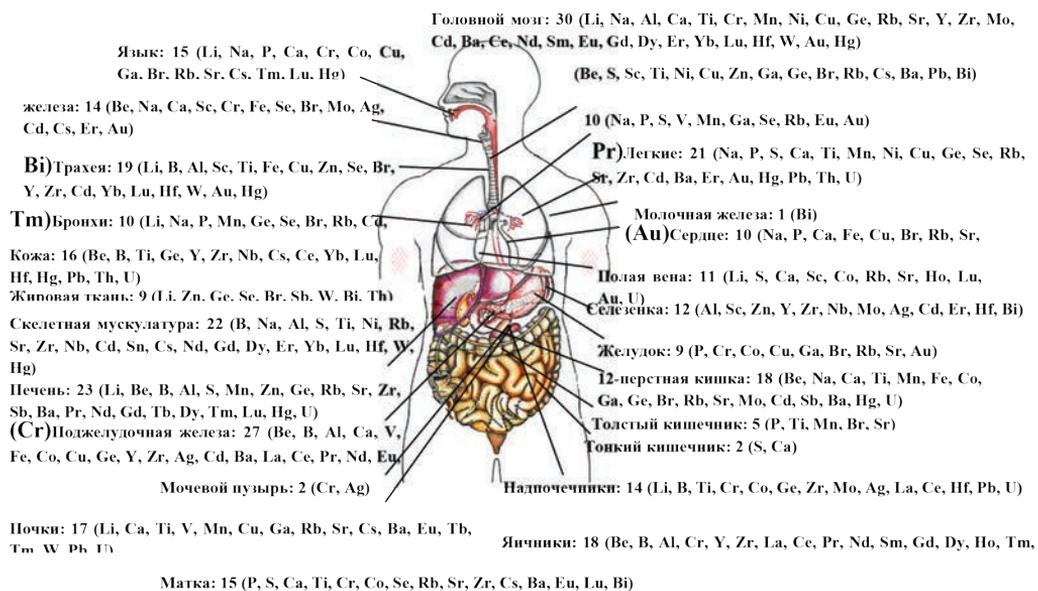
Есть группа органов и тканей, в которых не происходит накопление элементов или их накопление меньше, чем в два раза относительно организма в целом. К таковым из изученных 26 органов и тканей следует отнести скелетную мускулатуру, мочевой пузырь, тонкий кишечник и язык.

Исходя из полученных данных, вероятно, можно построить 4 биогеохимические модели человека – жителя Томского района (рис. 7.1). Модели построены по коэффициентам накопления элементов относительно их средневзвешенного содержания в организме человека.

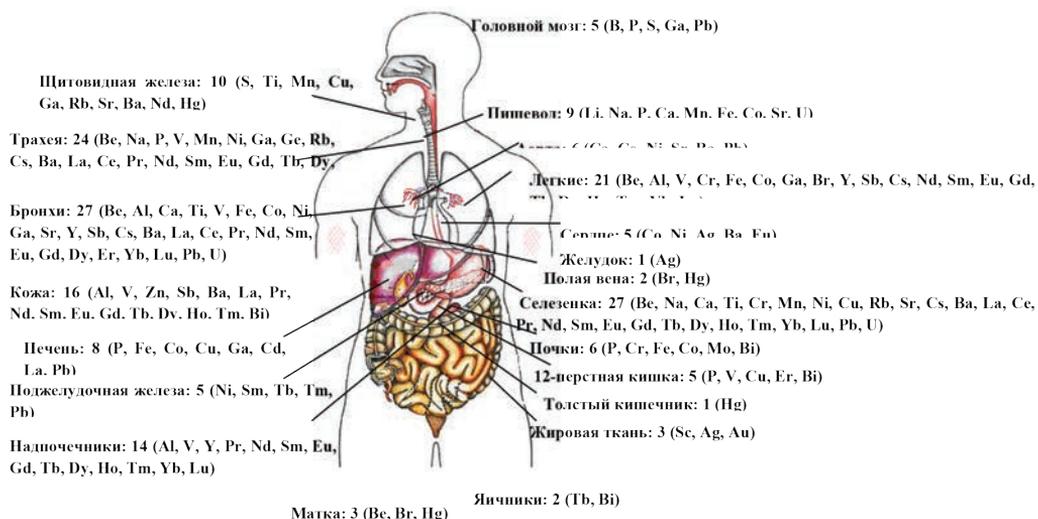
Построенные модели позволяют с одной стороны выделить органы-концентраторы, а с другой стороны, позволяют сделать вывод о том, что каждый орган концентрирует какой-либо элемент, на модели наглядно видно элементы, которые накапливаются. Например, выраженным органом-концентратором Au можно считать бронхи, Cr – поджелудочную железу, Cd – почки, S – трахею, Fe – селезенку, Mo – печень, Ag – аорту, Se – легкие.

В табл. 7.3 показаны органы-концентраторы каждого исследованного элемента, остальные органы являются для каждого элемента органами-носителями.

Анализ табл. 7.4 позволяет отметить неравномерность концентрирования элементов в органах и тканях человека. В большинстве случаев именно главные и второстепенные структурообразующие элементы концентрируются в большем количестве органов. Так, например, отмечается 10 органов-концентраторов фосфора с кларком концентрации  $>2$  из 26 исследуемых. Минимальным значением органов-концентраторов характеризуется олово – 1, т.е. это означает, Sn концентрируется только в скелетной мускулатуре ( $K_k = 1,5$ ), а остальные 25 органов являются носителями данного элемента. Анализ данных, представленных в табл. 7.4, позволяет определить для каждого элемента его орган-концентратор по максимальному значению коэффициента накопления.



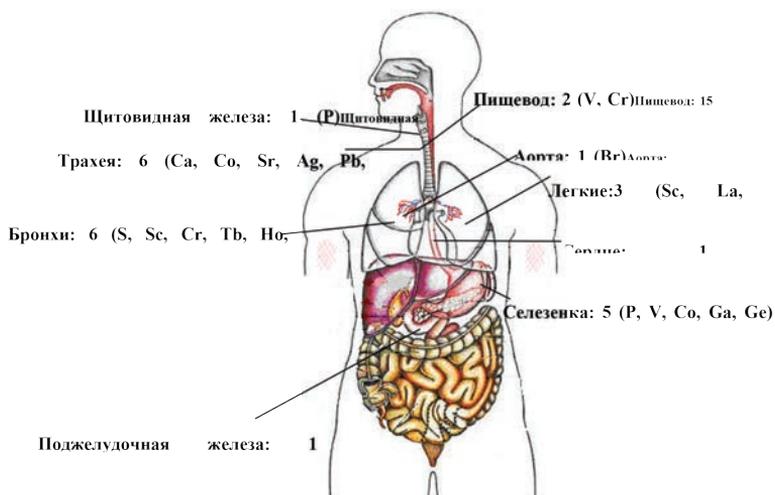
А. Коэффициенты накопления 1–2



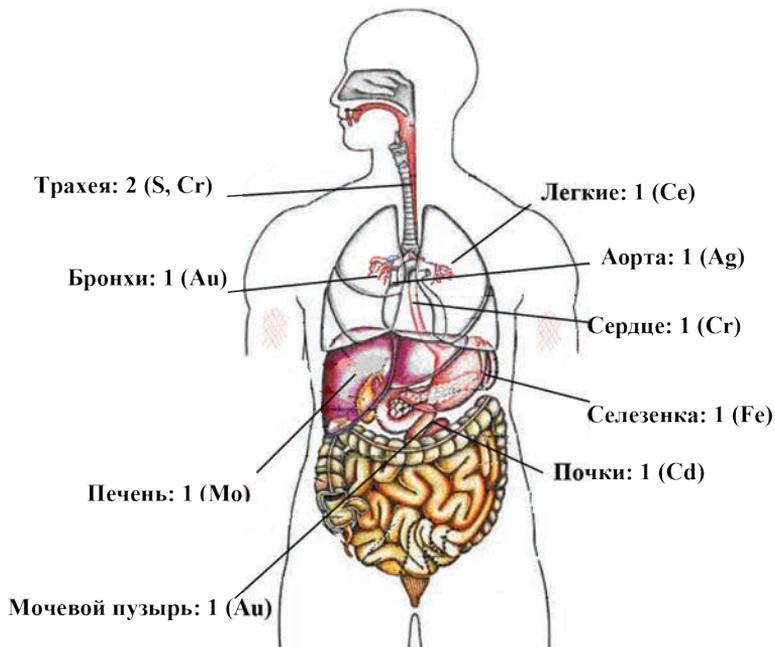
А. Коэффициенты накопления 2–5

Рис. 7.1. Биогеохимическая модель человека, построенная по коэффициентам накопления относительно средневзвешенного содержания

Продолжение рис. 7.1



А. Коэффициенты накопления 5–10



А. Коэффициенты накопления > 10

Таблица 7.3

## Коэффициенты концентрации исследуемых элементов в ОУЧ

№	Органы и ткани	Sr	Органы и ткани	P	Органы и ткани	Ca	Органы и ткани	Sr	Co	Органы и ткани	Rb
1	Язык	1,5	Язык	1,7	Язык	1,6	Язык	1,2	1,1	Язык	1,4
2	Пищевод	2,3	Пищевод	2,4	Пищевод	3,7	Пищевод	7,7	2,1	Пищевод	1,8
3	Желудок	1,2	Желудок	1,7	Тонкий кишечник	1,1	Желудок	1,3	1,3	Желудок	1,1
4	Двенадцатиперстная кишка	2,0	Двенадцатиперстная кишка	2,8	Двенадцатиперстная кишка	1,6	Трахея	16,3	1,5	Двенадцатиперстная кишка	1,9
5	Толстый кишечник	1,1	Толстый кишечник	1,1	Трахея	6,0	Бронхи	9,1	3,7	Трахея	1,1
6	Печень	1,3	Печень	2,7	Бронхи	2,4	Легкие	4,6	9,5	Бронхи	1,9
7	Трахея	6,2	Трахея	2,1	Легкие	1,1	Селезенка	4,4	3,3	Легкие	2,0
8	Бронхи	3,0	Бронхи	1,8	Аорта	3,6	Сердце	23,9	2,8	Аорта	1,3
9	Легкие	1,6	Легкие	2,0	Полая вена	1,4	Поджелудочная железа	27,9	2,2	Полая вена	1,1
10	Аорта	2,8	Аорта	1,7	Селезенка	2,9	Щитовидная железа	1,9	1,5	Селезенка	3,0
11	Полая вена	1,1	Селезенка	6,1	Сердце	1,3	Надпочечник	1,8	6,9	Сердце	1,1
12	Селезенка	3,3	Сердце	1,1	Поджелудочная железа	1,1	Головной мозг	1,1	4,4	Щитовидная железа	2,2
13	Сердце	1,1	Щитовидная железа	6,5	Щитовидная железа	1,3	Мочевой пузырь	1,1	1,4	Головной мозг	1,2
14	Щитовидная железа	3,0	Головной мозг	3,9	Головной мозг	1,2	Почки	4,4	1,9	Почки	1,4
15	Головной мозг	1,9	Почки	2,1	Почки	1,4	Яичники	1,4	2,3	Матка	1,1
16	Почки	1,7	Матка	1,2	Матка	1,6	Матка	1,5	1,3	Скелетная мускулатура	1,2
17	Матка	1,4									
18	Скелетная мускулатура	1,1									

Продолжение табл. 7.3

№	Органы и ткани	Ва	Органы и ткани	Ti	Органы и ткани	Bг	Органы и ткани	Mп	Органы и ткани	Су
1	Пищевод	1,4	Пищевод	1,3	Язык	1,2	Пищевод	2,4	Язык	1,7
2	Двенадцатиперстная кишка	1,5	Двенадцатиперстная кишка	1,1	Пищевод	1,6	Двенадцатиперстная кишка	1,8	Пищевод	1,6
3	Печень	1,1	Толстый кишечник	1,1	Желудок	1,1	Желудок		Желудок	1,2
4	Трахея	4,8	Трахея	1,9	Двенадцатиперстная кишка	1,7	Толстый кишечник	1,7	Двенадцатиперстная кишка	3,0
5	Бронхи	2,9	Бронхи	2,4	Толстый кишечник	1,2	Печень	1,8	Печень	4,2
6	Легкие	1,6	Легкие	1,5	Трахея	1,4	Трахея	3,1	Трахея	1,3
7	Аорта	2,5	Селезенка	4,6	Бронхи	1,9	Бронхи	1,7	Легкие	1,5
8	Селезенка	2,3	Щитовидная железа	2,9	Легкие	3,1	Легкие	1,1	Селезенка	2,4
9	Сердце	4,2	Надпочечники	1,5	Аорта	7,2	Аорта	1,1	Сердце	1,8
10	Поджелудочная железа	1,5	Головной мозг	1,7	Полая вена	4,3	Селезенка	4,1	Поджелудочная железа	1,4
11	Щитовидная железа	2,1	Почки	1,4	Сердце	1,7	Щитовидная железа	2,3	Щитовидная железа	4,6
12	Головной мозг	1,6	Матка	1,3	Щитовидная железа	1,1	Головной мозг	2,0	Головной мозг	1,7
13	Почки	1,3	Скелетная мускулатура	1,1	Матка	2,3	Почки	1,4	Почки	1,9
14	Матка	1,6	Кожа	1,3	Жировая ткань	1,2				
15	Кожа	3,9								

Продолжение табл. 7.3

№	Органы и ткани	Ga	Органы и ткани	Nd	Органы и ткани	Lu	Органы и ткани	U	Органы и ткани	Na	Органы и ткани	Be
1	Язык	1,4	Печень	1,3	Печень	1,1	Пищевод	2,7	Язык	1,2	Пищевод	1,1
2	Пищевод	1,7	Трахея	2,8	Трахея	2,0	Двенадцати-перстная кишка	1,1	Пищевод	2,4	Двенадцати-перстная кишка	1,1
3	Желудок	1,3	Бронхи	4,4	Бронхи	4,3	Печень	1,1	Двенадцати-перстная кишка	1,5	Печень	1,2
4	Двенадцати-перстная кишка	1,9			Легкие	3,1	Трахея	3,8	Трахея	2,5	Трахея	2,9
5	Печень	2,3	Легкие	4,6	Полая вена	1,1	Бронхи	2,3	Бронхи	1,6	Бронхи	4,1
6	Трахея	2,2	Селезенка	3,2	Селезенка	2,5	Легкие	1,9	Легкие	1,6	Легкие	3,1
7	Бронхи	2,2	Поджелудочная железа	1,7	Поджелудочная железа	1,6	Полая вена	1,1	Аорта	1,1	Селезенка	4,3
8	Легкие	2,3	Щитовидная железа	3,5	Надпочечники	3,0	Селезенка	3,7	Селезенка	2,8	Поджелудочная железа	1,4
9	Аорта	1,2	Надпочечники	2,3	Головной мозг	1,2	Сердце	1,4	Сердце	1,1	Щитовидная железа	1,7
10	Селезенка	6,2	Головной мозг	1,1	Яичники	1,5	Поджелудочная железа	1,7	Щитовидная железа	1,1	Яичники	1,1
11	Щитовидная железа	4,5	Яичник	1,8	Матка	1,1	Надпочечники	2,0	Головной мозг	1,3	Матка	2,1
12	Головной мозг	3,1	Скелетная мускулатура	1,1	Скелетная мускулатура	1,1	Почки	2,0	Скелетная мускулатура	1,1	Кожа	2,0
13	Почки	1,7	Кожа	2,1	Кожа	2,0	Кожа	1,5				

Продолжение табл. 7.3

№	Органы и ткани	S	Органы и ткани	Ge	Органы и ткани	Hg	Органы и ткани	Eu	Органы и ткани	Pb	Органы и ткани	Vi
1	Пищевод	1,6	Пищевод	1,6	Язык	1,7	Трахея	3,7	Пищевод	1,7	Пищевод	1,2
2	Тонкий кишечник	1,2	Двенадцатиперстная кишка	1,4	Двенадцатиперстная кишка	1,8	Бронхи	3,4	Печень	2,1	Двенадцатиперстная кишка	4,4
3	Печень	1,4	Печень	1,2	Толстый кишечник	2,2	Легкие	2,3	Трахея	5,7	Трахея	5,7
4	Трахея	22,0	Трахея	2,1	Печень	1,9	Аорта	1,7	Бронхи	3,2	Селезенка	2,0
5	Бронхи	7,0	Бронхи	1,5	Трахея	1,4	Селезенка	2,9	Легкие	1,1	Сердце	1,8
6	Легкие	1,5	Легкие	1,7	Легкие	1,4	Сердце	2,2	Аорта	3,4	Поджелудочная железа	1,7
7	Аорта	1,5	Селезенка	5,5	Полая вена	2,5	Поджелудочная железа	1,8	Селезенка	4,1	Почки	2,3
8	Полая вена	1,1	Поджелудочная железа	1,3	Щитовидная железа	2,9	Надпочечники	2,1	Поджелудочная железа	2,3	Молочная железа	1,1
9	Щитовидная железа	2,2	Надпочечники	1,6	Головной мозг	1,4	Головной мозг	1,4	Надпочечники	1,7	Яичники	3,7
10	Головной мозг	2,6	Головной мозг	1,2	Матка	4,3	Почки	1,1	Головной мозг	2,7	Матка	1,6
11	Матка	1,5	Кожа	1,6	Скелетная мускулатура	1,2	Матка	1,3	Почки	1,7	Кожа	2,3
12	Скелетная мускулатура	1,3	Жировая ткань	1,3	Кожа	1,2	Кожа	3,4	Кожа	1,5	Жировая ткань	1,9

Продолжение табл. 7.3

№	Органы и ткани	Al	Органы и ткани	V	Органы и ткани	Fe	Органы и ткани	Zr	Органы и ткани	Cd	Органы и ткани	Cs
1	Печень	1,1	Пищевод	6,9	Пищевод	2,5	Печень	1,2	Двенадцати-перстная кишка	1,3	Язык	1,4
2	Трахея	1,6	Двенадцати-перстная кишка	2,1	Двенадцати-перстная кишка	1,2	Трахея	1,7	Печень	2,5	Пищевод	1,4
3	Бронхи	3,4	Трахея	2,8	Печень	2,8	Легкие	1,1	Трахея	1,9	Трахея	3,0
4	Легкие	2,3	Бронхи	4,7	Трахея	1,7	Селезенка	1,3	Бронхи	1,3	Бронхи	2,8
5	Селезенка	1,3	Легкие	4,5	Бронхи	2,5	Поджелудочная железа	1,3	Легкие	1,1	Легкие	2,5
6	Поджелудочная железа	1,1	Аорта	1,2	Легкие	4,6	Надпочечники	1,1	Селезенка	1,5	Селезенка	4,3
7	Надпочечники	2,5	Селезенка	5,8	Селезенка	21,5	Головной мозг	2,0	Поджелудочная железа	1,1	Щитовидная железа	1,4
8	Головной мозг	1,7	Поджелудочная железа	1,7	Сердце	1,3	Яичник	1,2	Щитовидная железа	2,0	Почки	1,4
9	Яичники	1,2	Надпочечник	2,5	Поджелудочная железа	1,5	Матка	1,2	Головной мозг	1,5	Матка	1,1
10	Скелетная мускулатура	1,1	Почки	1,6	Щитовидная железа	1,8	Скелетная мускулатура	1,2	Почки	22,5	Скелетная мускулатура	1,2
11	Кожа	2,6	Кожа	2,1	Почки	2,2	Кожа	1,5	Скелетная мускулатура	1,1	Кожа	1,6

Продолжение табл. 7.3

№	Органы и ткани	Gd	Органы и ткани	Dy	Органы и ткани	Au	Органы и ткани	Li	Органы и ткани	Ni	Органы и ткани	Ag	Органы и ткани	Se
1	Печень	1,2	Печень	1,1	Желудок	1,2	Язык	1,1	Пищевод	1,1	Желудок	2,1	Печень	2,0
2	Трахея	2,7	Трахея	2,4	Трахея	1,4	Пищевод	2,6	Трахея	2,5	Трахея	5,9	Трахея	2,3
3	Бронхи	4,2	Бронхи	4,7	Бронхи	48,7	Печень	1,3	Бронхи	2,6	Аорта	10,7	Бронхи	5,0
4	Легкие	3,6	Легкие	3,7	Легкие	1,5	Трахея	1,6	Легкие	2,0	Селезенка	1,2	Легкие	10,5
5	Селезенка	2,2	Селезенка	2,5	Аорта	1,3	Бронхи	1,9	Аорта	2,3	Сердце	3,5	Селезенка	2,9
6	Поджелудочная железа	1,3	Поджелудочная железа	1,2	Полая вена	1,4	Полая вена	1,2	Селезенка	2,2	Поджелудочная железа	1,6	Поджелудочная железа	1,2
7	Надпочечники	2,7	Надпочечники	2,6	Сердце	6,7	Надпочечник	1,1	Сердце	3,3	Щитовидная железа	1,8	Надпочечники	1,4
8	Головной мозг	1,1	Щитовидная железа	1,1	Головной мозг	1,3	Головной мозг	1,1	Поджелудочная железа	2,6	Надпочечники	1,6	Головной мозг	1,1
9	Яичники	1,7	Яичники	1,7	Головной мозг	1,2	Почки	1,5	Головной мозг	1,6	Мочевой пузырь	1,5	Яичники	1,6
10	Скелетная мускулатура	1,1	Скелетная мускулатура	1,1	Мочевой пузырь	30,0	Жировая ткань	1,2	Скелетная мускулатура	1,2	Жировая ткань	2,6	Кожа	1,8
11	Кожа	2,0	Жировая кожа	2,4	Жировая кожа	2,2								

Продолжение табл. 7.3

№	Органы и ткани	Tb	Органы и ткани	Tm	Органы и ткани	Yb	Органы и ткани	B	Органы и ткани	Y	Органы и ткани	La	Органы и ткани	Sm
1	Печень	1,4	Печень	1,2	Печень	1,8	Печень	1,2	Трахея	1,9	Печень	2,6	Трахея	3,2
2	Трахея	3,1	Трахея	2,5	Трахея	3,7	Трахея	1,5	Бронхи	4,3	Трахея	2,9	Бронхи	4,9
3	Бронхи	5,2	Бронхи	5,3	Легкие	2,8			Легкие	3,1	Бронхи	4,8	Легкие	3,9
4	Легкие	4,9	Легкие	3,5	Селезенка	2,2	Поджелудочная железа	1,4	Селезенка	2,0	Легкие	9,2	Селезенка	3,5
5	Селезенка	4,2	Селезенка	3,9	Поджелудочная железа	1,3	Надпочечники	1,3	Поджелудочная железа	1,4	Селезенка	3,5	Поджелудочная железа	2,4
6	Поджелудочная железа	2,2	Поджелудочная железа	2,1	Надпочечники	2,2	Головной мозг	2,1	Надпочечники	2,1	Поджелудочная железа	1,2	Надпочечники	2,8
7	Надпочечники	4,5	Надпочечники	3,8	Головной мозг	1,5	Яичники	1,4	Головной мозг	1,3	Надпочечники	1,6	Головной мозг	1,5
8	Почки	1,2	Почки	1,1	Яичники	1,2	Скелетная мускулатура	1,3	Яичники	1,1	Яичники	1,8	Яичники	1,8
9	Яичники	2,7	Яичники	2,0	Скелетная мускулатура	1,2	Кожа	1,2	Кожа	1,7	Кожа	2,1	Кожа	2,5
10	Кожа	3,4	Кожа	2,2	Кожа	1,8								

Продолжение табл. 7.3

№	Органы и ткани	Pg	Органы и ткани	No	Органы и ткани	Sc	Органы и ткани	Eg	Органы и ткани	Hf	Органы и ткани	Se	Органы и ткани	Mo
1	Печень	1,8	Трахея	2,6	Пищевод	1,1	Двенадцатиперстная кишка	3,0	Трахея	1,7	Трахея	1,3	Двенадцатиперстная кишка	1,6
2	Трахея	2,7	Бронхи	5,2	Трахея	1,5	Трахея	2,5	Селезенка	1,6	Бронхи	1,8	Печень	12,9
3	Бронхи	4,7	Легкие	3,6	Бронхи	5,9	Бронхи	2,5	Поджелудочная железа	1,6	Легкие	1,9	Селезенка	1,6
4	Легкие	6,2	Полая вена	1,1	Легкие	5,4	Легкие	1,5	Надпочечники	1,5	Аорта	1,3	Щитовидная железа	1,3
5	Селезенка	3,2	Селезенка	3,6	Полая вена	1,2	Селезенка	1,1	Головной мозг	1,5	Щитовидная железа	1,7	Надпочечники	1,2
6	Поджелудочная железа	1,3	Поджелудочная железа	1,5	Селезенка	1,3	Щитовидная железа	1,5	Яичники	1,6	Матка	1,8	Головной мозг	1,1
7	Надпочечники	2,1	Надпочечники	2,9	Щитовидная железа	1,5	Головной мозг	1,3	Скелетная мускулатура	1,3	Жировая ткань	1,6	Почки	2,3
8	Яичники	1,9	Яичники	1,7	Жировая ткань	2,4	Скелетная мускулатура	1,5	Кожа	1,5				
9	Кожа	2,1	Кожа	2,3										

Окончание табл. 7.3

№	Органы и ткани	Zn	Органы и ткани	Sb	Органы и ткани	W	Органы и ткани	Th	Органы и ткани	Nb	Органы и ткани	Sn
1	Пищевод	1,7	Двенадцатиперстная кишка	1,9	Трахея	1,4	Бронхи	1,4	Селезенка	1,8	Скелетная мускулатура	1,5
2	Печень	1,3	Печень	1,2	Головной мозг	1,2	Легкие	1,2	Скелетная мускулатура	1,6		
3	Трахея	1,6	Бронхи	3,9	Почки	1,1	Кожа	1,2	Кожа	1,1		
4	Селезенка	1,4	Легкие	4,7	Скелетная мускулатура	1,1	Жировая ткань	1,5				
5	Кожа	2,1	Кожа	2,7	Жировая ткань	1,1						
6	Жировая ткань	1,1	Жировая ткань	1,5								

Примечание: серым цветом выделены ОТЧ с коэффициентом концентрации (Кк) > 3.

Таблица 7.4

Максимальные коэффициенты концентрации элементов в органах и тканях человека

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

Кк – коэффициент концентрации; жирным шрифтом показаны максимальные Кк.

Построенные модели позволяют с одной стороны выделить органы-концентраторы, а с другой стороны позволяют сделать вывод о том, как каждый орган концентрирует какой-либо элемент. На модели наглядно видны элементы, которые накапливаются. Например, выраженным органом-концентратором Au можно считать бронхи, Cr – поджелудочную железу, Cd – почки, S – трахею, Fe – селезенку, Mo – печень, Ag – аорту, Se – легкие.

Среди перечисленных максимальных коэффициентов концентрации, самый максимальный зафиксирован для Au в бронхах и составляет 48,7.

Такие элементы как Na, B, Zn, Zr, Hf, Nb, Se, W, Sn, Th слабо накапливаются в органах и тканях человека, несмотря на то, что у них  $K_k > 1$ , но он, как правило, не более значения 2 – порога уверенного превышения среднего содержания в организме человека в целом. Эта группа элементов достаточно равномерно распределена по органам и тканям. Физиологическая роль этих компонентов, за исключением Na, Zn, Se, в настоящее время слабо изучена.

Особо следует отметить, эти коэффициенты концентрации рассчитаны без объема костной ткани и основных физиологических жидкостей человека – крови и лимфы.

Наиболее ярко выделяется следующая группа органов-концентраторов: органы дыхания (трахея, бронхи, легкие), затем орган лимфообращения (селезенка). Необходимо отметить, что все изученные специфические женские органы, ответственные за гормональные и детородные функции, в которых фиксируются повышенные содержания практически всех изученных элементов, в том числе и Hg.

Так, наиболее ярко выделилась следующая группа органов-концентраторов: органы дыхания (трахея, бронхи, легкие), затем орган лимфообращения (селезенка). Среди остальных органов-концентраторов с максимальными коэффициентами накопления, которые менее выделились по количеству концентрирующих элементов можно отметить: пищевод, двенадцатиперстную кишку, печень, поджелудочную, щитовидную железы, кожу, жировую ткань, скелетную мускулатуру, почки, матку, аорту, сердце, головной мозг.

*Отмеченное концентрирование многих изученных элементов, особенно редкоземельных, в органах дыхательной системы, по-видимому, косвенно может свидетельствовать об эрогенном поступлении этих компонентов, тогда как накопление в селезенке может свидетельствовать о других путях их поступления (пища, вода и т. д.).*

*Таким образом, предложенная биогеохимическая модель человека по коэффициентам накопления относительно средневзвешенного содержания позволяет обобщить все результаты исследований по органам и тканям человека и определить для каждого элемента его органы-концентраторы и органы-носители.*

## Очерк восьмой

# ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОРГАНОВ И ТКАНЕЙ ЧЕЛОВЕКА ПРИ НАЛИЧИИ ПАТОЛОГИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ

Недостаток, избыток, дисбаланс химических элементов в окружающей среде приводит к заболеваниям животных, растений, человека, именуемым биогеохимическими эндемиями (Виноградов, 1938; Ковальский, 1974; Авцын, 1987; Ермаков, 2009, и др.). Химические элементы образуют с белками организма специфические металлоорганические комплексные соединения, являющиеся регуляторами биохимических реакций. В случае их аномального содержания или нарушенного соотношения в окружающей среде в организме человека могут развиваться нарушения с характерными клиническими симптомами, главным образом в связи с нарушением функций ферментов, в состав которых они входят или их активируют. В результате нарушения функционирования одной или нескольких ферментных систем блокируется нормальный ход процессов обмена веществ в целом (Авцын и др., 1972, 1991, и др.).

Наряду с биогеохимическими эндемиями природного происхождения, возможно возникновение эндемических болезней, являющихся реакцией на изменение состава природной среды, происходящей в результате техногенеза.

Действие химических элементов на живые организмы определяется интервалом концентраций, при которых возможна нормальная реакция обменных процессов, обусловленная адаптационными возможностями организмов и живого вещества (рис. 8.1), программированные и разрешенные генотипом в экстремальных условиях геохимической среды (Bowen, 1966; Ковальский, 1974, 1982; и др.).

Несмотря на то, что человек стоит на трофической це-

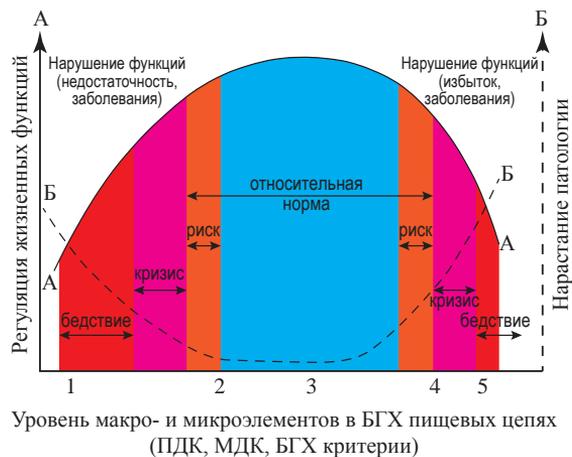


Рис. 8.1. Зависимость реакций организмов от концентрации и соотношений макро- и микроэлементов в среде (по Ермакову, 2008)

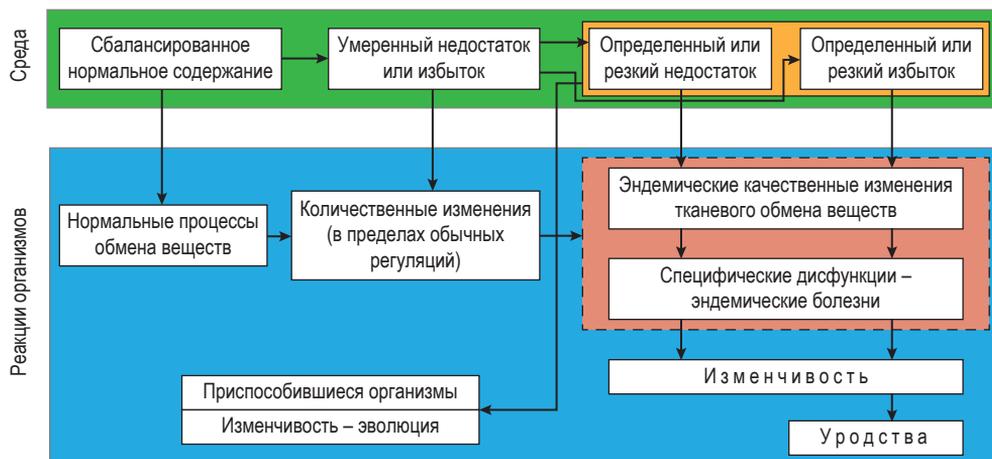


Рис. 8.2. Схема реакций организмов, вызываемых различным содержанием химических элементов в среде (По Г.А. Бабенко и др., 1971)

почке гораздо выше и, казалось бы, влияние химического состава среды должно не так сильно сказываться на его физиологическом состоянии, как для растительных и животных организмов, очевидно, что оно весьма велико (рис. 8.2).

При рассмотрении вопроса о возникновении патологических состояний биогеохимической природы часто имеют в виду избыток или дефицит одного элемента. Однако работами ряда авторов показано, что в некоторых заболеваниях существенную роль играют несколько элементов или их дисбаланс – возникают полимикрозлементозы (Авцын, 1991). Физиологическое воздействие микроэлементов определяется как уровнем их накопления, так и соотношением. К таким заболеваниям относятся кариес зубов, эндемический зоб, группа анемий сложной биогеохимической природы, а также болезнь Каши-Бека (Авцын, 1991). Было показано, что соотношение меди и молибдена влияет на развитие хронического отравления медью у овец в Австралии (Андервуд, 1962), содержание кальция в корме оказывает большое влияние на частоту возникновения случаев недостаточности цинка у свиней (паракератоз). Повышенное поглощение цинка вызывает недостаточность меди у крыс (Андервуд и др., 1962). По данным исследования Г.А. Алябьева и М.М. Дмитриченко (1971), на возникновение эндемического зоба влияет не только недостаток йода, но и соотношение данного элемента с марганцем и кобальтом. По данным исследований И.Н. Верховской и др. такой элемент как бром может быть конкурентным для йода в силу их химической схожести и также приводить к возникновению заболеваний щитовидной железы (Верховская, 1962, и др.). Данные по этому вопросу имеются в зарубежной литературе (Anke, 2001, др.). Нарушения обмена кальция и стронция в костной ткани людей ведет к уродской болезни (Самарина, 1960 и др.). Можно отметить, что влияние окружающей геохимической среды на состояние растительных и животных организмов проявляется повсеместно. В разных местах патологические состояния различаются по своему характеру, однако, как отметил К. Бисон (1962), нет такой

части света, в которой не встречалось бы какого-нибудь заболевания, элементарного по своей природе и обусловленного неполноценностью почвы. Этим автором приводится карта районирования территории США, где встречаются алиментарные заболевания животных.

Понять механизм развития определенных биогеохимических эндемий позволяют комплексные изучения цепочки «горные породы – почвы – воды – растения – животные – человек» (Барабошкина, 2001). На рис. 8.3 показана биогеохимическая пищевая цепь, отражающая миграцию химических элементов и питательных веществ по трофической цепи.

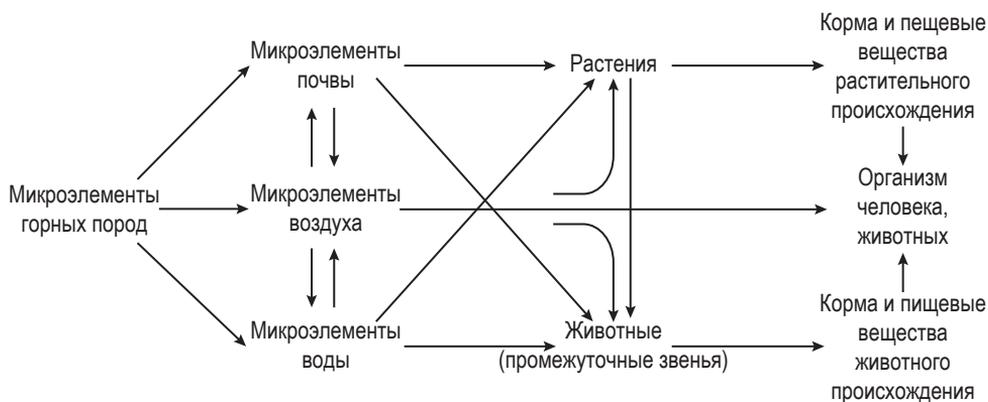


Рис. 8.3. Миграция химических элементов и питательных веществ по трофической цепи (по В.В. Ковальскому, 1970)

Интенсивность усвоения организмом микроэлементов (МЭ) зависит от многих факторов. Большую роль в этом играют соотношение между количеством поступающего элемента и его экскрецией, содержание элемента в пище, интенсивность усвоения в желудочно-кишечном тракте, немаловажным является также тип питания, общий баланс элементов в организме и т. д. (Стукс, 1997; Климацкая, 2003, и др.). Имеется система гомеостаза микроэлементов в организме, которая поддерживается благодаря сформировавшимся в процессе эволюции механизмам функционирования. А.П. Авцын и др. (1991) выделяют основные из них: избирательность поглощения МЭ, избирательность концентрации в определенных органах, тканях и некоторых органеллах клетки, селективность элиминации МЭ. Однако в некоторых регионах отклонение концентраций элементов в природных средах настолько велики, что возникающий вследствие этого избыток их в организме не может быть преодолен за счет указанных механизмов (Стукс, 1997). Следствием этого являются различные микроэлементозы (МТОЗы) (Авцын и др., 1987, 1991).

Таким образом, структура патологических процессов имеет как общие моменты, так и особенности, связанные с эколого-географической и эколого-геохимической характеристикой региона (Кувина, 1991; Скальный, 2000).

Наиболее полно взаимосвязь между причиной многих болезней, в том числе и эндемичного характера и средой обитания человека раскрывает новое направление науки, получившее в последнее время распространение благодаря трудам В.Л. Сусликова – геохимическая экология болезней (Сусликов, 2000, 2003, 2004). Продолжая работы В.В.Ковальского и А.П. Авцына, данное направление науки базируется на фундаментальных основах биологии, физиологии, микробиологии, геологии и экологии и позволяет установить причины распространения и формирования заболеваний на ограниченных территориях.

*Проблема зависимости между патологией детей и взрослых и экологической ситуацией требует дальнейшего комплексного исследования в его природном, техногенном и социальном окружении и выявления более четких количественных закономерностей в системе «окружающая среда – здоровье – резервные возможности организма». Это в перспективе позволит проводить прогнозирование в пределах функциональных резервов организма (Стукс, 1997; Каминский, 1997; Цыганкова, 1998; Мешков, 2006; Агаджанян и др., 2000, и др.).*

*Мы рассмотрим только два случая взаимосвязи биогеохимических показателей на примере более детально изученных органов и тканей эндокринной и сердечнососудистой систем – щитовидной железы и тканей аорты и аортальных клапанов.*

### **8.1. Накопление и распределение элементов в ткани щитовидной железы при разных видах патологии**

Анализ материалов, накопленных нами в содружестве с сотрудниками Сибирского государственного университета (О.А. Денисова, 2009, и др.) о взаимосвязи тиреоидной патологии и элементного состава природных сред, показал необходимость подобного рода исследований для целей профилактики зубной эндемии. Такой подход сегодня реализуется во многих странах мира в новом развивающемся научном направлении «Медицинская геология» (О. Selinus , 2005, 2010).

В последние годы в связи с активной трудовой деятельностью человека количество антропогенных струмогенных факторов значительно возросло, и география их расширилась. Это обусловлено активизацией промышленной разработки природных ископаемых (природных струмогенных факторов), а также широким использованием техногенных струмогенных факторов в различных видах производства. Нередко промышленные поллютанты дают более выраженный, чем природные струмогены, анти тиреоидный и, следовательно, струмогенный эффект. Данное обстоятельство не может не отразиться на распространенности и тяжести зубной эндемии в загрязненных регионах. Так, впервые было выявлено, что в штате Кентукки, где велась разработка залежей каменного угля, у рабочих шахт и населения, несмотря на отсутствие дефицита йода, имеет место значительное распространение зоба (Gaitan, 1991).

В нашей стране толчком для поведения многочисленных исследований касательно роли антропогенных факторов в возникновении тиреоидной патологии

послужила авария на Чернобыльской АЭС в 1986 году. Так как в зоне ее влияния (Брянская, Калужская, Белгородская, Воронежская, Орловская обл. и др.) наблюдается сочетанное воздействие следующих факторов: йоддефицита, радиоактивного йода, доз радиации. Не уменьшается интерес и в наши дни. Как показали результаты исследований, в зоне влияния ЧАЭС у населения наблюдается суммация патологии щитовидной железы, увеличение частоты встречаемости узлового зоба, кист, аутоиммунного тиреоидита и рака щитовидной железы (Шилин, 2001; Хмельницкий, 2004; Лягинская, 2005). При этом, такая патология как рак щитовидной железы у детей, большинством специалистов, изучающих эту проблему, признается индикаторным показателем радиационного воздействия и об этом свидетельствуют данные по динамике ее развития в районах, подверженных воздействию радиоактивных осадков ЧАЭС (рис. 8.1.1.).

Возможно, этим фактором может объясняться и факт увеличения патологии щитовидной железы в Томской области, на примере изучения населения Зырянского района (Попов, 1996, 2000). Тем более что в регионе зафиксирован период существенного поступления радиоактивного йода  $^{131}\text{I}$ , связанного с деятельностью ядерно-топливного комплекса – Сибирского химического комбината (рис. 8.1.2.).

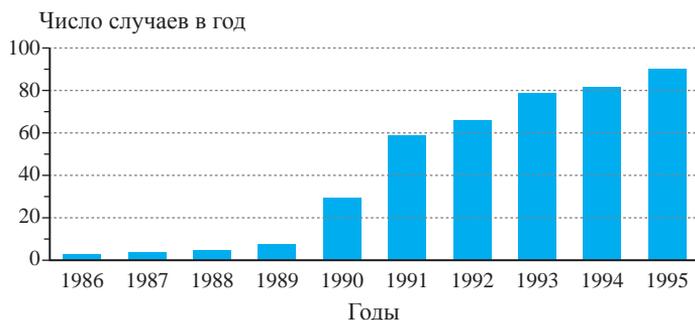


Рис. 8.1.1. Число случаев рака щитовидной железы среди детей в Беларуси (Подготовлено на основе трудов Международной конференции МАГАТЭ/ВОЗ/ЕК, Вена, апрель 1996 г., по Рихванов, 1997)



Рис. 8.1.2. Дозовые нагрузки на щитовидную железу от инкорпорированного радиойода у лиц, проживающих в районе расположения ПЯЦ (по В.А. Мишагину, 1993)

Об увеличении ожидаемых случаев рака на таких территориях в большей степени, чем в целом по России, говорит в своей статье В.В. Шахтрин (2002). Судя по публикациям последних лет, имеется связь устойчивого роста тиреоидной патологии с неблагоприятной экологической обстановкой, особенно в крупных промышленных городах с многокомпонентным загрязнением. Так, результаты исследований, проведенных в Оренбургской области (Боев и др, 1998), свидетельствуют, что ДНЗ является следствием относительной йодной недостаточности, когда на фоне нормального йодного обеспечения имеет место дефицит цинка, железа, кобальта, марганца с превышением концентрации токсичных микроэлементов (никель, стронций, хром) в окружающей среде и биосредах.

По данным Г.Г. Онищенко (2004), дефицит йода более выражен в ряде районов Пермской области, подверженных сочетанному природно-техногенному воздействию химических факторов: в местах нефтедобычи, нефтеперерабатывающей, нефтехимической промышленности. В промышленно развитых территориях области выявлены статистически достоверные закономерности нарушения функции щитовидной железы в виде компенсаторной активации образования гипофизарного гормона.

При проведении неонатального скрининга на врожденный гипотиреоз в Московской области найдена корреляция частоты выявления случаев транзиторного гипотиреоза, уровнем техногенного загрязнения и наличием маркеров экозависимой патологии (Помелова, 2000).

Tereshenko I.V. (2004) обнаружил, что содержание солей тяжелых металлов (цинка, свинца, кадмия, меди) повышено в щитовидных железах людей, умерших в 2000 г. по сравнению с 60 гг. прошлого столетия. Также чаще выявлялась лимфоидная инфильтрация щитовидной железы. Автор делает выводы, что в последнее время произошло загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами и увеличение аутоиммунных заболеваний щитовидной железы (ЩЖ).

Авторы, изучающие влияние антропогенных факторов на развитие тиреоидной патологии приводят характерные признаки экозависимости: неэффективность йодной профилактики, сглаживание половых различий, преобладание в структуре заболеваемости АИТ и узловых образований (Утенина, 1999; Савина и др., 1999).

С дисбалансом микроэлементов и повышением уровня токсических элементов связывает недостаточную эффективность йодной профилактики В.М. Боев (2001). По данным В.Г. Селятицкой (2002), в Новосибирске на фоне развертывания на государственном уровне мер по профилактике ИДС, значения йодурии у детей стали повышаться, а распространенность тиреоидных нарушений не снижалась или снижалась в меньшей степени.

Вышеприведенные материалы свидетельствуют, что наслаивающиеся на природную геохимическую обстановку неблагоприятные экологические факторы, связанные с деятельностью человека, становятся ведущими в развитии патологии ЩЖ, которая, по мнению О.К. Хмельницкого (1998), является своеобразным маркером экологического неблагополучия. В связи с вышеперечисленным, часть

авторов предлагает считать тиреопатии заболеваниями адаптационной природы (Прусакова, 2004; Андрюков, 2005). Некоторые авторы даже обсуждают целесообразность включения в систему мониторинга за состоянием окружающей среды оценки функции щитовидной железы (Савина, 1999).

Впервые в Томской области зоб изучала Н.А. Добровидова (1932), под ее наблюдением было около 600 жителей г. Томска, имевших выраженные формы зоба. В 1935 г. М.А. Сперанский опубликовал сообщение о наличии очагов эндемического зоба по нижнему течению реки Оби.

В результате проведенных современных эпидемиологических исследований было установлено, что Томскую область следует отнести к регионам с йодным дефицитом (Елизарова, 2005; Денисова, 2009 и др.). По данным А.Т. Елизаровой (2005) в Томской области наблюдается положительная динамика роста эндокринной патологией (рис. 8.1.3).

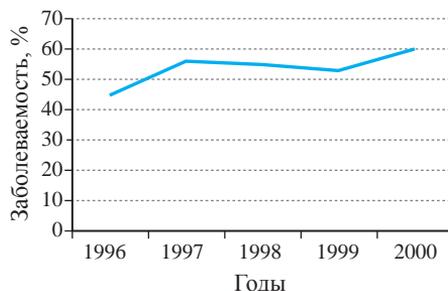


Рис. 8.1.3. Динамика эндокринной патологии населения Томской области в период с 1996 по 2000 гг. (по данным Елизаровой, 2005)

Накопленная в настоящее время по Томской области эколого-геохимическая информация по таким природным средам как почвы (Е.Г. Язиков, В.В.

Архангельский, Л.В. Жорняк и др.), пылеаэрозольные выпадения (А.Ю. Шатилов, Е.Г. Язиков, А.В. Таловская и др.), торф (А.М. Беляева и др.), донные отложения озер (А.Ю. Иванов и др.), годовые кольца деревьев (Ю.Л. Замятина, Т.А. Архангельская и др.), биологическим объектам (Н.С. Москвитина, А.С. Бабенко, В.Н. Куранова, Б.Д. Куранов и др.) и анализ литературы по комплексу сред («Экология...», 1994; Рихванов, 1997, 2006 и др.) позволяют утверждать, что на ее территории существует ряд зон, характеризующихся определенной геохимической спецификой, обусловленной как факторами естественного, так и техногенного характера. Эта специфика может являться фактором, влияющим на развитие патологических изменений щитовидной железы человека. Так, полученные нами данные (Денисова и др., 2007; Барановская, 2006) по частоте встречаемости данной заболеваемости на территории районов Томской области в период 1996–2002 гг. показали, что весь спектр повышенных заболеваний характерен для жителей Томского района. Именно на этой территории сосредоточены основные промышленные предприятия области и имеют место природные и техногенные геохимические аномалии (Рихванов и др., 2005). Возможно, это оказывает значительное влияние на наличие более высоких показателей по всем изученным патологиям в сравнении со среднеобластными, поскольку наибольшая частота встречаемости изученных патологий приходится на северо-восточную часть района (рис. 8.1.4), расположенную в преимущественной зоне ветрового переноса веществ от зоны техногенного воздействия.

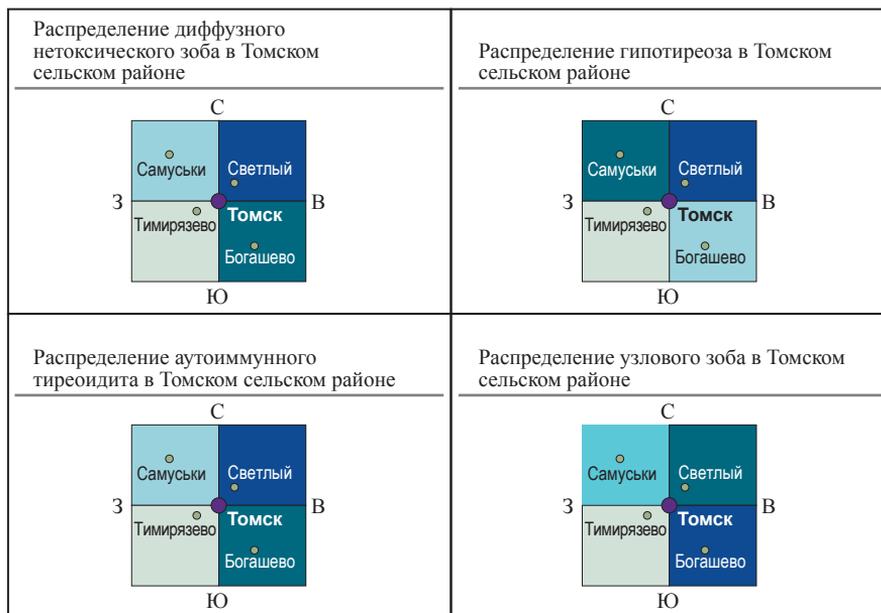


Рис. 8.1.4. Встречаемость патологии щитовидной железы на территории Томского района (интенсивность цвета соответствует уровню патологий ЩЖ)

Микроэлементный состав щитовидной железы чрезвычайно зависит, как показывают исследования О.А. Денисовой, Н.В. Барановской и др. (2006-2008 гг.), от ее патологического состояния.

Всего было исследовано 117 проб послеоперационного материала щитовидной железы. Для щитовидной железы Томской области можно отметить наиболее специфичные элементы, которые встречаются в повышенных содержаниях, это Se, Br, Sb, La, Sm, Au, эти же элементы в значительных количествах накапливаются в углях, торфах (Арбузов С.И. и др., 2008). На этих материалах достаточно хорошо можно видеть, что уровень накопления элементов определяется как локализацией отобранных проб (геохимической специализацией работ), так и спецификой патологических изменений.

В патологически измененной щитовидной железе происходит, как видно из графика рис. 8.1.5 накопление: Fe, Br, Rb, Ag, Sb, Yb, Lu, Hf, Ta, U, содержание La и Sm в щитовидной железе без патологии выше, а содержание остальных элементов одинаковое для щитовидной железы с патологией и без.

В пределах Томской области нами выделены три основные группы районов по результатам изучения распространенности заболеваний щитовидной железы: 1 – северные районы: Александровский, Верхнекетский, Каргасокский, Колпашевский, Парабельский, Чаинский, находящиеся севернее 58° широты, испытывающие на себе влияние жестких климатических условий, нефтедобычи, трансграничного переноса тяжелых металлов по долине р. Обь; 2 – Асиновский, Зырянский, Первомайский, Томский, прилегающие к промышленному узлу

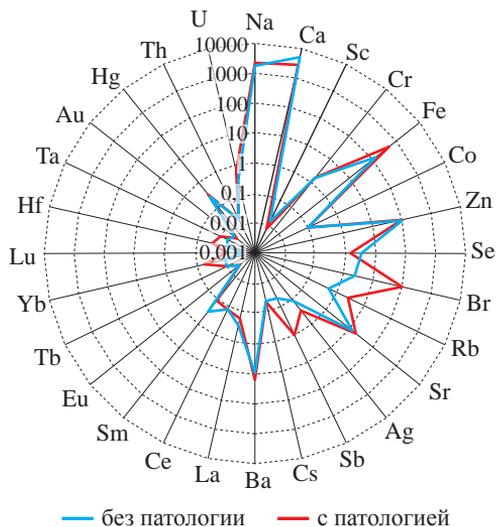


Рис. 8.1.5. Сравнительная биогеохимическая характеристика щитовидной железы жителей Томской области с патологией и без патологии (117 проб) (мг/кг)

также такими заболеваниями щитовидной железы, как аутоиммунный тиреоидит, рак щитовидной железы, поскольку существуют данные о зависимости узлообразования, аутоиммунных и воспалительных реакций в щитовидной железе от дефицита йода в среде (Лягинская, 2005; и др.), с содержанием йода в почвах и растениях. Данный вид статистического анализа показывает отсутствие статистически значимого коэффициента корреляции. Медиана йодурии также не коррелирует с заболеваемостью тиреопатиями. В тоже время наблюдается связь индекса Ленца-Бауера, характеризующего напряженность зубной эндемии с диффузным нетоксическим зобом ( $r=+0,6$ ;  $p<0,01$ ), узловым зобом ( $r=+0,5$ ;  $p<0,05$ ), с эпидемиологическим критерием частоты распространенности зоба в популяции ( $r=+0,5$ ;  $p<0,05$ ), что говорит о влиянии скрытого йоддефицита на возникновение и развитие данной патологии.

Для определения химических элементов в стромах щитовидной железы пациенты были разделены на 4 группы по патологии: 1 – узловый коллоидный зоб (УКЗ) ( $n=41$ ); 2 – аутоиммунный тиреоидит (АИТ) ( $n=18$ ); 3 – раки ( $n=8$ ); 4 – аденомы ( $n=37$ ). Медиана возраста составила  $49,3\pm 10$ , по объему железы ( $20\pm 3,5$ мл) и уровню ТТГ ( $0,94\pm 0,05$  мЕД/л) группы достоверно не различались ( $p<0,05$ ).

Сравнение проводили с контрольной группой ( $n=10$ ), железы нормального строения, а также с литературными данными. К сожалению, информация в литературе по содержанию химических элементов в щитовидной железе разрозненна и сложна в интерпретации. Ряд элементов не определялся, в частности редкоземельные, некоторые тяжелые металлы и редкие элементы. Наиболее полные данные представлены в книге «Человек. Медико-биологические данные», (1977),

Томск-Северской агломерации, то есть испытывающие максимальное воздействие факторов химической природы и для которой характерен наибольший процент заболеваемости; 3 – Бакчарский, Кожевниковский, Кривошеинский, Тегульдетский, Молчановский, Шегарский, преимущественно сельскохозяйственные районы области, с минимальными показателями заболеваемости по изученным видам патологий ЩЖ.

О.А. Денисовой (2009) был проведен корреляционный анализ между собственно йоддефицитными заболеваниями, такими как диффузный нетоксический зоб, узловым зобом, гипотиреоз, а

которые предложены в качестве фоновых, общих глобальных. За региональный фон приняты наши данные.

В табл. 8.1.1. приведены данные по химическому составу щитовидной железы человека (по «Человек...», 1977) в сравнении с таковой для условно здорового человека и патологически измененной щитовидной железой, отобранных в Томском регионе. Они, конечно, отличаются по набору изученных компонентов. В нашем случае использовался только количественный многоэлементный нейтронно-активационный анализ на 23 элемента.

В сравнении со справочными данными («Человек...», 1977) показатели по нашему региону (условно здоровый человек в наших исследованиях) несколько отличаются. Так, обращают на себя внимание такие элементы как Fe, Br, Ca, Zn, Cr и др., содержащиеся в более значимых концентрациях при патологии, тогда как натрий существенно снижен. Геохимический ряд, построенный по коэффициенту концентрации (рассчитан как отношение содержания элемента в Томском регионе к литературным данным для элементов, определенных методом нейтронной активации) выглядит следующим образом:  $Cr_{63} - Ca_{38} - Co_{22} - Zn_7 - Fe_5 - Br_{0,4} - Rb_{0,3} - Au_{0,2} - Na_{0,1}$ .

Возможно, столь существенная разница в накоплении элементов в «нормальной» ЩЖ жителей Томской области может частично объясняться тем, что сравнение проводится с данными, полученными другими аналитическими методами. Но, в то же время необходимо отметить, что преобладание Cr, Fe, Co над фоновыми значениями было отмечено ранее в других биосубстратах (волосы, кровь), отобранных на территории Томской области (Барановская, 2003). Наличие повышенных содержаний железа может быть объяснено его высоким содержанием в подземных водах. Таким образом, можно говорить о региональной особенности химического состава ЩЖ у жителей Томской области.

Геохимическая специфика патологически измененной ЩЖ при нормировании к литературным данным (А) и региональной норме (Б) выглядит следующим образом:

А.  $Cr_{163} - Ca_{26} - Co_{21} - Fe_{15} - Br_9 - Zn_{8,5} - Rb_{0,9} - Au_{0,2} - Na_{0,2}$   
 Б.  $Br_{24} - Sb_6 - Rb_{3,2} - Fe_{3,1} - Cr_{2,6} - Na_2 - Hg_{1,3} - Zn_{1,2} - Co_1 - La_{0,9} - Th_{0,9} - U_{0,9} - Au_{0,8} - Sc_{0,7} - Ca_{0,7} - Sm_{0,6} - Hf_{0,3}$ .

Учитывая наличие региональной составляющей, при анализе будет более целесообразно учитывать местные показатели, которые являются, по нашему мнению, более объективными и полными. Особое внимание стоит обратить на значительное концентрирование в патологически измененной ЩЖ одного из галогенов – брома. Несмотря на то, что эссенциальность брома показана Л.С. Бабенко (1973), Г.М. Коломийцевой (1970) М. Anke (2001) и др., данные наших исследований о повышенном накоплении этого химического элемента в патобразованиях более чем в 20 раз свидетельствуют о негативной роли брома в формировании целого ряда патологии, что согласуется с данными И.Н. Верховской (1962), А.П. Авцына (2000) о возможном конкурентном антагонизме брома, в свя-

Таблица 8.1.1

**Оценочные уровни накопления химических элементов  
(мг/кг сырой массы) в щитовидной железе человека**

Элемент	По данным справочника «Человек, медико-биолог. данные, 1977»	Томский регион		Элемент	По данным справочника «Человек, медико-биолог. данные, 1977»	Томский регион	
		условно здоровый человек (N = 10)	патологически изменённая железа (N = 104)			условно здоровый человек (N = 10)	патологически изменённая железа (N = 104)
N	$2,2 \cdot 10^4$	–	–	As	–	< 0,25	< 0,25
Al	8,5	–	–	Na	30000	3315	6655
Ba	$80 \cdot 10^{-3}$	< 25	< 24	Ni	$60 \cdot 10^{-3}$	–	–
Be	–	–	–	Nb	–	–	–
B	$110 \cdot 10^{-3}$	–	–	Sn	$170 \cdot 10^{-3}$	–	–
Br	20	7,5	180	Ra	–	–	–
V	$110 \cdot 10^{-4}$	–	–	Hg	–	0,6	0,75
Bi	$235 \cdot 10^{-4}$	–	–	Rb	6	1,8	5,6
H	$1 \cdot 10^5$	–	–	Sm	–	0,9	0,58
Hf	–	0,03	0,04	Pb	$120 \cdot 10^{-3}$	–	–
Eu	–	< 0,01	< 0,01	Se	–	7	5
Fe	55	258	803	S	–	–	–
Au	$120 \cdot 10^{-3}$	0,03	0,02	Ag	$135 \cdot 10^{-5}$	< 0,25	< 0,25
Yb	–	< 0,03	0,08	Sc	–	0,023	0,015
Y	$435 \cdot 10^{-4}$	–	–	Sr	0,13	< 38	< 31
I	600	–	–	Sb	–	0,1	0,6
Cd	$70 \cdot 10^{-2}$	–	–	Ta	–	< 0,02	< 0,02
K	1200	–	–	Ti	$70 \cdot 10^{-3}$	–	–
Ca	350	13458	8960	Th	–	< 0,05	< 0,04
O	$7 \cdot 10^5$	–	–	C	$8,5 \cdot 10^5$	–	–
Co	$110 \cdot 10^{-4}$	0,24	0,23	U	–	0,75	0,68
Si	–	–	–	P	750	–	–
La	–	0,65	0,6	F	$400 \cdot 10^{-2}$	–	–
Li	$160 \cdot 10^{-4}$	–	–	Cl	$2,65 \cdot 10^4$	–	–
Lu	–	0,005	< 0,005	Cr	0,01	0,9	2,2
Mg	750	–	–	Ce	–	< 0,25	< 0,28
Mn	$55 \cdot 10^{-2}$	–	–	Cs	–	< 0,1	< 0,1
Cu	$110 \cdot 10^{-2}$	–	–	Zn	31	220	263
Mo	$450 \cdot 10^{-4}$	–	–				

«–» нет данных; N-количество проб.

зи с чем в железе образуется йодная недостаточность с последующей гиперплазией железы и формирование патологии.

Повышение уровня хрома и сурьмы по сравнению с контролем может быть связано с высокой вариабельностью содержаний данных химических элементов, т.к. имеются пики концентраций в некоторых пробах, превышающие фон в 20 раз. Следует иметь в виду возможное влияние этих химических элементов на возникновение патологий ЩЖ. Механизм действия Cr во многих чертах схож с ртутью, кроме того Cr является канцерогеном 1/A группы («Вредные химические...», 1990). Канцерогенность хрома и его соединений доказана как для животных, так и в эпидемиологических исследованиях (Грушко, 1964).

Повышенная концентрация железа в измененной ЩЖ коррелирует с данными А.Л. Горбачева и др. (2002), которыми установлена прямая связь между концентрацией железа в организме жителей Магадана и степенью гиперплазии ЩЖ, механизм этого неизвестен, т. к. железо, как-будто бы, не имеет прямого отношения к тиреоидному синтезу.

Обращает на себя внимание факт концентрирования некоторых редкоземельных элементов. Их биологическая функция не вполне изучена, но нами зафиксированы их высокие содержания в ряде сред в зоне влияния Сибирского химического комбината (Барановская, Рихванов, 2005).

Необходимо отметить наличие повышенной концентрации натрия и пониженной кальция, что является характерным признаком влияния специфики урбанизированных территорий, зафиксированной нами по ряду сред (молоко женщин, листья древесной растительности, органы и ткани животных и др.).

В целом, из 24 изученных элементов в патологически измененной ЩЖ имеют более высокое содержание 14, что составляет 60%. Таким образом, полученные данные идут вразрез с утверждением некоторых специалистов, что для зубноизмененных ЩЖ характерна пониженная способность к концентрации химических элементов.

Анализ содержания элементов в ЩЖ при разных видах патологий (табл. 8.1.2) показывает, что все группы патологий достоверно отличаются от контроля уровнем содержания элементов (Денисова, 2009; Барановская и др., 2009). Особо следует отметить повышенные концентрации брома, натрия, железа, хрома, рубидия, гафния и ртути во всех патологических образованиях, относительно контроля. В то же время, патологически измененная щитовидная железа характеризуется низким содержанием Ca, Sm, Se.

Общеизвестно, что в условиях дефицита селена усиливается пролиферация фибробластов, что может быть дополнительным фактором для формирования узлов, аденом, фиброза паренхимы. Селен является антагонистом целого ряда тяжелых металлов, в том числе ртути (Скальный, Кудрин, 2000), выявленное повышение концентрации которой по данным нашего исследования может находиться в причинно-следственной связи с дефицитом селена в тканях железы.

Особенности накопления элементов при разных видах патологий наглядно показаны в геохимических рядах химических элементов, построенных по коэф-

Таблица 8.1.2

Содержание химических элементов (мг/кг сухой массы) в щитовидной железе с разной формой патологии (по О.А. Денисова, ...)

Элемент	Формы патологии щитовидной железы				Контроль (n = 6)
	УКЗ (n = 41)	Аденомы (n = 37)	АИТ (n = 18)	Раки (n = 8)	
Na	<u>3113±478*</u> 1100–1000	<u>3305±438*</u> 500–6000	<u>2733±549*</u> 1100–400	<u>2600±544**</u> 700–700	<u>1326±217</u> 960–2400
Ca	<u>2904±382*</u> 500–6400	<u>1850±293*</u> 500–52500	<u>2011±325*</u> 500–4100	<u>2785±472*</u> 500–6100	<u>5383±340</u> 4600–7000
Sc	< 0,002	<u>0,004±0,001*</u> 0,002–0,012	<u>0,006±0,002</u> 0,002–0,015	<u>0,006±0,002</u> 0,002–0,014	<u>0,009±0,002</u> 0,004–0,02
Cr	<u>0,63±0,17</u> 0,10–7,2	<u>0,46±0,127</u> 0,1–1,8	<u>0,76±0,37*</u> 0,1–4,7	<u>1,03±0,45</u> 0,1–4,4	<u>0,34±0,15</u> 0,1–0,91
Fe	<u>301±52*</u> 80–1200	<u>410±68*</u> 80–1300	<u>256±52*</u> 80–480	<u>301±81**</u> 80–650	<u>103±37</u> 20–250
Co	<u>0,07–0,01</u> 0,03–0,2	<u>0,10±0,02</u> 0,03–0,26	<u>0,09±0,02</u> 0,03–0,19	<u>0,06±0,01**</u> 0,03–0,13	<u>0,1±0,005</u> 0,08–0,11
Zn	<u>91±8,8</u> 32–234	<u>96±7,1</u> 52–181	<u>85±11</u> 51–167	<u>97±17</u> 36–162	<u>88±7</u> 71–114
Br	<u>5,7±0,4*</u> 2,9–2734	<u>14±3*</u> 3,7–1919	<u>5,3±0,5*</u> 3,4–544	<u>6,6±1,5*</u> 3,5–62	<u>2,9±0,2</u> 2,2–4,1
Rb	<u>2,0±0,3</u> 1–8,9	<u>3,3±0,6**</u> 1,0–8,2	<u>3,9±0,6*</u> 1,0–7,2	<u>1,0±0,01</u> 1,0–2,7	<u>0,7±0,1</u> 0,5–1,9
Ag	<u>0,26±0,05</u> 0,2–1,4	<u>0,22±0,02</u> 0,2–0,6	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Sb	<u>0,06±0,01</u> 0,03–5,2	<u>0,04±0,004</u> 0,03–0,28	<u>0,12±0,07</u> 0,03–7,6	<u>0,05±0,02</u> 0,03–0,13	<u>0,04±0,005</u> 0,03–0,06
Au	<u>0,01±0,001</u> 0,001–0,02	<u>0,009±0,002</u> 0,001–0,03	<u>0,012±0,004</u> 0,001–0,032	<u>0,01±0,003</u> 0,001–0,019	<u>0,01±0,002</u> 0,006–0,017
La	<u>0,25±0,03</u> 0,05–0,58	<u>0,21±0,02</u> 0,05–0,37	<u>0,24±0,04</u> 0,05–0,5	<u>0,31±0,05**</u> 0,05–0,48	<u>0,26±0,02</u> 0,21–0,29
Ce	< 0,1	<u>0,13±0,03</u> 0,1–0,59	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Sm	<u>0,06±0,01*</u> 0,01–0,14	<u>0,05±0,007**</u> 0,01–0,11	<u>0,04±0,01</u> 0,01–0,099	<u>0,08±0,02*</u> 0,01–0,16	<u>0,36±0,03</u> 0,28–0,46
Th	<u>0,02±0,01</u> 0,01–0,11	не опр.	<u>0,02±0,01</u> 0,007–0,12	<u>0,02±0,006</u> 0,007–0,04	< 0,005
U	< 0,1	<u>0,20±0,02</u> 0,2–4,5	<u>0,21±0,02</u> 0,2–0,37	< 0,1	<u>0,3±0,01</u> 0,27–0,34
Hf	<u>0,02±0,002</u> 0,01–0,05	<u>0,02±0,003</u> 0,01–0,06	<u>0,01±0,002</u> 0,01–0,02	<u>0,01±0,004</u> 0,01–0,04	<u>0,01±0,005</u> 0,005–0,035
Se	<u>1,7±0,14*</u> 0,9–3,7	<u>1,6±0,2</u> 1,0–3,7*	<u>1,6±0,2*</u> 0,1–2,6	<u>1,5±0,2*</u> 0,7–1,8	<u>2,8±0,3</u> 2,1–3,7
Hg	<u>0,4±0,05*</u> 0,1–0,9	<u>0,3±0,03*</u> 0,1–0,6	<u>0,2±0,05</u> 0,1–1,3	<u>0,7±0,2*</u> 0,1–1,6	<u>0,24±0,1</u> 0,02–0,72

звездочкой показаны значения, которые достоверно отличаются от контроля ( $p < 0,05$ ), двумя звездочками – данные сомнительные ( $p < 0,1$ ). Для расчета на сырую массу использовать коэффициент усушки 2,5.

Таблица 8.1.3

**Геохимическая специфика различных форм патологии ЩЖ (цифровые индексы около символов элементов представляют собой коэффициенты концентрации)**

Вид патологии	Суммарный показатель (Z)	Геохимический ряд									
		Fe <sub>3</sub>	Rb <sub>2,8</sub>	Na <sub>2,3</sub>	Br <sub>2</sub>	Cr <sub>1,9</sub>	Hf <sub>1,7</sub>	Hg <sub>1,5</sub>	Sb <sub>1,5</sub>	Au <sub>1</sub>	Zn <sub>1</sub>
УКЗ	7,6	La <sub>0,9</sub>	Co <sub>0,7</sub>	Se <sub>0,6</sub>	Ca <sub>0,5</sub>	Sm <sub>0,2</sub>					
		Br <sub>4,8</sub>	Fe <sub>4</sub>	Na <sub>2,5</sub>	Hf <sub>1,8</sub>	Rb <sub>1,7</sub>	Cr <sub>1,4</sub>	Hg <sub>1,3</sub>	Co <sub>1,1</sub>	Zn <sub>1,1</sub>	Sb <sub>1</sub>
Аденомы	8,5	Au <sub>1</sub>	La <sub>0,8</sub>	U <sub>0,6</sub>	Se <sub>0,6</sub>	Sc <sub>0,4</sub>	Ca <sub>0,3</sub>	Sm <sub>0,1</sub>			
		Rb <sub>5,5</sub>	Sb <sub>3</sub>	Fe <sub>2,5</sub>	Cr <sub>2,2</sub>	Na <sub>2,1</sub>	Br <sub>1,8</sub>	Hf <sub>1,1</sub>	Zn <sub>0,9</sub>	Co <sub>0,9</sub>	La <sub>0,9</sub>
АИТ	9,2	Hg <sub>0,9</sub>	U <sub>0,7</sub>	Sc <sub>0,6</sub>	Se <sub>0,6</sub>	Ca <sub>0,4</sub>	Sm <sub>0,1</sub>				
		Cr <sub>3</sub>	Hg <sub>3</sub>	Fe <sub>2,9</sub>	Br <sub>2,3</sub>	Na <sub>2</sub>	Sb <sub>1,4</sub>	Rb <sub>1,4</sub>	La <sub>1,2</sub>	Hf <sub>1,2</sub>	Zn <sub>1,1</sub>
Раки	8,4	Co <sub>0,7</sub>	Sc <sub>0,6</sub>	Ca <sub>0,5</sub>	Se <sub>0,5</sub>	Sm <sub>0,2</sub>					

фициентам концентрации, относительно гистологически неизменной щитовидной железы жителей Томского региона (табл. 8.1.3).

Из специфичных элементов для каждого вида патологий можно выделить: узловой коллоидный зоб – максимальная концентрация железа, более высокие показатели Кс для ртути, золота, цинка и лантана; аденомы – значительное концентрирование брома, железа, ртути и кобальта; аутоиммунный тиреоидит – максимально высокие рубидий и сурьма; раки – хром, ртуть и лантан.

Во всех геохимических рядах патологически измененной ЩЖ присутствует Fe, Br, Na, которые в 1,5 и более раз превышают контрольный уровень.

По коэффициентам концентрации элементов был рассчитан суммарный показатель их накопления (Z) при каждом виде патологий ЩЖ (табл. 8.1.3). Он свидетельствует о том, что максимальное накопление элементов происходит при аутоиммунном тиреоидите, с уменьшением к аденомам и ракам, с минимальной концентрацией в узлом коллоидном зобе.

Для того чтобы понять механизм концентрирования элементов в составе патологических образований нами были проанализированы фрагменты разных тканей щитовидной железы одного пациента: неизменная ткань железы, ткань узла доброкачественной аденомы, стенка капсулы и содержимое капсулы, функциональное состояние – эутиреоз. Несмотря на то, что этот материал пока единственный, но он представляет значительный интерес.

Анализ накопления элементов в перечисленных выше структурах патологически измененной щитовидной железы (рис. 8.1.6) показал, что можно выделить две группы: первая – накопление которых меньше в тканях ЩЖ и узла и увеличивается в стенке капсулы с максимальным накоплением внутри ее содержимого. Это натрий, кальций, бром, скандий, гафний и золото. Вторая группа – также с низким содержанием в тканях, но с максимальной концентрацией в стенке капсулы и уменьшением внутри ее содержимого. Это хром, железо, цинк, кобальт,

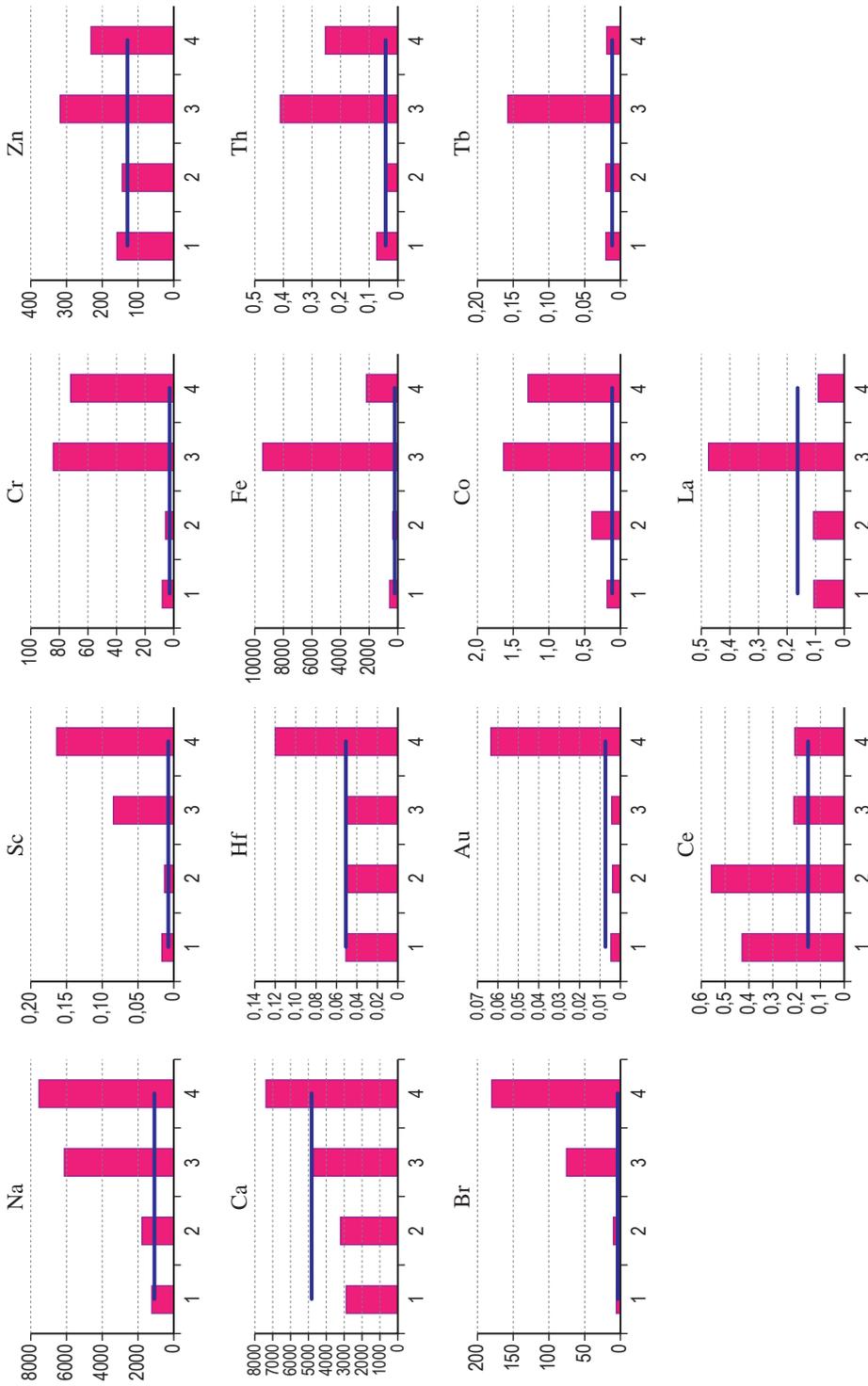


Рис. 8.1.6. Соотношение химических элементов в разных тканях цитовидной железы: 1 – ткань патологически измененной ЩЖ; 2 – фрагмент узла; 3 – стенка капсулы; 4 – содержание капсулы. Примечание: линия графика – среднее содержание в ЩЖ без патологических изменений

лантан, тербий и торий. По-видимому, играют роль геохимические свойства элементов в процессах распределения в данных структурах. Нужно добавить, что распределение микроэлементов может значительно отличаться в зависимости от функционального состояния узлов.

Эта закономерность может быть связана с разной аккумулирующей способностью разных тканей: щитовидной железы и соединительной.

Особое место занимает церий, содержание которого значительно более высокое в тканях ЩЖ и узла с концентрированием в последнем. Остальные изучаемые элементы (Rb, Ag, Sb, Sm, Yb, Lu, U, Ta, Eu, Hg) во всех структурах находятся в количествах, ниже предела определения методом ИНАА.

Сравнение содержания в структурах патологически измененной ЩЖ с данными по содержанию элементов в здоровой ЩЖ (тот же рисунок, прямая линия графика поперек диаграмм) показало, что в ткани патологически измененной ЩЖ ниже содержание кальция, золота и лантана. Остальные элементы имеют либо идентичное содержание, либо повышенное.

Сравнивая содержания химических элементов в ткани узла и в ткани щитовидной железы, мы получили разницу концентраций не более чем 2,5 раза (рис. 8.1.7).

Ткань узла содержит больше Na, Ca, Co, Vg и Se по сравнению с параузловой тканью, что может быть связано с большей активностью ионных насосов Na-K АТФ-азы, Ca-каналов и I-каналов, последние способны захватывать бром как более активный галоген. Это свидетельствует о более активном

обмене веществ, повышенном синтезе в ткани доброкачественного узла.

Такие элементы как Fe, Cr, Sc, Zn, Th и Au, наоборот, в узле содержатся в несколько более пониженных концентрациях, что может говорить об относительном их дефиците при усиленных синтетических процессах в ткани аденомы. По остальным микроэлементам разница незначительна.

Полученные данные могут свидетельствовать о защитной роли соединительной ткани, поскольку большинство тяжелых элементов способно накапливаться в капсуле и не попадает в узел. Возможно, в этом заключается барьерная функция этой ткани в организме живых существ. Данная соединительно-тканная капсула отсутствует в злокачественных узлах, по нашим данным в раковых узлах достоверно большее содержание Hg и La, чем в доброкачественных аденомах. По данным (Zaichick, 1995), злокачественные узлы отличаются большим содержанием Ag, Rb, Co, Hg по сравнению с доброкачественными. Мы можем предполагать, что отсутствие данной соединительно-тканной капсулы в злокачественных уз-

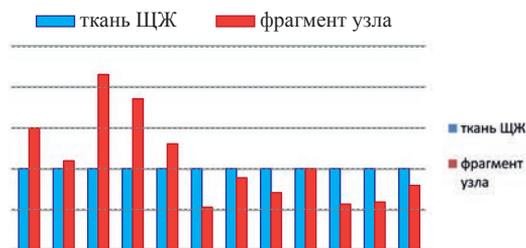


Рис. 8.1.7. Соотношение химических элементов в неизменной ткани щитовидной железы и фрагменте узла. Примечание: содержание элементов в неизменной ткани щитовидной железы принято за 1

лах может являться одним из факторов накопления тяжелых элементов в таких узлах и явиться фактором дополнительного генотоксического, канцерогенного действия.

Учитывая ранее изложенные факты: неравномерность заболеваемости, отсутствие четкой связи с уровнем йода в объектах внешней среды, существует необходимость провести биогеохимическое районирование территории Томской области и рассмотреть пространственное распределение элементов как по данным содержания элементов в ткани щитовидной железы, так и их накопление в других средах. Целесообразность такого подхода в качестве методологического базиса проблем геохимической медицины широко обсуждается в работах разных авторов (Белякова, 2002; Сусликов, 2004 и др.), он позволяет выделять отдельные регионы пространственной дифференциации болезней, отражает состояние экосистемы в целом.

Анализ распределения химических элементов в патологически измененной ЩЖ по районам области (табл. 8.1.4) показал, что бром и железо присутствуют во всех геохимических рядах, характеризующих эти территории. По-видимому, повышенная концентрация этих элементов может являться индикаторным показателем возникновения патологических состояний ЩЖ у населения. Пространственное распределение этих элементов в составе патологически измененной щитовидной железы соответствует в некоторых районах высоким содержаниям в напиви питьевых вод, но отличается от распределения в почвах (рис. 8.1.8).

Таблица 8.1.4

**Геохимическая специфика районов Томской области по максимальным (относительно регионального контроля) коэффициентам концентрации элементов в патологически измененной щитовидной железе**

Районы	Геохимическая специфика
Томский	Br <sub>74</sub> – Fe <sub>4,5</sub> – U <sub>3,5</sub> – Hf <sub>2,8</sub> – Cr <sub>1,9</sub> – Rb <sub>1,9</sub> – Na <sub>1,8</sub> – Hg <sub>1,3</sub> – Sb <sub>1,3</sub>
Асиновский	Sb <sub>20</sub> – Fe <sub>3,4</sub> – Na <sub>2,7</sub> – Br <sub>1,9</sub> – Rb <sub>1,7</sub> – Hf <sub>1,7</sub> – Hg <sub>1,5</sub> – Cr <sub>1,3</sub> – Co <sub>1,2</sub>
Первомайский	Fe <sub>2,4</sub> – Hf <sub>1,7</sub> – Rb <sub>1,5</sub> – Sb <sub>1,5</sub> – Hg <sub>1,4</sub> – Br <sub>1,3</sub> – Cr <sub>1,3</sub> – Na <sub>1,2</sub> – Zn <sub>1,1</sub>
Зырянский	Br <sub>10</sub> – Fe <sub>8</sub> – Hg <sub>3</sub> – Zn <sub>1,6</sub> – Sb <sub>1,3</sub> – Co <sub>1,1</sub> – La <sub>1,1</sub>
Бакчарский	Cr <sub>4,8</sub> – Fe <sub>3,8</sub> – Na <sub>2,4</sub> – Rb <sub>1,4</sub> – Sc <sub>1,3</sub> – Sb <sub>1,3</sub> – Br <sub>1,3</sub>
Парабельский	Na <sub>2,9</sub> – Rb <sub>1,8</sub> – Au <sub>1,7</sub> – Br <sub>1,5</sub> – Hg <sub>1,5</sub> – Fe <sub>1,2</sub>
Кожевниковский	Sb <sub>24</sub> – Fe <sub>3,3</sub> – Hf <sub>2,2</sub> – Na <sub>1,8</sub> – Hg <sub>1,8</sub> – Rb <sub>1,8</sub> – Br <sub>1,7</sub> – Au <sub>1,4</sub>
Чаинский	Br <sub>33</sub> – Na <sub>3</sub> – Fe <sub>1,8</sub> – Cr <sub>1,6</sub> – Hf <sub>1,5</sub> – Rb <sub>1,5</sub> – Co <sub>1,1</sub>
Молчановский	Fe <sub>5</sub> – Hg <sub>3</sub> – Sb <sub>2,2</sub> – Na <sub>1,9</sub> – Cr <sub>1,9</sub> – Br <sub>1,7</sub> – Rb <sub>1,5</sub> – Co <sub>1,2</sub> – Au <sub>1,1</sub>
Колпашевский	Br <sub>28</sub> – Fe <sub>6,2</sub> – Na <sub>6</sub> – Rb <sub>3,3</sub> – Sb <sub>2,1</sub> – Hf <sub>1,8</sub> – Hg <sub>1,7</sub> – Co <sub>1,2</sub> – Zn <sub>1,1</sub>
Александровский	Br <sub>116</sub> – Cr <sub>4,1</sub> – Na <sub>4</sub> – Rb <sub>4</sub> – Sb <sub>3,7</sub> – Fe <sub>3,6</sub> – Ce <sub>2</sub> – Hf <sub>1,6</sub> – Hg <sub>1,4</sub> – Co <sub>1,3</sub> – Zn <sub>1,1</sub>
Шегарский	Br <sub>269</sub> – Sb <sub>9</sub> – Fe <sub>5</sub> – Hg <sub>4</sub> – Na <sub>3,4</sub> – Cr <sub>3,4</sub> – Th <sub>3</sub> – Rb <sub>2,4</sub> – Hf <sub>2</sub> – Zn <sub>1,4</sub>
Каргасокский	Sb <sub>85</sub> – Fe <sub>5</sub> – Cr <sub>4,2</sub> – Rb <sub>1,8</sub> – Au <sub>1,7</sub> – Hf <sub>1,7</sub> – Br <sub>1,5</sub> – Sc <sub>1,3</sub> – Hg <sub>1,3</sub>
Кривошеинский	Th <sub>5,9</sub> – Na <sub>5</sub> – Rb <sub>4,7</sub> – Br <sub>2,7</sub> – Sb <sub>2,3</sub> – Fe <sub>2,1</sub> – Co <sub>2</sub> – Hg <sub>2</sub> – Au <sub>1,7</sub> – La <sub>1,3</sub> – Zn <sub>1,3</sub>
Верхнекетский	Cr <sub>6</sub> – Hg <sub>5</sub> – Fe <sub>4,7</sub> – Th <sub>3,2</sub> – Sb <sub>2,7</sub> – Br <sub>2,6</sub> – Na <sub>2,3</sub> – Rb <sub>1,4</sub> – La <sub>1,4</sub> – Zn <sub>1,3</sub> – Au <sub>1,2</sub> – Co <sub>1,1</sub>

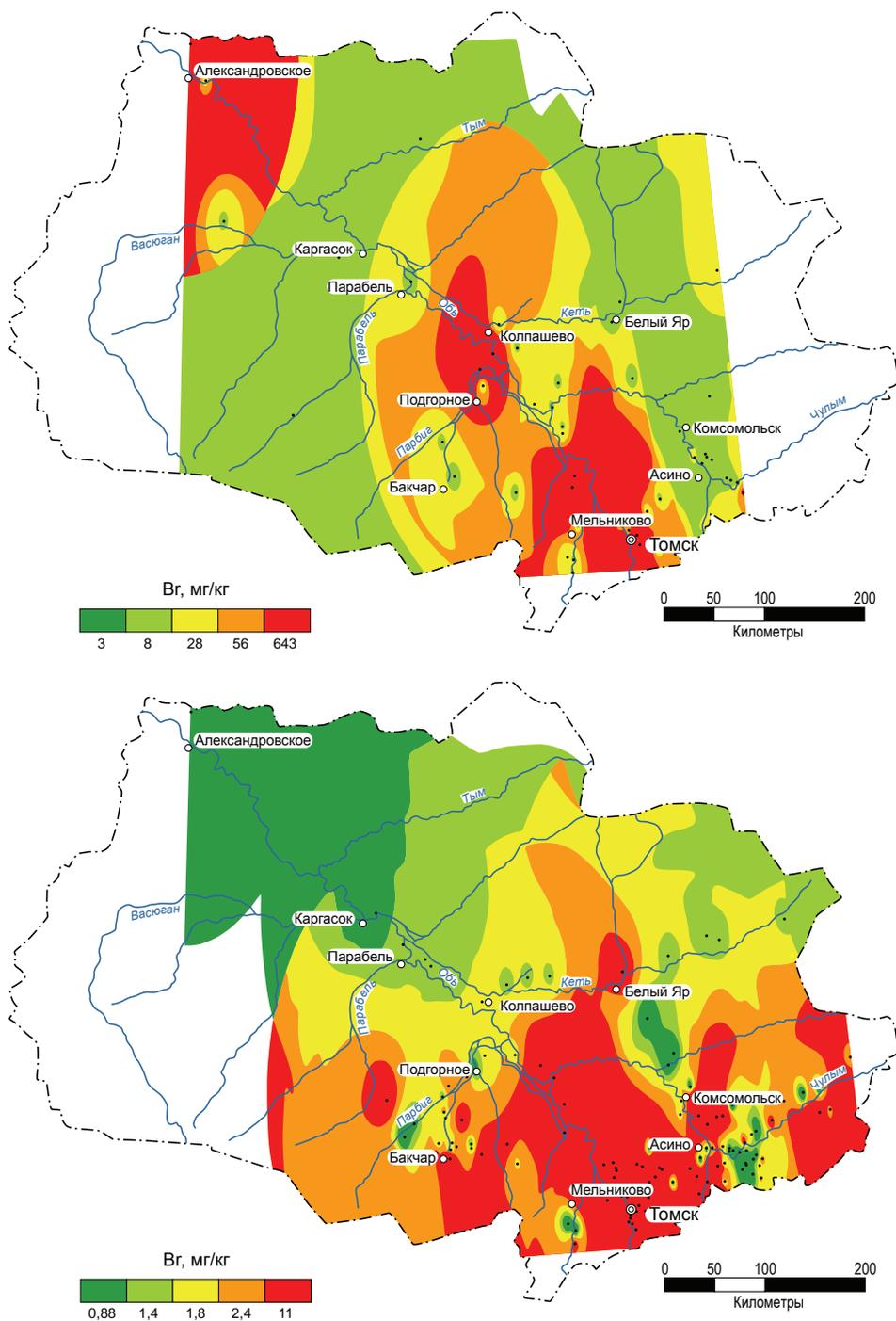
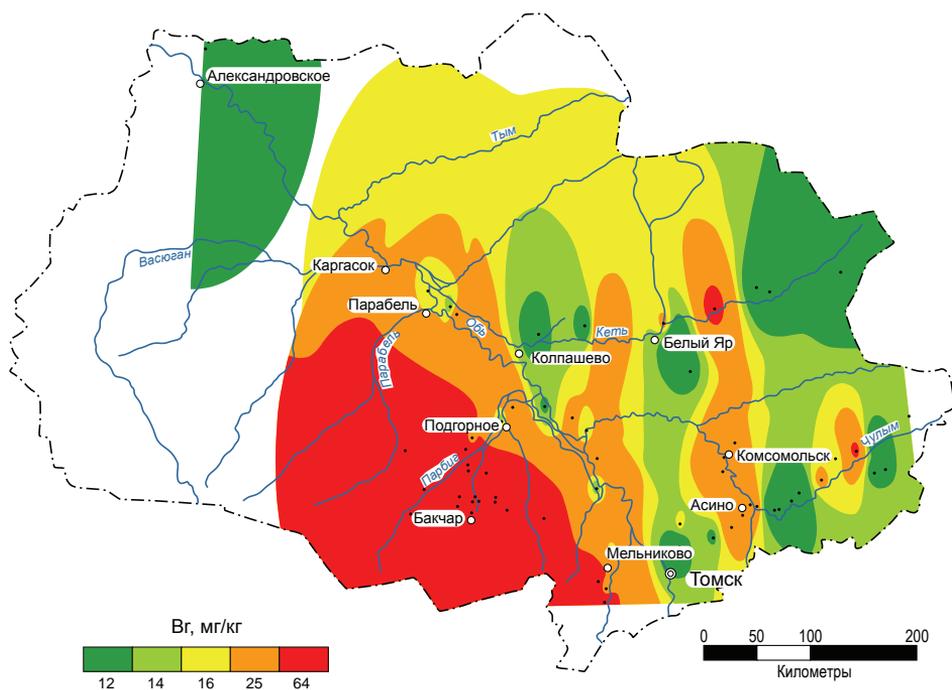


Рис. 8.1.8. Схема распределения брома на территории Томской области по данным его содержания в щитовидной железе человека, накопи питьевых вод и почвы



Продолжение рис. 8.1.8.

Необходимо отметить, что anomalно высокие показатели коэффициента концентрации брома в Александровском и Шегарском районах области обусловлены наличием единичных anomalных проб. Вопрос о столь значительном его накоплении при определенных патологиях и в конкретных населенных пунктах требует отдельного рассмотрения и дополнительного изучения.

Каждый район имеет свою некоторую геохимическую специфику (табл. 8.1.4). Так, только для Томского характерно значительное накопление урана, Асиновского, Каргасокского и Кожевниковского – сурьмы, Бакчарского и Верхнекетского – хрома, Кривошеинского – тория и т.д. По-видимому, место проживания оказывает определенное влияние на специфику заболеваний ЩЖ. Возможно, полученная информация позволит прогнозировать патологии ЩЖ населения и планировать мероприятия по их профилактике.

В ряде районов в патологически измененной ЩЖ отмечается Au в два раза превышающее его содержание в условно здоровой ЩЖ (рис. 8.1.9).

Хорошо видно, что областям с высокой концентрацией золота в накипи питьевых вод и почве, обусловленным, по всей видимости, факторами природного характера, соответствуют низкие концентрации элемента в патологически измененной щитовидной железе. Ранее мы уже отмечали, что содержание золота снижается в патологически измененной ткани ЩЖ, однако характерно его специфическое накопление в составе аденом.

Таким образом, напрашивается вывод о возможно более неблагоприятной ситуации с частотой возникновения аденом у жителей северных районов области

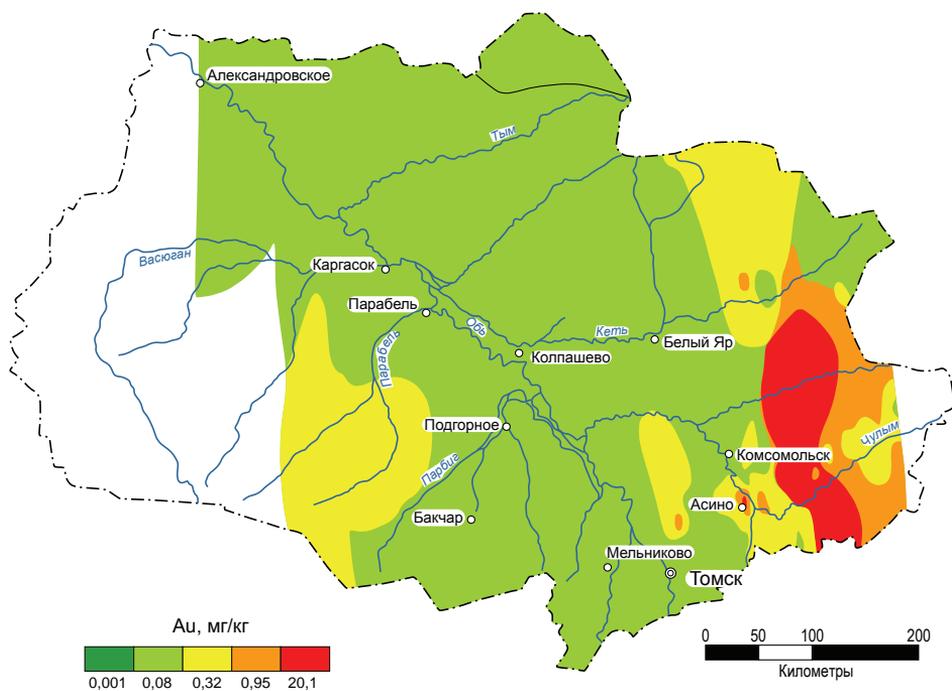
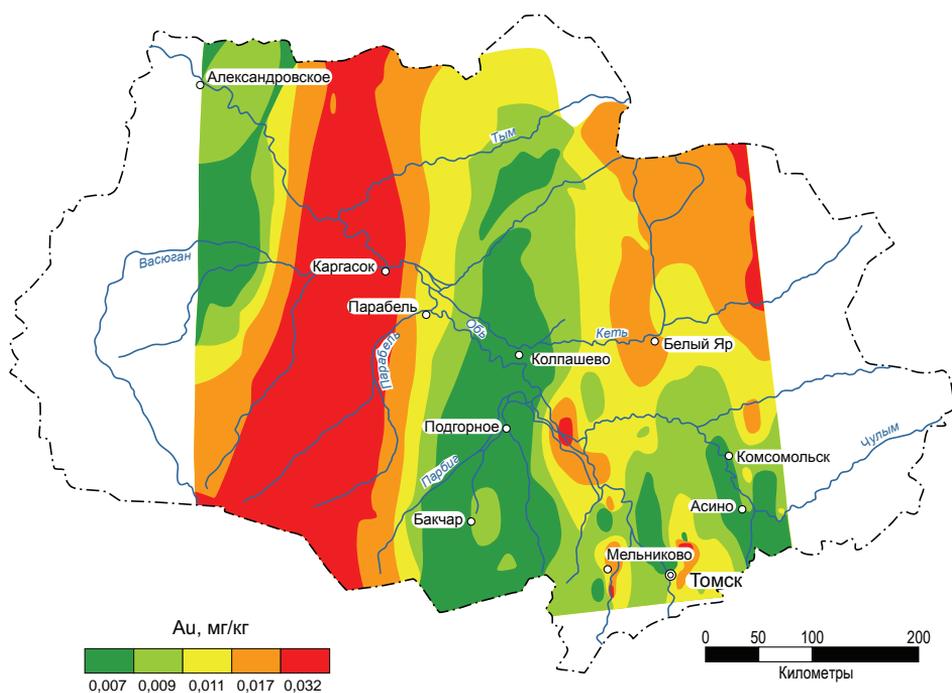
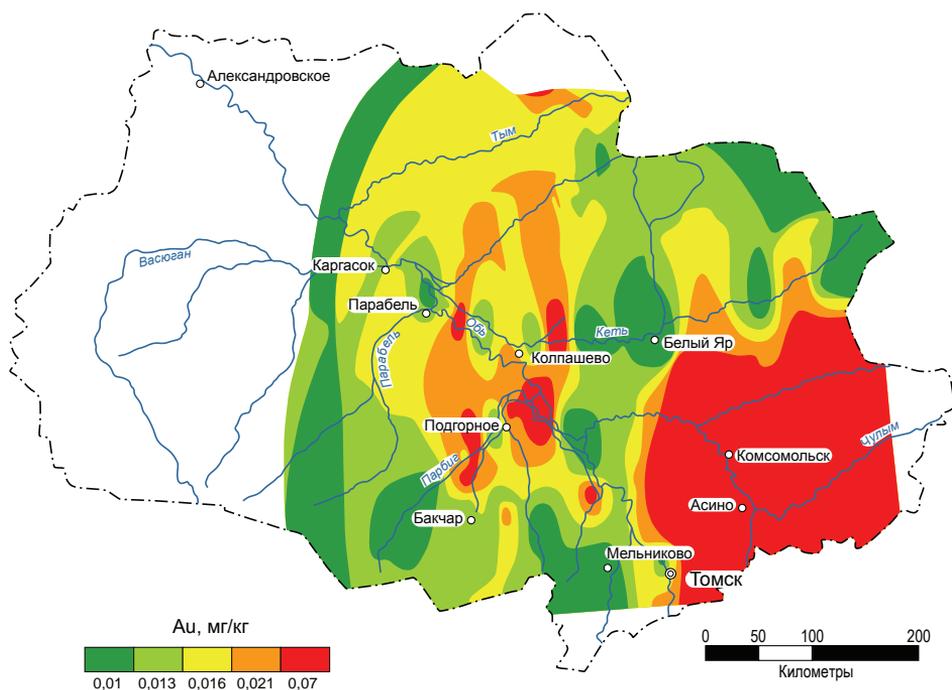


Рис. 8.1.9. Схема распределения золота на территории Томской области по данным его содержания в щитовидной железе человека, накопи питьевых вод и почвы



Продолжение рис. 8.1.9.

(в частности, Парабельском, Верхнекетском, Каргасокском). Причем, причина накопления золота является не связанной территориально с его высоким содержанием в почвах и воде. Возможно влияние иных факторов на концентрирование этого элемента, в том числе уже упоминавшиеся микроорганизмы (нанобактерии), возможно специфически накапливающие этот компонент в организме человека. Таким образом, накопление золота в ткани ЦЖ отличается от специфики его концентрации в волосах и крови, где наблюдается большая взаимосвязь с такими средами, как накипь питьевых вод и почва.

Спектр химических элементов ЦЖ жителей Томской области во многом отражает геохимическую специфику природных сред. Так, распределение железа по данным его содержания в ЦЖ и почве имеет схожую пространственную структуру (рис. 8.1.10), коррелирующую с распределением этого элемента по данным других биологических тканей.

Схемы распределения других элементов приведены на рис. 8.1.11. Основная масса элементов распределена на территории области в соответствии с их распределением в других средах. Обращает на себя внимание присутствие Th с  $Kk \geq 2$  в Кривошеинском, Верхнекетском и Шегарском районах. Это, а также присутствие в ряде районов в избытке Hg требует отдельного рассмотрения, в том числе специфики медикаментозного лечения больных. На этом фоне показателен элементный состав отдельных проб, ярко отражающий специфику местности. Например: пациентка Б., 22 года, проживает с рождения в пос. Самусь, являющимся

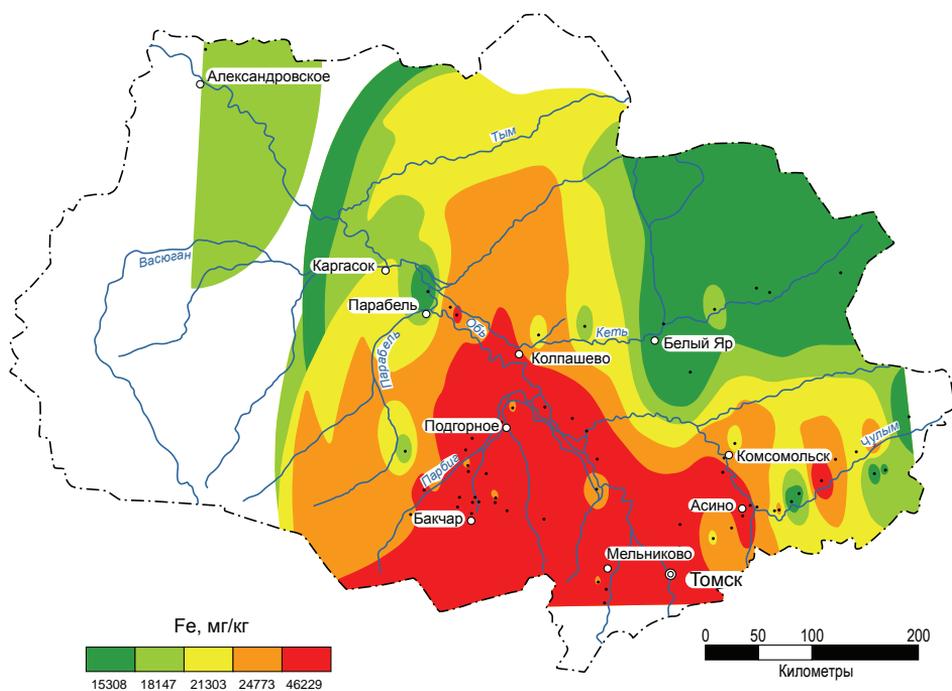
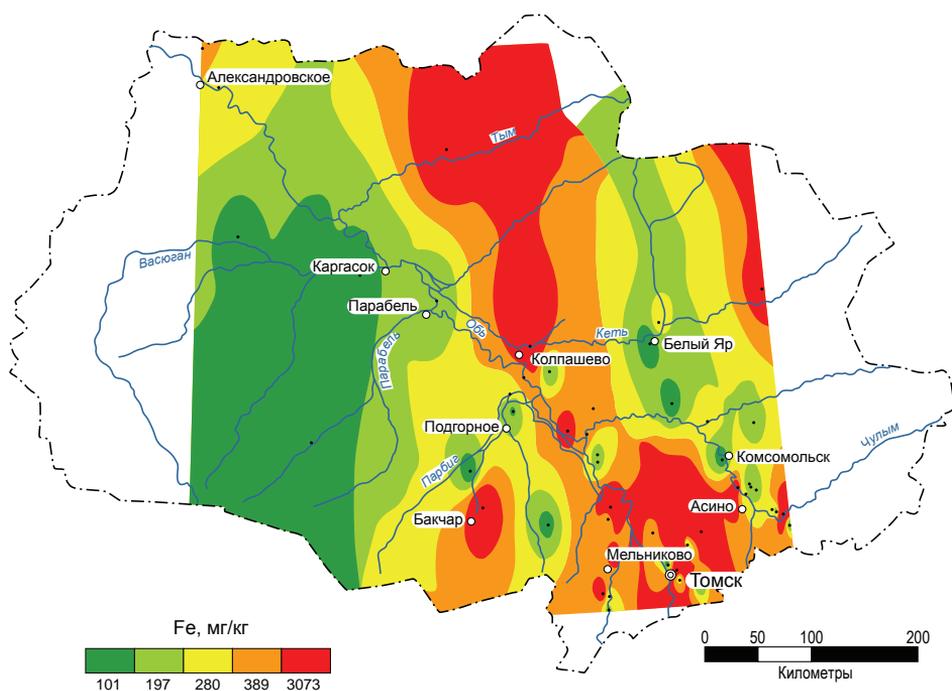


Рис. 8.1.10. Схема распределения железа на территории Томской области по данным его содержания в щитовидной железе человека и почвы

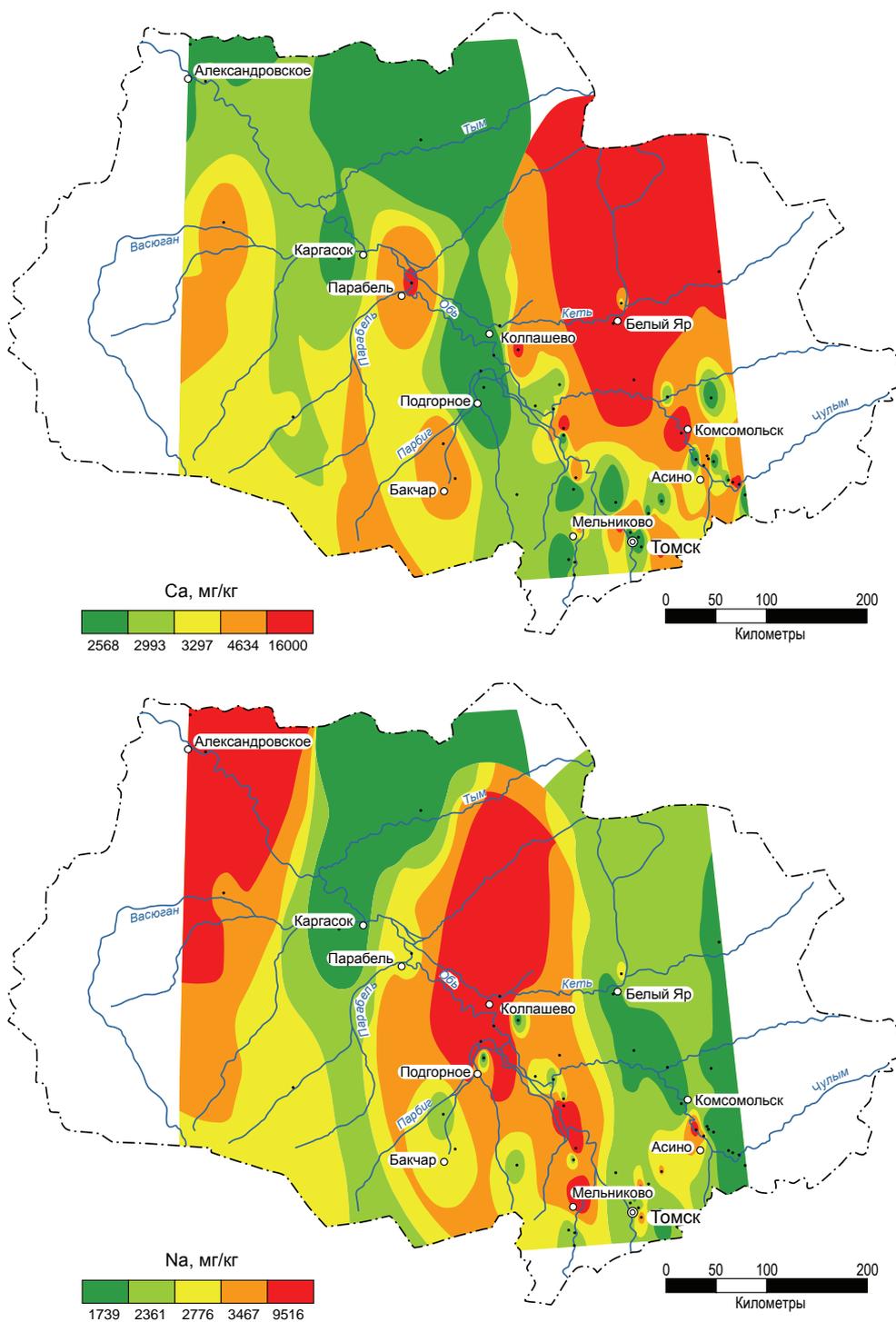
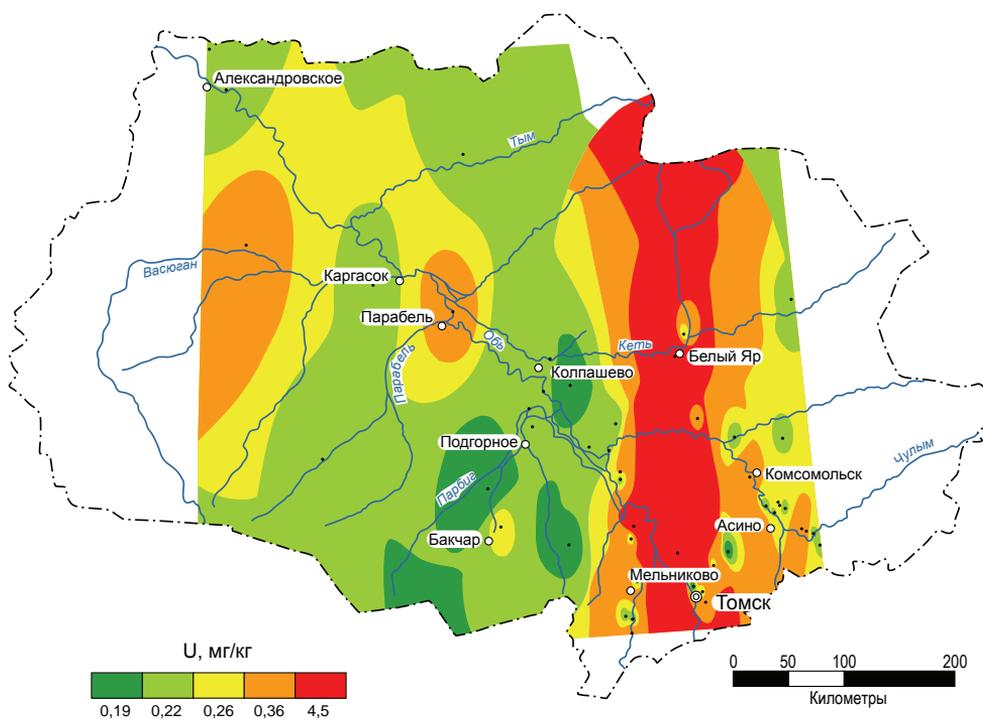
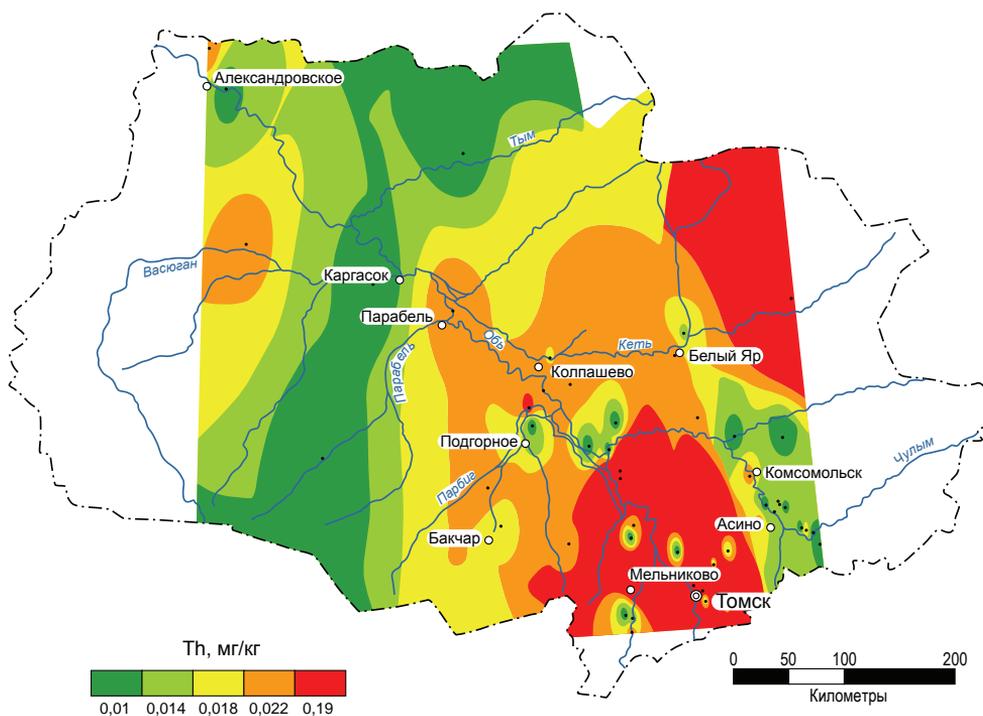
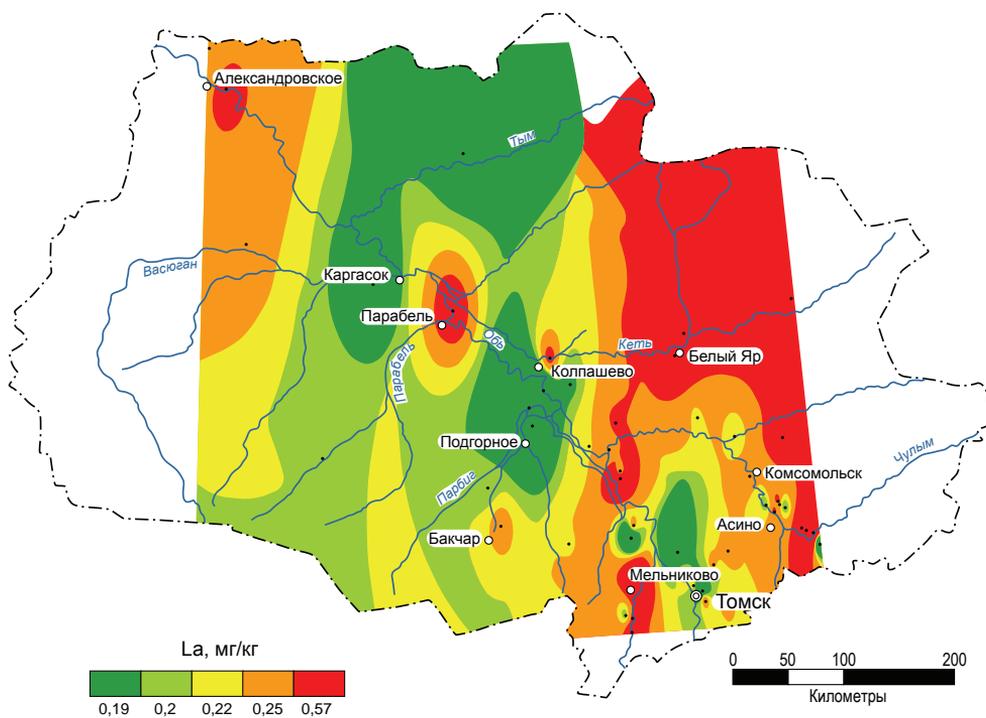
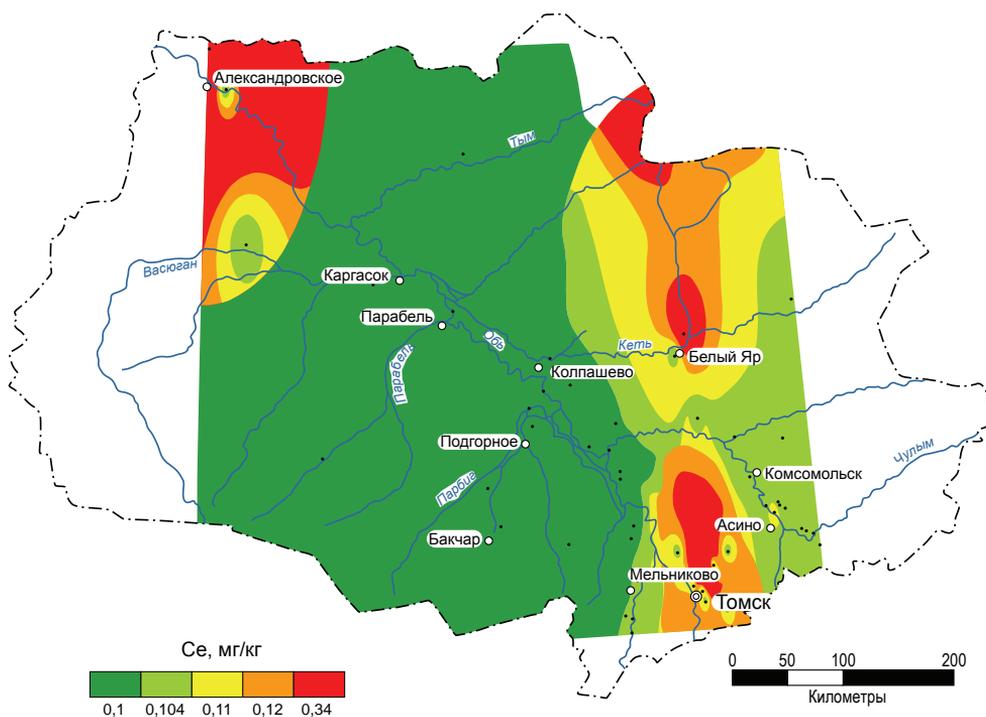


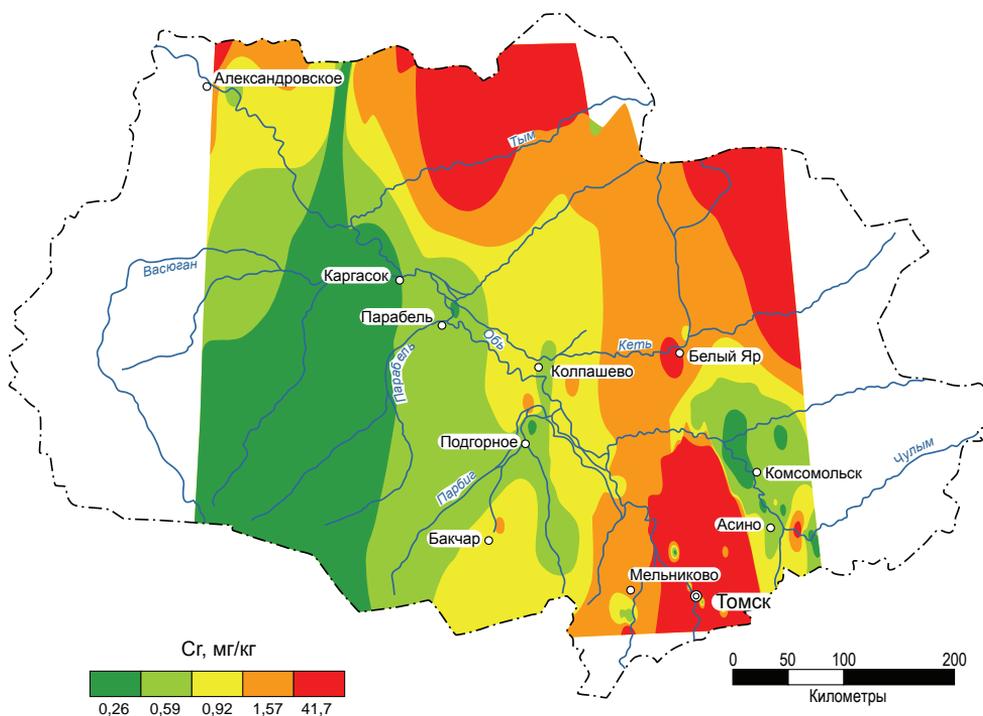
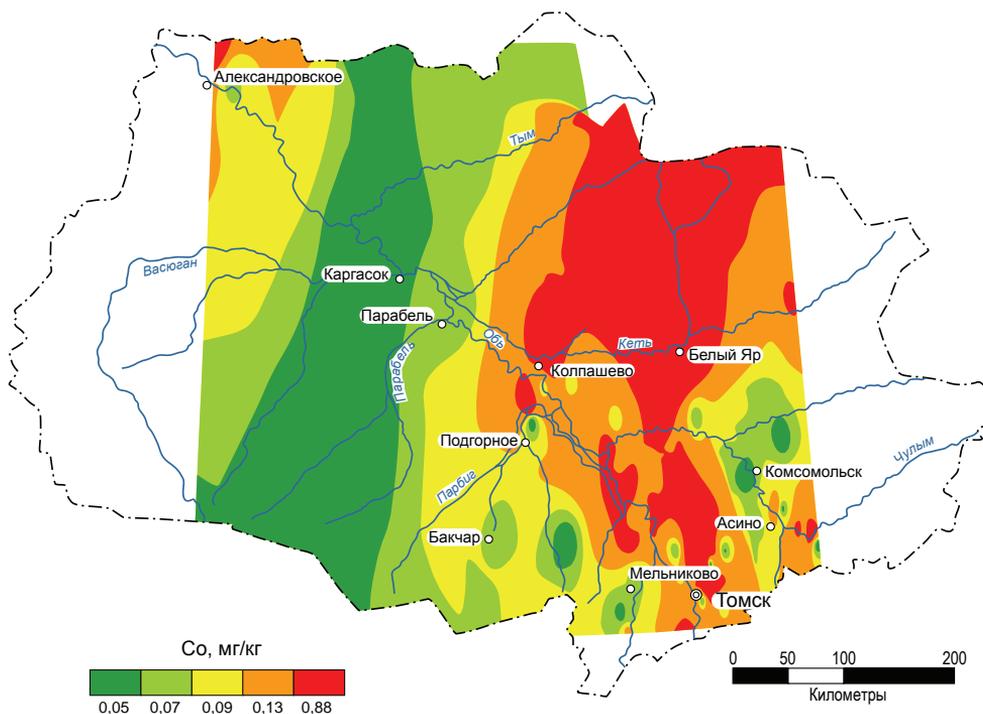
Рис. 8.1.11. Схемы распределения элементов в составе щитовидной железы человека на территории Томской области (Ca, Na, Th, U, Ce, La, Co, Cr, Lu; содержание в мг/кг)



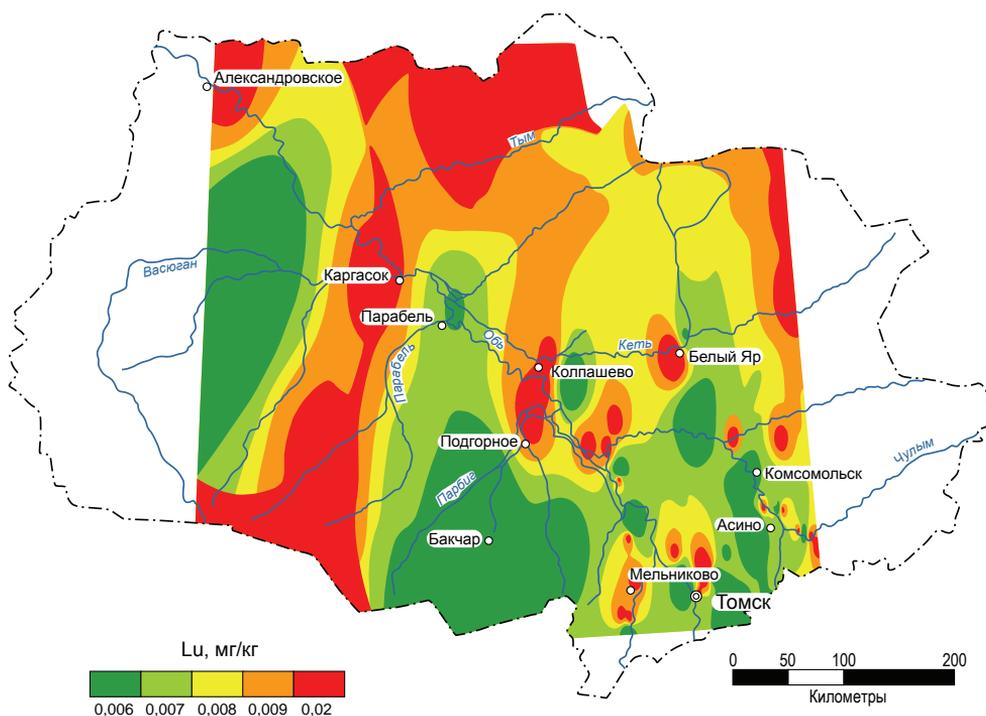
Продолжение рис. 8.1.11.



Продолжение рис. 8.1.11.



Продолжение рис. 8.1.11.



Окончание рис. 8.1.11.

территориально частью ЗАТО Северск, диагноз диффузно-узловой зоб, 3ст. (узел правой доли щитовидной железы), эутиреоз. Морфологически верифицирована доброкачественная фолликулярная аденома.

Возраст возникновения узла свидетельствует о раннем (нетипичном) развитии данной патологии. Микроэлементный состав щитовидной железы имеет выраженные особенности. Она характеризуется минимальным содержанием Ca (500 мг/кг) и наличием большего количества элементов с минимальным порогом их определения: Sc, Cr, Ag, Sb, Au, La, Ce, Sm, Th, Hg. Вероятно, это можно объяснить тем, что в молодом возрасте сильны защитные механизмы, щитовидная железа «не успела накопить» тяжелые элементы. При этом обнаруживается аномально высокое содержание брома (600 мг/кг) при его общем среднем содержании в ЩЖ 14 мг/кг. Характерной особенностью является то, что ЩЖ данной пациентки характеризуется максимально высоким значением U (4,5 мг/кг), при среднем 0,2 мг/кг. Кроме того, отмечается высокая концентрация Se (3,6 мг/кг), при его среднем 1,2 мг/кг, Rb 5,4 мг/кг (среднее 3,3 мг/кг). Присутствующий спектр химических элементов характерен для предприятий ядерного цикла, скорее всего, эти элементы, ввиду их высоких концентраций, прорвали естественный биологический барьер и явились причиной возникновения аденомы в столь раннем возрасте.

Все вышеперечисленные данные могут свидетельствовать о причинно-следственной связи уровней накопления химических элементов с патологией щито-

видной железы, прежде всего тех, которые определяются в повышенных концентрациях в щитовидной железе: хрома, железа, брома, натрия, самария, урана.

Связь между состоянием популяционного здоровья населения и биогеохимической структуры территории позволяет говорить о возможности и необходимости разработки параметров экологического нормирования на основе изучения этой структуры как в природных ландшафтах, так и на антропогенно-измененных территориях.

Таким образом, проведенные нами исследования элементного состава патологически измененной щитовидной железы позволяют сделать следующие выводы:

1. В пределах области в разных районах заболеваемость неоднородна, наибольший ее процент приходится на районы области, прилегающие к промышленному узлу Томск-Северской агломерации, характеризующиеся максимальным влиянием неблагоприятных экологических факторов, в том числе химической природы.
2. Полученные нами данные свидетельствуют о значительной роли ряда элементов в формировании тиреоидной патологии.
3. Патологически измененная щитовидная железа отличается от контроля и данных литературы повышенным накоплением химических элементов в целом, как эссенциальных, так и прочих изученных групп, геохимическим разнообразием элементов, содержит повышенные количества натрия, железа, брома, рубидия, ртути, пониженные – кальция и селена.
4. Для каждого вида патологии характерна своя специфика элементного состава, уровней концентрирования, в том числе максимальных содержаний и изменение суммарного показателя их накопления.
5. Спектр химических элементов ЩЖ жителей Томской области во многом отражает геохимическую специфику природных сред.
6. Результаты исследования элементного состава четырех видов патологий щитовидной железы на территории Томской области (аденома, рак, аутоиммунный тиреоидит, узловой коллоидный зоб) в сравнении с таковым щитовидной железы условно – здоровых людей, погибших от случайных причин, позволил выделить спектр специфичных элементов для каждой патологии.

## **8.2. Особенности накопления элементов в структурах кардиоваскулярной системы с разной степенью кальцикации**

Кальциноз кардиоваскулярной системы (КВС) весьма распространенная патология человеческого организма (синонимы – кальцификация, обызвествление, известковая дистрофия). Под ним понимают выпадение фосфата кальция (в основном гидроксил-апатита –  $\text{Ca}_3\text{PO}_4(\text{OH})$ ) из жидкой среды, где он находится в растворенном или в коллоидном состоянии. Отложению кальциатов способствует гиперпаратиреоз, нарушение функции почек и толстой кишки, гипervита-

миноз D, активация некоторых ферментных систем, в частности фосфатаз, а также изменения кислотно-основного состояния в щелочную сторону (Бала, 1973). Изучение разнообразных живых систем на территории Томской области указывает, что в результате влияния антропогенных факторов происходит изменение в обмене кальция, в уровнях его накопления, в соотношениях с другими элементами. Это обстоятельство подвигло нас к изучению одной из патологий, в которой данный элемент играет ведущую роль (Ламанова, Барановская, 2009).

Имеется обширная литература по изучению изменений содержания микроэлементов в доклинический период атеросклероза и при развивающемся атеросклеротическом процессе, представляющая большой интерес для разработки новых методов лечения. Все исследования указывают на важную роль микроэлементов в развитии кардиопатологий. Так, например, известно (Ганджа, 1978), что имеется обратная зависимость между жесткостью питьевой воды, связанной с повышенным содержанием в ней кальция, и летальностью от атеросклероза в США и Англии. Частота случаев атеросклероза находится в обратной зависимости от содержания в воде Mg, Ca, Fe, ионов  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{SO}_4$  и pH. Предполагается, что катионы веществ, содержащихся в жесткой воде, вступают в комплексные соединения с жирowymi кислотами и препятствуют всасыванию их в кишечнике.

То обстоятельство, что при патологиях сердечно-сосудистой системы нарушается обмен ряда микроэлементов, таких, как Fe, Mn, Zn, Pb, V, Co, Ni признается в медицине как факт. Однако не подвергается сомнению и то обстоятельство, что интенсивность и особенности реагирования организма на дисбаланс микроэлементов индивидуальны и связаны с генетическими механизмами металлолигандного гомеостаза. При исследовании распределения элементов в разных отделах сердца (Окунева и др., 2008) в миокарде всех отделов сердца у больных ишемической болезнью сердца (ИБС) отмечаются повышенные по сравнению с нормой содержания Ca (в 4–9 раз), Fe (в 2–3 раза), Zn (в 1,5–2 раза) и S (в 2 раза). При инфаркте миокарда дисбаланс химических элементов усугубляется за счет повышения в воспалительной зоне Na, Sr (в 2 раза), Hg, Cr и уменьшения K, Mn, Cu, Se, Pb.

Л.М. Ламановой (Томский государственный университет) было отобрано 20 образцов тканей, которые были любезно предоставлены Томским кардиологическим центром СО РАН. Все образцы, кроме одного, являются биопсийным материалом митральных и аортальных клапанов и восходящих аорт. Образец восходящей аорты молодого человека со здоровым сердцем имел аутопсийное происхождение и был предоставлен кафедрой судебной медицины Сибирского государственного медицинского университета. Три сердечных клапана не содержали кальцинатов в заметных невооруженным глазом количествах и относились к митральным клапанам. Двенадцать аортальных клапанов отличались сильной кальцинацией. Две восходящих аорты отличались сильной степенью кальцинации, а в двух других заметная кальцинация отсутствовала.

Пациенты, у которых брались ткани на биопсию (20 человек), в основном проживали в г. Томске, трое в г. Северске, пять в различных селах Томской об-

ласти и два пациента из сельской местности Красноярского края. Все эти люди имели различные сердечно-сосудистые заболевания, в основном атеросклероз и ревматический порок сердца, определенное время подвергались амбулаторному и стационарному медикаментозному и физиолечению и затем были прооперированы в Томском кардиоцентре (Ламанова и др., 2009).

Выполненный нами анализ распределения содержаний элементов по различным группам образцов показал (рис. 8.2.1), что чем выше кальцинация в тканях, тем ниже в них содержание ряда элементов.

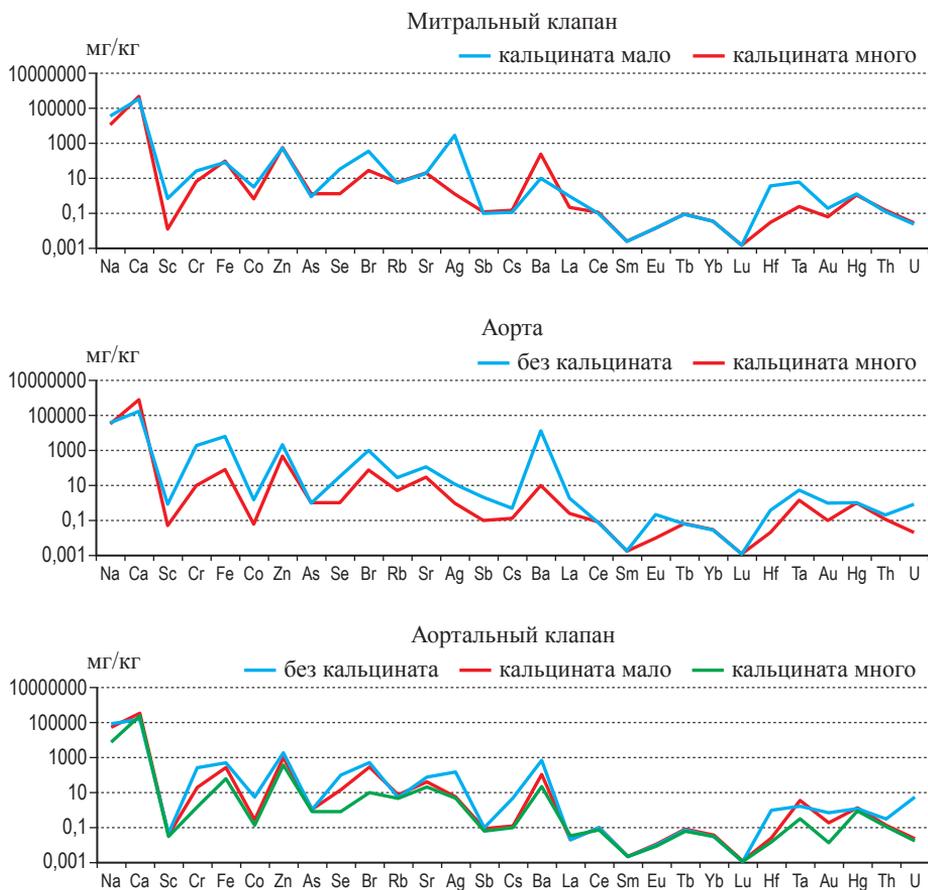


Рис. 8.2.1. Изменение содержания элементов в структурах КВС в зависимости от степени кальцинации

Это хорошо видно для скандия, хрома, кобальта, селена, брома, серебра, бария, гафния, тантала и золота, в некоторых случаях железа и урана, некоторых редкоземельных элементов. Для аортального и митрального клапанов характерна тенденция к снижению содержания натрия. Этот факт противоречит мнению некоторых ученых, утверждающих что ионы  $\text{Na}^+$  диффундируют из плазмы крови в гидратный слой апатита, а также внедряются в поверхность кристаллов, заме-

щая ионы  $\text{Ca}^{2+}$  (Москалев, 1985). Известно, что избыточное содержание натрия способствует вазомоторным нарушениям, повышению артериального кровяного давления, тем самым усиливает развитие атеросклероза, и повышенные содержания натрия в начальной стадии кальцинообразования это подтверждают.

В данной выборке проб отсутствует строгая корреляция кальция с его химическим аналогом стронцием. Максимальные содержания этого микроэлемента в тканях приходятся на наименее кальцинированные ткани.

В отношении влияния железа на состояние сердечно-сосудистой системы отмечаются разные точки зрения. Большинство авторов повышенное содержание железа в тканях и жидкостях организма рассматривается как фактор риска в отношении сердечно-сосудистых заболеваний (Mc Cord, 1991 и др.). Есть три гипотезы для объяснения взаимосвязи железа и сердечно-сосудистых заболеваний (Борелла, 2005). «Беспороговая» гипотеза, «гипотеза с высоким порогом» и гипотеза линейной зависимости эффекта от дозы. Однако в последнее время появляется все больше эпидемиологических обзоров, опровергающих эту точку зрения (Борелла, 2005). Думается, противоречия в оценке роли железа можно объяснить его присутствием в различной степени валентности, а также различных комплексных и хелатных соединений этого элемента, имеющих разнонаправленное и даже противоположное воздействие на организм в целом и на сердечно-сосудистую систему, в частности.

Известно, что всасываемость хрома также зависит от его валентности. У  $\text{Cr}^{3+}$  всасываемость в 10 раз ниже, чем у  $\text{Cr}^{6+}$ . Шестивалентный хром обладает общетоксическим и мутагенным действием. В сыворотке крови  $\text{Cr}^{6+}$  прочно связан с трансферрином-белком  $\beta$ -глобулиновой фракции. Сродство  $\text{Cr}^{6+}$  к трансферрину приближается к таковому для Fe (Москалев, 1985).  $\text{Cr}^{3+}$  не способен проникать через оболочки, соединиться с  $\beta$ -глобулиновой фракцией белков сыворотки крови и переноситься в физиологических количествах в составе трансферритина к тканям (Антонов, 2006). К сожалению, используемый нами метод определяет только валовое содержание хрома. По нашим данным (Ламонова, Барановская, 2009) наблюдается корреляция между Fe и Cr ( $r=0,98$ ), что косвенно может указывать на присутствие в тканях больных хрома в шестивалентной форме. Известно, что  $\text{Cr}^{6+}$  подавляет активность ДНК-полимеразы, стабильность синтеза ДНК, кроме того Cr дозозависимо вызывает индукцию апоптоза или задержку клеток на определенной стадии клеточного цикла (Юрина, 2005). В литературе известно о накоплении  $\text{Cr}^{3+}$  в соединительной ткани и в том числе в костях. Предполагается, что ионы  $\text{Cr}^{3+}$  могут обмениваться с ионами  $\text{Ca}^{2+}$ , подобно ионам  $\text{Sr}^{2+}$  и  $\text{Ca}^{2+}$  или адсорбироваться на поверхности кристаллов гидроксилатапата. Но в наших анализах кальцинированных сердечно-сосудистых тканей отсутствует значимая корреляция между Ca и Cr.

Хром тесно связан с углеводным обменом, его называют «фактором толерантности к глюкозе», т.к. недостаток  $\text{Cr}^{3+}$  вызывает снижение чувствительности тканей к инсулину. Повышенные содержания хрома в образцах из сердечно-сосудистой системы (КВС) совпадают с тканями наименее кальцинированными,

при этом разброс значений этого микроэлемента один из самых высоких в наших исследованиях (от менее 0,4 до 3869 мг/кг золы). Необходимо отметить, что этот элемент является специфичным для территории Томской области и накапливается в высоких концентрациях во многих природных средах и тканях человека («Эколого-...», 2006).

Содержание в тканях и жидкостях сердечно-сосудистой системы цинка изучается весьма интенсивно (Антонов, 2006; Wen-feng Teng, 2008), однако приводимые в работах данные весьма противоречивы. Биохимическая роль цинка связана с ферментативными процессами, так как он входит в состав ряда важнейших ферментов. Кроме того цинк участвует в обмене нуклеиновых кислот и синтезе белков. В полученных нами результатах, происходит уменьшение содержания цинка по мере развития кальцинации тканей. Самыми высокими содержаниями цинка отмечены образцы тканей здорового человека и ткани без кальцинатов, а самыми низкими – ткани с высокой степенью кальцинации. Это может свидетельствовать об обеднении минерализованных тканей ферментами. Кроме того наблюдается отчетливая корреляция цинка с бромом ( $r=0,82$ ) (рис. 8.2.2).

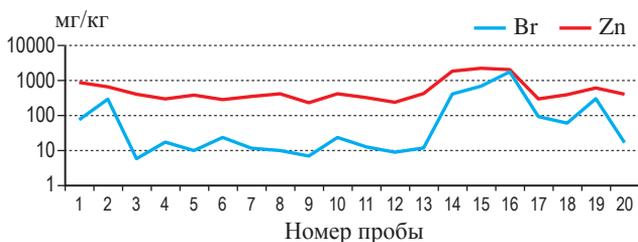


Рис. 8.2.2. Логарифмированные графики изменения содержания брома и цинка в тканях КВС человека (мг/кг золы)

Наличие такой связи между цинком и бромом, возможно, свидетельствует об их физиологической взаимосвязи в организме человека. Необходимо отметить, что бромиды цинка являются токсичными соединениями для организма. Поступление этих элементов в организм человека могут быть вызваны разными причинами, к которым относятся и их высокое содержание в воде или пище, в объектах окружающей среды, а также в медицинских препаратах. Препараты брома, как известно, очень распространенное успокаивающее средство, которое широко употребляется населением в целом и кардиобольными в частности (Baranovskaya, 1999).

Довольно неожиданно оказалось, что весьма часто встречающимся микроэлементом (в 65 % случаев) в сердечно-сосудистых тканях, вопреки общераспространенному мнению, является тантал. Его присутствие никогда не изучалось в связи с заболеваниями сердечно-сосудистой системы. По нашим данным, содержание тантала в тканях здорового человека выше, чем в тканях больных людей, причем значения содержания этого элемента мало различаются от степени кальцинации тканей. Возможно, тантал играет роль эссенциального элемента человеческого организма.

Золото и серебро никак не коррелируют между собой в сердечно-сосудистых тканях. Оба эти элемента являются бактерицидными и применяются в медицине.

Их биологическая роль изучена недостаточно. Золото встречено в 60 % образцов, серебро – в 50%. Ранее содержание этих микроэлементов в тканях кардиобольных, судя по литературным данным, не изучались. Максимальное содержание золота приурочено к наименее измененным тканям. Серебро распределяется по патогенным тканям несколько другим образом. Содержание серебра в тканях здорового человека находится посередине разброса значений элемента (от менее 1 до 2257 мг/кг золы при среднем – 123 мг/кг) и составляет 116 мг/кг. Повышенные, по сравнению со средними значениями, содержания серебра относятся к тканям клапанов без кальцината и с малым количеством кальцината, а пониженные – в клапанах и аортах с сильно развитой кальцинацией. Видимо в начале процесса изменения тканей идет увеличение содержания серебра, а по мере усиления кальцинации – уменьшение его количества.

Рубидий, как известно, является химическим аналогом калия, который, к сожалению, не определяется методом ИНАА. В изученных образцах рубидий значимо коррелирует с железом ( $r=0,98$ ), т.к., по-видимому, вместе с железом содержится в эритроцитах. Рубидий не проявляет закономерного убывания в содержании по мере нарастания процессов кальцинации тканей.

Обмен селена в организме тесно связан с обменом серы. В медицине известно, что селен в микроколичествах содержится во всех тканях животных, кроме жировой. Его роль значительна в обмене белков, жиров и углеводов. Селен является обязательной добавкой во многих БАДах и мультивитаминных комплексах. В образцах кардиоваскулярных тканей селен обнаружен в 30 % случаев. Его содержание убывает от слабо кальцинированных тканей к сильно кальцинированным. Наблюдается корреляция селена с таким жизненно важным элементом, как кобальт ( $r=0,94$ ). Не исключено, что существует какая-то взаимосвязь между двумя этими элементами в биологических процессах. В последнее десятилетие селен привлекает внимание исследователей, благодаря его роли в защите сердечно-сосудистой системы и участия в образовании фермента глутатионпероксидазы, который инактивирует действие пероксидов, участвующих в развитии атеросклероза (Борелла, 2005). Однако в литературе представлены и противоречащие этой точке зрения данные – об ассоциации между содержанием селена и способностью тромбоцитов к агрегации и положительной корреляции между содержанием селена и содержанием в плазме липопротеидной высокой плотности. Возможно взаимодействие селена с тканями зависит от того в какой химической форме он находится. Во всяком случае, наличие взаимосвязи между дефицитом селена и сердечно-сосудистыми заболеваниями признается далеко не всеми исследователями.

Информация о содержании гафния в животных организмах практически отсутствует. Гафний в максимальных количествах содержится в кардиоваскулярных тканях здорового человека. В кальцинированных тканях содержание его снижено.

Противоположная закономерность наблюдается при распределении в исследуемых тканях Sm, Yb, Lu. Вообще роль лантаноидов в обмене неизвестна, хотя известно об их присутствии в организме человека, особенно в селезенке и в ко-



тов: Na–Se, Sc–Cr–Fe–Rb–Ba–Eu–Au, Cr–Sr–Rb, Br–Zn–Se–Au, Br–Sb–La, Cs–Se–Co–Th–U. Некоторые ассоциации характерны для природных объектов и живых организмов территорий, испытывающих интенсивное антропогенное воздействие. В частности, ассоциация цезия, селена, кобальта, тория и урана характерна для зоны влияния Сибирского химического комбината, а высокие коррелятивные показатели взаимосвязи между бромом и сурьмой, а также лантаном соответствуют данным о зоне воздействия предприятий Томского нефтехимического комбината как по нашим данным, так и по результатам других исследователей («Экология...», 1994 и др.).

Анализ распределения элементов в составе тканей сердечно-сосудистой системы в зависимости от места проживания людей показало, что имеет место существенное различие в накоплении некоторых из них. Так, сравнение тканей жителей городов Томска и Северска (рис. 8.2.4) выявило более высокие концентрации скандия, хрома, селена, брома, серебра, лантана, гафния и тантала в составе тканей КВС томичей.



Рис. 8.2.4. Содержание элементов в тканях сердечно-сосудистой системы жителей городов Томского региона (мг/кг золы, шкала логарифмическая)

Поскольку наиболее измененные ткани характеризуются потерей элементов, можно констатировать, что наибольшие поражения структур сердечно-сосудистой системы будут характерны для северчан. В то же время, спектр элементов, в значимо больших количествах накапливающихся в тканях жителей города Томска характерен и для других биосред этой территории. По-видимому, при рассмотрении тканей с одинаковой патологической структурой на разных территориях в них мы будем в первую очередь наблюдать отражение эколого-геохимической структуры территории, а заболевание будет характеризоваться общими химическими элементами. К таким в данном случае относятся натрий, кальций, железо и др. Это подтверждает и изучение соотношений натрия и кальция в тканях с разной степенью кальцинации. Они разделяются на две группы – с малой и сильной степенью кальцинации (рис. 8.2.5). О взаимодействии этих элементов мы уже говорили выше.

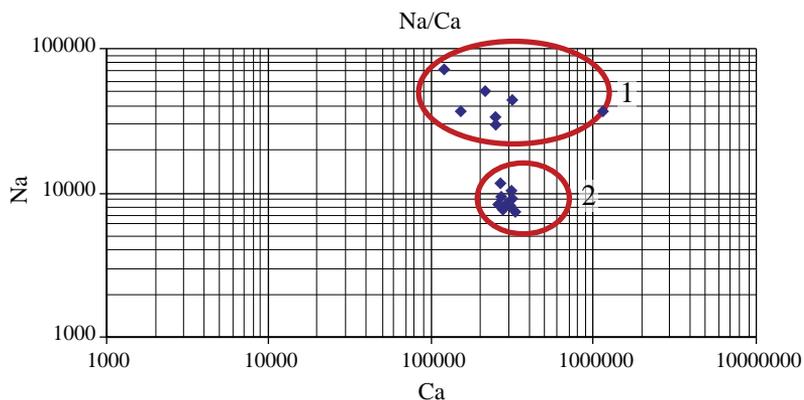


Рис. 8.2.5. Соотношение элементов натрия и кальция (мг/кг золы) в составе тканей сердечно-сосудистой системы человека со слабой степенью кальцинации (1) и сильной степенью кальцинации (2)

Если рассматривать характер соотношений элементов, то показательными для данной патологии являются отношение натрия к бромю (рис. 8.2.6). По-видимому, натрий играет существенную роль в формировании патологии сердечно-сосудистой системы, что подтверждают имеющиеся по этому вопросу литературные данные.

В этих видах соотношений более высокое содержание натрия соответствует слабой степени кальцинации тканей. Такой же эффект характерен для брома. Снижение этих элементов характерно для более тяжелого поражения тканей.

К сожалению, анализ других индикаторных отношений элементов (например, тория к урану, редкоземельных) невозможен по причине их содержания

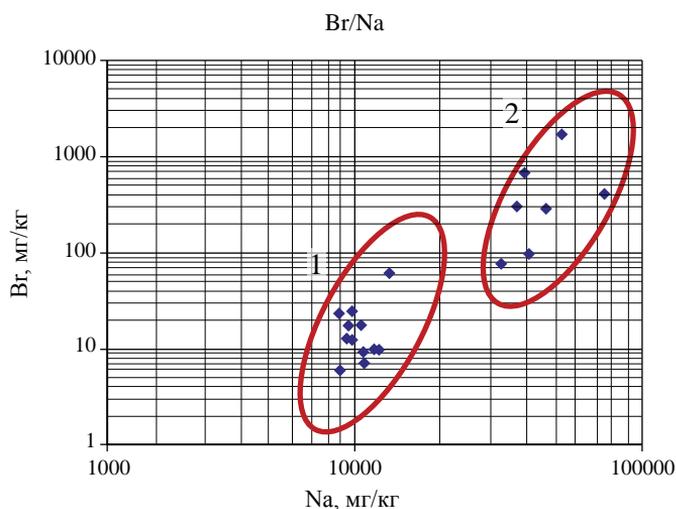


Рис. 8.2.6. Соотношение элементов натрия и брома (мг/кг золы) в составе тканей сердечно-сосудистой системы человека с сильной степенью кальцинации (1) и слабой степенью кальцинации (2)

ниже предела обнаружены в значительном объеме проб.

Если рассматривать изученные сельские населенные пункты, то наиболее высокими показателями содержания натрия и брома, так же как и ряда других элементов (Au, Fe, Ta, Cr), характеризуются ткани жителей Первомайского района (рис. 8.2.7).

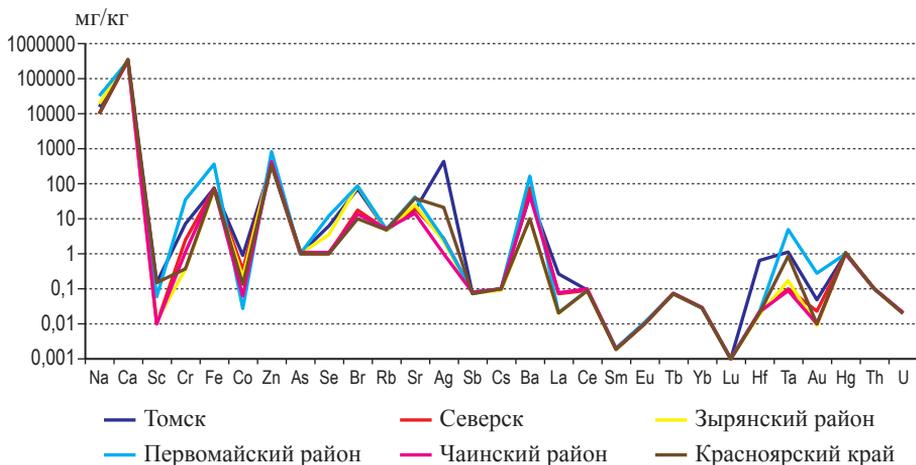


Рис. 8.2.7. Содержание элементов в тканях сердечно-сосудистой системы жителей населенных пунктов Томской области и Красноярского края

Примечательным является тот факт, что для жителей Зырянского района характерны такие же уровни накопления элементов, как и у жителей Красноярского края. Близость расположения данных административных единиц оказывает, по-видимому, значительное влияние на степень накопления элементов и в патологически измененных тканях человека. Исключение в данном случае составляют такие элементы, как тантал, скандий, серебро, которые накапливаются в более значимых концентрациях в сердечно-сосудистой системе жителей Красноярского края. В целом, характерно меньшее накопление большинства элементов в составе изученных тканей у жителей Красноярского края по сравнению с Томской областью.

Таким образом, полученные результаты по концентрированию элементов в тканях сердечно-сосудистой системы с различной степенью кальцинации жителей разных населенных пунктов позволяет говорить о влиянии факторов регионального характера на их накопление и распределение. Значимым показателем нарушения в структурах сердечно-сосудистой системы могут быть соотношения в ее тканях натрия, кальция и брома. Значимые вариации в накоплении тантала требует особого внимания к рассмотрению роли данного элемента в развитии заболеваемости кардиосистем и дальнейших исследований в этом направлении.

## Очерк девятый

# ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА, ПРОЖИВАЮЩЕГО В ТОМСКОМ РЕГИОНЕ

---

В качестве контролируемого биосубстрата в исследованиях, связанных с проблемами охраны окружающей среды, часто используют кровь (Жук и др., 1991, Савченко, 2000, и др.). Как отмечают многие исследователи, для этой ткани характерна относительная стабильность состава, являющаяся следствием действия гомеостатических механизмов и, в известной степени, условиями существования человека (Кист, 1987; Ильинских и др., 1998; Решетник, 2000 и др.). Любое отклонение от нормы вызывает у человека различные патологии, что в свою очередь служит показателем качества окружающей среды. Изучение изменений содержания элементов в составе крови является важным с точки зрения практической медицины – для выявления и прогнозирования заболеваний, что широко применяется, для индикации состояния окружающей среды, а также в целях создания региональных эталонов, которые важны для представления об элементном составе всего организма человека.

Изменение показателей крови происходит достаточно быстро, что связано с ее специфическими особенностями. Исследования, проведенные Л.И. Жук и др. (1991), показали, что ее элементный состав может изменяться в течение суток, в зависимости от типа питания или просто смены обстановки, а также существенно зависит от состояния здоровья человека. Имеются работы, показывающие зависимость химического элементного состава крови от группы крови, уровня гемоглобина, возраста и т. д. (Zhuk, 1990, 1991). Кроме того, исследования, проводимые в разное время, показали, что существует определенная взаимосвязь между элементным составом крови и патологическими процессами, происходящими в организме (Шустов, 1967; Ноздрюхина и др., 1980 и др.). Известно влияние различных систем организма на содержание элементов. Так, по данным Я.А. Эпштейна (1959) и других авторов, электролитный состав крови и тканей зависит от обмена веществ. На количество микроэлементов оказывают влияние физиологические барьеры (Кассиль, 1963, и др.), известно влияние нервной системы на изменение элементного состава крови в зависимости, например, от преобладания тонуса симпатической или парасимпатической системы, или высокой возбудимости коры головного мозга (Коломийцева и др., 1970 и др.).

Можно сказать, что кровь ярко отражает физиологические особенности организма. При этом изменения, происходящие в окружающей среде, вызывают достаточно быструю реакцию со стороны этой системы, выражающуюся в из-

менении ее элементного статуса, что в свою очередь может спровоцировать различные патологические изменения всего организма. В дальнейшем уже наличие патологии будет оказывать собственное воздействие на содержание элементов. Учитывая это обстоятельство, на стадии пробоотбора необходимо, по возможности, максимально исключить из выборки больных людей. В то же время, показатели элементного дисбаланса крови субъективно здорового человека может способствовать более ранней диагностике заболеваний, поскольку, по мнению некоторых авторов, «...концентрация химических элементов в крови контролируется гомеостатически и изменяется в далеко зашедших случаях заболеваний» (Решетник, 2000, С.15).

Известно, что в районах действия разнопрофильных предприятий в крови жителей в повышенных количествах относительно контроля содержатся элементы, отражающие специфику производств (Сагет и др., 1991; Ревич, 1995 и др.). Н.М. Паранько и др. (2002) отмечает, что в условиях промышленных городов наблюдается постоянное комплексное поступление в организм человека тяжелых металлов, причем некоторые из них в крови людей находятся в концентрациях более высоких, чем во внешней среде. Повышение содержания некоторых металлов, в частности кадмия и свинца, наблюдается в крови раньше, чем в других биосубстратах, а их количество коррелирует с содержанием в производственной или окружающей среде (Ревич, 1990; Олихова, 2000 и др.). У людей, занятых на вредных производствах, отмечаются профессиональные заболевания, связанные с накоплением в крови некоторых элементов (Рашевская и др., 1968; Сидельникова, 1994 и др.).

Такая специфичность данного биосубстрата, а также определенные трудности, связанные с отбором проб, обусловило меньшую распространенность его в индикационных исследованиях, по сравнению с такой биологической средой, как волосы человека. Тем не менее, работы, проведенные ранее, показали, что химический состав крови ярко отражает воздействие факторов окружающей среды и является индикатором этого воздействия (Ревич, 1991, 1995; Кист, 1987; Жук и др., 1991; Олихова и др., 2000 и др.). Общий уровень содержания элементов в крови, обусловленный поступлением элементов с пищей, водой, воздухом, является показателем региональных особенностей, а сопоставление полученных данных об элементном составе крови с данными по депонирующим средам позволяет более правильно интерпретировать полученные результаты и способствует ее использованию в качестве индикаторной среды.

## **9.1. Изменение элементного состава крови населения различных регионов**

Результаты изучения химического состава крови, преимущественно детской, проведенные нами на территории Томской, Челябинской и Иркутской областей, представлены в табл. 9.1.1.

Таблица 9.1.1

## Содержание элементов в крови человека

Элемент, мг/кг	Кровь человека						
	Наши данные			Савчен- ко, 2000	Zhuk, 1988	Bowen, 1975	«Чело- век...» (1977)
	Томская обл. (255)	Челябинская обл. (32)	Иркутская обл. (38)				
Na	7996±214	7484±443	9193±1228	–	7200	2018	1923
Ca	617±24	–	561±36	–	–	62	60
Sc	0,006±0,0005	0,13±0,003	0,006±0,0005	–	0,003	–	–
Cr	0,86±0,1	8,6±0,2	4,1±0,4	25–48	0,22	0,054	0,027
Fe	2995±42	5669±119	2437±50	644–993	2100	464	480
Co	0,04±0,003	0,29±0,005	0,004±0,001	4–7	0,015	0,58	0,0003
Zn	31,7±1,8	56,6±1,3	3,5±0,6	14–17	20,8	6,5	6,5
As	0,7±0,03	–	< 1	–	–	0,0076	0,48
Se	0,76±0,03	0,31±0,03	0,95±0,02	0,5	0,48	0,19	0,21
Br	23,4±2	36,5±3	31,5±4	6–18	18	3,3	5
Rb	11±0,2	11±0,4	8,5±0,3	7–8	4,57	2,3	2,7
Sr	11,3±0,4	31±2,5	15±0,4	0,3–0,4		0,038	0,035
Ag	0,16±0,01	< 0,1	< 0,1	–	–	0,01	0,19
Sb	0,075±0,01	0,016±0,006	0,029±0,004	–	0,1	0,0048	0,0046
Cs	0,04±0,002	–	0,03±0,0002	–	–	0,0032	0,005
Ba	6,4±0,1	< 0,01	< 0,01	–	–	–	–
La	0,11±0,01	0,14±0,02	0,04±0,009	–	–	–	–
Ce	0,16±0,02	0,26±0,04	< 0,04	–	0,29	–	–
Sm	0,03±0,002	0,03±0,003	0,005±0,001	–	–	–	–
Eu	0,007±0,0002	< 0,001	< 0,001	–	–	–	–
Tb	0,01±0,0005	0,04±0,007	0,007±0,0001	–	–	–	–
Yb	0,06±0,002	< 0,01	< 0,01	–	–	–	–
Lu	0,005±0,0002	< 0,001	0,001±0,0001	–	–	–	–
Hf	0,016±0,0008	0,092±0,005	0,019±0,001	–	–	–	–
Ta	0,04±0,006	0,015±0,003	< 0,01	–	–	–	–
Au	0,0085±0,001	0,0083±0,001	0,001±0,0001	–	0,011	0,00036	0,00004
Hg	0,29±0,04	–	0,93±0,4	–	–	0,0084	0,005
Th*	0,013±0,0009	0,013±0,002	0,012±0,001	0,3–0,7	–	–	–
U	0,11±0,01	< 0,01	0,11±0,01	0,3–0,4	–	0,0007	0,0009

Прочерк – содержание элемента ниже пределов определения. В скобках – количество проб. Различия средне-областных значений достоверны с точностью до 0,05; «\*» – различия средних не достоверны.

Сравнивая полученные данные с показателями литературных источников, необходимо отметить, что на территории Томской области для крови жителей характерно более высокое содержание следующих элементов: Ca, Sc, Cr, Zn, As, Br, Rb, Se, Fe, Sr, Ag, Cs, Hg, U. Некоторые литературные показатели превышает золото. Для ряда элементов невозможно провести сравнительный анализ из-за отсутствия данных об их накоплении в крови человека.

График сравнения показателей с данными по Г. Боуэну (1975) и результатами исследований рабочей группы МАГАТЭ (1977) показывает, что для крови жителей Томской области характерны более высокие концентрации практически всех изученных химических элементов (рис. 9.1.1).

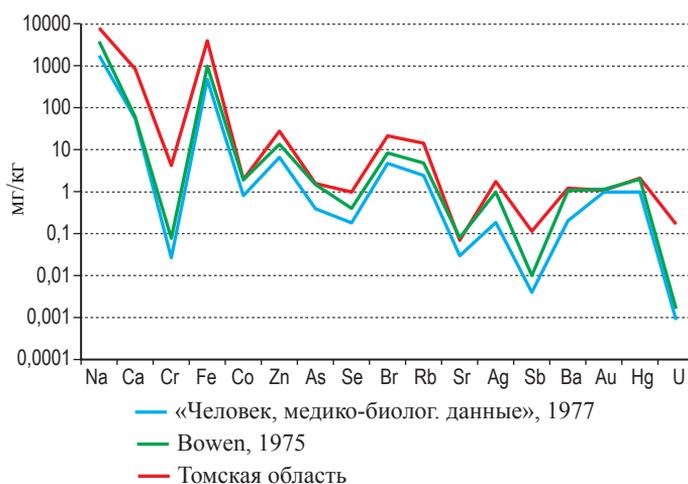


Рис. 9.1.1. Сравнение элементного состава крови жителей Томской области с усредненными характеристиками по литературным данным

Для жителей Челябинской области отмечаются высокие содержания следующих элементов – Sc, Fe, Cr, Zn, Br, Sb, Rb, Sr.

В Иркутской области в крови жителей более существенно накапливаются Na, Ca, Sc, Cr, Se, Br, Sb, Sr, Cs, превышая показатели, приводимые в литературе.

Для исследованных регионов характерно присутствие в крови редкоземельных элементов и гафния, накопление которого наиболее значительно в крови населения Челябинской области.

В целом, Челябинская и Иркутская области характеризуются как территории с более широким спектром накопления элементов в крови человека по сравнению с Томской (рис. 9.1.2).

Более широкий спектр преобладающих элементов в крови жителей этих областей, возможно, обусловлен природными особенностями регионов. Сравнительный анализ содержаний элементов в крови населения Томской и Иркутской областей показал преобладание у первой группы концентраций кобальта, цинка,

серебра, сурьмы, цезия, бария, группы редкоземельных элементов, тантала, золота (рис. 9.1.3).

В сравнении с элементным составом крови жителей Челябинской области у населения Томской отмечается несколько более значимое накопление кальция, селена, урана, сурьмы, цезия и бария (рис. 9.1.4).

Наличие однотипного техногенного источника возможного поступления элементов на территории Томской и Челябинской областей – комбинатов ядерно-топливного цикла, явилось причиной более пристального рассмотрения территории юга Томской области, где наиболее сказывается влияние Сибирского химического комбината и населенных пунктов, прилегающих к территории ПО «Маяк» в Челябинской области.

Существенных различий не наблюдается лишь в средних содержаниях тория и характере распределения натрия, селена и лантана.

Статистические параметры (критерии Стьюдента и Фишера) указывают на достоверный характер различий средних содержаний и распределения элементов двух изученных регионов (табл. 9.1.2).

Сравнение уровней накопления и характера распределения элементов в составе крови жителей Томской области относительно Челябинской (табл. 9.1.3) позволяет говорить о преимущественном накоплении сурьмы и рубидия с их высокой неоднородностью распределения в крови жителей Томской области.

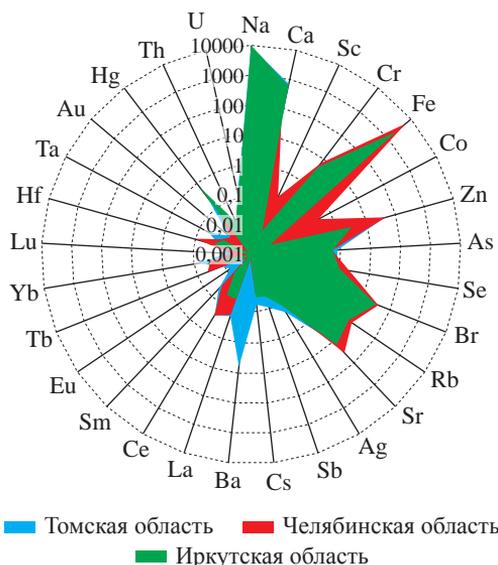


Рис. 9.1.2. Диаграмма сравнительного содержания элементов в крови жителей разных регионов

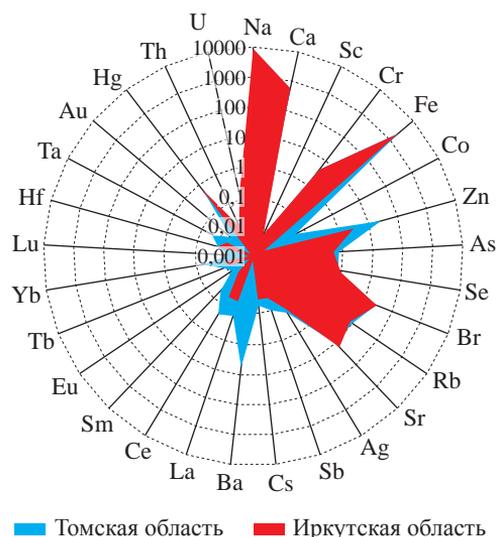


Рис. 9.1.3. Диаграмма сравнительного содержания элементов в крови жителей Томской и Иркутской областей

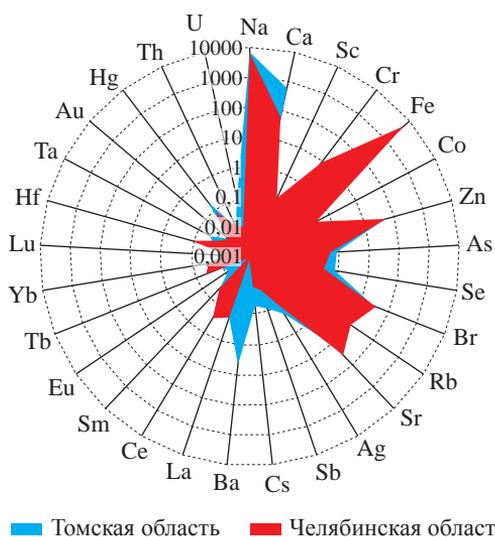


Рис. 9.1.4. Диаграмма сравнительного содержания элементов в крови жителей Томской и Челябинской областей

Поступление сурьмы на территории Томской области может быть обусловлено присутствием крупного промышленного объекта – Томского нефтехимического комбината, а также наличием природного фактора поступления элемента – сурьмяных проявлений (в частности Семилужинского Томского района).

Меньшие количества характерны для группы элементов, в состав которой входят Na, Cr, Fe, Co, Hf, Tb, Ta, дисперсия их выше, по сравнению с Челябинской областью. Ниже дисперсия у цинка, скандия, брома и церия.

Таблица 9.1.2

Сравнение средних содержаний химических элементов в крови жителей Томской и Челябинской областей по критерию Стьюдента и Фишера

Химический элемент	Томская область (юг) (n = 68)		Челябинская область (n = 32)		t <sub>расч.</sub>	t <sub>табл.</sub> (0,05)	F <sub>расч.</sub>	F <sub>табл.</sub> (0,05)
	X̄	S <sub>2</sub>	X̄	S <sub>2</sub>				
Na	4164	8838729	7484	6270016	5,8	1,96	1,4	1,62
Sc	0,006	0,0001	0,13	0,0004	34	1,96	4	1,62
Cr	1,07	16	8,6	1,21	15	1,96	13	1,62
Fe	3280	1106704	5668	456976	2,3	1,96	2,4	1,62
Co	0,046	0,0016	0,29	0,0009	348	1,96	1,8	1,62
Zn	16,2	5,76	56,6	51,5	24	1,96	9	1,62
Se	0,6	0,0256	0,31	0,023	9,7	1,96	1,14	1,62
Br	14,3	100	36,6	303	6,8	1,96	3	1,62
Rb	9,2	13,69	11	5,76	2,9	1,96	2,4	1,62
Sb	0,05	0,0064	0,02	0,002	2,3	1,96	4	1,62
La	0,06	0,01	0,14	0,01	4	1,96	1	1,62
Ce	0,05	0,01	0,26	0,04	5,7	1,96	4	1,62
Th	0,01	0,00003	0,01	0,0001	0,5	1,96	4	1,62
Hf	0,01	0,00003	0,09	0,0009	15,2	1,96	36	1,62
Tb	0,01	0,0001	0,04	0,002	4,3	1,96	16	1,62
Ta	0,05	0,00003	0,015	0,0004	10	1,96	16	1,62

Таблица 9.1.3

**Сравнение уровней накопления и характера распределения химических элементов в составе крови жителей Томской области по отношению к составу крови жителей Челябинской области**

Среднее содержание по критерию Стьюдента	Дисперсия по критерию Фишера			
		Меньше	Разница не существенна	Больше
	Больше			Sb, Se, Rb
	Разница не существенна			Th
Меньше	Zn, Sc, Br, Ce	La	Na, Cr, Fe, Co, Hf, Tb, Ta	

В целом, по исследованному биосубстрату, характерно более низкое содержание большинства изученных элементов в крови населения Томской области. Можно предположить, что на состав данной ткани оказывает значительное влияние имеющийся природный геохимический фон, поэтому кровь жителей Челябинской области в большей степени отражает особенности своего железорудного региона.

Для такой системы как кровь человека весьма трудно выбрать систему сравнения. Однако, как отмечают в своей работе Н. Bowen (1965), А.А. Кист (1987), организм хранит «воспоминания» о более архаичных формах Жизни. Так, в частности, в ряде работ отмечается сходство в концентрациях солевых макрокомпонентов в сыворотке крови человека и морской воде, что, как-будто, свидетельствует о зарождении жизни в ней. Это подтверждается высокими коэффициентами корреляции между содержанием химических элементов в морской воде и сыворотке крови (0,9) (Кист, 1987, С.138). Сравнительный анализ накопления элементов в составе крови жителей Томской области с содержанием химических элементов в морской воде (Хорн, 1972) показал, что преобладают их концентрации в крови, за исключением натрия, кальция, стронция и брома (рис. 9.1.5).

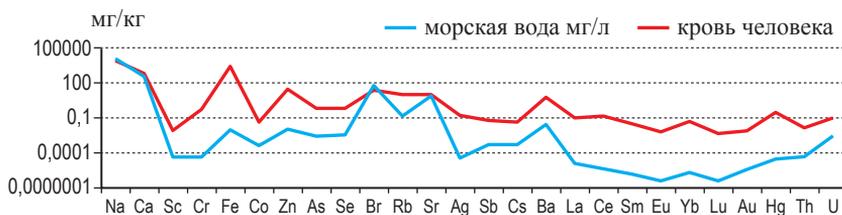


Рис. 9.1.5. Сравнительные показатели содержания химических элементов в морской воде (Хорн, 1972) и крови населения Томской области

Нами были проведены расчеты коэффициента обогащения крови населения Томской, Челябинской и Иркутской областей относительно морской воды. Коэффициент обогащения представляет собой отношение содержаний исследуемого

и опорного элементов в исследуемой системе к отношению концентраций тех же элементов в системе, играющей роль опорной. В данном случае, исследуемой системой является кровь человека, а опорной системой, с которой проводим сравнение – морская вода. Роль опорного элемента играет натрий, как элемент, являющийся одним из основных ионов в морской воде. Этот элемент – 7-й по распространенности в земной коре и 5-й из наиболее распространенных металлов (после Al, Fe, Ca, Mg). Подсчитано, что запасы NaCl в природных рассолах и океанических водах составляют около  $30 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ . По распространенности к натрию близок калий, но натрия в океане в 30 раз больше (Гринвуд, Эрншо, 2008).

Анализ результатов, полученных при расчете коэффициента обогащения, показал, что кровь человека обогащается всеми изученными нами элементами, за исключением брома. По-видимому, именно этот элемент является «архаичным» компонентом в составе живого вещества суши, связывающим нас с составом воды Мирового океана.

Мы провели расчеты, взяв за опорный другой элемент – скандий, хотя он в большей степени соответствует литосфере (табл. 9.1.4).

Предварительно нами проанализированы литературные данные по содержанию элементов в крови млекопитающих (Боуэн, 1966). Результаты показали, что кровь млекопитающих обогащена по сравнению с морской водой только железом. Для остальных изученных нами элементов характерно либо значение коэффициента значительно ниже 1, либо отсутствие данных (как, например, для группы редкоземельных элементов, а также тория).

Анализ полученных коэффициентов для крови жителей Томской, Иркутской и Челябинской областей показал, что накопление железа характерно для крови всего изученного населения в значении гораздо более высоком, чем для крови млекопитающих. Региональные показатели коэффициента отличаются: максимальное обогащение характерно для жителей Томской области (2097). В крови населения всех трех изученных регионов также накапливается хром, цинк и редкоземельные элементы – лантан, церий и самарий. В Томской области кровь обогащена тяжелыми редкими землями (иттербий, лютеций), а также торием, сурьмой, барием, мышьяком, селеном и золотом. Кровь жителей Иркутского региона характеризуется обогащением ртутью, а также редкоземельными элементами, золотом (в меньшей степени чем в Томской области) и селеном. Природа накопления этих компонентов в живом веществе Иркутской области уже обсуждалась нами при анализе волос детей, в которых также концентрируются эти элементы. В частности, на накопление ртути в организме человека, возможно, влияет загрязнение окружающей среды этим элементом (Коваль, 2008, и др.).

Присутствие на территории Томской области месторождений циркон-ильменитовых песков, сурьмяных и золоторудных проявлений, бурогоугольных месторождений, а так же выбросы техногенных источников, формируют полученную биогеохимическую картину.

*Таким образом, проведенные исследования показали, что территория Томской области имеет ярко выраженную региональную специфику, которая от-*

Таблица 9.1.4

**Значения коэффициентов обогащения для крови человека  
относительно состава морской воды (по Хорну, 1972)**

Элемент	Регион			Кровь млекопитающих
	Томская область	Челябинская область	Иркутская область	
Na	0,005	0,0002	0,006	0,00009
Ca	0,01	–	0,009	0,00008
Sc	1	1	1	1
Cr	120	55	574	0,26
Fe	2097	181	1706	24
Co	0,56	0,19	0,06	0,0003
Zn	22	1,8	2,5	0,3
Br	0,003	0,0002	0,003	0,00004
Rb	0,64	0,03	0,5	0,01
Ag	28	–	< 17	0,3
Sb	1,1	0,01	0,4	0,005
La	64	3,7	23	–
Ce	215	16	54	–
Sm	124	5,6	20,5	–
Yb	210	< 4,8	< 35	–
Lu	70	< 3,2	14	–
Th	1,8	0,08	1,7	–
U	0,26	0,001	0,3	0,00009
Au	15	0,66	1,9	0,005
Se	1,3	0,02	1,7	0,03
Ba	1,5	–	0,0002	0,001
Sr	0,009	0,001	0,01	0,000002
Cs	0,56	–	0,4	0,003
Eu	98	–	< 35	–
As	1,6	–	< 2	0,08
Hg	0,5	–	1,6	0,0008

*Цветом выделены коэффициенты обогащения выше 1.*

*четливо проявляется в элементном составе крови жителей по показателям обогащения относительно морской воды и при сравнении средних содержаний с выборками по другим регионам. Отражение фактора эколого-геохимической специализации территории в элементном составе данной ткани человека может использоваться при характеристике геоэкологического состояния различных экосистем.*

## 9.2. Накопление элементов и их соотношение в крови человека на территориях с разной степенью природно-техногенной трансформации

### 9.2.1. Проявление эколого-геохимических обстановок территории Томской области в элементном составе крови человека

Рассмотрение показателей коэффициентов концентрации, полученных при нормировании относительно крови условно здорового человека, позволило установить специфику спектра элементов, накапливающихся в крови жителей каждого из районов Томской области в количестве выше условной физиологической нормы (табл. 9.2.1.1).

Таблица 9.2.1.1

Коэффициенты концентрирования элементов в крови жителей районов Томской области относительно здорового человека («Человек. Медико-биологические данные», 1977)

Районы Томской области	Александровский	Бакчарский	Верхнекетский	Зырянский	Каргасокский	Шегарский	Кожевниковский	Первомайский	Томский	Чайинский
Биогеохимическая специфика	U <sub>107</sub>	Au <sub>178</sub>	Co <sub>293</sub>	Au <sub>474</sub>	Au <sub>94</sub>	Hg <sub>637</sub>	Co <sub>160</sub>	Co <sub>195</sub>	Co <sub>196</sub>	Co <sub>160</sub>
	Au <sub>50</sub>	U <sub>109</sub>	Au <sub>208</sub>	U <sub>265</sub>	U <sub>89</sub>	Au <sub>233</sub>	U <sub>111</sub>	Au <sub>58</sub>	Au <sub>117</sub>	U <sub>111</sub>
	Hg <sub>44</sub>	Co <sub>52</sub>	U <sub>185</sub>	Co <sub>240</sub>	Hg <sub>75</sub>	Sb <sub>205</sub>	Au <sub>50</sub>	Hg <sub>47</sub>	U <sub>61</sub>	Au <sub>50</sub>
	Co <sub>40</sub>	Hg <sub>43</sub>	Hg <sub>26</sub>	Sb <sub>12</sub>	Co <sub>40</sub>	Cr <sub>69</sub>	Cr <sub>41</sub>	U <sub>22</sub>	Cr <sub>42</sub>	Sb <sub>11</sub>
	Sb <sub>22</sub>	Cr <sub>41</sub>	Ca <sub>18</sub>	Ca <sub>9</sub>	Cr <sub>25</sub>	U <sub>67</sub>	Sb <sub>41</sub>	Cr <sub>14</sub>	Hg <sub>36</sub>	Fe <sub>10</sub>
	Ca <sub>17</sub>	Sb <sub>22</sub>	Cr <sub>10</sub>	Cr <sub>6,5</sub>	Sb <sub>22</sub>	Ca <sub>9</sub>	Fe <sub>10</sub>	Ca <sub>11</sub>	Sb <sub>8</sub>	Cr <sub>9</sub>
	Cr <sub>10</sub>	Ca <sub>17</sub>	Sb <sub>7</sub>	Fe <sub>6,3</sub>	Ca <sub>17</sub>	Fe <sub>9</sub>	Br <sub>3</sub>	Sb <sub>7</sub>	Ca <sub>7</sub>	Rb <sub>5</sub>
	Zn <sub>7</sub>	Zn <sub>9</sub>	Fe <sub>6</sub>	Rb <sub>5,1</sub>	Zn <sub>11</sub>	Se <sub>8,4</sub>	Rb <sub>2,4</sub>	Fe <sub>6</sub>	Fe <sub>6,4</sub>	Na <sub>2,2</sub>
	Fe <sub>6,1</sub>	Fe <sub>6</sub>	Na <sub>5</sub>	Na <sub>4,5</sub>	Fe <sub>6,2</sub>	Co <sub>8</sub>	Na <sub>2,2</sub>	Se <sub>6</sub>	Br <sub>6</sub>	Br <sub>1,7</sub>
	Br <sub>4</sub>	Na <sub>4,9</sub>	Rb <sub>4,7</sub>	Zn <sub>3,8</sub>	Rb <sub>5</sub>	Zn <sub>6</sub>	Zn <sub>1,3</sub>	Br <sub>5</sub>	Zn <sub>4</sub>	Zn <sub>1,5</sub>
	Na <sub>4</sub>	Br <sub>4</sub>	Se <sub>3</sub>	Br <sub>2,5</sub>	Br <sub>4,6</sub>	Br <sub>4,1</sub>		Zn <sub>4,8</sub>	Se <sub>4</sub>	
	Rb <sub>3,8</sub>	Rb <sub>3,5</sub>	Br <sub>2</sub>	Ag <sub>1,3</sub>	Na <sub>4,2</sub>	Na <sub>4</sub>		Na <sub>4,8</sub>	Rb <sub>4</sub>	
Se <sub>3</sub>	Se <sub>3,2</sub>	Zn <sub>1,5</sub>		Se <sub>3,5</sub>	Rb <sub>3,8</sub>		Rb <sub>4,7</sub>	Na <sub>4</sub>		

Красным цветом выделены элементы с коэффициентом концентрации более 100; синим – более 50; зеленым – более 10.

Обращает на себя внимание устойчивая золото-сурьмяная ассоциация элементов в крови жителей Зырянского района и присутствие в биогеохимическом ряду накопления элементов (в отличие от других изученных территорий) серебра. Это может служить косвенным признаком присутствия в этом регионе золоторудных проявлений.

Значимое накопление кобальта в крови жителей этой территории, так же как и на других, по нашему мнению, может являться следствием проявления месторождений бурых углей, для которых Со является типоморфным элементом.

Установленные нами при анализе крови человека распределение высоких концентраций сурьмы позволяют предполагать наличие ее природных проявлений. Максимальные значения коэффициентов концентрации этого элемента отмечаются в крови жителей Александровского, Каргасокского, Бакчарского, Кожевниковского и Чаинского районов с наиболее интенсивным накоплением у жителей Шегарского района.

Обращает на себя внимание значительное концентрирование ртути в крови населения Томской области. Высокие концентрации отмечаются у жителей практически всех изученных районов за исключением Чаинского и Кожевниковского. Коэффициент концентрации в крови населения Шегарского района составляет более 600. Территория этого района отличается специфичным накоплением элементов в крови человека. Так, кобальт накапливается в значительно меньшей концентрации, чем на других территориях. В то же время на первый план выходит ртуть, золото и сурьма (коэффициенты для этих элементов превышают значение 200), а также отмечается более высокое содержание хрома. Возможно, в недрах данного района следует ожидать выявления геохимических аномалий и проявлений оруденения с этой геохимической ассоциацией (Hg–Au–Sb). Следует отметить, что подобный спектр химических элементов фиксируется не только в крови населения этого района, но и в составе щитовидной железы (Денисова и др., 2005), а также в волосах детей. Несомненно, столь значительное содержание токсичных элементов должно сказываться на состоянии здоровья населения. Есть необходимость в проведении на территории района мероприятий по установлению причин высокой концентрации ртути и ассоциирующихся с ней других компонентов для устранения возможных негативных последствий для здоровья населения.

Концентрация таких физиологически значимых элементов, как железо, натрий, кальций, селен, цинк, бром значительно меньше, по сравнению с вышеперечисленными элементами, и они характеризуются коэффициентами концентрации от 1 до 7–9.

Можно предположить, что высокие значения этого показателя могут быть обусловлены различием в методах анализа, проводимых в 70-е годы прошлого столетия и нынешними аналитическими возможностями. Однако порядок накопления элементов может служить индикатором и дать информацию о специфике формирования биогеохимической картины на локальных территориях. Так, имея представление о преимущественном накоплении ртути, золота и сурьмы в крови жителей Шегарского района, мы сможем как прогнозировать возможность проявления природного фактора (наличие проявлений золота), так и предполагать специфику заболеваемости населения этой территории, отличную от других и обусловленную, возможно, геологическими факторами. Именно так прогнозиру-

ются многие эндемические заболевания, распространенные на локальных территориях по всему миру («Medical...», 2005, 2009).

Практически во всех районах области значительно превышают значения физиологической нормы (минимум в 40 раз) такие элементы, как кобальт, золото и уран. Значение коэффициентов накопления урана, как правило, более 50, за исключением крови жителей Первомайского района. Урановая специфика крови характерна для всей территории Томской области и установлена она не только по биогеохимическим данным, но и в ряде случаев по результатам исследования почв и солевых отложений (накипи) питьевых вод (Рихванов, 1997, 1999, 2009; Языков и др., 2004, 2009), подземных вод (Зуев и др., ). Накопление урана в живом веществе на территории Томской области связано, вероятно, как с проявлениями природных геохимических аномалий, так и техногенного фактора (Рихванов, 1999; Baranovskaja, Rikhvanov, 2002; Барановская, 2009). С целью более детального изучения этого вопроса нами были проанализированы параллельно отобранные пробы воды и накипи питьевых вод. Сравнивая среднее количественное содержание химических элементов в крови жителей Томской области с их содержанием в солевых отложениях (накипи) питьевых вод, исследуемых на этой же территории (Монголина и др., 2011), мы выявили общую тенденцию накопления элементов, что позволяет с высокой степенью вероятности утверждать о взаимосвязи элементов питьевых вод с таковыми для крови человека (рис. 9.2.1.1).

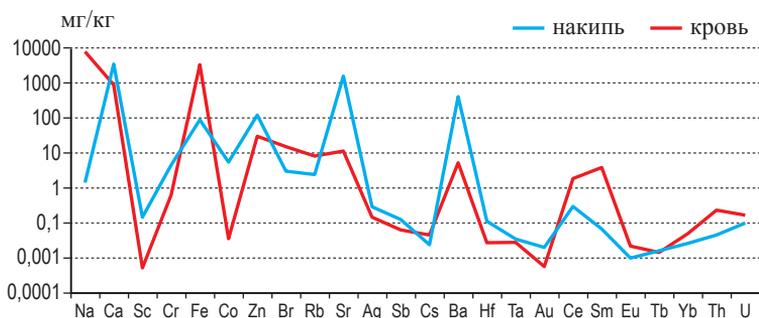


Рис. 9.2.1.1. Распределение элементов в накипи питьевых вод и в крови человека

Более подробно вопрос о возможности существования такого пути поступления элементов рассмотрен на примере урана и тория. Для этого был рассчитан коэффициент водной миграции по А.И. Перельману (Евсеева, Перельман, 1962) для урана. Этот показатель позволил установить, что наибольшая ее интенсивность характерна для Зырянского района Томской области (рис. 9.2.1.2). Можно предположить что на территории существует благоприятная геохимическая обстановка для более активной миграции урана (повышенные концентрации, связанные с лигнитами в зоне аэрации, возможно, гидрокарбонатный состав вод, способствующих возникновению легкоподвижных уранил-карбонатных комплексов и др.).

Торий в этом районе не проявляет такой миграционной подвижности. Он

инертен и на картах его распределения практически во всех средах характеризуется низким уровнем накопления. Близкие условия по-видимому, характерны для Бакчарского, Асиновского и Тегульдетского районов. Для Томского района, на фоне коэффициента водной миграции урана, близкого к единице, характерно накопление тория в разных средах.

По-видимому, увеличение подвижных форм урана отражается на его значительном накоплении в крови населения, проживающего на этих территориях, что определяет дифференциацию районов по соотношению радиоэлемента в системе «вода – кровь» и биосистемах «волосы – кровь», «кровь – щитовидная железа» (рис. 9.2.1.3).

Особенное расположение Зырянского района с высоким содержанием урана в таких средах как вода и кровь подтверждает данные о значительной интенсивности миграции элемента и возможном поступлении его с питьевой водой. Для некоторых населенных пунктов этого района и ранее устанавливали наличие высоких содержаний урана в воде, поступающего в нее, вероятно, из бурых углей, обогащенных этим компонентом (Рихванов, 1997). Более низкие концентрации в волосах и щитовидной железе говорят о том, что этот компонент, скорее всего, находится в такой форме, в которой он выводится из организма и не накапливается в депонирующих средах.

Обращает на себя внимание тот факт, что по характеру накопления урана в воде и волосах населенные пункты распределились на три основные группы с практически линейным характером зависимости его концентраций в этих средах.

Следует отметить, что для Томского района наблюдается значительное концентрирование элемента в составе ткани щитовидной железы. Это может быть обусловлено наличием его избирательного накопления (Денисова и др., 2009) и спецификой его поступления в этом районе, поскольку анализ накопления по населенным пунктам показал, что наиболее высокие содержания определены в составе щитовидной железы жителей п. Самусь, а также г. Северска, находящихся в зоне влияния СХК. Вероятно, высокие концентрации урана могут быть связаны как с ураноносными углями, омываемыми питьевыми водами, так и с ветровым переносом элемента в виде гексафторида урана (результат функционирования предприятий СХК), что сказывается на состоянии здоровья населения этой территории (Попов, 1998). На избыточное поступление  $^{131}\text{I}$  в природные среды этой территории указывал В.А. Мишагин (1993).

Отражение специфики расположения Александровского и Каргасокского районов области при анализе системы «кровь – волосы» позволяет предполагать преобладание иных механизмов поступления урана в живые системы по сравнению с Зырянским, возможно аэрогенное поступление. Эти районы характеризу-

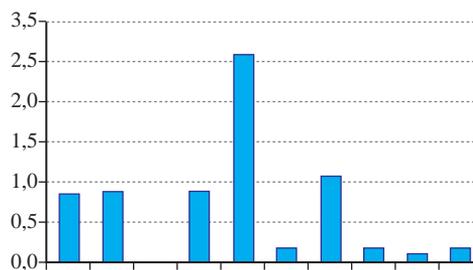


Рис. 9.2.1.2. Коэффициент водной миграции урана в районах Томской области

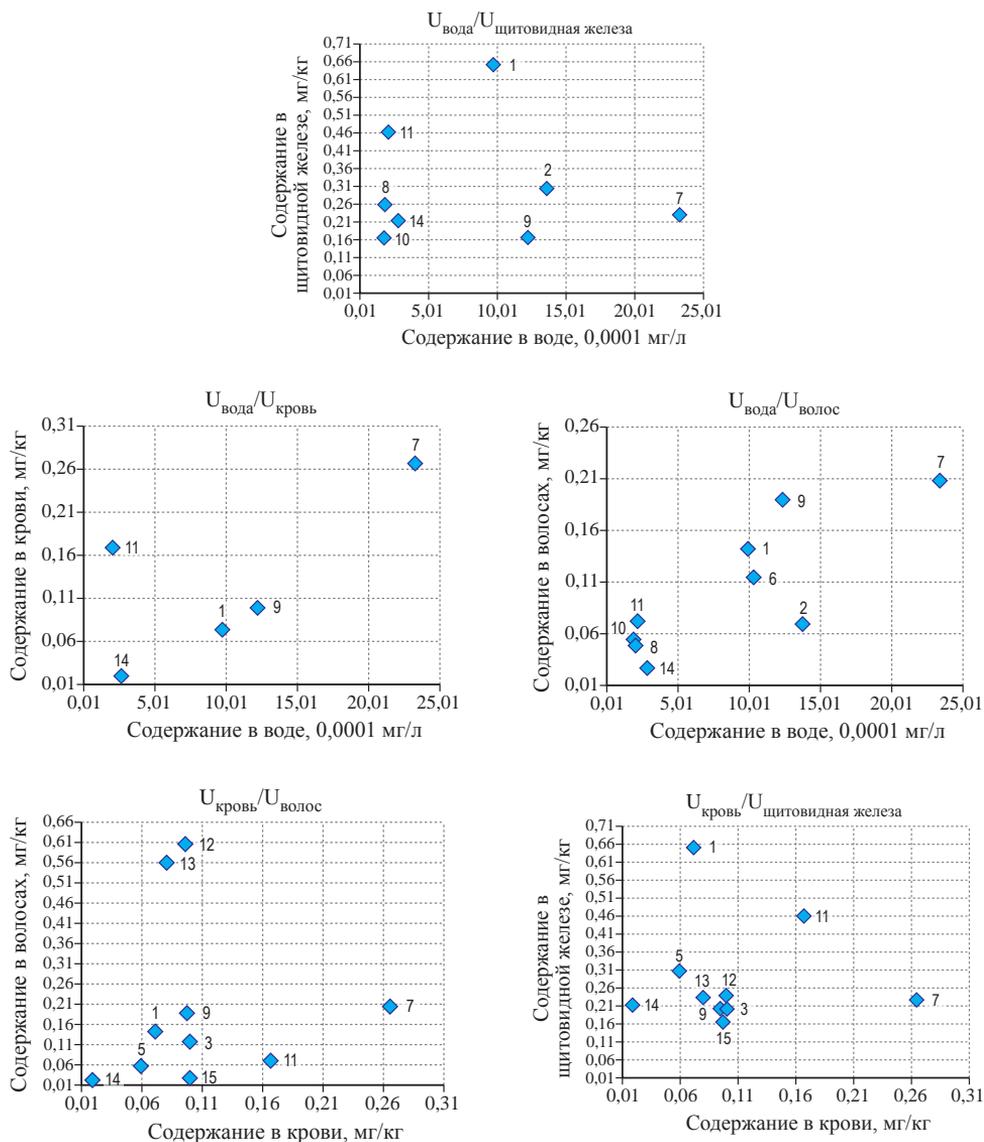


Рис. 9.2.1.3. Ранжирование районов Томской области по соотношению урана в разных средах. 1 – 16 – районы: 1 – Томский, 2 – Асиновский, 3 – Чаинский, 4 – Кривошеинский, 5 – Шегарский, 6 – Тегульдетский, 7 – Зырянский, 8 – Парабельский, 9 – Бакcharский, 10 – Колпашевский, 11 – Верхнекетский, 12 – Александровский, 13 – Каргасокский, 14 – Первомайский, 15 – Кожевниковский, 16 – Молчановский

ются как нефтегазоносные, и на их территориях функционирует большое количество факелов сжигания попутного газа, что, по всей видимости, сказывается на особенностях накопления урана в составе живых систем на этих территориях.

Анализ ситуации по концентрированию элементов в крови жителей 10 районов относительно средних по Томской области показал, что установленная ра-

нее биогеохимическая специфика относительно литературных данных находит отражение и в этом показателе. Так, наибольшим спектром накопления элементов характеризуется кровь населения, проживающего на территории наиболее техногеннозагрязненного Томского района (рис. 9.2.1.4).

Спектр накапливающихся в значительных количествах элементов в крови жителей Томского района включает в себя скандий, хром, кобальт, бром, селен, цезий, тантал, европий, мышьяк. Основная картина элементного состава крови человека в данном случае, как можно предположить, определяется деятельностью предприятий топливно-энергетического (Cr, Sc и др.), нефтеперерабатывающего (Br), ядерно-топливного (Cs, Ta, Eu, Ag и др.) комплексов.

Для Александровского района области характерно наличие участков нефтегазодобычи с факельным хозяйством, что приводит к накоплению определенного спектра химических элементов, отличного от такового для других территорий (рис. 6.5.2.1.5). Так, в их крови, выше областного показателя, накапливаются: самарий, иттербий, церий, сурьма, цинк, барий, стронций, кальций, европий и мышьяк.

Широким спектром элементов характеризуются также районы «северной группы»: это Каргасокский, Верхнекетский (рис. 9.2.1.6, 9.2.1.7). К ним можно добавить Бакчарский (рис. 9.2.1.8), расположенный в зоне крупнейшего железорудного бассейна.

Характер накопления элементов в крови жителей Чаинского и Кожевниковского районов является идентичным (рис. 9.2.1.9, 9.2.1.10). В большей степени

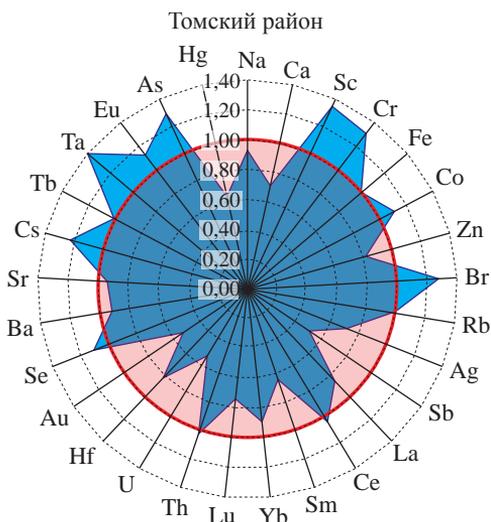


Рис. 9.2.1.4. Диаграмма накопления элементов в крови жителей Томского района Томской области в сравнении со среднеобластным значением

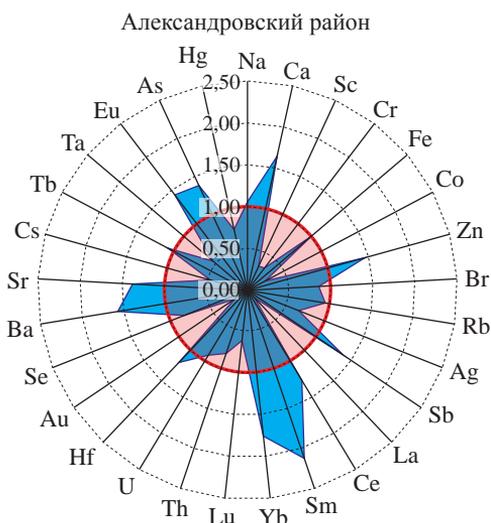


Рис. 9.2.1.5. Диаграмма накопления элементов в крови жителей Александровского района Томской области в сравнении со среднеобластным значением

характерно накопление железа, тербия, тантала, гафния и тория. Для жителей Кожевниковского района дополнительно происходит накопление сурьмы, хрома и скандия.

Шегарский район по этому показателю отличается высокими накоплениями в крови жителей сурьмы, ртути и, в меньшей степени, церия, селена и хрома (рис. 9.2.1.11). Следует отметить, что ртуть накапливается и в волосах детей этого района. Это может быть вызвано как природными факторами ее поступления, так и причинами, возникшими в результате антропогенной дея-

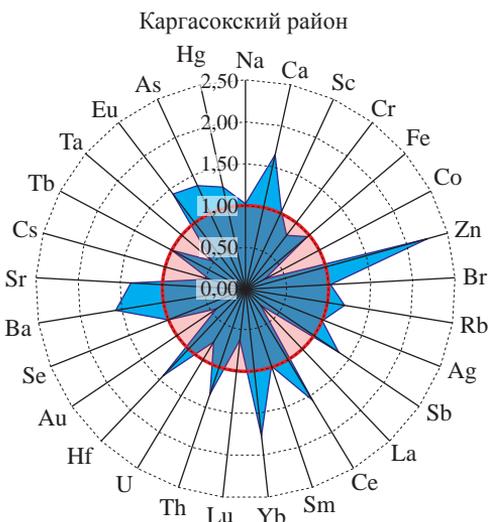


Рис. 9.2.1.6. Диаграмма накопления элементов в крови жителей Каргасокского района Томской области в сравнении со среднеобластным значением

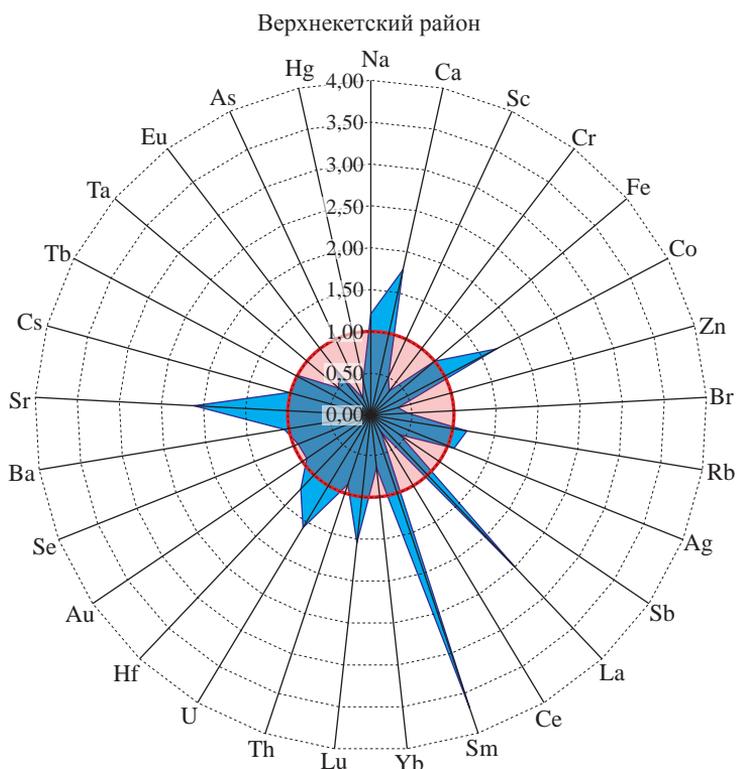


Рис. 9.2.1.7. Диаграмма накопления элементов в крови жителей Верхнекетского района Томской области в сравнении со среднеобластным значением

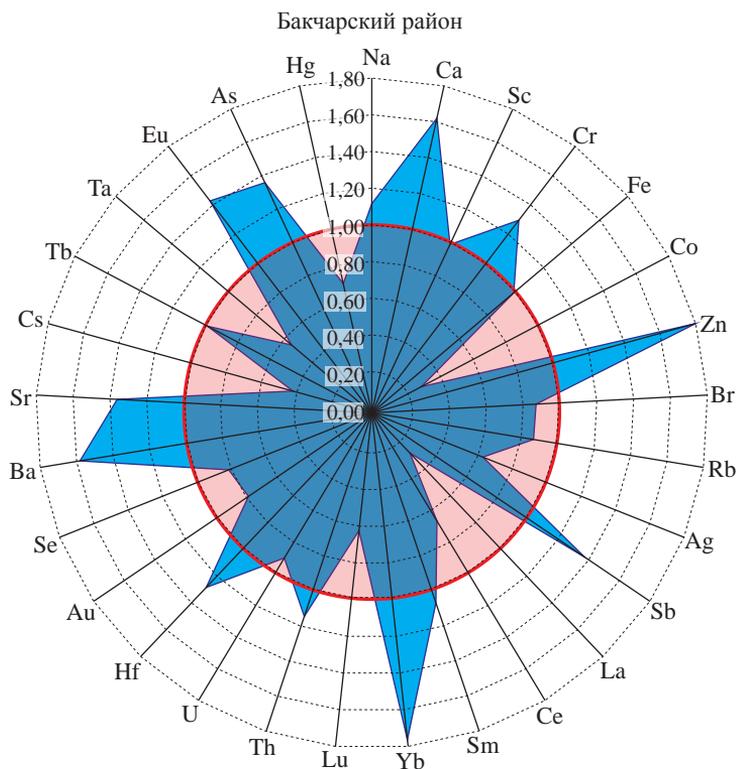


Рис. 9.2.1.8. Диаграмма накопления элементов в крови жителей Бакчарского района Томской области в сравнении со среднеобластным значением

тельности – поступлением в окружающую среду с препаратами по обработке семян (гербицидами, фунгицидами), применяемыми в сельскохозяйственных районах (Рихванов и др., 1992, 1993).

Источники сурьмы, отмечающейся в крови населения этого района, возможно, могут иметь природный характер. Этот элемент концентрируется также в крови жителей соседних Бакчарского, Кожевниковского районов и имеет широкий ареал распространения, что является не характерным для техногенных источников.

Спектр элементов, находя-

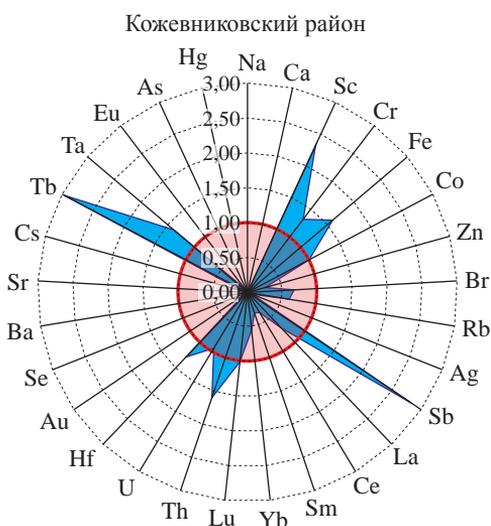


Рис. 9.2.1.9. Диаграмма накопления элементов в крови жителей Кожевниковского района Томской области в сравнении со среднеобластным значением



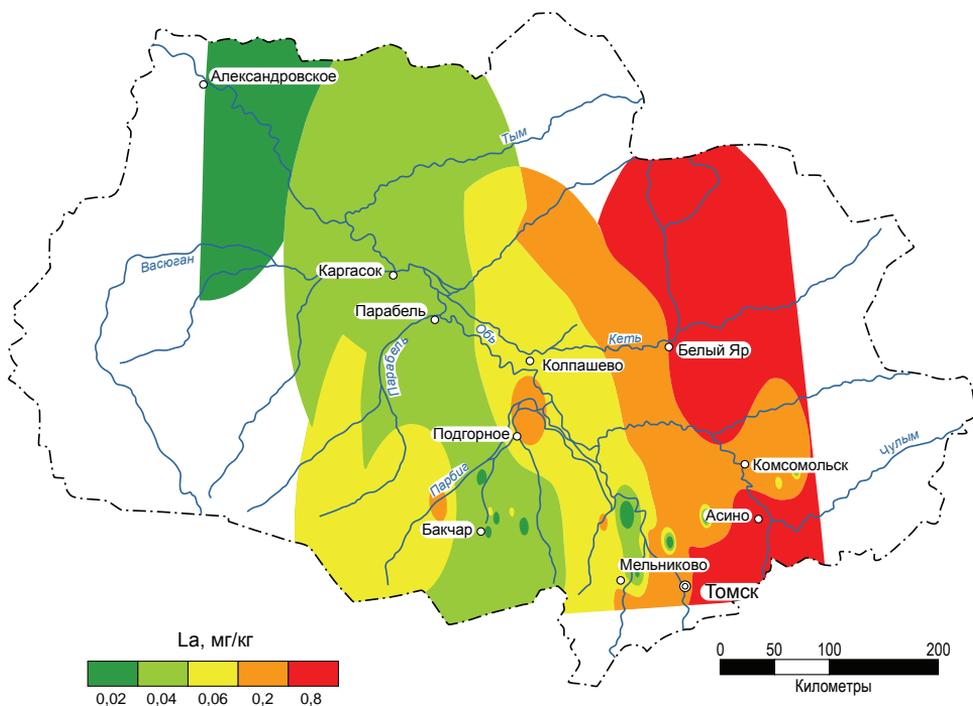
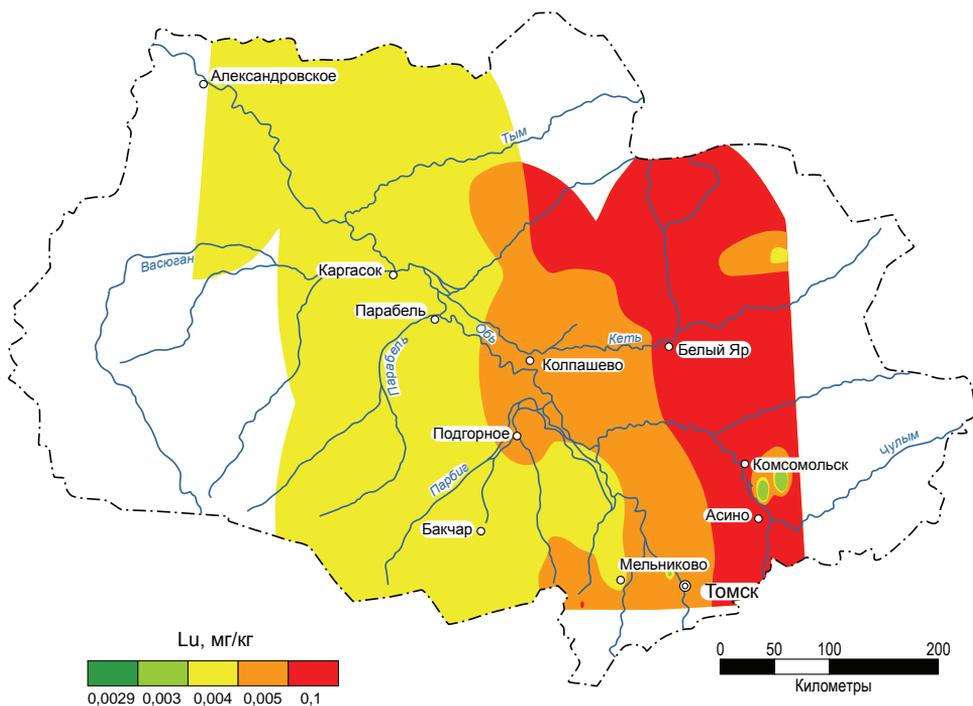
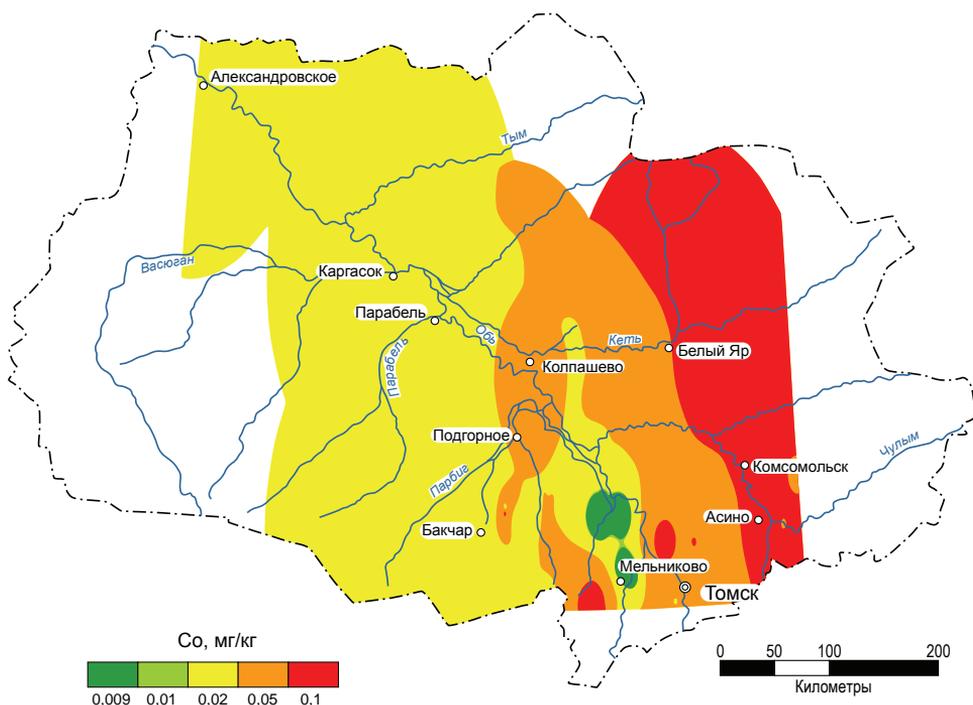


Рис. 9.2.1.14. Карта-схема распределения лутеция, лантана и кобальта на территории Томской области по данным изучения элементного состава крови населения



Продолжение рис. 9.2.1.14.

ющие на уже установленную ранее по характеру накопления в волосах золото-рудную специфику территории, возможное проявление гидrogenных урановых месторождений, ураноносных углей, а также ветрового переноса веществ с техногенно-трансформированных территорий.

Анализ схематических карт пространственного распределения элементов, концентрирующихся в крови населения Томской области, показал, что можно выделить группу элементов с максимальной концентрацией на востоке области, что, вероятно, обусловлено транзитом этих элементов с территории Енисейского края и Кузнецкого Алатау. К таким элементам относятся лантан, лютеций и кобальт (рис. 9.2.1.14).

Схема распределения золота в составе крови населения совпадает пространственно с показателями распространенности высоких концентраций натрия и урана в этой ткани и имеет максимум не только на востоке области, но и на юго-западе. Как мы уже указывали ранее, структура обрамления Западно-Сибирского койлогена имеет высокую золотоносность по всему периметру области сноса (Росляков, 2001). По-видимому, фактор природного характера находит яркое отражение в высоком концентрировании этого элемента в составе крови населения. Следует добавить, что значительные концентрации золота на востоке области зафиксированы нами в составе почв приусадебных хозяйств и накипи питьевой воды, употребляемой населением (рис. 9.2.1.15). Кроме того, эта картина сопровождается значительными накоплениями сурьмы в составе биотканей человека и

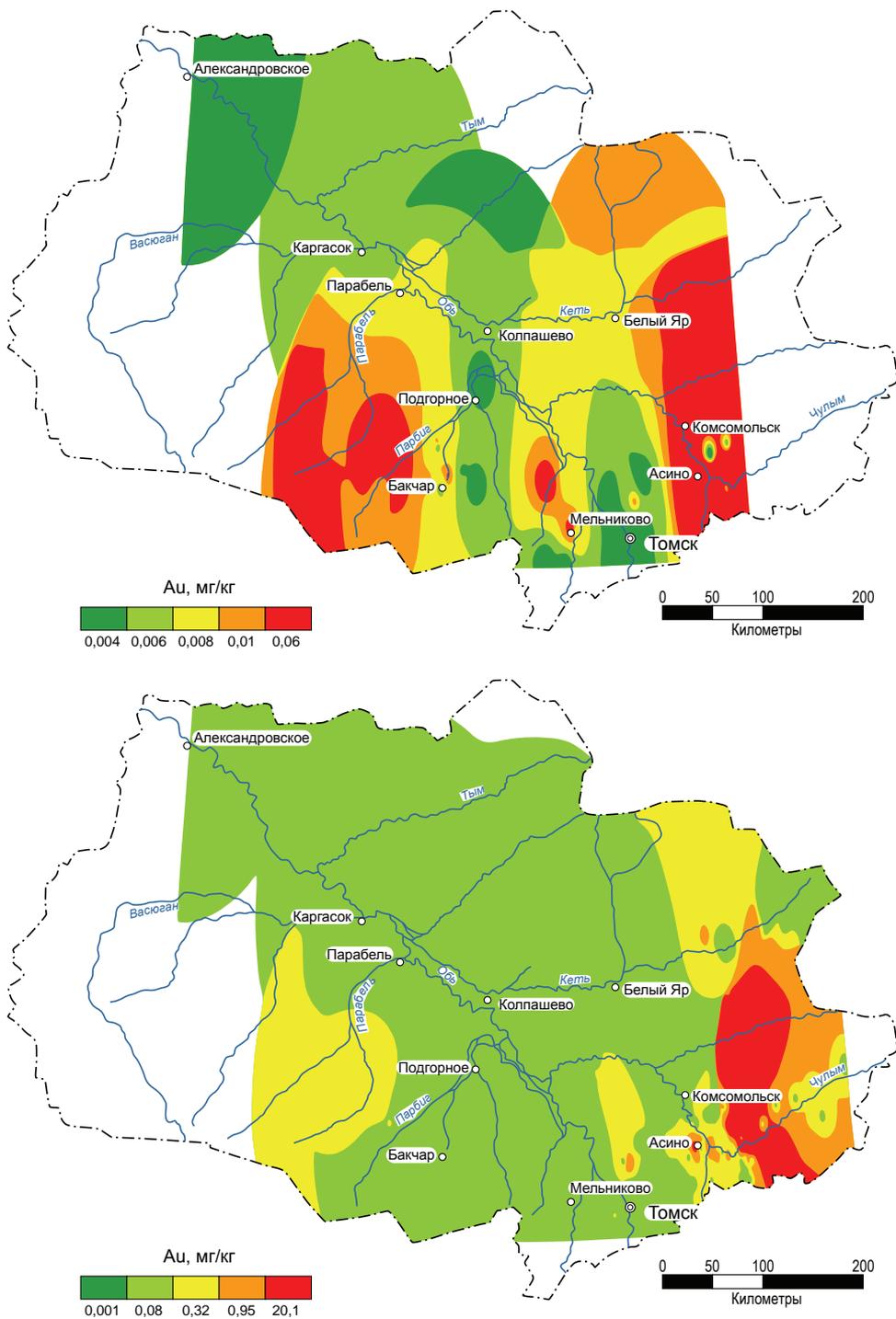
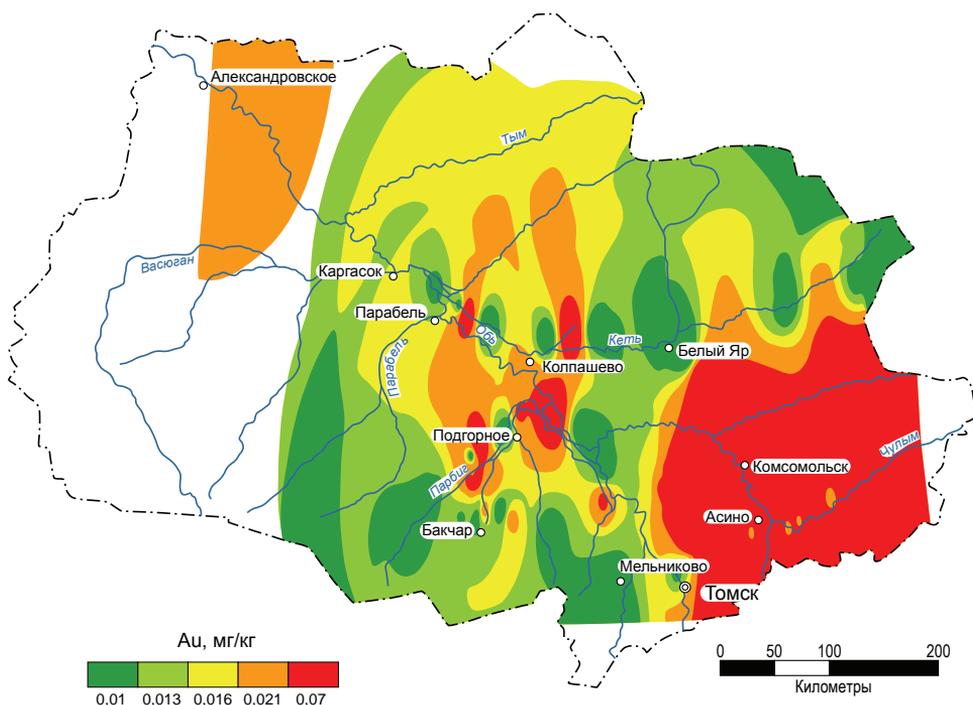


Рис. 6.5.2.1.15. Карта-схема распределения золота на территории Томской области по данным изучения элементного состава крови населения (верхний слева), накопи питьевых вод (верхний справа) и почвы (нижний)



Продолжение рис. 9.2.1.15.

природных сред (рис. 9.2.1.16).

На юго-западе концентрируется в большей степени и кальций, в то время как для востока области характерны его более низкие содержания (рис. 9.2.1.17). По-видимому, это объясняется сменой геохимических обстановок в регионе, о которых будет сказано в разделе 10.

В распределении химических элементов в крови определенную роль играют и параметры внутренней среды, обладающей рядом гомеостатических механизмов, а также химические свойства элементов и их способность образовывать комплексные соединения. Необходимо отметить, что данный аспект остается недостаточно изученным на сегодняшний день и объяснить механизм накопления того или иного спектра элементов мы можем лишь частично, основываясь на имеющихся данных о геохимии элементов в других средах. Так, в частности, известно (Титаева, 2000), что в воде океана уран является весьма устойчивым элементом и отличается постоянством концентрации ( $3 \cdot 10^{-6}$  г/л). При pH 7,8–8,2, характерной для морской воды, наиболее вероятная форма его содержания – комплексный ион  $[UO_2(CO_3)_3]^{4-}$  (Евсеева, Перельман, Иванов, 1974). Поскольку pH сыворотки крови составляет 7,4 (Ершов и др., 2003) можно предположить, что эта форма элемента характерна и для крови, следовательно, и поведение элемента будет соответственно похожим. По данным Н.А. Титаевой (2000) в морской воде происходит накопление урана на гидроксидов железа и марганца, а для морских водорослей характерна высокая корреляционная взаимосвязь с кальцием.

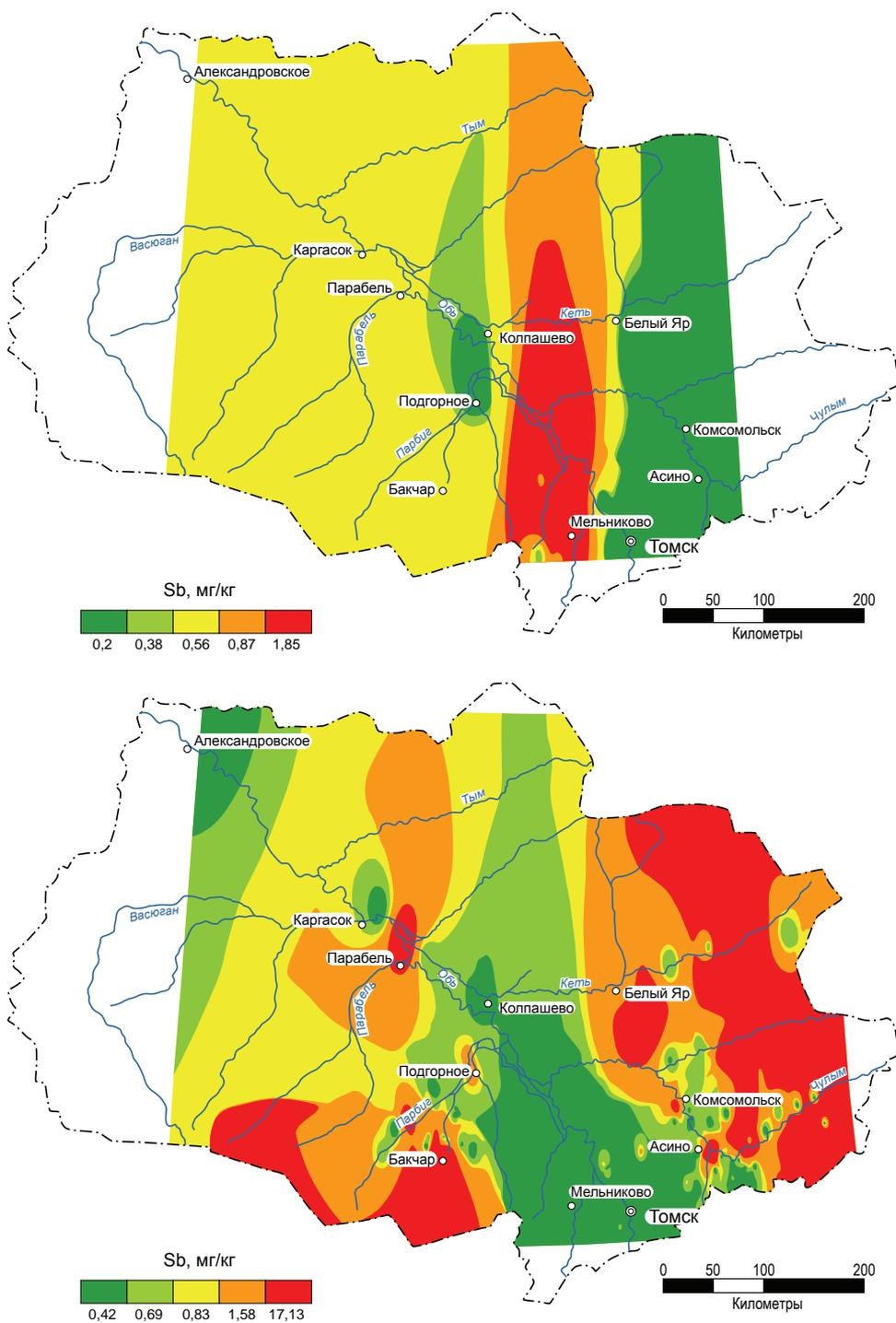
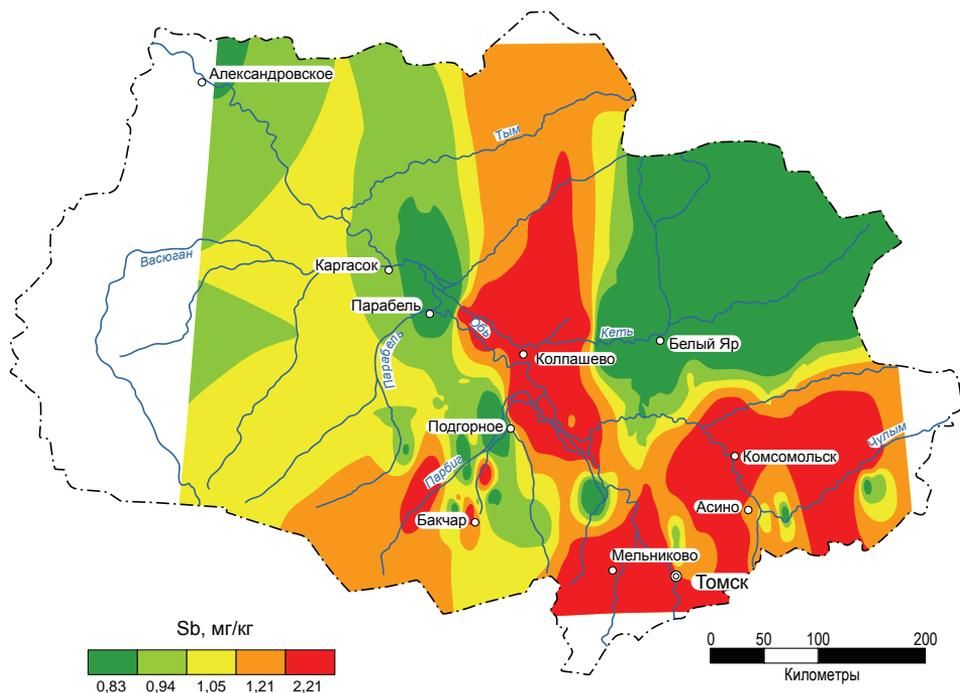


Рис. 9.2.1.16. Карта-схема распределения сурьмы на территории Томской области по данным изучения элементного состава крови населения (верхний слева), накопи питьевых вод (верхний справа) и почвы (нижний)



Окончание рис. 9.2.1.16.

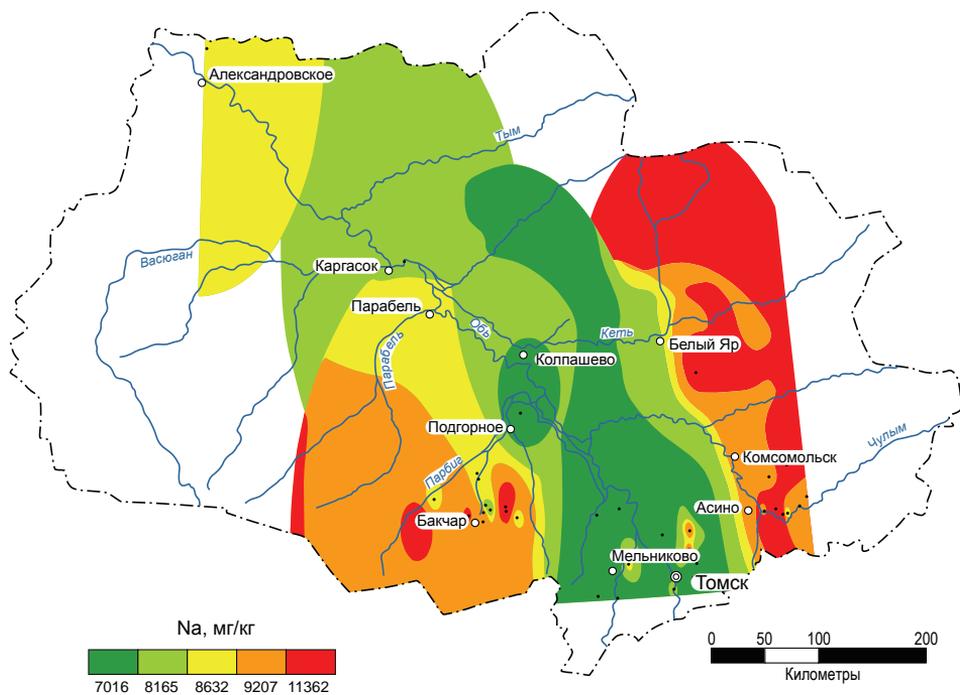
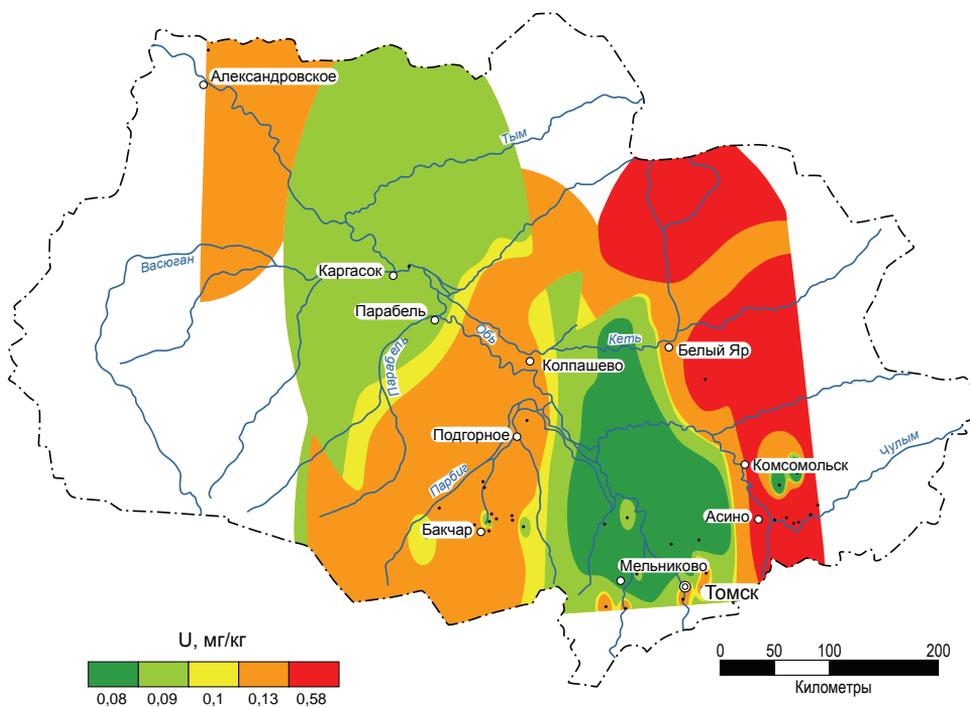
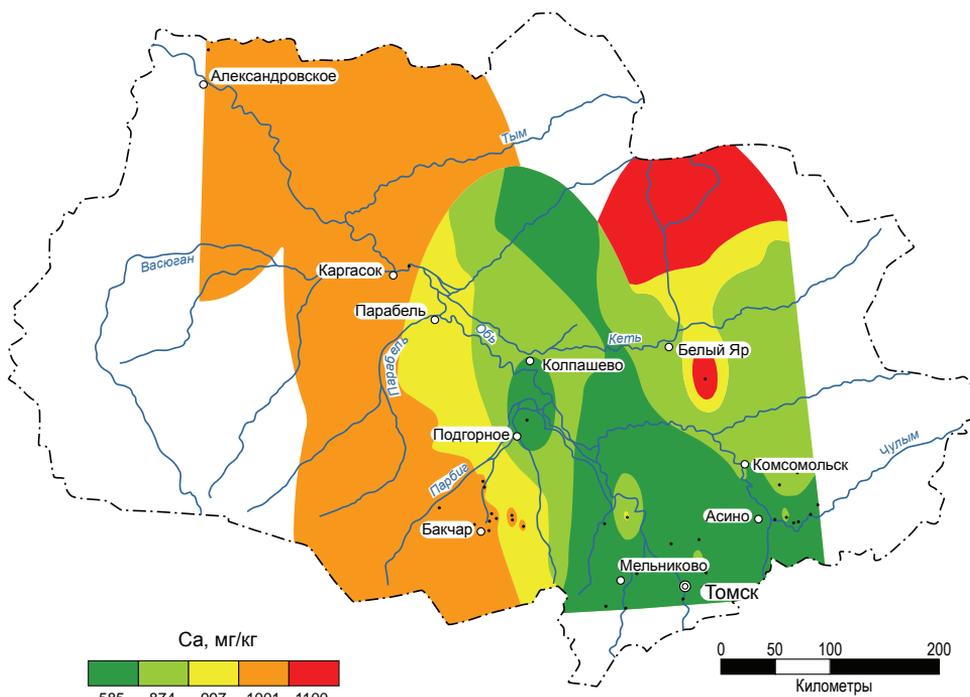


Рис. 9.2.1.17. Карта-схема распределения натрия, кальция и урана по данным изучения элементного состава крови населения



Окончание рис. 9.2.1.17.

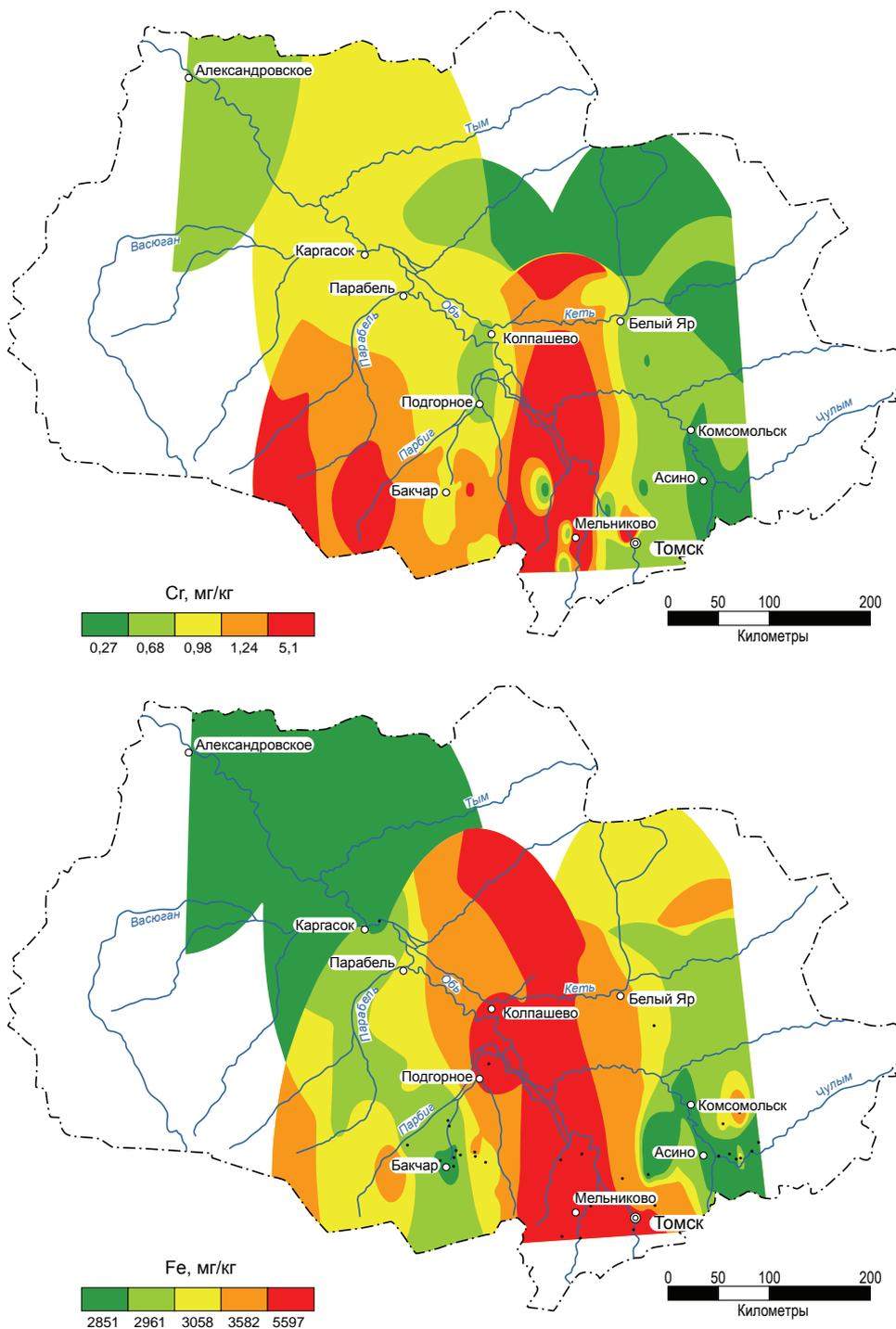


Рис. 9.2.1.18. Карта-схема распределения хрома и железа на территории Томской области по данным изучения элементного состава крови населения

В наших исследованиях не удалось проследить наличие корреляционной зависимости урана и кальция в составе крови человека, однако наблюдается значимая корреляция между железом, содержащимся в крови жителей Бакчарского района и ураном, входящим в состав накипи питьевой воды, и обратная корреляция урана с хромом в крови. Можно предположить, что поступление урана с водой может сопровождаться его накоплением в крови населения в структурах, содержащих железо (в эритроцитах, в составе белка гемоглобина). Рядом исследований показано, что в крови уран связан в большей степени с эритроцитами, а не с плазмой (Neuman, 1949; Dounce, 1949 в «Gmelin...», 1993). По данным этих авторов, уран образует комплекс с гидрокарбонатами и белками, в частности с трансферрином – белком, переносящим железо, чем и объясняется достаточно высокая миграция и быстрая очистка крови от этого компонента. По-видимому, хром в составе крови находится в иных структурных единицах. Пространственное распределение высоких концентраций хрома на территории области в юго-западной части совпадает с распределением высоких показателей урана, но кроме того, имеет отличительную особенность, схожую с распространением железа – полосовидную структуру по краю границы распространения железорудного месторождения (рис. 9.2.1.18).

Примечательно, что распределение тория кардинально отличается от распределения урана (рис. 9.2.1.19). Торий, как элемент-гидролизат, слабоустойчив в

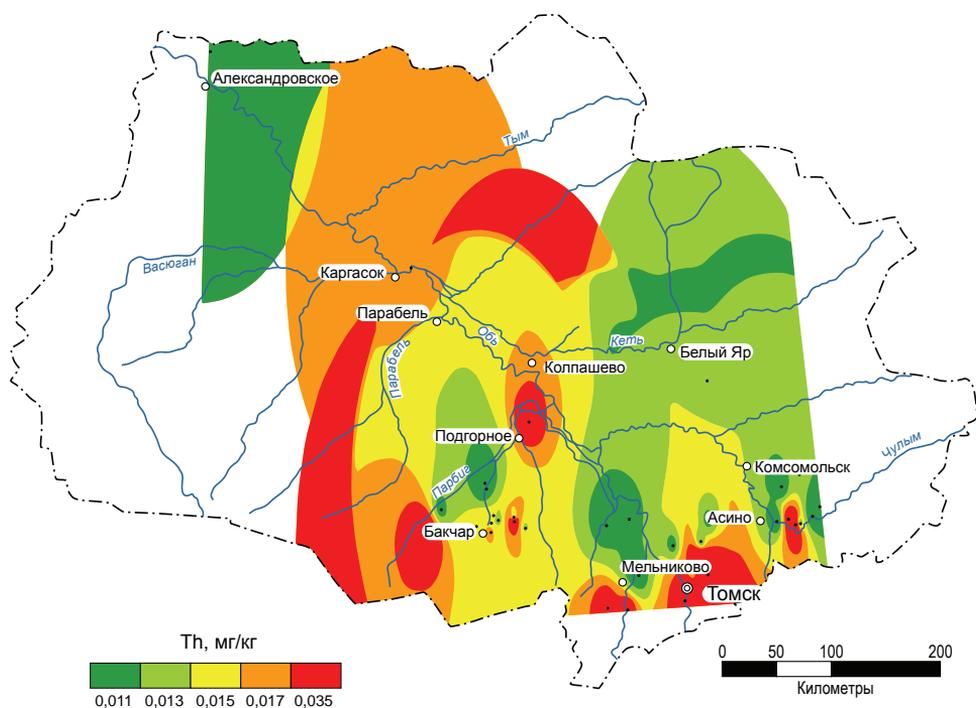


Рис. 9.2.1.19. Карта-схема распределения тория на территории Томской области по данным изучения элементного состава крови населения

морской воде (Титаева, 2000). Продукты его гидролиза сорбируются коллоидными и взвешанными частицами различного состава, в частности отмечается его соосаждение с железом. Нами зафиксирована значимая корреляция тория с кобальтом и хромом в крови населения Бакчарского района. Примечательно, что отмечается его взаимосвязь с бромом также на значимом корреляционном уровне и отрицательная корреляция с железом, содержащимся в накипи питьевых вод.

Высокие содержания брома в крови населения Томской области зафиксированы на двух участках: в Томском районе, наиболее техногенно-трансформированном и на севере области, в районах с развитой нефтегазодобывной отраслью. Возможно, поступление этого компонента в организм человека объясняется большей степенью с аэрозолями, поскольку он весьма летуч, а его потенциальные источники, к которым относятся предприятия по добыче, транспортировке нефти и газа (на западе), в том числе сжигание попутного газа на факелах и нефтеперерабатывающий комбинат в г.Томске. Именно здесь фиксируются его максимальные концентрации в крови населения (рис. 9.2.1.20).

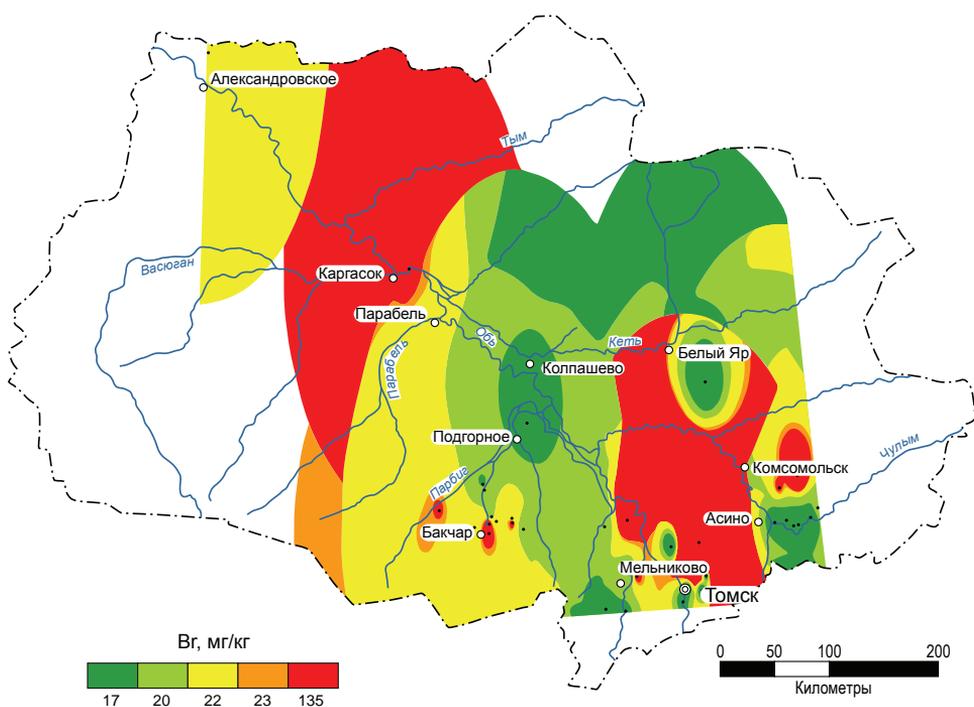


Рис. 9.2.1.20. Схема распределения брома на территории Томской области по данным изучения элементного состава крови населения

Таким образом, несмотря на то, что кровь человека является динамичной средой, химический элементный состав которой может меняться в течение короткого отрезка времени, мы наблюдаем картину тесной взаимосвязи окру-

*жающей природно-техногенной среды с постоянными, специфичными для конкретного региона, компонентами крови населения. Это подтверждает вывод, сделанный в свое время В.И. Вернадским о том, что атомы, «вошедшие в какую-нибудь форму живого вещества, захваченные единичным жизненным вихрем, с трудом возвращаются, а может быть и не возвращаются назад, в косную материю биосферы».*

## ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА ВОЛОС ДЕТЕЙ

---

### 10.1. Оценка уровней накопления химических элементов в волосах детей, проживающих в Томском регионе

Оценка уровней накопления химических элементов в составе волос человека необходима для различных целей: выявления биологической роли элементов, детализации механизмов миграции, а также разработки генерализованных сводок с детализацией на региональных и локальных уровнях.

Задача разработки и оценки условных норм для конкретных регионов решалась рядом авторов весьма сложно. Эта сложность в первую очередь обусловлена различием методических подходов к отбору проб, применением разных видов анализа, слишком узким спектром анализируемых элементов. Так, в частности, В.Е. Зайчиком (2004) показан существенный разброс диапазонов концентраций химических элементов в волосах человека, обусловленный в первую очередь аналитическими возможностями, широтой географических зон и, по-видимому, в меньшей степени, возрастными и половыми вариациями (табл. 10.1.1).

Обращает на себя внимание высокое содержание в волосах детей Томской области бария (11,2 мг/кг, сухой вес), которое в 2,3 раза больше справочного значения по условному человеку (Человек. Медико-биологические данные, 1977). Уровни содержания Sc (0,05 мг/кг, сухой вес) и Cr (4,6 мг/кг, сухой вес) тоже высокие по сравнению с данными других авторов. Отличительной особенностью химического состава волос детей в Томском регионе являются повышенные концентрации редкоземельных элементов La, Ce, Sm и радиоактивных Th, U (табл. 10.1.1).

По нашему мнению, необходимо подходить к оценке уровней накопления элементов в волосах с учетом выявленных факторов, столь существенно влияющих на вариативность. Для этого более целесообразно оценивать, прежде всего, в достаточно однородной выборке, включающую когорту детей, постоянно проживающих с рождения в конкретной местности, для которой будет дана оценка.

Оценка такой когорты детского населения Томской области показала, что даже для достаточно однородной территории конкретного региона наблюдаются высокие вариации в накоплении химических элементов. Это означает, что более целесообразно выявить вариативность и провести оценку средних содержаний элементов для жителей конкретной территории и установить специфику влияния

**Оценочные уровни накопления химических элементов в  
волосах человека (мг/кг сухого вещества)**

Элемент	Томская область Mean±Std Err (N = 538)	По данным спра- вочника «Человек, медики –биолог. данные», 1977	Сает Ю.Е., Ревич Б.А. и др., 1990	Rodushkin I., Axelsson M.D., 2000	Ward N.I. et. al., 1987	Обобщенная свод- ка по миру (Зайчи- ку В.Е., Агаджанян Н.А., 2004)
Na	602,2±26	650	12,9±0,75	147	165	0,04–3500
Ca	2446±103	3200	678±161	750	770	7–10887
Sc	0,05±0,004	н.д.	0,0098±0,0015	0,0014	0,0079	н.д.
Cr	4,6±0,38	3,8	1,09±0,1	0,167	0,558	0,026–65,3
Fe	507±48,3	4300	87±20,5	9,6	33,77	3–2400
Co	0,25±0,015	0,003	0,13±0,014	0,013	0,0762	0,005–0,46
Zn	182±3,5	260	н.д.	142	н.д.	< 1–1770
As	2±0,007*	2,0	н.д.	0,085	0,158	0,001–26
Se	0,73±0,03	н.д.	0,5±0,04	0,830	н.д.	0,002–66
Br	12,5±1,8	12,5	2,37±0,7	37	6,82	0,0045–880
Rb	2,3±0,12*	23,5	1,97±0,016	0,093	0,445	0,012–5,3
Sr	12,2±0,6*	0,05	н.д.	1,20	н.д.	0,01–860
Ag	0,4±0,6	3,45	0,18±0,02	0,231	0,164	0,005–9
Sb	0,1±0,008	6,5	0,1±0,007	0,022	0,134	0,007–38
Cs	0,035±0,002*	н.д.	н.д.	0,00067	0,708	н.д.
Ba	11,2±0,32*	5	н.д.	0,640	4,901	н.д.
La	0,27±0,01	н.д.	0,085±0,014	0,035	0,043	н.д.
Ce	0,4±0,03	н.д.	0,18±0,02	0,039	0,057	н.д.
Sm	0,1±0,007	н.д.	0,009±0,002	н.д.	н.д.	н.д.
Eu	0,004±0,0004*	н.д.	0,001±0,0005	н.д.	н.д.	н.д.
Tb	0,007±0,0001*	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
Yb	0,027±0,009*	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
Lu	0,005±0,0005*	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
Hf	0,05±0,004	н.д.	н.д.	0,0054	н.д.	н.д.
Ta	0,01±0,0004*	н.д.	н.д.	0,0044	н.д.	н.д.
Au	0,06±0,01	0,08	0,02±0,008	0,030	0,0662	
Hg	3,4±0,4	6	1,81±0,15	0,261	3,313	0,03–195
Th	0,07±0,01	н.д.	н.д.	0,0013	н.д.	н.д.
U	0,13±0,01	н.д.	н.д.	0,057	н.д.	0,0001–2,3

*N* – количество проб; \* – расчет среднего производился по выборке, в которой более 50 % значений было ниже предела определения.

местных факторов природного и техногенного происхождения. Это необходимо сделать для оценки экологического состояния территории и прогноза степени комфортности проживания на ней человека.

Различия в уровнях содержания химических элементов в волосах детей Томской области представлены на рис. 10.1.1. Следует отметить, что распределение изученных элементов в составе волос соответствует установленным геохимическим законам Кларка-Вернадского (о всеобщем рассеянии химических элементов), Менделеева (распространенность элементов и его содержание уменьшается с ростом заряда ядра) и правилу Оддо-Гаркинса (о распределении четных и нечетных элементов), что еще раз подчеркивает их всеобщий характер распределения в материальных объектах (А.А. Кист, 1987).

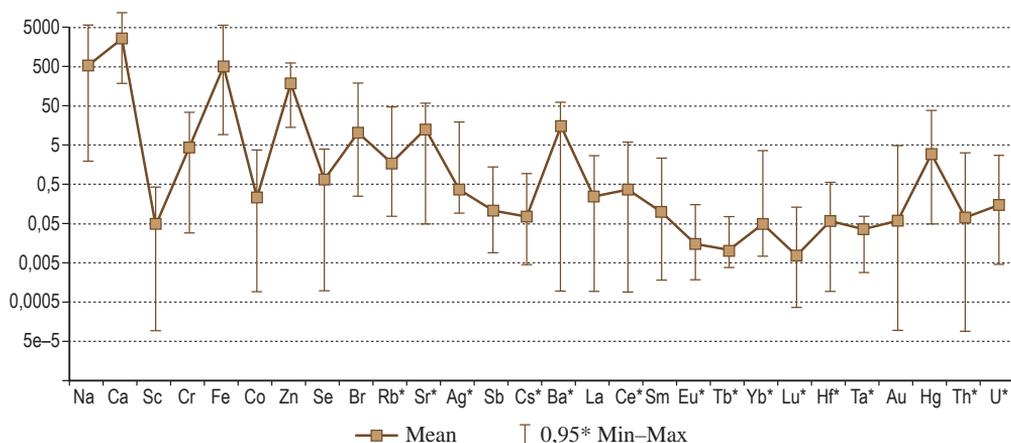


Рис. 10.1.1. Уровни содержания химических элементов в волосах детей ( $N=534$ ) в Томской области, мг/кг

По степени накопления элементов в составе волос детского населения региона можно отметить, что максимальные средние значения, превышающие показатель в 1000 мг/кг, соответствуют лишь Ca, по всей видимости, являющегося одним из основных химических компонентов в структуре данного субстрата.

На втором месте стоят такие значимые для организма элементы, как натрий, железо и цинк.

В следующую группу с концентрациями в интервале 10–100 мг/кг входят бром, стронций и барий. Причем бром отражает региональные особенности территории. Присутствие в высоких концентрациях в структуре волос кальция, а также стронция и бария, по-видимому, связано с процессами роста волос, поскольку данные элементы активно участвуют, в частности, в процессах оссификации (А.А. Кист, 1987).

Интересен факт обогащения волос человека относительно данных по содержанию элементов в организме жителей Томской области (Барановская Н.В., 2011).

Волосы детей на территории Томской области накапливают в значительной мере такие элементы как Hg, Se, Sb, Au, а также данный биосубстрат обогащен Eu, Ce, Sm (табл. 10.1.2).

Таблица 10.1.2

**Содержание химических элементов в организме человека (мг/кг, зола) и коэффициент обогащения волос**

Элемент	Содержание в организме человека (мг/кг, зола)	Содержание в волосах человека (мг/кг сухого вещества)	Коэффициент обогащения (K <sub>о</sub> )	Элемент	Содержание в организме человека (мг/кг, зола)	Содержание в волосах человека (мг/кг сухого вещества)	Коэффициент обогащения (K <sub>о</sub> )
Na	26652	603	0,02	Ba	97	15,4	0,16
Ca	11416	2626	0,2	La	0,27	0,27	1
Sc	0,047	0,05	1,1	Ce	0,31	0,4	1,3
Cr	8,9	4,7	0,5	Sm	0,06	0,1	1,7
Fe	6104	522	0,09	Eu	0,0087	0,02	2,3
Co	0,89	0,26	0,3	Tb	0,02	0,01	0,5
Zn	1244	182	0,15	Yb	0,09	0,05	0,6
As	2	0,7	0,35	Lu	0,019	0,008	0,4
Se	0,242	0,87	3,6	Hf	0,064	0,06	0,9
Br	55	12,6	0,2	Ta	0,03	0,04	1,3
Rb	46,5	1,9	0,04	Au	0,009	0,06	6,7
Sr	100	14,3	0,14	Hg	0,3	3,25	10,8
Ag	0,58	0,47	0,8	Th	0,19	0,07	0,4
Sb	0,08	0,12	1,5	U	0,52	0,17	0,3
Cs	0,14	0,08	0,57				

Биогеохимический ряд накопления элементов в составе волос по отношению к организму в целом выглядит следующим образом: Hg<sub>10,8</sub>–Au<sub>6,7</sub>–Se<sub>3,6</sub>–Eu<sub>2,3</sub>–Sb<sub>1,5</sub>–Sc<sub>1,1</sub>.

Весьма показательным является обогащение волос европием (K<sub>о</sub>=2,3). Редкоземельные элементы являются малоизученной группой и данные об их содержании в составе волос человека практически отсутствуют. Оценка содержаний этой группы элементов в волосах детей юга Томской области (Барановская Н.В., 20031) показала неоднородность распределения, связанную с работой предприятий ядерно-топливного цикла и проявлений геохимических аномалий в местах циркон-ильменитовых месторождений.

Золотосурьмяная ассоциация, а также ртуть и селен, ярко отражают специфику природных сред территории Томской области, отмеченную в работах по изучению углей Западной Сибири (С.И. Арбузов, 2009) и торфов Томского региона (Межибор, 2009).

Присутствие в окружающей среде геохимических аномалий способствует поступлению элементов в организм человека и отложению в такой депонирующей ткани, какой являются волосы человека. Однако пути поступления в состав волос могут быть различными. От этого, по-видимому, зависит коэффициент обогащения волос относительно организма. Возможно, если бы мы посмотрели этот коэффициент относительно атмосферного воздуха, мы бы смогли увидеть дополнительные факторы, влияющие на его формирование. Предположение о возможности влияния атмосферного воздуха на формирование элементного состава волос было высказано А.А. Кистом (1987) и Л.И. Жук (1990).

В целом, влияние факторов внешней и внутренней природы приводит к картине неоднородного распределения элементов в составе волос детей, проживающих на разных территориях, и выражающиеся в виде высокой встречаемости аномальных значений отдельных химических элементов.

Для территории Томской области присутствие аномалий отражается в виде высокого коэффициента вариации, характеризующего интенсивно дифференцированное распределение элементов (табл. 10.1.3).

Однородное распределение отмечено для Zn, As, Tb, Ta, слабо дифференцированное – Ba, дифференцированное – Ca, Se, Sr. Неоднородность распределения элементов в волосах детей указывает на наличие факторов, существенно искажающих фоновое распределение.

Распределение рассматриваемых элементов в пробах волос детей является отличным от нормального, о чем можно судить по совокупности критериев Колмогорова-Смирнова и Лиллиефорса, а также по результатам проверки нормальности рядов (значения коэффициентов асимметрии A и эксцесса E и отношение к их стандартным отклонениям  $\delta A$  и  $\delta E$ ).

Распределение Na, Ca, Co, Br, Ag, La, Ce, Sm, Lu, Hf, Au, Hg, Th, U подчиняется логнормальному закону, а тип распределения Zn и Se близок к нормальному. Распределение Sc, Cr, Fe, Sb имеет сложный характер, но ближе к логнормальному (рис. 10.1.2).

Ввиду этого, при сравнении средних значений выборок экспериментальных данных для корректного выбора критерия сравнения учитывался характер распределения значений в выборке (нормальный, отличный от нормального), в зависимости от которого использовался необходимый метод оценки параметрической или непараметрической статистики.

На основе анализа гистограмм распределения содержаний элементов в биосубстрате на территории Томской области можно выделить несколько групп элементов с близким однотипным распределением: 1) близкое к нормальному распределение, которое характерно для цинка и селена; 2) логнормальное распре-

Таблица 10.1.3

**Числовые характеристики содержаний химических элементов в волосах  
детей (мг/кг, сухой вес) на территории Томской области (N=534)**

Эле- мент	$\bar{X}$	$s\bar{X}$	$s$	Me	Mo	Min	Max	V	A	$\delta A$	E	$\delta E$
Na	602,2	26,2	604,7	420	400	2	5800	100	3,1	0,1	16,8	0,21
Ca	2446,3	103,2	2382,5	2000	400	200	27400	97	3,1	0,1	23,0	0,21
Sc	0,047	0,004	0,09	0,02	0,002	0,0001	0,52	193	2,9	0,1	7,4	0,21
Cr	4,6	0,38	9	1,6	0,2	0,03	129,3	195	6,3	0,1	71,4	0,21
Fe	507,1	48,3	1114	140	20	10	7600	220	3,0	0,1	8,4	0,21
Co	0,25	0,015	0,35	0,15	0,002	0,001	3,9	138	3,9	0,1	28,4	0,21
Zn	182,4	3,5	81,8	175	200	15	650	45	1,5	0,1	4,6	0,21
As	2	0,007	0,15	0,5	2	0,1	2	7	-12,3	0,12	151,1	0,23
Se	0,73	0,03	0,6	0,6	0,7	0,001	5,7	83	2,5	0,13	14,3	0,25
Br	12,5	1,79	41,4	5,4	1,3	0,26	895,2	331	18,6	0,1	392,3	0,21
Rb	2,3	0,12	2,8	1	2,000	0,08	49	120	12,5	0,11	185,6	0,22
Sr	12,2	0,6	11	15	10	0,05	172	91	9,6	0,13	125,3	0,26
Ag	0,4	0,06	1,4	0,21	0,1	0,1	20,6	328	11,3	0,1	149,5	0,21
Sb	0,1	0,008	0,18	0,04	0,02	0,01	1,5	171	3,5	0,11	16,7	0,21
Cs	0,035	0,002	0,05	0,05	0,03	0,005	0,97	145	15,2	0,11	262,6	0,23
Ba	11,2	0,32	6,8	10	10	0,001	100	61	4,05	0,11	21,6	0,23
La	0,27	0,01	0,3	0,18	0,01	0,001	2,8	114	2,6	0,1	11,7	0,21
Ce	0,38	0,03	0,7	0,2	0,05	0,001	8,63	191	5,8	0,1	49,5	0,21
Sm	0,1	0,007	0,16	0,04	0,002	0,002	2,4	162	6,8	0,1	82,8	0,21
Eu	0,004	0,0004	0,009	0,01	0,003	0,002	0,16	233	16,1	0,12	277,8	0,23
Tb	0,007	0,0001	0,003	0,01	0,007	0,004	0,08	35	8,3	0,13	76,7	0,25
Yb	0,027	0,009	0,2	0,03	0,008	0,008	3,90	812	15,8	0,1	260	0,21
Lu	0,005	0,0004	0,01	0,005	0,003	0,0004	0,14	191	7,4	0,1	71	0,21
Hf	0,05	0,004	0,09	0,03	0,009	0,001	0,59	171	2,8	0,1	8,23	0,21
Ta	0,01	0,00004	0,001	0,03	0,010	0,003	0,08	8	11,9	0,1	141,6	0,23
Au	0,06	0,01	0,25	0,029	0,001	0,0001	5,28	391	17,9	0,1	367,8	0,21
Hg	3,4	0,4	7,7	0,9	0,1	0,05	75,5	229	4,9	0,13	32,4	0,26
Th	0,07	0,01	0,29	0,02	0,009	0,0001	3,5	447	7,8	0,11	69,0	0,21
U	0,13	0,01	0,22	0,1	0,03	0,005	1,98	170	4,1	0,11	21,9	0,21

Данные ИНАА, содержание в мг/кг  $\bar{X}$  – среднееарифметическое значение;  $s\bar{X}$  – ошибка среднего,  $s_x$  – стандартное отклонение; Me – медиана; Mo – мода; V – коэффициент вариации, %; A – асимметрия;  $\delta A$  – стандартная ошибка асимметрии, E – эксцесс,  $\delta E$  – стандартная ошибка эксцесса.

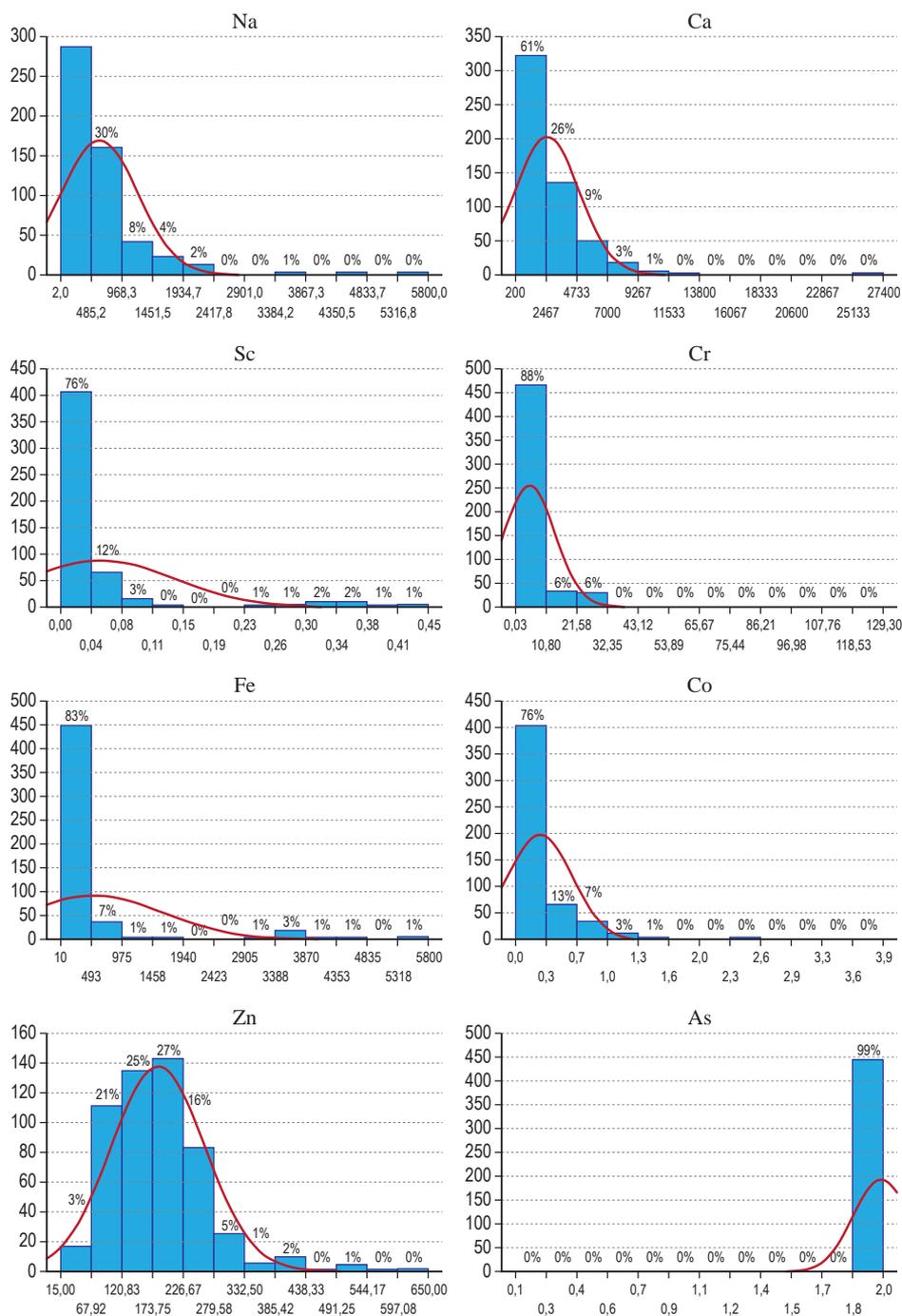
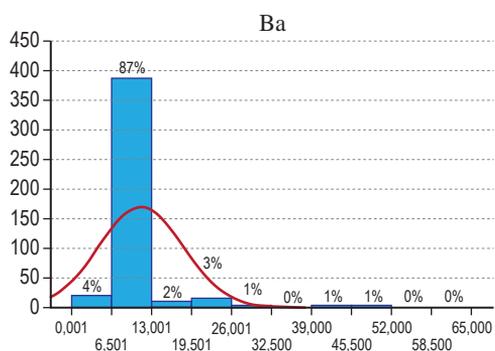
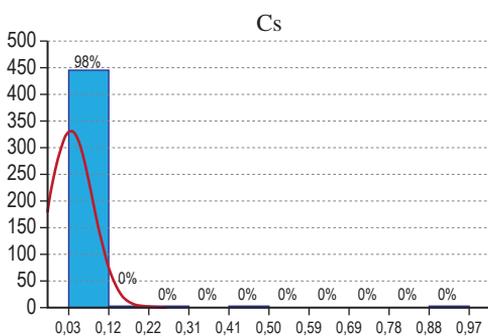
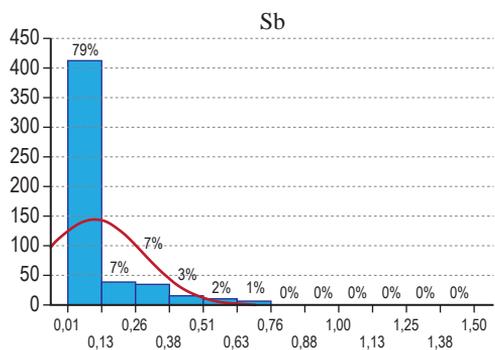
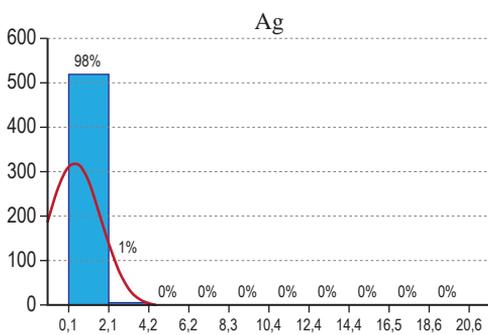
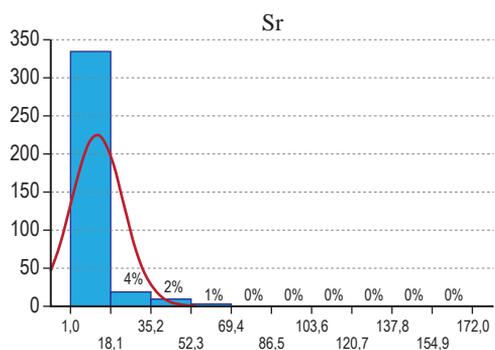
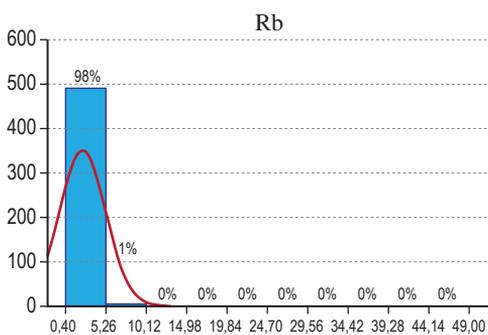
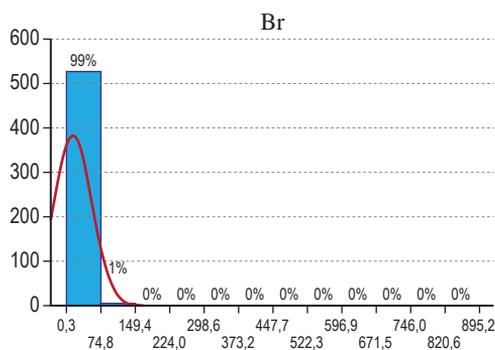
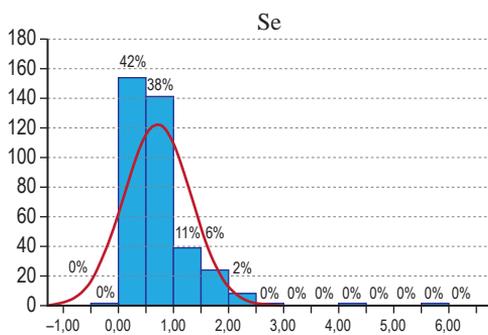
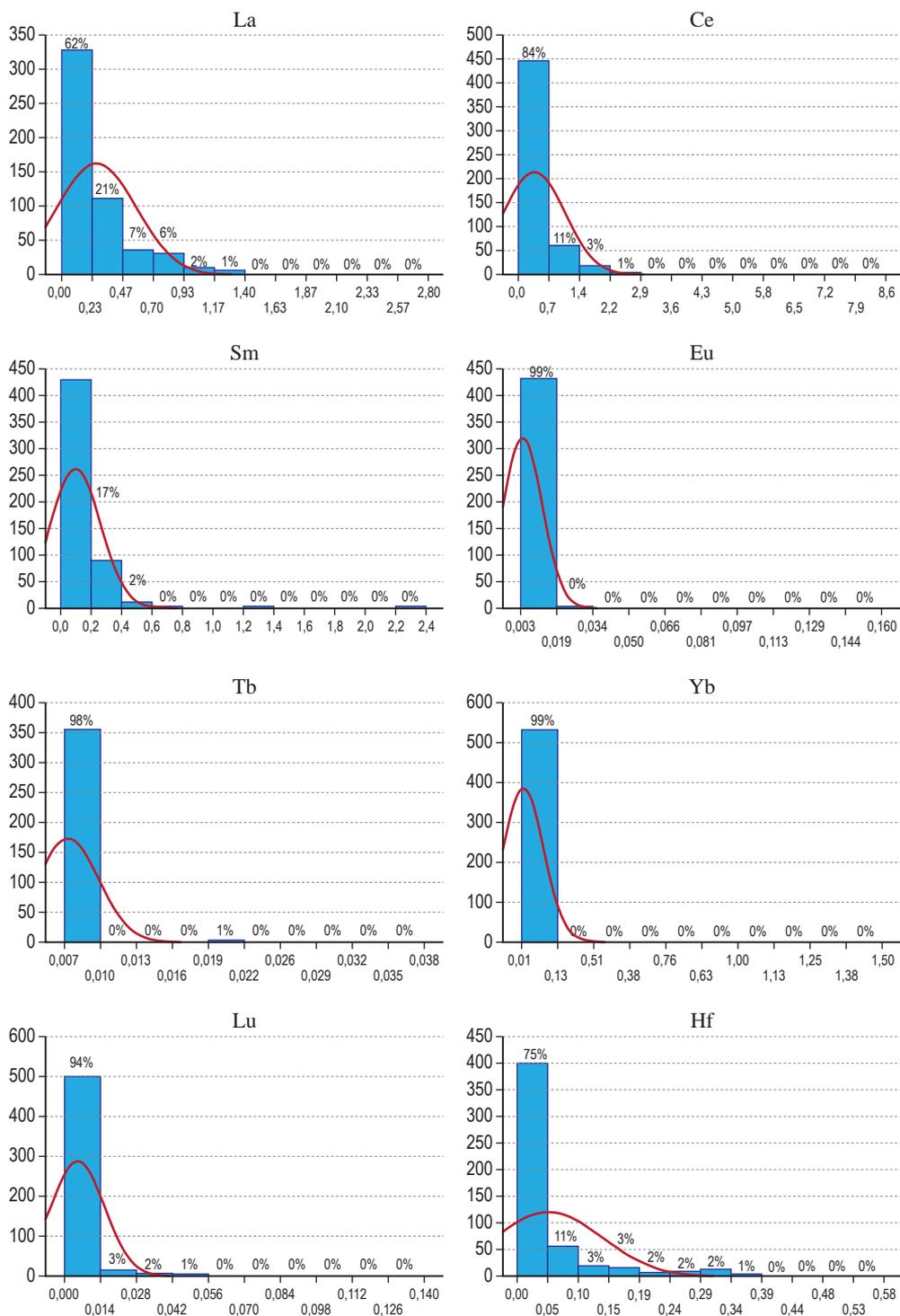


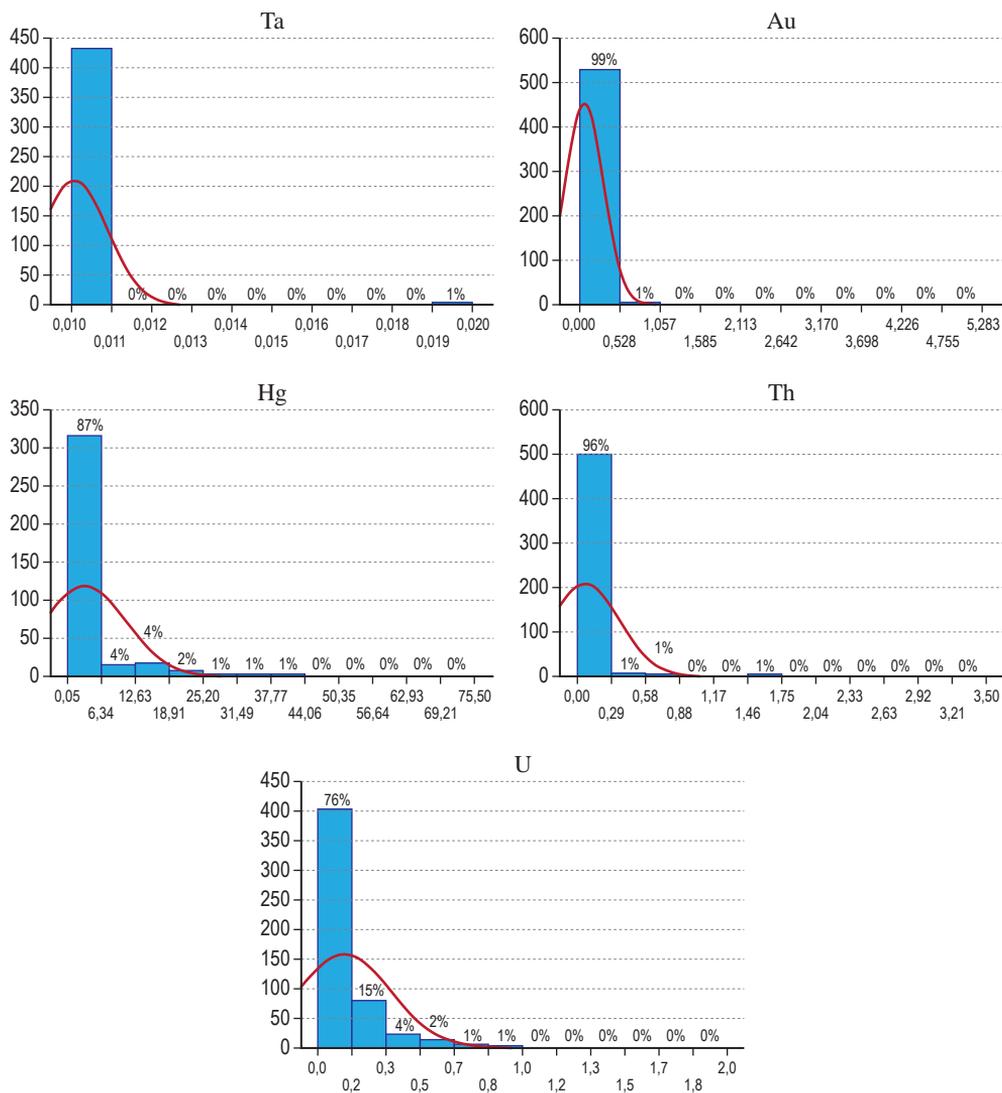
Рис. 10.1.2. Гистограммы распределения содержания элементов в волосах детей Томской области с кривой плотности нормального распределения и результатами тестов Колмогорова-Смирнова (D) и Лиллиефорса (Lilliefors). По оси абсцисс – интервалы значений, мг/кг; по оси ординат – частота встречаемости, %



Продолжение рис. 10.1.2.



Продолжение рис. 10.1.2.



Окончание рис. 10.1.2.

деление с максимально встречающимися низкими концентрациями характерно для большей части из изученных элементов; 3) логнормальное распределение с имеющимся минимумом концентрации, но максимальный процент встречаемости содержится для высоких концентраций; 4) бимодальное распределение.

Согласно данным, полученным Н.В. Барановской (2003) для юга Томской области, два элемента характеризовались бимодальным распределением (Fe, Zn). Однако анализ гистограмм распределения для всей территории области показал, что характер распределения меняется, становится более сглаженным, хотя наблюдается для Fe, Zn, Sc присутствие совокупностей с аномально высокими

значениями, наряду с более низким уровнем содержания для остальной выборки (примерно 80% проб).

Для этих элементов характерны различные источники поступления как природного, так и техногенного характера.

Признаком однородности распределения, по мнению Ю.Г. Шестакова (1988), являются показатели моды и медианы, которые, как правило, близки. Анализ этих показателей в выборке по Томской области позволяет говорить о наличии аномалий для большого количества элементов, включая металлы, отдельные редкоземельные элементы и др. (рис. 10.1.3).

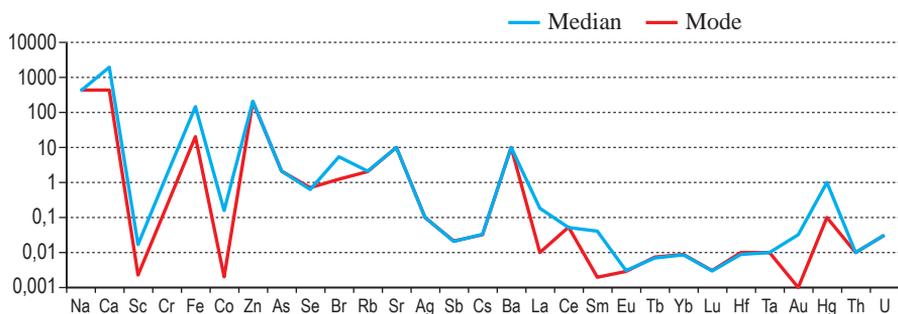


Рис. 10.1.3. Сравнительная диаграмма медианного и модального значений содержания химических элементов в волосах детей в Томской области (534 пробы, мг/кг)

Возможно, для столь неоднородной выборки при анализе и оценке содержания более приемлемым являются показатели моды, отражающие наиболее часто встречающиеся значения на данной территории. Однако при использовании этого показателя мы исключаем специфичные по элементному составу локальные аномалии. Поэтому, при анализе выборок мы использовали показатель среднего содержания наряду с анализом модального распределения.

По нашему мнению, модальные показатели необходимо использовать как основу при разработке параметров для целей медицинской профилактики элементов.

В целом, анализ статистических параметров показал, что на изучаемой территории наблюдается высокая степень неоднородности распределения химических элементов, что, вероятно, отражает степень крайне неоднородного распределения и поступления этих элементов в природные среды, что, возможно, указывает на их техногенную природу.

## 10.2. Региональные особенности элементного состава волос детей Томской области

Для выявления региональной специфики Томской области необходимо проведение сравнительного анализа накопления элементов в волосах детей других территорий и сравнение с мировыми сводками.

В табл. 10.2.1 представлены данные о содержании элементов в волосах человека на территории Томской области в сравнении с другими регионами. Волосы нормальных здоровых людей обычно содержат каждый микроэлемент в пределах конкретного диапазона концентраций. Отклонения от данных значений указывают на физиологические или экологические нарушения. Знание естественных концентраций микроэлементов в волосах и других тканях очень важно для оценки степени воздействия этих элементов на человека в тех областях, где ожидаются аномальные концентрации (Sarmani S., 1987).

К сожалению, в литературе на сегодняшний день имеется очень мало данных о содержании и поведении химических элементов в организме человека. Это связано как с развитием аналитических методов, так и с достаточно быстро меняющейся ситуацией на локальном уровне. В литературных источниках, содержащих информацию о составе волос, как правило, представлен очень узкий перечень элементов. Недостаточно изученным остается вопрос содержания и накопления целого ряда элементов, среди которых – редкоземельные, торий, уран, скандий.

В настоящее время по-прежнему существует недостаточное количество информации об изменчивости диапазона концентраций микроэлементов в волосах как функции различных локальных факторов в популяционных группах, неподверженных повышенному воздействию загрязнения окружающей среды. За исключением нескольких элементов, в литературе для волос обычно указывается большой размах фоновых концентраций, о чем мы уже упоминали (табл. 10.1.1).

Проведенный анализ показал, что данные по средним содержаниям химических элементов в составе волос жителей Томской области вполне сопоставимы с литературными, однако в целом имеют ряд специфических особенностей (рис. 10.2.1).

Сопоставление данных по элементному составу волос детей, проживающих в Томской области, с данными по другим регионам России, а также Казахстану представлено в табл. 10.2.1.

Уровни содержания таких элементов как Sc, Cr, Fe, Co, Br, Se, Sm значимо (тест Комогорова-Смирнова,  $p < 0,001$ ) более высокие, нежели в других регионах, что свидетельствует о более сложной геоэкологической ситуации в регионе, обусловленной комплексным природно-техногенным воздействием.

В волосах детей как в Томской, так и в Челябинской об-



Рис. 10.2.1. Сравнительная оценка элементного состава волос жителей Томской области с ранее известными литературными данными

Таблица 10.2.1

**Сравнительные данные по составу волос детей (мг/кг, сухой вес) в различных регионах России и Казахстане**

Элемент	Россия			Павлодарская область, Казахстан, по данным Н.П. Корогод (2010) (n = 120)
	Томская область (n = 538)	Челябинская область (n = 44)	Иркутская область (n = 36)	
Na	602,2±26	603±64	547±84	223±17
Ca	2446±103	2339±209	2031±253	1403±90
Sc	0,05±0,004	0,007±0,001	0,008±0,002	0,007±0,0004
Cr	4,6±0,38	0,49±0,2	3,83±1,1	0,5±0,07
Fe	507±48,3	42±8	182±71	45±3,7
Co	0,25±0,015	0,03±0,004	0,004±0,002	0,07±0,01
Zn	182±3,5	403±49	227±10	207±8
As	2±0,007	н.а.	< 2	< 0,8
Se	0,73±0,03	0,18±0,02	1,04±0,08	0,8±0,03
Br	12,5±1,8	2,7±0,2	9,6±1,4	6,5±0,6
Rb	2,3±0,12	н.а.	1,1±0,08	< 3
Sr	12,2±0,6	н.а.	6,4±2,3	< 15
Ag	0,4±0,6	н.а.	0,21±0,05	0,3±0,03
Sb	0,1±0,008	0,11±0,01	0,06±0,02	0,07±0,01
Cs	0,035±0,002	н.а.	< 0,03	< 0,05
Ba	11,2±0,32	н.а.	0,001±0,0001	< 10
La	0,27±0,01	0,18±0,01	0,09±0,02	0,05±0,006
Ce	0,4±0,03	0,11±0,006	0,12±0,02	< 0,08
Sm	0,1±0,007	0,08±0,005	0,007±0,003	0,02±0,003
Eu	0,004±0,0004	н.а.	< 0,002	< 0,03
Tb	0,007±0,0001	н.а.	< 0,007	0,01±0,0003
Yb	0,027±0,009	н.а.	< 0,01	0,03±0,0005
Lu	0,005±0,0005	0,011±0,0005	0,002±0,0003	0,002±0,0001
Hf	0,05±0,004	0,03±0,005	0,03 ± 0,006	0,02±0,002
Ta	0,01±0,0004	н.а.	< 0,01	< 0,03
Au	0,06±0,01	0,02±0,003	0,03±0,01	0,11±0,03
Hg	3,4±0,4	0,37±0,07	2,5±0,7	0,4±0,04
Th	0,07±0,01	0,06±0,01	0,016±0,003	0,02±0,001
U	0,13±0,01	0,15±0,01	0,25±0,03	0,33±0,07
Th/U	0,5	0,41	0,06	0,48

n – количество проб; н.а. – не анализировался.

ластях, были выявлены высокие уровни накопления La, Sm, Lu и Th. Их присутствие в волосах в повышенных концентрациях может свидетельствовать о влиянии предприятий ядерно-топливного цикла (г. Северск, г. Озерск).

Для образцов волос детей из Иркутской области и г. Павлодара были получены высокие концентрации U, причина этого пока не ясна. Возможно на территории присутствуют природные источники этого элемента, однако, обращают на себя внимание чрезвычайно низкие показатели отношения Th к U в этом регионе (Th/U=0,06), тогда как в других – оно составляет 0,4–0,5 (табл. 10.2.1).

При нормировании содержаний элементов в волосах детей к кларку ноосферы (по Глазовскому Н.Ф., 1982) наиболее высокие коэффициенты получены для Au, Ag и Hg для всех регионов (рис. 10.2.2).

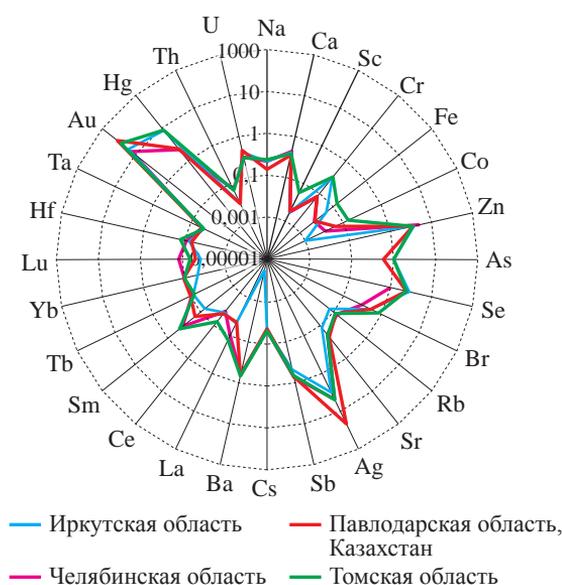


Рис. 10.2.2. Коэффициенты концентрации элементов в волосах детей, проживающих в различных регионах относительно кларка ноосферы (биосферы) (по Глазовскому Н.Ф., 1982)

Для волос детского населения изученных регионов биогеохимические ряды накопления с повышенными коэффициентами концентраций имеют следующий вид: для Томской области  $Au_{92,6} - Hg_{18,6} - Ag_{9,4} - Zn_4 - Se_{2,6}$ ; для Иркутской области  $Au_{43,3} - Hg_{14} - Zn_{4,9} - Ag_{4,3} - Se_{3,7}$ ; для Челябинской области  $Au_{34,8} - Zn_{8,8} - Hg_{2,2}$ ; и для Павлодарской области Республики Казахстан  $Au_{157} - Ag_{96} - Zn_{4,3} - Se_{2,7} - Hg_{2,3}$ . Общим для всех регионов является аномально высокое накопление золота.

Следует отметить, что золото накапливается в волосах жителей разных регионов в максимальной концентрации. Эта особенность отмечается как характерная для современного человека (Рихванов и др., 2011; Игнатова, 2010).

Региональные отличия волос Томской области отражены и в геохимических рядах накопления относительно данных Ю.Е. Саета и др. (Геохимия...

1990) для Нечерноземной полосы территории бывшего СССР, представленных в табл. 10.2.2. При сравнении коэффициентов концентраций отмечено, что наблюдаются существенные различия полученных нами значений по ряду элементов, что говорит о разных источниках их поступления.

Таблица 10.2.2

**Биогеохимическая специфика волос населения Томской области и других регионов относительно среднего по Ю.Е. Саеги и др. (1990)**

Регион	Геохимический ряд
Томская область (N = 538)	Na <sub>46</sub> – Sm <sub>11</sub> – Fe <sub>6</sub> – Sc <sub>5</sub> – Br <sub>4,5</sub> – Cr <sub>4</sub> – La <sub>3</sub> – Au <sub>3</sub> – Ag <sub>2,2</sub> – Ce <sub>2,2</sub> – Co <sub>2</sub> – Sb <sub>1,2</sub>
Челябинская область (N = 44)	Na <sub>47</sub> – Sm <sub>8</sub> – Ca <sub>3,5</sub> – Co <sub>2,3</sub> – La <sub>2</sub> – Au <sub>1,2</sub> – Br <sub>1,2</sub> – Sb <sub>1,1</sub> – Sc <sub>0,7</sub> – Ce <sub>0,6</sub> – Cr <sub>0,5</sub> – Fe <sub>0,5</sub> – Se <sub>0,4</sub> – Ag <sub>0,3</sub> – Rb <sub>0,6</sub>
Иркутская область (N = 36)	Na <sub>42</sub> – Br <sub>4</sub> – Cr <sub>3,5</sub> – Ca <sub>3</sub> – Se <sub>2,1</sub> – Fe <sub>2</sub> – Au <sub>1,5</sub> – Ag <sub>1,2</sub> – La <sub>1,1</sub> – Sm <sub>0,8</sub> – Sc <sub>0,8</sub> – Ce <sub>0,7</sub> – Sb <sub>0,6</sub> – Co <sub>0,7</sub> – Rb <sub>0,6</sub>
Павлодарская область, Республика Казахстан (N = 120)	Na <sub>23</sub> – Au <sub>5</sub> – Br <sub>2,7</sub> – Ca <sub>2,3</sub> – Ag <sub>2,2</sub> – Sm <sub>2</sub> – Se <sub>1,5</sub> – Rb <sub>1,1</sub>

*Коэффициенты концентрации рассчитаны только для тех элементов, которые представлены в работе Ю.Е. Саега «Геохимия окружающей среды» (1990).*

Геохимический спектр элементов в волосах детей из Томской области более разнообразный, и практически для всего ряда характерны коэффициенты концентрации, превышающие значение 2. Этот факт подтверждает предположение о сложной и преимущественно техногенной специфике элементного состава волос населения Томского региона.

Сопоставление геохимических рядов для волос детей позволило выявить общность накопления во всех регионах Na, Ca, Br, Au и La. Для всех изученных территорий характерно содержание Na в волосах в максимальных количествах, он стоит во главе рядов. Наиболее высокие коэффициенты концентрации Ca, Br, Au и La отмечены для Томской области.

Для Томской и Челябинской областей геохимические ряды имеют несколько схожий вид. Оба ряда начинаются с натрия и заканчиваются сурьмой, причем, кроме общих в этих регионах Na, Sm, La, Br, Co, Ca и Au, для Томской области характерны Fe, Sc, Cr, Ag, Se. Наличие в ряду Sc и Se отмечается только для Томской области. Общая геохимическая характеристика двух регионов может объясняться наличием однотипных источников их поступления. Геохимический состав природных сред в Челябинской области определяется функционированием предприятия ядерно-топливного цикла – ПО «Маяк», который является аналогом СХК.

Спектр элементов, входящий в геохимический ряд для Иркутской области, отражает в основном природную составляющую. Область отличается от остальных повышенным содержанием селена в волосах детей. Накопление Br в волосах детей может быть отражением природной специфики региона, проявляющейся

в наличии на территории Иркутской области очагов выхода на поверхность глубинных напорных рассолов в виде родников (Пиннекер и др, 1995). По сравнению с данными Саета и др. (1990) для Нечерноземного региона бывшего СССР повышенным содержанием железа в волосах характеризуются Томская и Иркутская области, а селена – Иркутская область и Казахстан. Спецификой Республики Казахстан является высокая концентрация Ag в биосубстрате.

При помощи кластерного анализа были выделены ассоциации химических элементов и характер их накопления (рис. 10.2.3–10.2.6). Дендрограмма кластерного анализа элементного состава волос детей Томской области показала, что существует несколько групп элементов, образующих ассоциации: 1 – тантал, серебро, тербий; 2 – иттербий, стронций; 3 – ртуть, церий, селен; 4 – цинк, хром; 5 – золото, кальций, лютеций; 6 – самарий, цезий, рубидий, кобальт; 7 – железо, скандий, торий; 8 – натрий, лантан, уран, гафний (рис. 10.2.3). Наличие связей между торием и редкоземельными элементами может отражать влияние месторождений циркон-ильменитовых песков (Туганское месторождение) (Циркон-ильменитовые..., 2001).

Для территории Павлодарской области наблюдается несколько геохимических ассоциаций: 1 – самарий, церий, гафний, ртуть, европий, рубидий; 2 – барий, кобальт; 3 – железо, хром, скандий; 4 – сурьма, селен; 5 – бром, кальций, уран, золото, натрий (рис. 10.2.4).

В Иркутской области химические элементы в составе биосубстрата имеют следующие значимые взаимосвязи: ртуть-уран-лантан; торий-гафний-хром-стронций-скандий; церий-селен; барий-серебро; золото-кобальт; цинк-кальций; рубидий-железо и бром-натрий (рис. 10.2.5).

Для Челябинской области выявлены следующие взаимосвязи элементов: 1 – церий, железо, скандий; 2 – уран, кобальт, хром; 3 – золото, кальций; 4 – торий, ртуть; 5 – бром, натрий (рис. 10.2.6).

В целом, можно отметить некоторую общность геохимических связей, проявляющихся в волосах детского населения на территории изучаемых регионов, а именно: наличие связи железо-скандий в Томской, Павлодарской и Челябинской областях; а для Иркутской и Челябинской областей – связь брома с натрием.

Геохимическая неоднородность окружающей среды находит отражение в элементном составе волос. Различия в содержании тех или иных элементов в волосах детей, проживающих на территории разных районов Томской области, отчетливо прослеживаются в срезе поселков. Накопление ряда элементов на территории происходит очень дифференцированно, зачастую максимумы содержания приходится на Томский район, особенно ярко эта тенденция отмечается для Wg, La, Yb, Lu, Th.

Повышенные концентрации Sc, Cr, Fe, Hf в составе биосубстрата на территории Томского района были отмечены и в более ранних исследованиях (Барановская Н.В., 2003). Источником этих элементов, по всей вероятности, являются предприятия топливно-энергетического комплекса г. Томска.

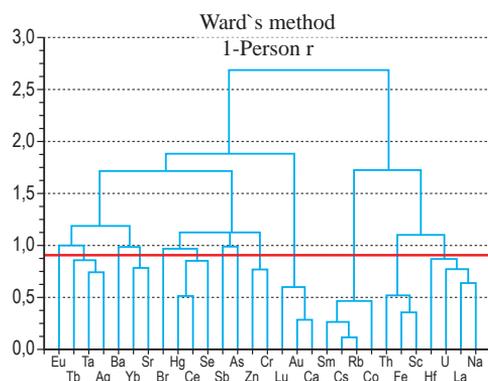


Рис. 10.2.3. Дендрограмма корреляционной матрицы геохимического спектра волос детей Томской области ( $1\text{-Pearson } r = 0,92$ )

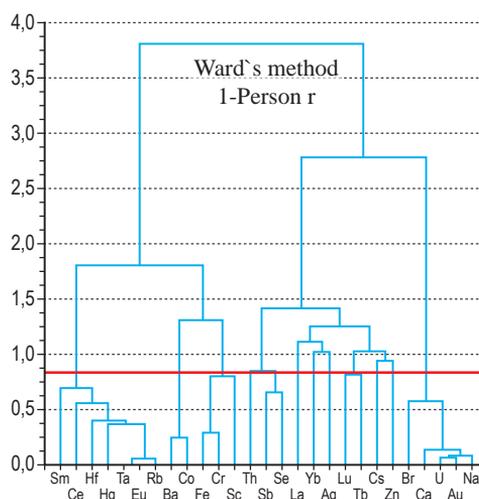


Рис. 10.2.4. Дендрограмма корреляционной матрицы геохимического спектра волос детей Павлодарской области, Казахстан ( $1\text{-Pearson } r = 0,82$ )

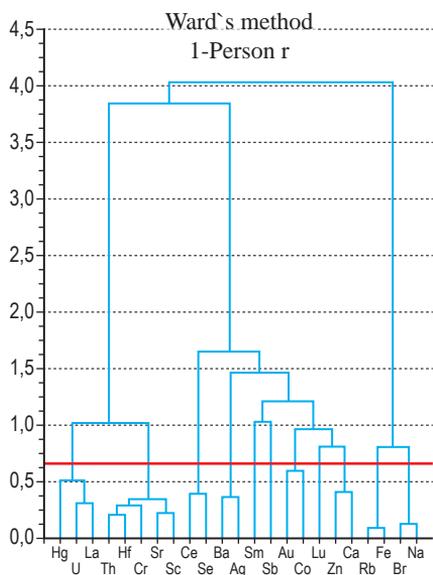


Рис. 10.2.5. Дендрограмма корреляционной матрицы геохимического спектра волос детей в Иркутской области ( $1\text{-Pearson } r = 0,67$ )

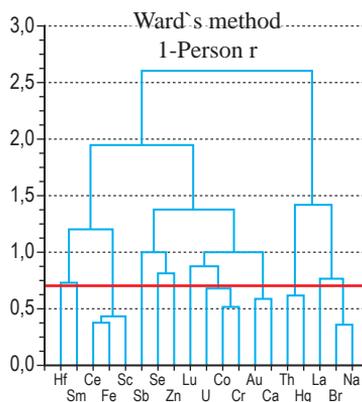


Рис. 10.2.6. Дендрограмма корреляционной матрицы геохимического спектра волос детей в Челябинской области ( $1\text{-Pearson } r = 0,7$ )

Интересно распределение кобальта, значительные концентрации которого характерны для территории распространения крупнейшего железорудного месторождения.

Таким образом, проведенный анализ содержания элементов в волосах детей территории Томской области относительно показателей их накопления в других регионах позволил установить специфику, выражающуюся в более высоких

### **10.3. Специфика накопления химических элементов в волосах детского населения административных единиц Томской области**

Неоднородность распределения химических элементов по данным уровней их накопления в составе волос детского населения территории Томской области говорит о наличии локальных геохимических аномалий, обусловленных природными и техногенными факторами. Установление границ этих аномалий затруднительно без детальных геологических, гидрогеохимических и ряда других исследований, которые нецелесообразно проводить в деталях на сплошных площадях. Для человека важно выявление таких факторов влияния, поскольку это связано с состоянием его здоровья. Как правило, исследования, касающиеся медико-демографических показателей, проводят на уровне административных единиц. Поэтому нами было проведено изучение биогеохимических показателей для населения 16 районов Томской области с целью выявления специфики локальных территорий, ограниченных границами районов или конкретных населенных пунктов.

Среднее содержание элементов в составе волос детей по районам Томской области приведено в табл. 10.3.1.

Анализ данных показывает, что существует достаточно сильное различие в уровнях накопления элементов в составе волос детей каждого из административных районов Томской области, что, по всей видимости, отражает геохимические и металлогенические особенности территории проживания. Наиболее сильный разброс значений характерен для Fe, Ag, Ce, Au, Th и U.

Особенности элементного состава волос детей в административных районах области также хорошо демонстрируют биогеохимические ряды накопления, приведенные в табл. 10.3.2.

Специфические биогеохимические особенности состава волос детей были выявлены для районов с преимущественным развитием сельского хозяйства. К ним отнесены Кожевниковский, Шегарский, Кривошеинский, Чаинский и Молчановский районы. Данные территории отличаются накоплением ртути в волосах детей – практически во всех районах в геохимическом ряду она выходит на первое место, причем коэффициенты концентрации имеют высокие значения (превышения над региональным уровнем составляют 4–8 раз) (Швецова и др., 2010). В сельскохозяйственных регионах загрязнение почв ртутью является весьма распространенным процессом, происходящим при применении фунгицидов (Кабата-Пендиас, 1989). Поступление этого высокотоксичного элемента в организм и его накопление в волосах населения может происходить аэрогенным путем при

Таблица 10.3.1

Содержание химических элементов в волосах детей административных районов Томской области (мг/кг)

Элемент	Томский	Чаинский	Кривошеинский	Шегарский	Тегульдетский	Зырянский	Колпашевский	Бакчарский	Парабельский	Верхнекетский	Александровский	Карга-соковский	Первомайский	Молчановский	Кожениновский	Асиновский
Na	762	545	749	521	599	567	100	786	152	260	145	708	287	436	290	460
Ca	3104	2113	3133	4207	2196	2058	1083	2087	917	1110	5975	4960	1741	1492	1717	2416
Sc	0,09	0,03	0,1	0,18	0,05	0,01	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,04	0,005	0,008	0,005	0,03
Cr	7,1	9,2	14,5	16,2	5,9	1,03	2,1	1,9	2,48	1,56	2,63	4,76	0,83	9,34	7,75	1,83
Fe	1072	373	1187	2003	421	99,7	151,7	99	202	178	238	454	46,3	136	33	183
Co	0,29	0,12	0,31	0,54	0,231	0,16	0,202	0,572	0,18	0,16	0,44	0,15	0,04	0,05	0,02	0,2
Zn	173	206	219	244	222	150	155	210	153	191	277	352	210	197	197	163
As	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.
Se	0,53	1,45	0,89	1,39	0,80	0,39	0,62	0,66	0,55	0,97	0,1	0,38	1,27	1,6	1,79	0,77
Br	24,8	7,35	20,0	15,3	2,37	4,1	4,78	6,9	7,85	14,1	7,8	14,72	9,48	16,3	9,18	2,87
Rb	2,05	н.п.	1,8	н.п.	2,2	2,08	н.п.	4,5	н.п.	1,88	н.п.	1,9	н.п.	н.п.	н.п.	2,1
Sr	16,3	н.п.	н.п.	н.п.	13,1	13,5	н.п.	10,43	н.п.	10,3	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.
Ag	0,47	0,17	0,71	0,24	0,58	0,2	0,28	0,43	0,3	1,1	1,05	0,4	0,8	0,54	0,2	0,17
Sb	0,19	0,1	0,16	0,08	0,09	0,06	0,02	0,053	0,09	0,089	0,02	0,11	0,05	0,16	0,078	0,03
Cs	0,031	н.п.	н.п.	0,059	н.п.	0,03	н.п.	0,060	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	0,031	н.п.	н.п.	н.п.
Ba	10,9	7,5	6,7	5,0	12,3	11,8	н.п.	13,7	н.п.	11,4	15,3	н.п.	11,8	5,8	3,3	14,7
La	0,41	0,18	0,11	0,25	0,14	0,26	0,32	0,26	0,31	0,22	0,03	0,05	0,03	0,13	0,043	0,06
Ce	0,52	0,48	1,34	0,47	0,26	0,24	0,92	0,08	0,67	0,43	0,39	1,2	0,23	0,5	0,148	0,07
Sm	0,11	0,038	0,12	0,14	0,22	0,04	0,03	0,31	0,03	0,04	0,13	0,048	н.п.	0,008	0,029	0,08
Eu	0,005	н.п.	н.п.	н.п.	0,004	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.
Tb	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	0,008	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.
Yb	0,06	н.п.	н.п.	н.п.	0,009	0,02	н.п.	0,014	н.п.	0,01	0,008	0,016	0,009	0,008	0,008	0,009
Lu	0,009	0,004	н.п.	н.п.	0,004	н.п.	0,005	0,004	н.п.	0,005	0,006	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.
Hf	0,08	0,02	0,11	0,17	0,024	0,02	0,04	0,05	0,04	0,02	0,17	0,19	0,02	н.п.	0,007	0,02
Ta	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	0,011	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.
Au	0,107	0,011	0,04	0,040	0,037	0,04	0,06	0,05	0,028	0,04	0,5	0,25	0,02	0,01	0,002	0,05
Hg	1,25	20,3	26,8	18,4	1,1	1,05	2,0	0,21	1,6	1,2	2,1	2,75	1,8	17,8	13,8	0,47
Th	0,17	0,008	0,007	0,006	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,1	0,010	0,02	0,01	0,01
U	0,15	0,18	0,05	0,036	0,12	0,16	0,08	0,13	0,05	0,08	0,03	0,57	0,03	0,07	0,03	0,07

н.п. – содержание ниже предела обнаружения

Таблица 10.3.2

**Биогеохимические ряды накопления элементов относительно среднеобластного уровня в волосах детей, проживающих в районах Томской области**

Район	Биогеохимические ряды
Томский	Th <sub>2,7</sub> – Yb <sub>2,2</sub> – Fe <sub>2,1</sub> – Br <sub>2</sub> – Sc <sub>1,9</sub> – Sb <sub>1,8</sub> – Au <sub>1,7</sub> – Hf <sub>1,6</sub> – Lu <sub>1,7</sub> – La <sub>1,5</sub> – Cr <sub>1,5</sub> – Eu <sub>1,5</sub> – Ce <sub>1,4</sub> – Sr <sub>1,3</sub> – Ca <sub>1,3</sub> – Na <sub>1,3</sub> – U <sub>1,2</sub> – Co <sub>1,2</sub> – Sm <sub>1,2</sub>
Асиновский	Ba <sub>1,3</sub> – Se <sub>1,06</sub>
Зырянский	U <sub>1,18</sub> – Sr <sub>1,1</sub>
Тегульдетский	Sm <sub>2,1</sub> – Ag <sub>1,4</sub> – Cr <sub>1,28</sub> – Zn <sub>1,2</sub> – Se <sub>1,1</sub>
Верхнекетский	Ag <sub>2,6</sub> – Se <sub>1,34</sub> – Ce <sub>1,16</sub> – Br <sub>1,12</sub>
Первомайский	Ag <sub>1,9</sub> – Se <sub>1,7</sub> – Zn <sub>1,15</sub>
Кожевниковский	Hg <sub>4,1</sub> – Se <sub>2,5</sub> – Cr <sub>1,7</sub>
Шегарский	Hg <sub>5,5</sub> – Fe <sub>4</sub> – Sc <sub>3,7</sub> – Cr <sub>3,5</sub> – Hf <sub>3,4</sub> – Co <sub>2,17</sub> – Se <sub>1,9</sub> – Ca <sub>1,7</sub> – Cs <sub>1,7</sub> – Sm <sub>1,4</sub> – Zn <sub>1,3</sub> – Ce <sub>1,25</sub> – Br <sub>1,22</sub>
Кривошеинский	Hg <sub>8</sub> – Ce <sub>3,6</sub> – Cr <sub>3,14</sub> – Fe <sub>2,3</sub> – Hf <sub>2,15</sub> – Sc <sub>2,1</sub> – Ag <sub>1,7</sub> – Br <sub>1,6</sub> – Sb <sub>1,5</sub> – Ca <sub>1,28</sub> – Co <sub>1,25</sub> – Na <sub>1,24</sub> – Se <sub>1,23</sub> – Sm <sub>1,22</sub> – Zn <sub>1,2</sub>
Молчановский	Hg <sub>5,3</sub> – Se <sub>2,16</sub> – Cr <sub>2</sub> – Sb <sub>1,5</sub> – Br <sub>1,3</sub> – Ag <sub>1,3</sub> – Ce <sub>1,3</sub>
Чаинский	Hg <sub>6</sub> – Se <sub>2</sub> – Cr <sub>2</sub> – U <sub>1,38</sub> – Ce <sub>1,3</sub> – Zn <sub>1,13</sub>
Парабельский	Ce <sub>1,8</sub> – La <sub>1,15</sub>
Каргасокский	U <sub>4,3</sub> – Au <sub>3,9</sub> – Hf <sub>3,8</sub> – Ce <sub>3,2</sub> – Ca <sub>2</sub> – Zn <sub>1,9</sub> – Th <sub>1,5</sub> – Br <sub>1,18</sub> – Na <sub>1,17</sub>
Александровский	Au <sub>7,8</sub> – Hf <sub>3,4</sub> – Ag <sub>2,5</sub> – Ca <sub>2,4</sub> – Co <sub>1,7</sub> – Zn <sub>1,5</sub> – Ba <sub>1,4</sub> – Sm <sub>1,3</sub> – Lu <sub>1,1</sub>
Колпашевский	Ce <sub>2,45</sub> – La <sub>1,2</sub>
Бакчарский	Sm <sub>3</sub> – Co <sub>2,3</sub> – Rb <sub>2</sub> – Cs <sub>1,7</sub> – Na <sub>1,3</sub> – Ba <sub>1,2</sub> – Zn <sub>1,15</sub>

пылении почв, либо по пищевой цепи через выращенные на этих почвах пищевые продукты.

Факт повышенного накопления ртути в волосах детей, проживающих в районах с преимущественным развитием сельского хозяйства, выявленный по данным ИНАА, подтвержден и методом беспламенной атомной абсорбции (рис. 10.3.1). На графике хорошо видно, что уровень накопления ртути в составе волос детей возрастает в сельскохозяйственных районах (Чаинский, Кривошеинский районы) по сравнению с Первомайским районом, который характеризуется развитой лесной и деревообрабатывающей промышленностью.

В Шегарском, Кривошеинском и Молчановском районах в составе волос детей происходит концентрирование Вг с превышениями над региональным уровнем до 1,6 раз. Можно предположить, что его накопление является следствием интенсивно ведущейся



Рис. 10.3.1. Содержание ртути в пробах волос детей из разных районов области по данным метода беспламенной атомной абсорбции

добычи нефти и газа в северных районах Томской области либо воздействием других источников Вг.

Характер накопления элементов в волосах детского населения Шегарского и Кривошеинского районов можно обозначить как практически идентичный. На этих территориях в волосах детей, так же как и в Томском районе, концентрируются Sc, Cr, Fe, Hf, только коэффициенты концентрации здесь более высокие (табл. 10.3.2, рис. 10.3.2). Как указывалось ранее Н.В. Барановской (2003), накопление этих элементов может быть обусловлено трансграничным переносом веществ по долинам рек от предприятий топливно-энергетического комплекса гг. Кемерово, Новокузнецка, а также местных котельных, работающих на угле. Подобная ассоциация элементов не характерна для других районов этой группы, однако, в составе волос детей для всей группы отмечается накопление хрома. В составе биосубстрата в трех из пяти районов этой группы отмечено накопление Se, требующее более детальных исследований, особенно в свете того, что наш регион традиционно относится к дефицитным по данному элементу (Ковальский, 1974; Ermakov, 2008).

Северные нефтегазоносные территории отличаются высоким уровнем содержания в волосах детей Au, U, Hf, Ca, Ce (табл. 5.3). Вопрос поступления золота требует дополнительных исследований.

В образцах волос детей, проживающих в Зырянском районе, отмечается несколько повышенное содержание U и Sr (Наркович Д.В., 2011) (табл. 10.3.2). Поступление этих элементов в организм детей и последующее их накопление в волосах может быть обусловлено как влиянием деятельности Сибирского химического комбината, так и наличием природного источника – Яйского месторождения бурых углей, обогащенных ураном, редкими и редкоземельными элементами, которые поступают в питьевые воды Зырянского района (Рихванов, 1997).

Бакчарский район имеет свои особенности, на его территории локализуются крупные ресурсы железных руд (Бакчарский и Колпашевский железорудные узлы). Яркой особенностью биосубстратов из Бакчарского района можно считать значительное накопление Co, являющегося характерным элементом для железных руд, распространенных на данной территории. Но, в то же время, в них не фиксируется мышьяк, постоянно присутствующий в рудах этого типа. Как и в Тегульдетском районе, в биосубстрате на территории Бакчарского района происходит накопление Sm, но в более высоких концентрациях. Отличительной особенностью Бакчарского района является присутствие в биогеохимическом ряду Rb (табл. 10.3.2).

Наиболее широкий спектр элементов (19 элементов), входящих в биогеохимический ряд накопления, отмечен для Томского района. В целом, Томский район характеризуется как техногенно напряженный участок на территории области, экологические проблемы здесь связаны с зоной Северного промышленного узла, насчитывающей порядка 30 предприятий различного профиля. Волосы проживающих здесь детей ярко отражают в своем составе техногенную составляющую. Образцы волос детей именно в Томском районе характеризуются максимальными

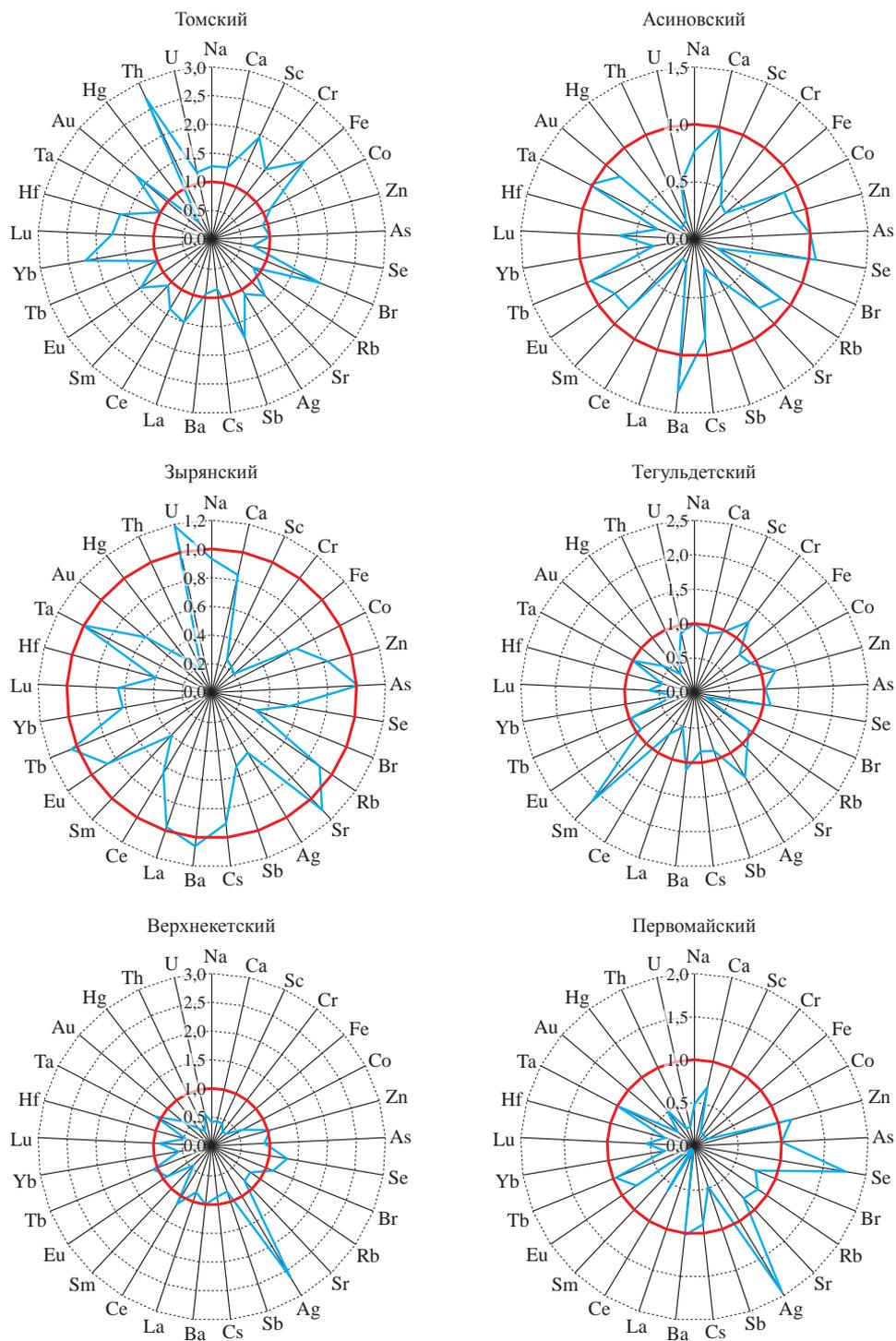
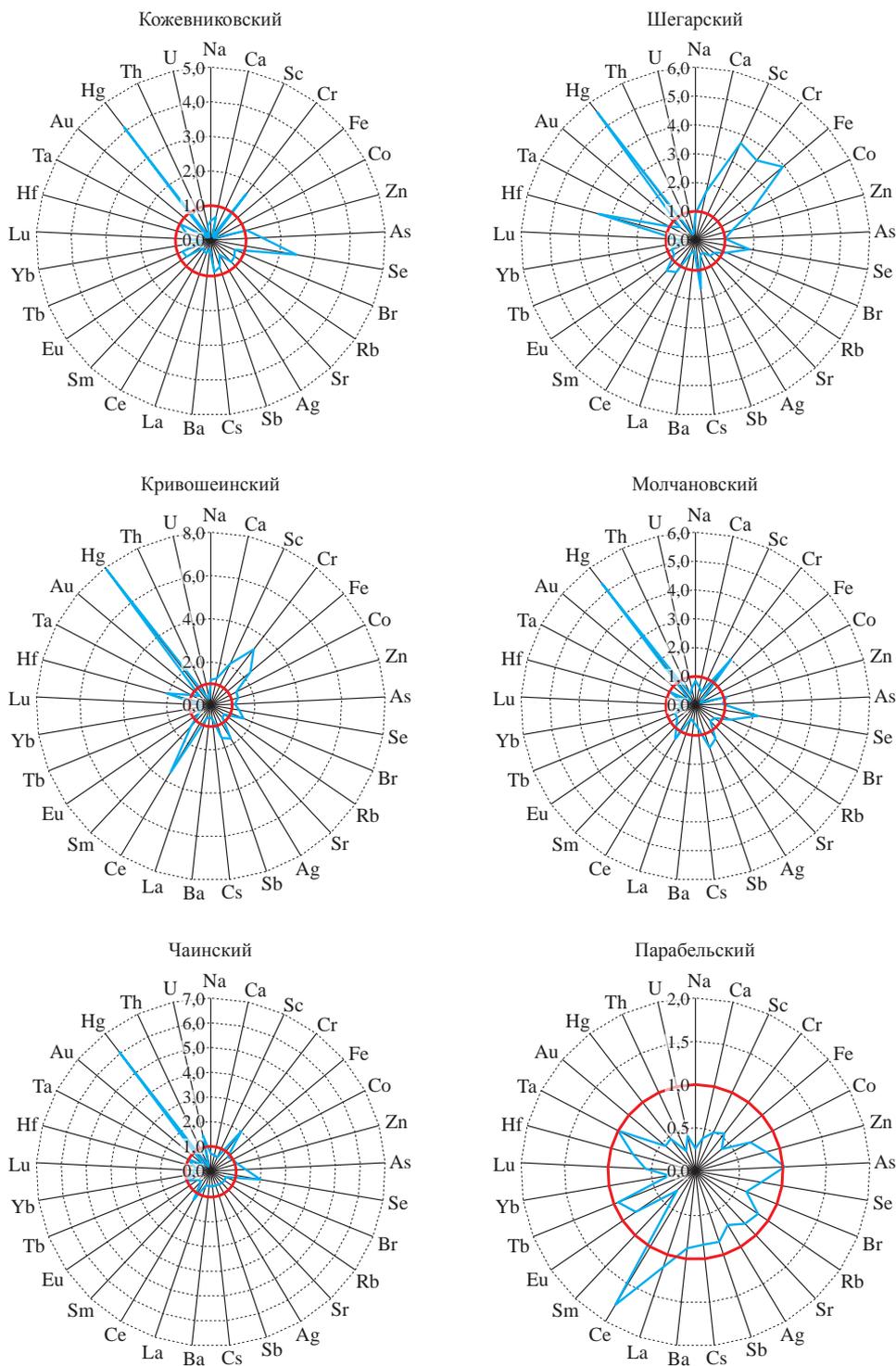
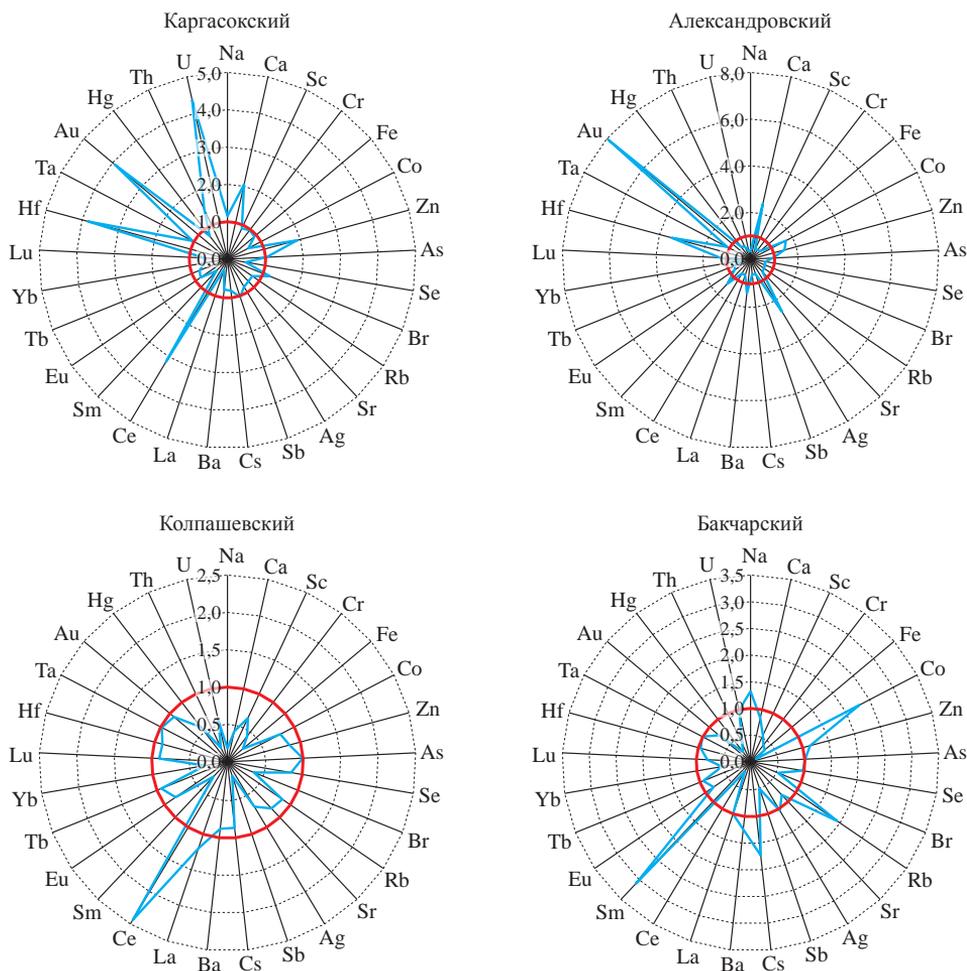


Рис. 10.3.2. Коэффициенты концентрации элементов относительно среднеобластного показателя в волосах детей, проживающих в районах Томской области



Продолжение рис. 10.3.2.



Окончание рис. 10.3.2.

концентрациями Br, Sb, La, Yb, Th (рис. 10.3.2). В них интенсивно накапливаются Cr, Sr, Hf и некоторые редкоземельные элементы, для которых характерно крайне неравномерное пространственное распределение, связанное с расположением источников природно-техногенного воздействия на территории СПУ, о чем мы неоднократно писали (Барановская, 20032; Baranovskaya et. al., 2009; Барановская, 2005).

Подробное рассмотрение ситуации по накоплению в составе волос детей группы редких земель, показало, что по содержанию La лидирует Томский район. Церий здесь также имеет превышения над среднеобластным уровнем, однако район занимает лишь 5-е место (рис. 10.3.3).

В целом можно отметить, что накопление Ce происходит в волосах детей примерно в половине районов области. Наиболее высокое содержание выявлено у детей в Кривошеинском, Каргасокском и Колпашевском районах, что наглядно

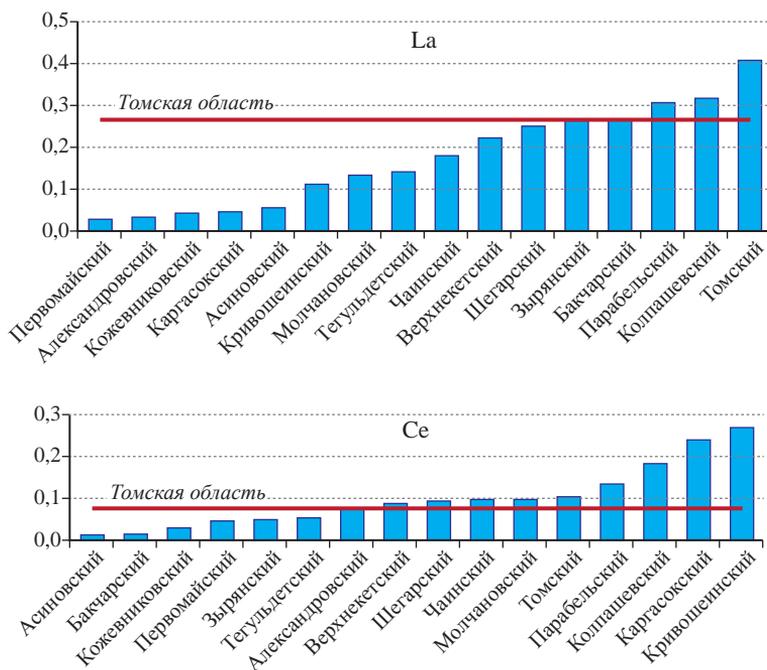


Рис. 10.3.3. Ранжирование районов Томской области по содержанию легких редкоземельных элементов (мг/кг)

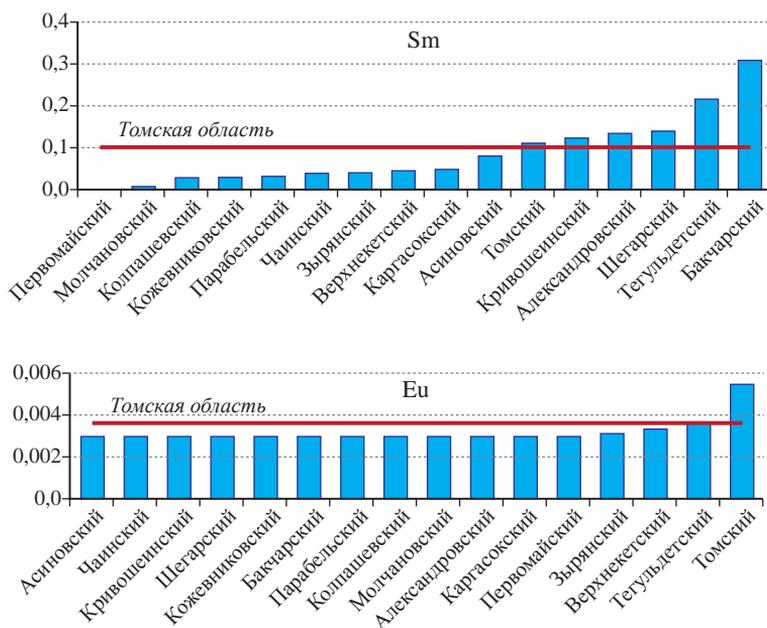


Рис. 10.3.4. Ранжирование районов Томской области по содержанию средних редкоземельных элементов (мг/кг)

демонстрирует диаграмма на рис. 10.3.3. Источником редкоземельных элементов на этих территориях, на наш взгляд, могут служить локальные проявления циркон-ильменитовых россыпей.

В содержании средних редкоземельных элементов также не выявлено единой тенденции (рис. 10.3.4). Накопление Sm в той или иной степени происходит в шести районах области, начиная с Томского ( $K_k=1,2$ , табл. 10.3.2), максимум приходится на Бакчарский район. Накопление Eu (рис. 10.3.4), а также тяжелых редкоземельных элементов Yb и Lu (рис. 10.3.5) происходит только в Томском районе.

Ранжирование административных районов области было проведено по содержанию других химических элементов в составе волос детей. Данный подход

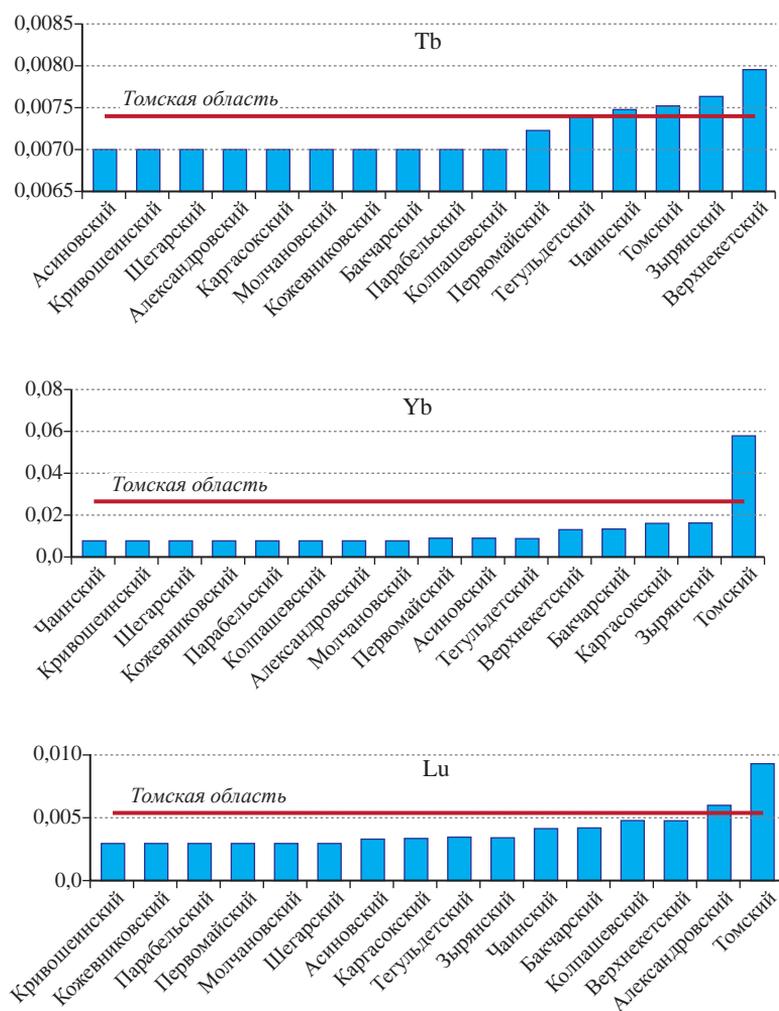


Рис. 10.3.5. Ранжирование районов Томской области по содержанию тяжелых редкоземельных элементов (мг/кг)

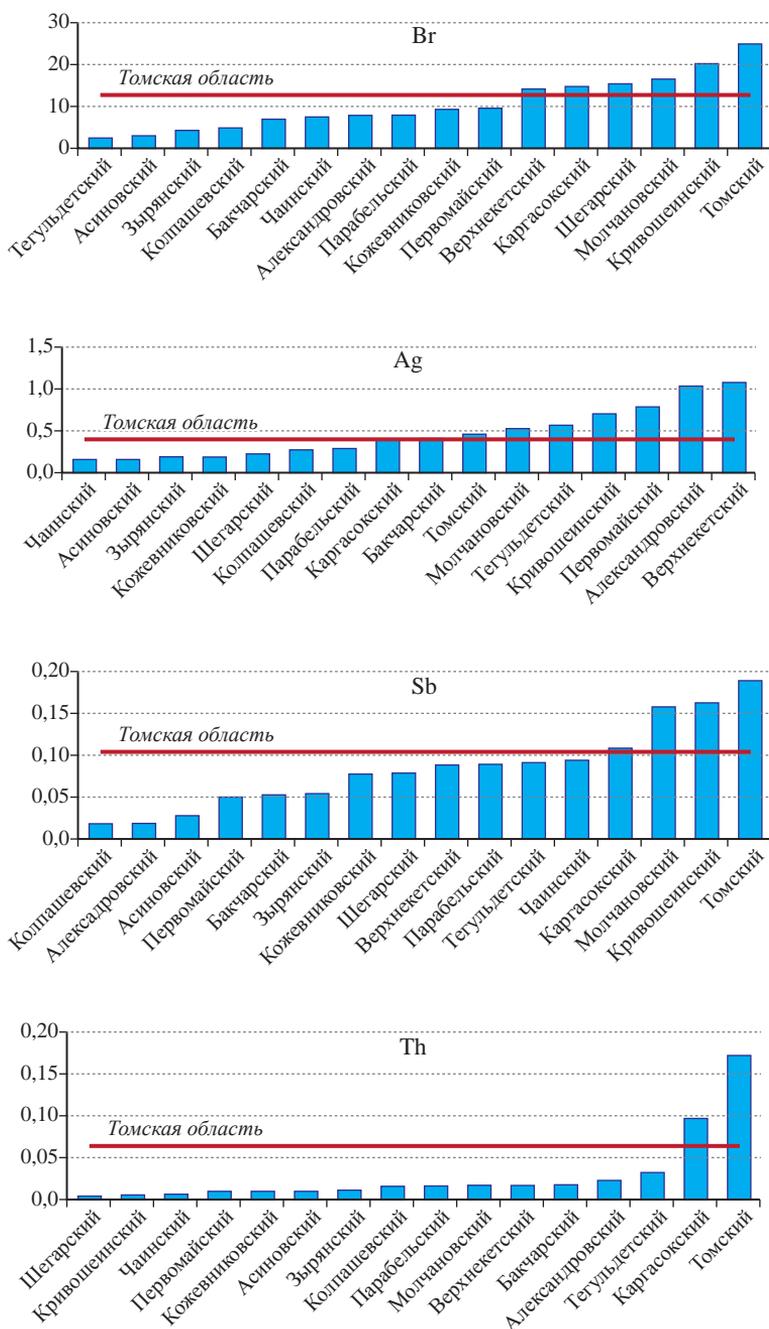
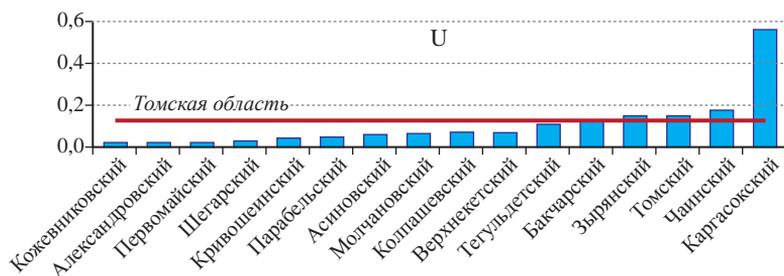


Рис. 10.3.6. Ранжирование районов области по содержанию некоторых элементов в составе волос детского населения (мг/кг)



Окончание рис. 10.3.6.

весьма полезен для выявления возможных патологий, обусловленных воздействием аномально высоких концентраций химических элементов либо их недостаточностью. Например, бром может являться антагонистом йода и вызывать определенные виды патологий щитовидной железы (Верховская, 1962; Денисова и др., 2011). Распределение районов по степени накопления этого элемента показывает, что данный вид заболеваемости следует изучать на территориях Томского, Кривошеинского, Шегарского и Каргасокского районов (рис. 10.3.6).

Серебро накапливается в составе биосубстрата в шести районах области (рис. 10.3.6). В основном, это отмечается на восточной окраине Томской области и на севере в Александровском районе.

На данный момент мы не можем объяснить многие аномалии в районах, но данные элементного состава волос населения подтверждают факт их наличия на локальных уровнях, что необходимо учитывать при профилактике заболеваемости населения этих территорий.

По коэффициенту аномальности, рассчитанному как сумма  $K_k > 1$ , Томский район стоит на первом месте (рис. 10.3.7), что обусловлено наиболее широким

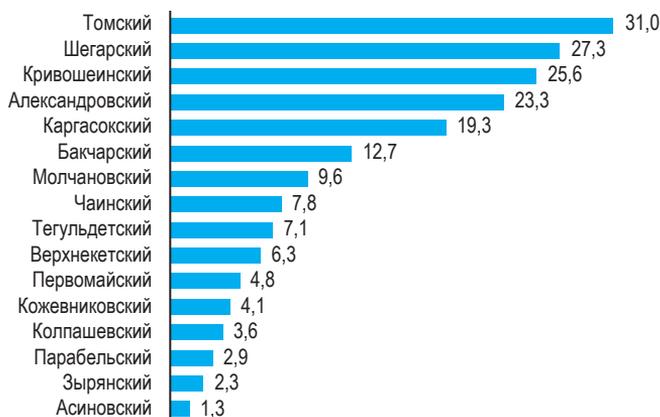


Рис. 10.3.7. Коэффициенты аномальности ( $K_a$ ) накопления изученных элементов в составе волос детского населения в районах Томской области, рассчитанные без учета коэффициента концентрации ртути

спектром накопления элементов в составе волос детей на его территории из-за наличия сложной природно-техногенной обстановки.

На основе расчета этого коэффициента районы области можно разбить на 3 группы:  $Ka < 10$ ,  $10 < Ka < 25$ ,  $Ka > 25$ . В первую группу попали районы, имеющие невысокие коэффициенты концентрации относительно среднеобластного уровня и немногочисленный спектр накопления элементов. Это восточные районы (Зырянский, Асиновский, Первомайский, Тегульдетский, Верхнекетский), центральные – Колпашевский, Чаинский и Молчановский, также Парабельский район и южный Кожевниковский район. Во вторую группу входят район железорудного узла – Бакчарский, и северные нефтегазодобывающие районы – Каргасокский и Александровский. Третью группу составляют Томский район и граничащие с ним с запада Кривошеинский и Шегарский.

Однако, если учитывать эмиссию ртути в сельскохозяйственных районах, то график распределения районов приобретает несколько иной вид (рис. 10.3.8).

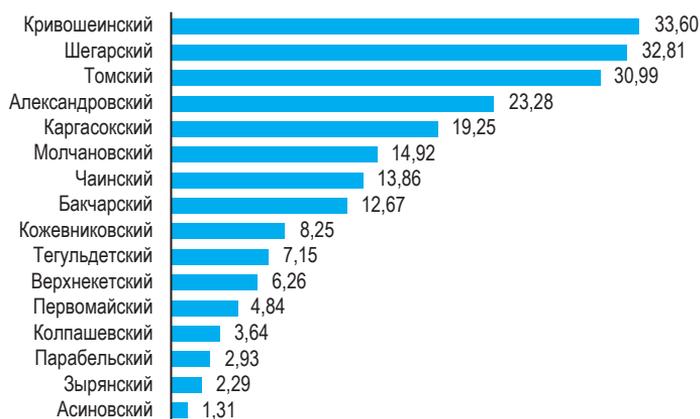


Рис. 10.3.8. Коэффициенты аномальности ( $Ka$ ) накопления элементов в составе волос детского населения в районах Томской области, рассчитанные с учетом коэффициента концентрации ртути

Значительное накопление этого элемента в волосах детей Кривошеинского района требует проведения специальных исследований, поскольку этот компонент является весьма токсичным. Необходимо отметить, что наблюдается возрастание его глобальной эмиссии в биосфере в результате развития техногенеза (Ермаков, 2003, и др.).

*Анализ биогеохимических показателей для территории административных единиц позволяет говорить, что каждый район области имеет свою специфику. По спектру накапливающихся в волосах детей элементов можно выделить следующие группы районов: северные нефтегазодобывающие районы, районы с преимущественным развитием сельского хозяйства, техногенно напряженный Томский район, районы, не подверженные выраженному техногенному влиянию с наличием природных геохимических аномалий.*

#### 10.4. Формирование элементного состава волос человека на территориях с природными геохимическими аномалиями

Для более подробного выявления влияния природной геохимической ситуации на формирование элементного состава волос населения были рассмотрены особенности накопления элементов в составе биосубстрата Бакчарского района, в недрах которого локализуются крупные ресурсы железных руд (Бакчарский железорудный узел) (рис. 10.4.1).

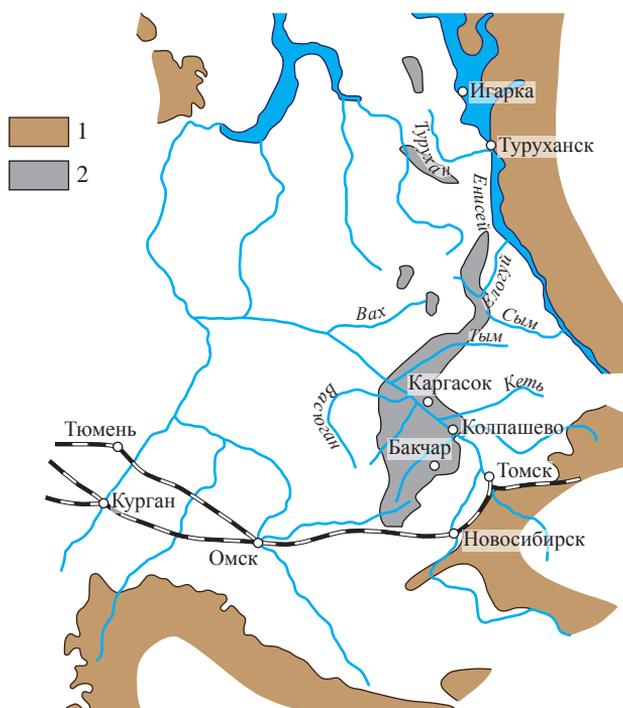


Рис. 10.4.1. Западно-Сибирский железорудный бассейн (Николаева И.В., 1985). Условные обозначения: 1 – горное обрамление; 2 – разведанные участки бассейна

На территории Бакчарского района Томской области в междуречье Андорма и Икса находится месторождение железных руд, являющееся составной частью огромного по площади Западно-Сибирского железорудного бассейна. Оолитовые железные руды Бакчарского месторождения относятся к прибрежно-морскому типу осадочных сидерит-гидрогетит-лептохлоритовых руд. Они открыты и предварительно изучены в 50-х гг. XX в.

Бакчарское месторождение расположено в юго-восточной части Западно-Сибирской низменности и находится в административных границах Бакчарского района Томской области. В геологическом отношении район имеет двухъярусное строение: складчатый фундамент палеозойского возраста и перекрывающий его

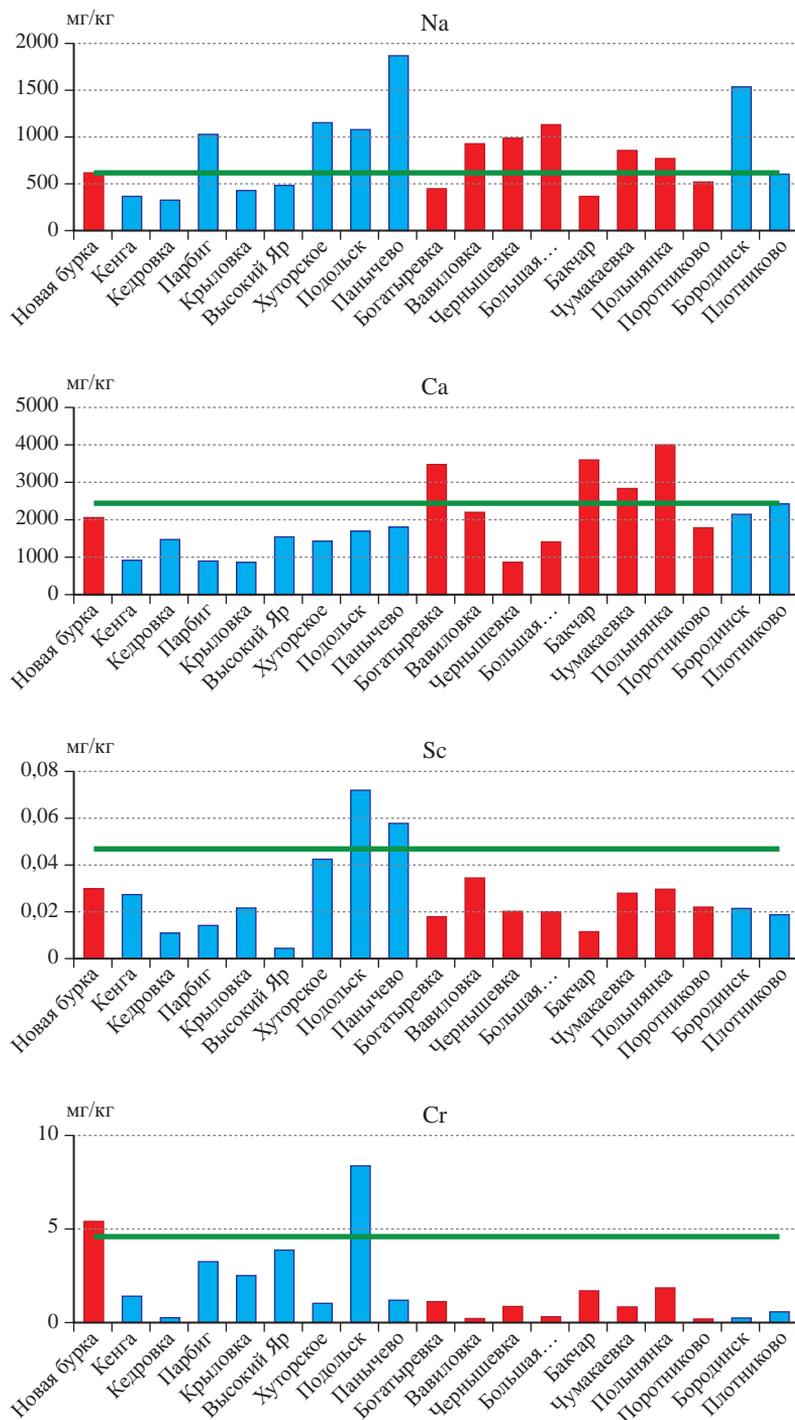
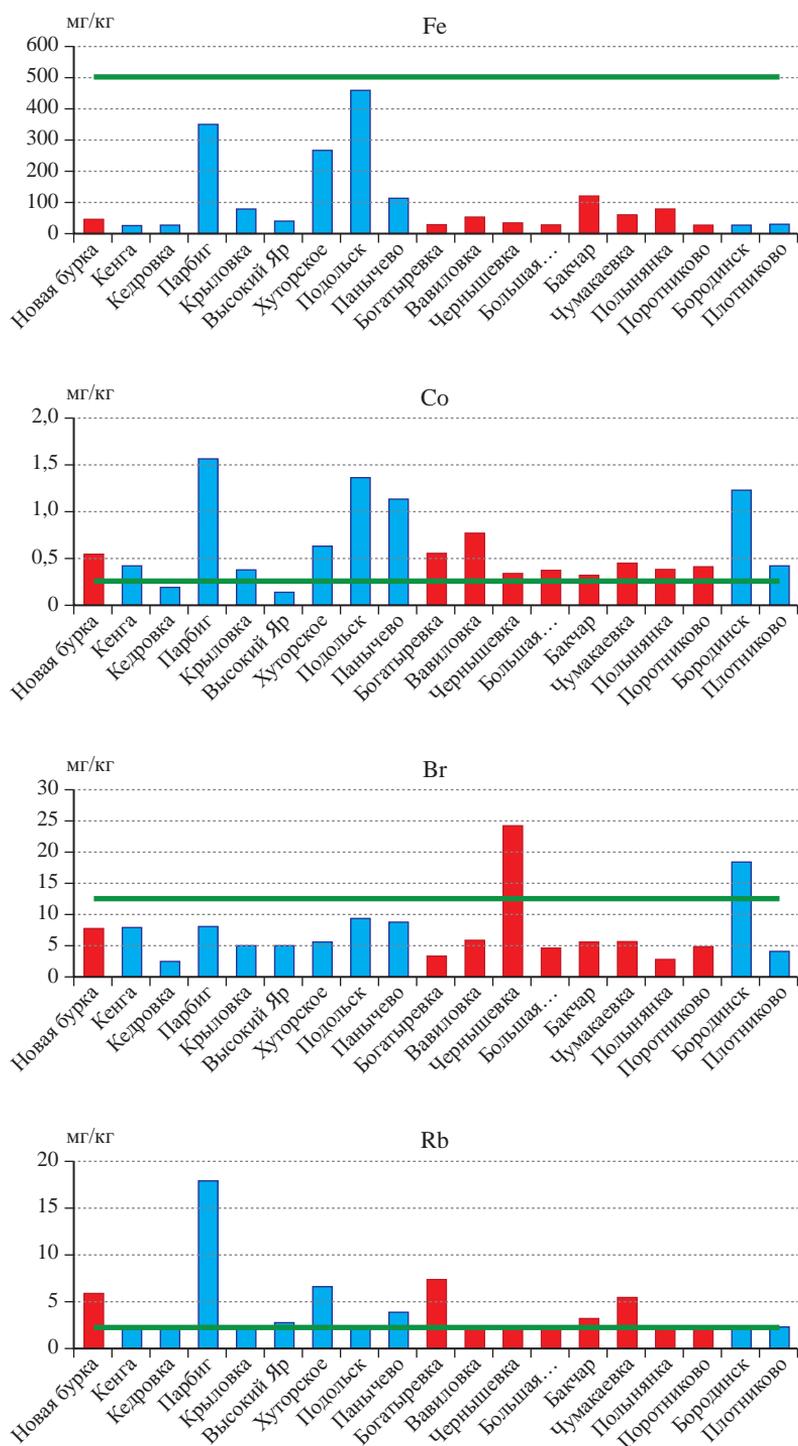
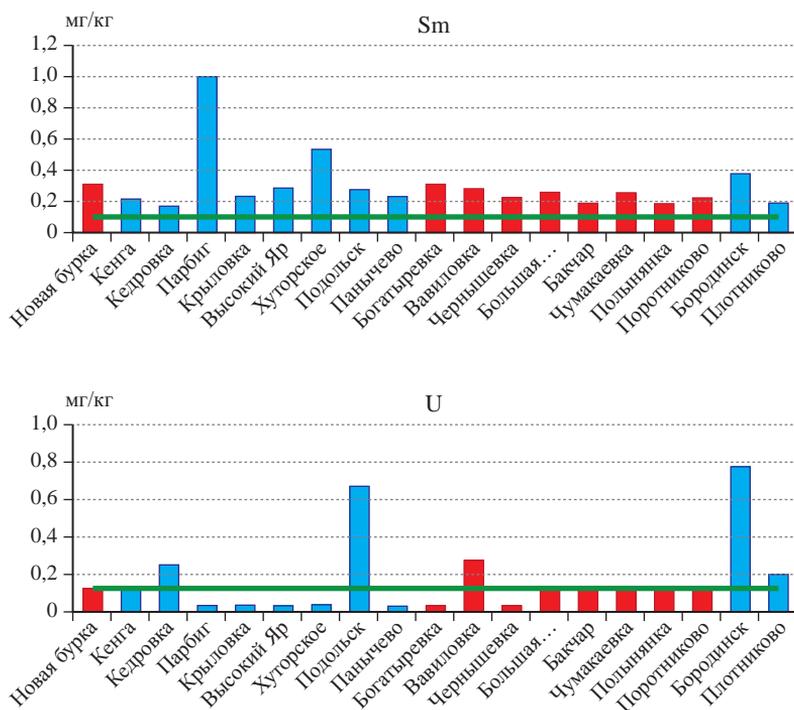


Рис. 10.4.2. Диаграммы содержания некоторых химических элементов (мг/кг) в составе волос детей, проживающих в населенных пунктах Бакчарского района



Продолжение рис. 10.4.2.



Окончание рис. 10.4.2.

чехол осадочных мезозойско-кайнозойских отложений. Железные руды приурочены к верхнемеловым и палеогеновым отложениям и прослеживаются в виде горизонтов на всей площади месторождения, а также за её пределами, разделяясь безжелезистыми или сладожелезистыми породами, которые иногда с размывом перекрывают друг друга (Николаева, 1985).

Яркой геохимической особенностью биосубстрата в Бакчарском районе можно считать значительное накопление Co, являющегося характерным элементом для железных руд, распространенных на данной территории. Но, в то же время, в них не фиксируется мышьяк, постоянно присутствующий в рудах этого типа. Характерно также для этого района накопление Rb в волосах, коэффициент концентрации его равен 1,8 (Швецова (Наркович) Д.В., 2011).

Кроме того, элементный состав волос детей практически во всех населенных пунктах района характеризуется высокими концентрациями самария (рис. 10.4.2). Возможно, это связано с присутствием циркон-ильменитовых песков в районе данного объекта. Так, некоторыми авторами (Даргевич, 2000) отмечается, что к зоне распространения оолитовых осадочных руд железа приурочены и многочисленные проявления ильменит-циркониевых россыпей.

Анализ позволил установить особенность, заключающуюся в том, что содержание Fe в изученном биосубстрате примерно в 2 раза ниже среднеобластных показателей. Низкие значения содержания железа получены и для накипи из Бак-

чарского района (Монголина, 2011).

Содержание железа в составе волос детского населения Бакчарского района составляет в среднем 99 мг/кг, что в 2 раза ниже среднеобластных показателей. Данный факт, по всей вероятности, обусловлен нахождением железа в питьевых водах в менее подвижной двухвалентной форме ( $Fe^{2+}$ ) (Макушин и др., 2005; Видяйкина, 2010), откуда оно поступает в организм человека, и неспособностью этой формы накапливаться в депонирующих тканях в высоких концентрациях.

Приведенные на рис. 10.4.2 диаграммы по населенным пунктам Бакчарского района ярко отражают тенденцию снижения концентрации большинства химических элементов в пробах волос, отобранных в населенных пунктах, расположенных в зоне локализации железорудного узла – это н.п. Богатыревка, Вавиловка, Чернышевка, Большая Галка, Бакчар, Чумакаевка, Полынянка, Поротниково, по сравнению с остальной территорией.

Данные химического анализа волос детей Бакчарского района были изучены с помощью кластерного анализа в программе STATISTICA. При кластерном анализе осуществляется непосредственная корреляция между изучаемыми химическими элементами, позволяющая устанавливать ассоциации элементов и характер накопления. Тип анализа иерархический, метод расчета расстояний – коэффициент корреляции Пирсона. Как показывает кластерный анализ, на территории района хорошо фиксируется взаимосвязь железа с группой элементов Co–Hf–La–Se–Th (рис. 10.4.3), указывающая на влияние железорудного месторождения на формирование состава волос детей. Ассоциация редкоземельных элементов указывает на наличие проявлений циркон-ильменитовых песков.

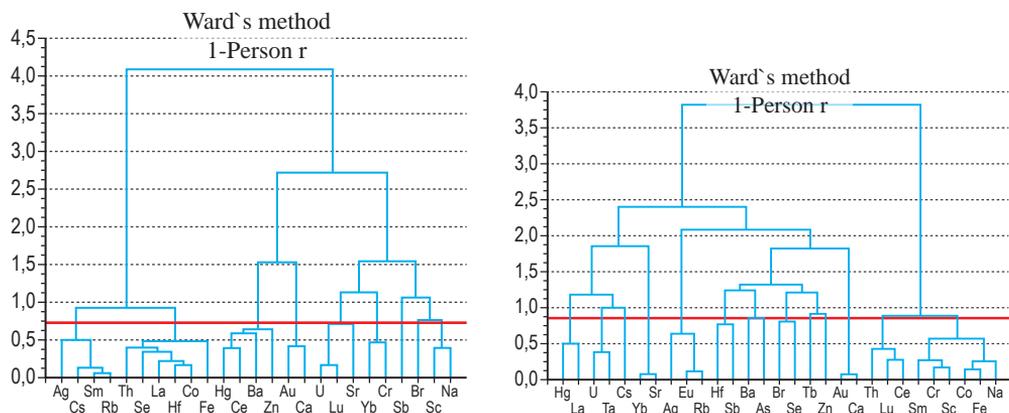


Рис. 10.4.3. Дендрограммы корреляционных матриц геохимического спектра волос детей: слева – проживающих в Бакчарском районе ( $1\text{-Person } r_{0,27} = 0,73$ ), справа – в Томском районе ( $1\text{-Person } r_{0,15} = 0,85$ )

Иная картина взаимосвязи элементов наблюдается для биосубстрата в Томском районе, который имеет сложную эколого-геохимическую обстановку, обусловленную влиянием разно профилейных предприятий Северного промыш-

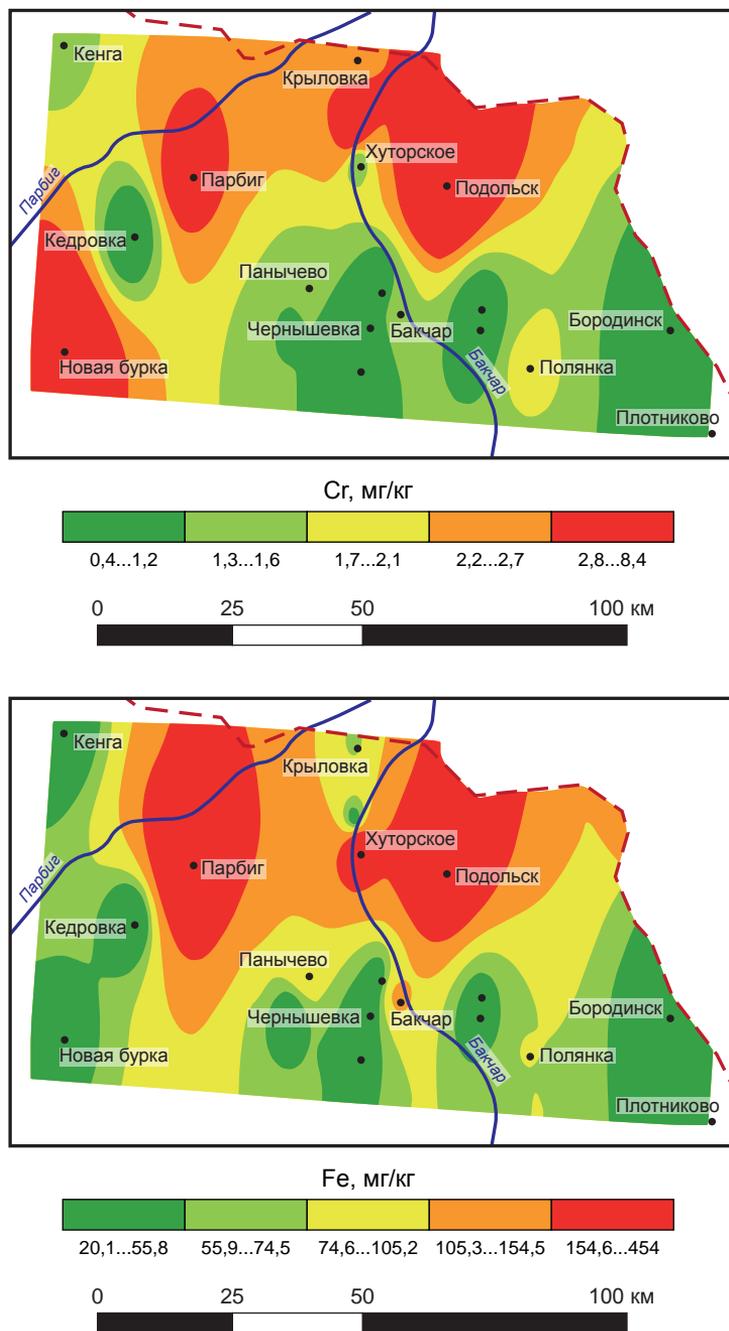


Рис. 10.4.4. Схематические карты распределения хрома и железа на территории Бакчарского района по данным элементного состава волос детей (мг/кг)

ленного узла. Среди значимых ассоциаций выделяются Hg–La, U–Ta, Yb–Sr, Ag–Eu–Rb, Hf–Sb, Br–Se, Au–Ca, Th–Lu–Ce, Sm–Cr–Sc, Co–Fe–Na. Между двумя последними ассоциациями прослеживается значимая связь (рис. 10.4.3). Наличие множества мелких ассоциаций указывает на сложный смешанный характер поступления элементов в состав волос на данной территории.

В Бакчарском районе, в отличие от Томского, бром и сурьма не образуют значимых ассоциаций. В целом, отличия в геохимических спектрах волос детского населения в данных районах весьма закономерны, поскольку на территориях с техногенным прессингом и наличием природных аномалий существует разная геохимическая обстановка.

На основании расчета коэффициентов концентрации химических элементов в структуре волос детей относительно средне областного уровня были получены

Таблица 10.4.1

**Биогеохимическая специфика волос детей, проживающих в населенных пунктах Бакчарского района**

Населенный пункт	Биогеохимическая специфика волос детей								
Плотниково	Ba <sub>3,7</sub>	Ag <sub>2,4</sub>	Sm <sub>1,8</sub>	Co <sub>1,6</sub>	U <sub>1,5</sub>	Ca <sub>1</sub>	As <sub>1</sub>		
Бородинск	U <sub>5</sub>	Co <sub>4,8</sub>	Sm <sub>3,7</sub>	Lu <sub>3</sub>	Na <sub>2,5</sub>	La <sub>2,4</sub>	Sr <sub>2</sub>	Br <sub>1,4</sub>	As <sub>1</sub>
Полынянка	Sm <sub>1,7</sub>	Ca <sub>1,6</sub>	Co <sub>1,4</sub>	Zn <sub>1,3</sub>	Na <sub>1,2</sub>	Au <sub>1,1</sub>			
Поротниково	Ba <sub>2,4</sub>	Sm <sub>2</sub>	Sb <sub>1,8</sub>	Ag <sub>1,6</sub>	Co <sub>1,5</sub>	La <sub>1,1</sub>	As <sub>1</sub>		
Чумакаевка	Rb <sub>2,3</sub>	Sm <sub>2,4</sub>	Ag <sub>1,8</sub>	Co <sub>1,5</sub>	Na <sub>1,4</sub>	Ba <sub>1,3</sub>	Ca <sub>1,1</sub>	Sr <sub>1</sub>	
Бакчар	Sm <sub>1,8</sub>	Zn <sub>1,7</sub>	Ba <sub>1,6</sub>	Au <sub>1,6</sub>	Ca <sub>1,4</sub>	Rb <sub>1,3</sub>	Cs <sub>1,2</sub>	Co <sub>1,2</sub>	
Большая Галка	Sm <sub>2,5</sub>	Na <sub>1,8</sub>	Co <sub>1,4</sub>	Zn <sub>1,2</sub>	Ag <sub>1,2</sub>	Ba <sub>1</sub>	Rb <sub>1</sub>		
Чернышевка	Sm <sub>2,1</sub>	Br <sub>1,9</sub>	Na <sub>1,6</sub>	Ag <sub>1,5</sub>	Co <sub>1,2</sub>				
Вавилонка	Co <sub>2,9</sub>	Sm <sub>2,7</sub>	U <sub>2</sub>	La <sub>1,7</sub>	Zn <sub>1,6</sub>	Hf <sub>1,5</sub>	Na <sub>1,4</sub>	Lu <sub>1,4</sub>	Se <sub>1,1</sub> As <sub>1</sub>
Богатыревка	Rb <sub>3,1</sub>	Sm <sub>3</sub>	Cs <sub>2,2</sub>	Co <sub>2</sub>	Ca <sub>1,4</sub>	Ba <sub>1,4</sub>	Se <sub>1</sub>	Zn <sub>1</sub>	
Панычево	Co <sub>4,4</sub>	Na <sub>3</sub>	Cs <sub>2,3</sub>	Sm <sub>2,2</sub>	Hf <sub>2</sub>	Rb <sub>1,6</sub>	Ag <sub>1,4</sub>	Sc <sub>1,2</sub>	Se <sub>1</sub>
Подольск	Co <sub>5,3</sub>	U <sub>5</sub>	Yb <sub>2,8</sub>	Sm <sub>2,6</sub>	La <sub>2,4</sub>	Lu <sub>1,9</sub>	Cr <sub>1,8</sub>	Na <sub>1,7</sub>	Hf <sub>1,6</sub> Sc <sub>1,5</sub> Zn <sub>1,2</sub> Ag <sub>1,1</sub>
Хуторское	Sm <sub>5,2</sub>	Rb <sub>3</sub>	Co <sub>2,4</sub>	Na <sub>1,9</sub>	Cs <sub>1,3</sub>	La <sub>1,1</sub>	Se <sub>1</sub>		
Крыловка	Sm <sub>2,3</sub>	Yb <sub>2,3</sub>	Co <sub>1,4</sub>						
Высокий Яр	Sm <sub>2,7</sub>	Rb <sub>1,2</sub>	Zn <sub>1,1</sub>	As <sub>1</sub>					
Парбиг	Sm <sub>10</sub>	Cs <sub>9</sub>	Rb <sub>7,6</sub>	Co <sub>6</sub>	Hf <sub>3</sub>	La <sub>2,6</sub>	Ag <sub>2,5</sub>	Na <sub>1,6</sub>	Se <sub>1,8</sub> As <sub>1</sub>
Кедровка	U <sub>1,9</sub>	Sm <sub>1,6</sub>	Zn <sub>1,3</sub>						
Новая Бурка	Sm <sub>3</sub>	Rb <sub>2,5</sub>	Co <sub>2</sub>	Ba <sub>1,6</sub>	Zn <sub>1,4</sub>	Cs <sub>1,3</sub>	Cr <sub>1,2</sub>	Ag <sub>1,2</sub>	U <sub>1,1</sub>
Кенга	Sm <sub>2</sub>	Co <sub>1,6</sub>	Sb <sub>1,4</sub>	Na <sub>1,2</sub>	Zn <sub>1,15</sub>	Cs <sub>1,14</sub>			

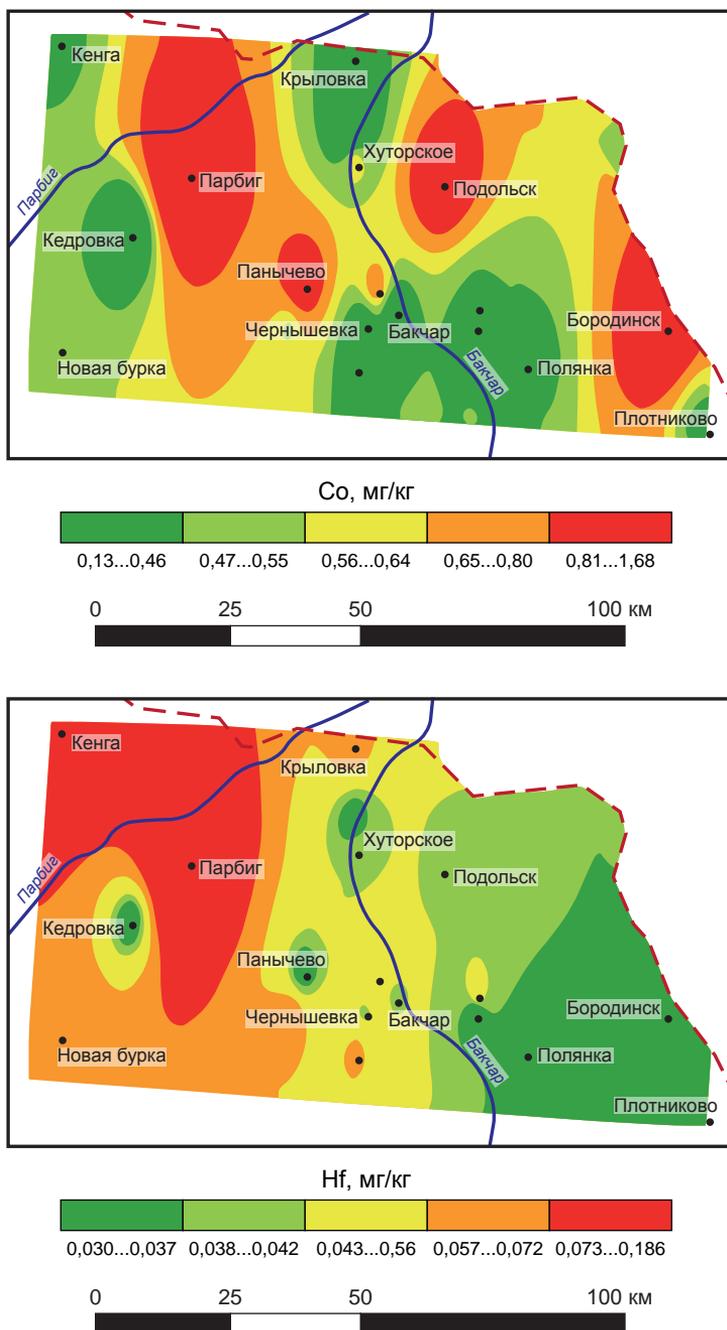
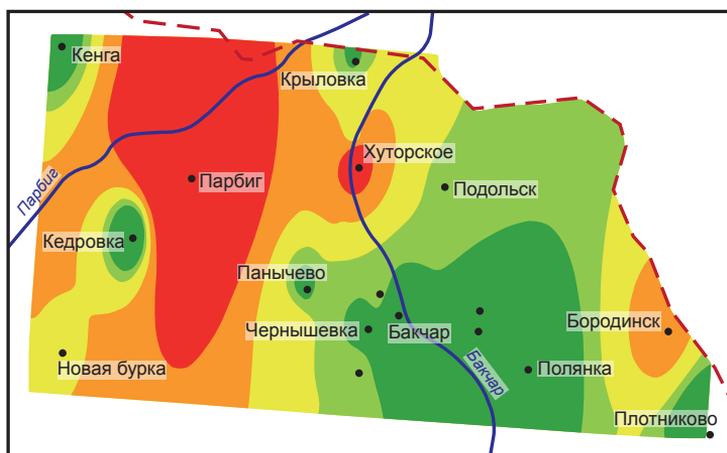
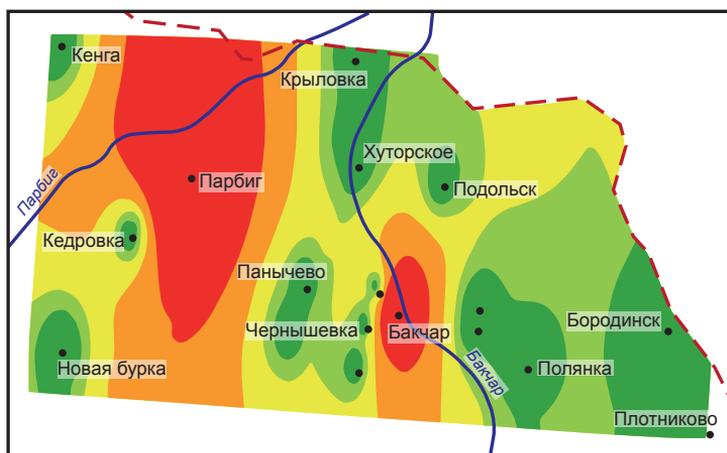
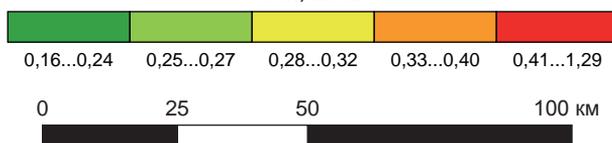


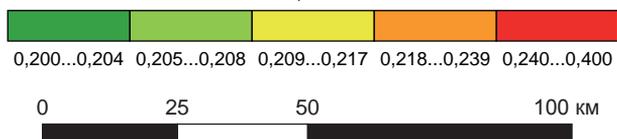
Рис. 10.4.5. Схематические карты распределения (слева направо, сверху вниз): кобальта, гафния, самария, церия на территории Бақчарского района по данным элементного состава волос детей (мг/кг)



Sm, мг/кг



Se, мг/кг



Окончание рис. 10.4.5.

биогеохимический ряд накопления элементов. Для Бакчарского района он имеет следующий вид:  $Sm_3 - Co_{2,3} - Rb_2 - Cs_{1,7} - Na_{1,3} - Ba_{1,2}$ . При этом в отличие от других районов области, только здесь отмечается присутствие в ряду рубидия и столь значительное накопление самария.

Анализ графического материала распределения элементов на территории Бакчарского района показал, что геолого-геохимическая неоднородность находит свое отражение в этой ткани. Так, железо фиксируется в области распространения железорудного бассейна так же, как и хром (рис. 10.4.4). Это доказывает, что элементный состав тканей человека является весьма чувствительным к геохимическим параметрам окружающей среды, а количественные характеристики зависят от выбора фоновых показателей для нормирования, от формы поступления элемента, источников, влияющих на его концентрирование.

Геохимическая неоднородность территории района прослеживается при анализе биогеохимических рядов ассоциаций элементов в волосах детей для каждого из 19 изученных населенных пунктов (табл. 10.4.1). Ряды отражают коэффициенты концентрации элементов, содержание которых в составе волос детей

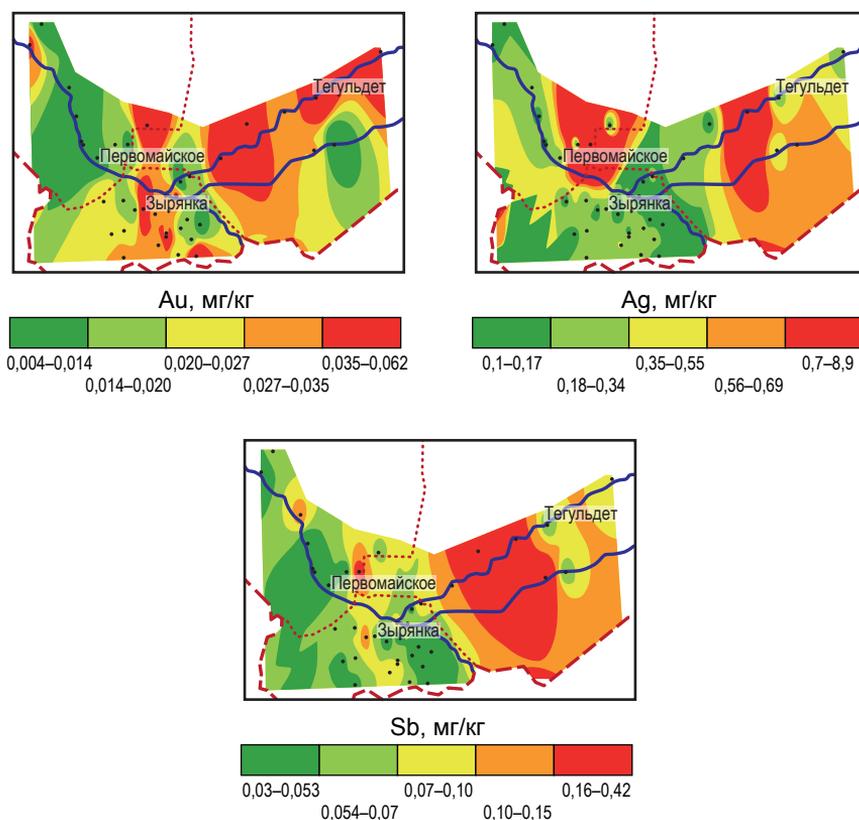


Рис. 10.4.6. Схематические карты распределения золота, серебра и сурьмы на территории Тегульдетского, Первомайского и Зырянского районов по данным элементного состава волос детей (мг/кг)

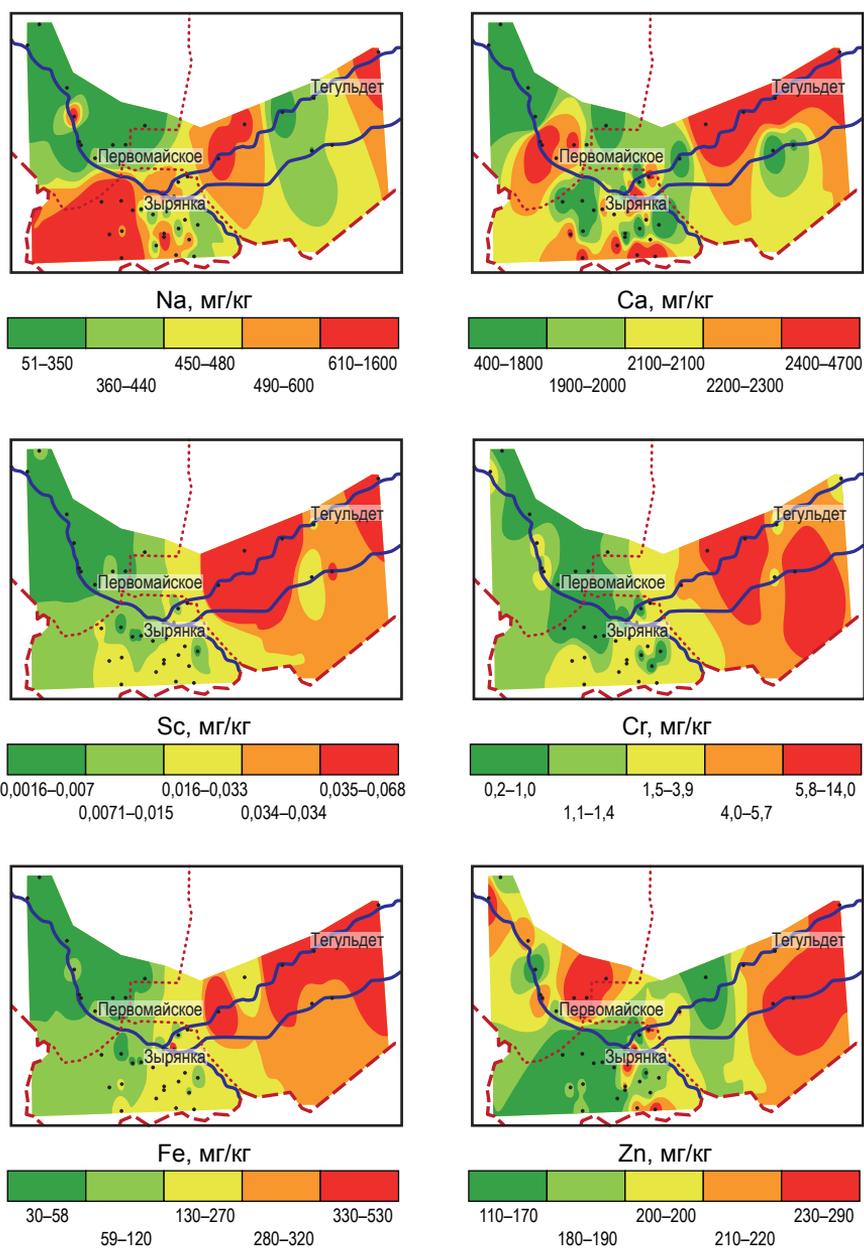
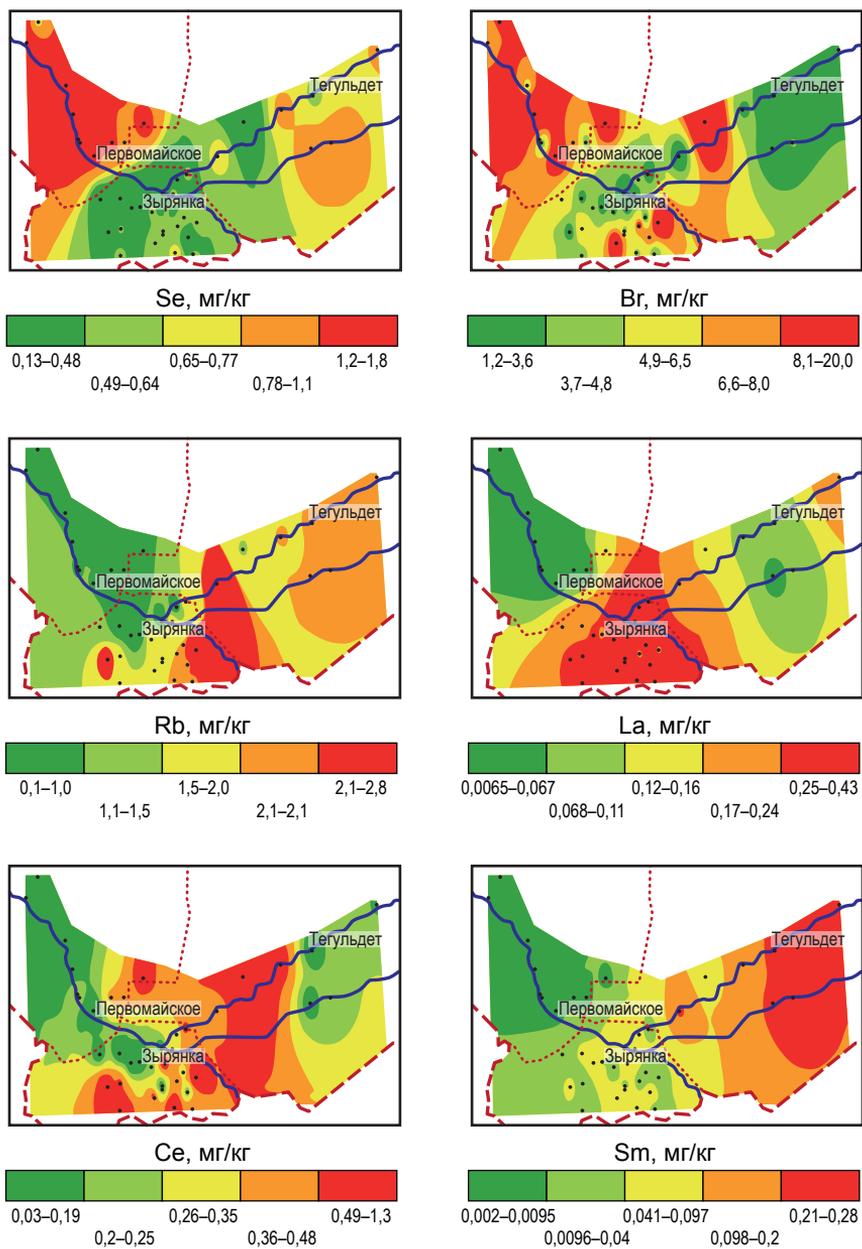
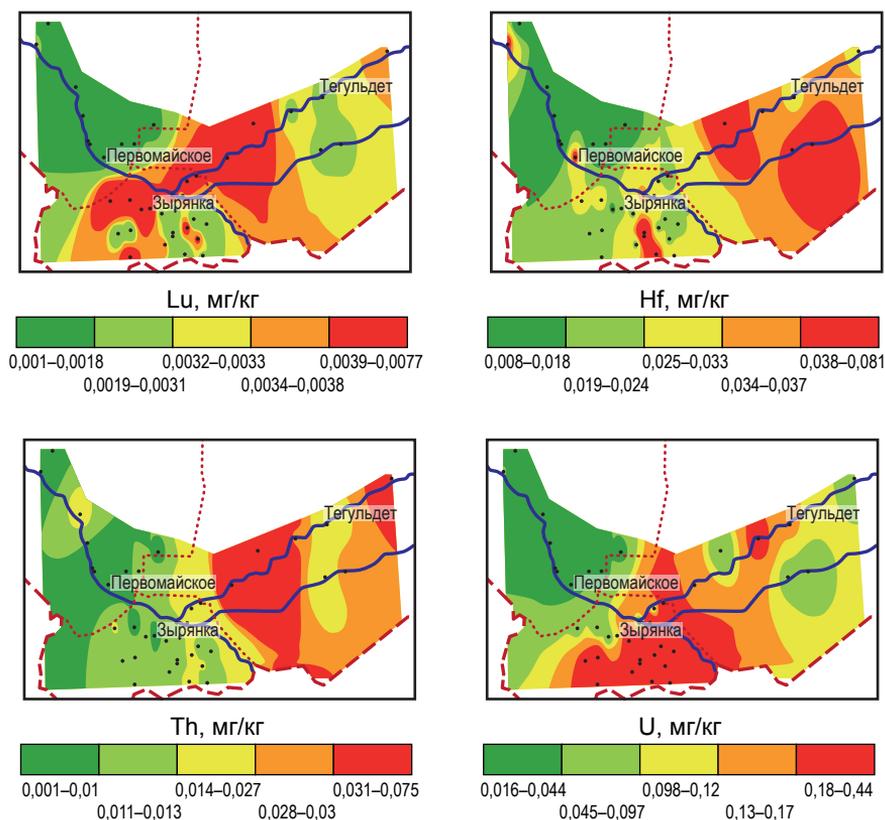


Рис. 10.4.7. Схематические карты распределения некоторых элементов на территории Тегульдского, Первомайского и Зырянского районов по данным элементного состава волос детей (мг/кг)



Продолжение рис. 10.4.7.



Окончание рис. 10.4.7.

превышают или равны среднеобластным значениям. Общим для всех рядов является присутствие самария с аномально высоким коэффициентом концентрации в н.п. Парбиг, который, помимо этого, выделяется еще и по содержанию цезия.

Обращает на себя внимание факт значительного накопления урана в составе волос детей в некоторых населенных пунктах (Бородинск, Подольск, Кедровка, Плотниково), хотя в целом район не характеризуется превышением уровня накопления относительно среднего по области. Наибольшие его количества отмечены у детей, проживающих по периферии зоны распространения Бакчарского железорудного узла (рис. 10.4.2).

Таким образом, по данным элементного состава волос детей, проживающих в Бакчарском районе, наблюдается картина некоторого соответствия накопления определенных элементов распространению геологических структур на указанной территории.

Природные аномалии, по всей видимости, идентифицируются по неоднородному характеру распределения элементов в рамках локальных территорий с повышением их концентрации в волосах детей. От техногенных они отличаются меньшими показателями коэффициентов концентрации, средних уровней накопления и наличием специфичных ассоциаций химических элементов, как

правило, характерных для геологических, геохимических аномалий. Так, анализ распределения элементов на территории Тегульдетского, Первомайского и Зырянского районов показал, что на их границе наблюдается совпадение ореолов повышенного накопления золота, серебра и сурьмы (рис. 10.4.6). Это является косвенным признаком наличия на данной территории потенциального оруденения.

Подобная картина пространственного распределения Au, Ag и Sb показана по данным изучения солевых отложений питьевых вод (Монголина, 2011). Накопление золота и сурьмы также отражается в геохимической специализации углей Западно-Сибирского бассейна согласно данным С.И. Арбузова (2007). В качестве возможной причины проявления золотометалльной ассоциации в природных средах на данной территории может являться влияние Кузнецкого Алатау, который продолжает свою структуру под чехол Западно-Сибирской плиты (Чулымо-Енисейской впадины).

Кроме того, на востоке этих районов наблюдаются возможные проявления геохимических ассоциаций, характерных для песков Туганского типа (рис. 10.4.7).

Для ряда элементов, таких как Sc, Co, Cr, Fe, Hf в составе волос отмечается общая тенденция распределения концентраций, причиной которой, вероятнее всего, является проявление буроугольных месторождений. Эта ассоциация элементов наблюдается в Томском районе в поселках, расположенных в долине р. Томи (Барановская, 20032; Барановская, 2011).

Кальций и натрий имеют картину взаимобратного либо смешанного распределения, что возможно, связано с их содержанием в водах, употребляемых в качестве питьевых.

Распределение редкоземельных и радиоактивных элементов на этой территории носит неоднородный характер, что затрудняет интерпретацию полученных данных. Предположительно, в элементном составе волос детей на данной территории находят отражение металлогенические особенности прилегающих регионов (Кемеровская область, Красноярский край), богатых различного рода месторождениями, в том числе редких, редкоземельных, радиоактивных (Рихванов, 1999; Арбузов и др., 2000). Для получения более точной информации необходимо дополнительно изучать геологические структуры, характерные для этой территории и проводить дополнительные лито-гидро-геохимические исследования.

В целом можно сказать, что элементный состав волос является индикатором природных геохимических аномалий, что необходимо учитывать для выявления и профилактики микроэлементозов человека, вызываемых избытком или недостатком элементов в окружающей среде.

## Очерк одиннадцатый

# ТЕХНОГЕНЕЗ И ЕГО ОТРАЖЕНИЕ В ЭЛЕМЕНТНОМ СОСТАВЕ КРОВИ И ВОЛОС ЧЕЛОВЕКА

---

Техногенез, в понимании А.Е. Ферсмана (1938), проявляется в изменении геохимического состава природных сред в районе деятельности промышленных предприятий по сравнению с таковым вне зон их влияния. Волосы и кровь человека являются тем самым биоматериалом, элементный состав которых зависит от степени проявленности техногенеза.

### 11.1. Отражение техногенеза в элементном составе крови населения

Изучение характера воздействия предприятий, выражающееся в накоплении определенного спектра химических элементов в составе крови населения, позволило выделить специфику этого воздействия.

Так, для территории г. Томска, характеризующегося наличием предприятий металлообрабатывающей промышленности и топливно-энергетического комплекса (крупная ГРЭС-2 в центре города) наблюдается концентрирование Na, Sc, Cr, Co, Zn, Br, Au и в меньшей степени Yb, Ag. (рис. 11.1.1).

Следует отметить, что такие элементы, как скандий, хром, иттербий, серебро и бром накапливаются выше фоновых значений на территории города в составе других тканей человека: в волосах, в молоке кормящих матерей и моче их новорожденных детей. Это свидетельствует о значительном влиянии техногенных источников их поступления на организм человека. Именно за техногенное поступление этих компонентов в организм людей и преимущественно с вдыхаемым воздухом говорит тот факт, что высокие показатели содержания железа и кальция в питьевой воде не находят своего отражения в составе крови. То же относится к продуктам питания, которые практически идентичны на территориях городов Северска и Томска, однако состав крови жителей кардинально отличается.

Изучение влияния фактора техногенного воздействия предприятий нефтегазодобывающей и перерабатывающей промышленности на состав крови человека был изучен нами на северных территориях Томской области. В крови жителей г. Стрежевого по сравнению с фоном (н.п. Лоскутово Томской области) значительно концентрируются натрий, кальций, скандий, цинк, хром, бром, сурьма, самарий и иттербий (рис. 11.1.2).

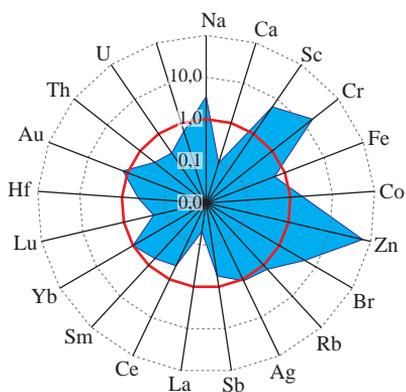
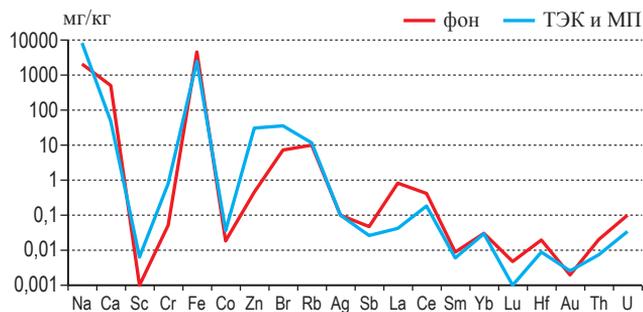


Рис. 11.1.1. Характер накопления элементов в крови населения г. Томска: верхний график – сравнение с фоновым участком (п. Лоскутово, Томской области), нижний – коэффициент концентрации, полученный при нормировании содержания к фоновым значениям

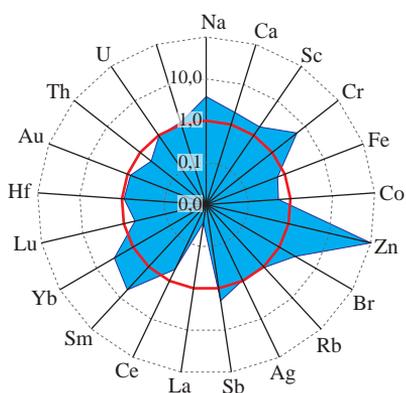
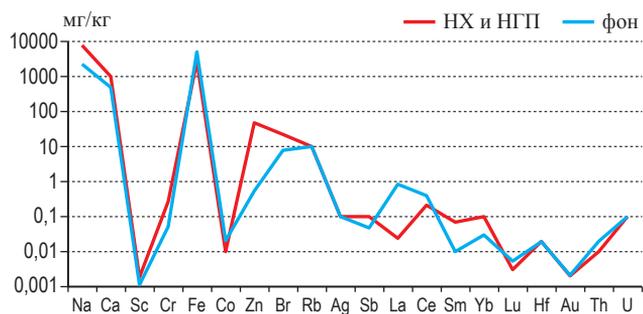


Рис. 11.1.2. Характер накопления элементов в крови населения г. Стрежевой: верхний график – сравнение с фоновым участком (п. Лоскутово, Томской области), нижний – коэффициент концентрации, полученный при нормировании содержания к фоновым значениям

Для выявления характера изменений, происходящих в крови человека на территориях с объектами ядерного техногенеза нами проведен ряд исследований с параллельным изучением накопления химических элементов, форм нахождения в составе крови, а так же цитогенетические исследования.

Так, рис. 11.1.3 демонстрирует характер накопления элементов в составе крови населения г. Северска – закрытого города, градообразующим предприятием которого является Сибирский химический комбинат – предприятие ядерно-топливного цикла. Коэффициенты концентрации, полученные при нормировании содержания элементов в крови к их фоновым показателям, хорошо отражают спектр накопления. Более чем в 10 раз превышают фон цинк, хром, железо, бром и стронций. Значениями выше 1 характеризуются Na, La, Ce, U, Se, Hf.

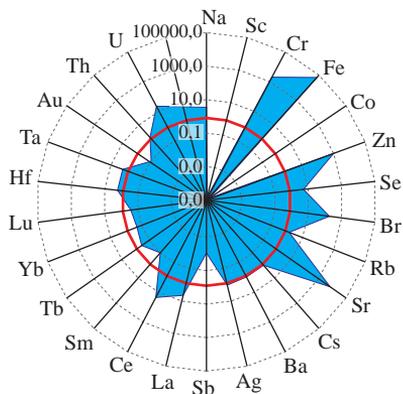
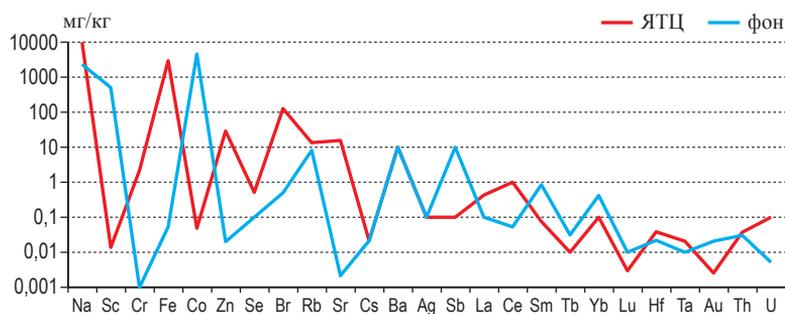


Рис. 11.1.3. Характер накопления элементов в крови населения в зоне влияния Сибирского химического комбината (г. Северск, Томская область): верхний график – сравнение с условно фоновым участком (п. Лоскутово Томской области), нижний – коэффициент концентрации, полученный при нормировании содержания к фоновым значениям

Анализ содержания элементов в крови населения, проживающего в непосредственной близости к предприятиям ядерно-топливного цикла на территории Томской и Челябинской областей (ПО «Маяк») показал, что имеет место картина аналогичного превышения над условным фоном содержаний определенного спектра элементов. В результате обследования жителей н.п. Муслимово Челябинской области было установлено, что с коэффициентом более 10 в крови населения, проживающего в зоне влияния ПО «Маяк» накапливаются хром, железо, цинк, бром и стронций (рис. 11.1.4). К спектру элементов с коэффициентом выше 1 относятся натрий, церий, уран, гафний и селен. Коэффициент концентрации

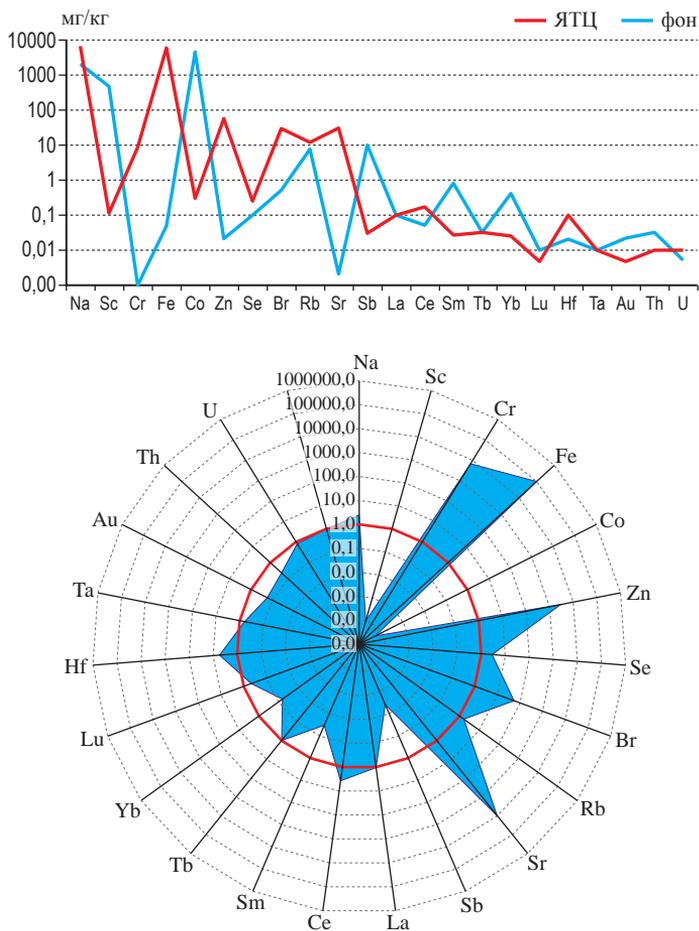


Рис. 11.1.4. Характер накопления элементов в крови населения в зоне влияния ПО «Маяк» (н.п. Муслюмово, Челябинская область): верхний график – сравнение с фоновым участком (п.Лоскутово Томской области), нижний – коэффициент концентрации, полученный при нормировании содержания к фоновым значениям.

лантана равен 1.

Необходимо отметить, что кроме максимальных концентраций, имеет место и значимый минимум для скандия и кобальта в крови жителей как в Челябинской, так и в Томской областях.

Проведенные исследования показали, что имеет место выраженная специфика влияния предприятий ядерно-топливного цикла на элементный состав крови населения, проживающего в их непосредственной зоне воздействия. Это особенно ярко видно при сравнении с изменением содержания элементов в составе биологических тканей населения, проживающего на условно-фоновой территории (рис. 11.1.5).

Сравнение полученных среднеобластных значений с элементным составом крови жителей г. Северска доказывает сделанные ранее выводы о влиянии про-

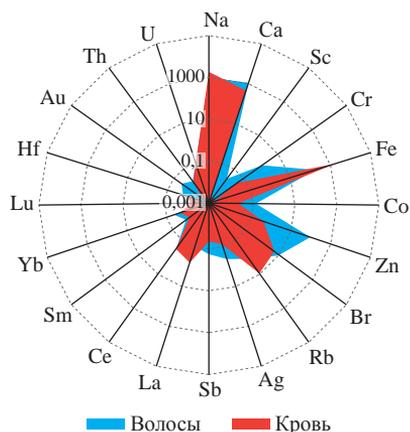


Рис. 11.1.5. Изменение содержания элементов в тканях человека на условно фоновой территории

изводств Сибирского химического комбината на формирование ее состава. Следует отметить, что для города Северска характерно более значительное накопление специфических химических элементов по сравнению с жителями областного центра (рис. 11.1.6). Так, выявлено значительное количество брома во всех пробах крови жителей города. Значительное превышение по сравнению со среднеобластными показателями отмечается для тория и редкоземельных элементов.

Содержание урана в крови жителей этого города нам удалось зафиксировать в количестве менее 0,1 мг/кг. Для более детального изучения содержания и форм нахождения этого радиоактивного элемента в крови жителей этой и других территорий мы применили иной вид анализа. Весьма перспективным для исследования живого вещества, в том числе крови человека, является один из ядерно-физических методов исследования урана – метод осколочной (*f*) радиографии, который позволяет установить не только количество изотопа  $^{235}\text{U}$ , а следовательно и урана вообще, но и изучать особенности пространственного распределения делящихся элементов (Np, Am, Pu и других трансурановых элементов), форм их нахождения и условий локализации (рассеянное, концентрированное, образование собственных микро- и нанокомпонентов). Физические основы этого, широко используемого на кафедре геоэкологии и геохимии Томского политехнического университета метода, освещены в работах П.Б. Прайса, Г.И. Флерова и И.Г. Берзиной и других (Флеров, Берзина, 1979; Железнова и др., 1968; Берзина, 1991; Малышев и др., 1993; Дрожко и др., 1996; Бахур и др., 2006; Лазарева и др., 2009; Жмодик и др., 2009; Сарнаев, Рихванов, 1991; Рихванов и др., 2009; и др.).

Этот метод получил чрезвычайно широкое распространение

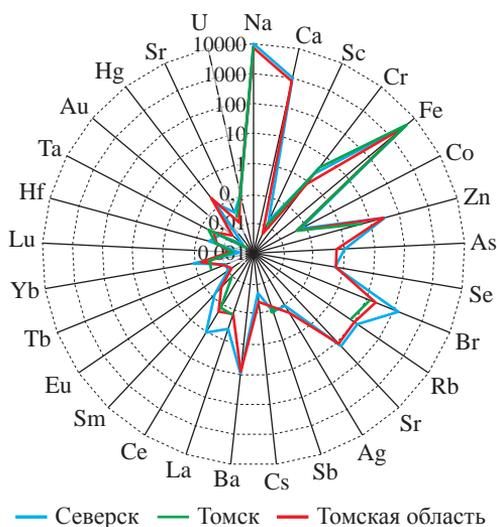


Рис. 11.1.6. Содержание элементов (мг/кг) в крови жителей городских территорий Томской области в сравнении со среднеобластными показателями

при изучении различных природных образований (Шуколюков, 1970; Миронов, 1991), а его техническая реализация доведена до степени методических указаний и инструкций («Радиогеохимические исследования», 1974, и др.).

В медико-биологических исследованиях этот метод также, хотя и в меньшем масштабе, нашел свое применение, особенно при изучении последствий инкорпорирования делящихся радионуклидов в органы и ткани млекопитающих, включая организм человека (Эрлексова, 1960; Чучалин, 1998; и др.). Так, И.Г. Берзина и др. (1993) показала (рис. 11.1.7–11.1.9) распределение треков делящихся эле-

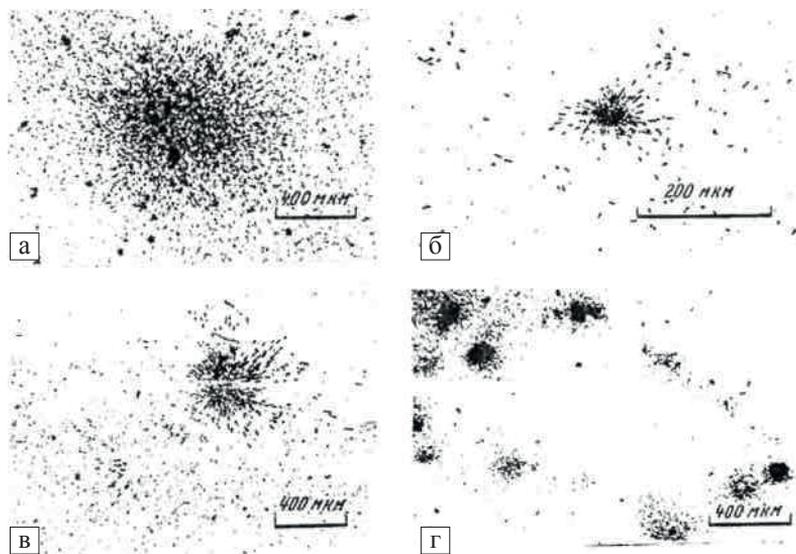


Рис. 11.1.7. Характерный вид отображения на детекторе радиоактивной пыли, содержащей делящиеся элементы: а – лист травянистой растительности из поймы р. Теча, б – лист картофеля с огорода, в – лист березы из поймы р. Теча, г – стебель травянистой растительности из поймы р. Теча (Берзина и др., 1993)

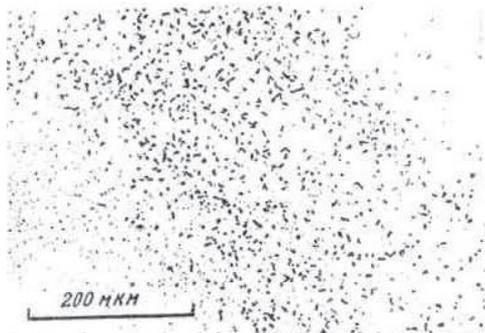


Рис. 11.1.8. Характерный вид отображения на детекторе радиоактивной пыли делящиеся элементы, проникающих в листья и корни растений. Корень травянистого растения из поймы р. Теча (Берзина и др., 1993)



Рис. 11.1.9. Распределение  $\beta$ -,  $\gamma$ -излучателей в теле комара (Берзина и др., 1993)

ментов в различных биологических компонентах территории влияния предприятия ядерно-топливного цикла ПО «Маяк» в Челябинской области.

Можно констатировать, что картина неравномерного распределения треков, наличие скоплений делящихся элементов характерна для разных биологических объектов данной территории.

Нами, с использованием лавсанового и слюдяного детекторов, исследовалась кровь жителей разных районов Томской и Челябинской областей, характеризующихся различной степенью техногенной трансформации природной среды, мазки которой наносились непосредственно на детектор.

Результаты, полученные после изучения лавсановой пленки с кровью жителей п. Худайбердинск Челябинской области, показали, что имеет место неравномерное распределение треков в образце. Поселок Худайбердинск расположен в непосредственной близости от комбината, известного как «Челябинск-40 (65)» или ПО «Маяк». В 1957 году на этом объекте произошла тяжелейшая радиационная авария, известная как Кыштымская (взрыв ядерных отходов в одном из хранилищ). При этом загрязнение распространилось на значительную часть Челябинской области и на прилегающие районы Свердловской, Тюменской и Курганской с образованием Восточно-Уральского радиационного следа (ВУРСа), площадью 23 тыс. км.<sup>2</sup>. О радиационной обстановке в этой части Урала известно довольно много, в том числе из экспертных материалов, данных комиссий по оценке экологической ситуации, конференций, посвященных этому вопросу (Булатов, 1993, 1996; «Урал атомный...», 2000; Кохран и др., 1995; и др.).

Сложная экологическая ситуация региона отразилась на специфике накопления химических элементов живыми организмами, что показано в работах по этой территории (Перемыслова и др., 2001; Позолотина и др., 2008; и др.).

Результаты подсчетов треков и пересчета содержания урана в изучаемых нами образцах крови жителей п. Худайбердинск Челябинской области показали, что имеет место неравномерное распределение элемента в составе крови, были обнаружены скопления, величины содержания урана в которых были очень высокими и достигали значений 2,8–6,6 мг/кг. В образце №1 в скоплениях содержание урана колеблется от 1,53 до 2,8 мг/кг, в скоплениях образца №2 содержание урана – от 2,7 до 6,6 мг/кг.

Можно предполагать, что наличие столь высоких содержаний радиоактивных элементов в крови человека могут привести к непоправимым изменениям в физиологических показателях крови, к нарушениям в генетическом аппарате клеток крови и другим отклонениям. Углубленные цитогенетические исследования жителей сел, расположенных в этом районе, показали, что у некоторых из них обнаружены мутационные нарушения и изменения хромосом. По данным исследования Н.Н. Ильинских и др. (1998, 2001) имеет место четкая связь между высокими показателями эффективных эквивалентных доз облучения у местных жителей и уровнем эритроцитов с микродрями.

В связи с описанной неблагоприятной экологической ситуацией, сложившейся на территории Челябинской области в результате деятельности ПО «Маяк»,

возникает необходимость более тщательного изучения состояния здоровья людей, проживающих на данной территории. Проба крови, результаты исследования которой приведены выше, взята у жительницы пос. Худайбердинск (по отношению к ПО «Маяк» находится с подветренной стороны), которая работает продавцом и не имеет непосредственного отношения к предприятию (не является работником). Результаты исследования показали, что обстановка, сложившаяся вокруг комбината, влияет на накопление делящихся элементов в крови человека. Концентрации урана, обнаруженные в скоплениях достигают огромных значений.

Для детализации полученных результатов и подтверждения предположения, что подобная картина концентрирования микровключений делящихся элементов характерна для территорий функционирования предприятий ядерно-топливного цикла, нами проведены исследования на территории Томской области. Пробы крови для проведения исследований были взяты у детей школьного возраста, проживающих в г. Северске и в разных районах Томской области для контроля.

Изучение характера распределения треков на слюдяных детекторах с образцами крови жителей Томской области показал, что так называемые «звезды» треков, характеризующих наличие микровключения делящихся элементов ( $^{235}\text{U}$ , Pu, Am и др.), наблюдаются только в зоне влияния предприятия ядерно-топливного цикла и не характерны для крови жителей других районов области (рис. 11.1.10).

Микровключение делящегося радионуклида ( $^{235}\text{U}$ , Pu, Am и др.) наблюдается в крови жителя г. Северска. На общем фоне специфических равномерно распределенных треков (следов в слюде от осколков деления делящихся элементов) ярко выражена многолучевая звезда. Источник ее формирования – наноминерал («горячая» частица) с высокой концентрацией радионуклида, делящегося под воздействием тепловых нейтронов. Ранее наличие «горячих» частиц в зоне влияния СХК, фиксирующихся в виде «звезд» при радиографических исследованиях, было отмечено И.Г. Берзиной и др. (1993) на чешуе рыбы из протоки Черныльщиково, а также в почвах (Архангельский, Рихванов, 2002). В таких почвах под электронным микроскопом Е.Г. Язиковым и другими было выявлено присутствие оксида урана ( $\text{UO}_2$ ) (Язиков и др., 2010).

Таким образом, можно констатировать, что это является возможным индикатором наличия влияния предприятий ядерно-топливного цикла, что отражается на характере накопления и распределения радиоактивных элементов в составе крови жителей, проживающих на прилегающих территориях.

Этот факт не может не сказаться на состоянии клеток крови и может являться фактором их мутагенеза.

Существует много методов определения мутагенного воздействия, к ним относятся и цитогенетические (Дубинин, 2000; Раппопорт, 1963; и др.). Так, в настоящее время в качестве быстрого и удобного теста для оценки мутагенного действия радиационного загрязнения среды используют микроядерный тест. Основан он на том, что при воздействии радиации в клетке формируются микроядра из фрагментов хромосом или целых хромосом, утративших связь с центромерой

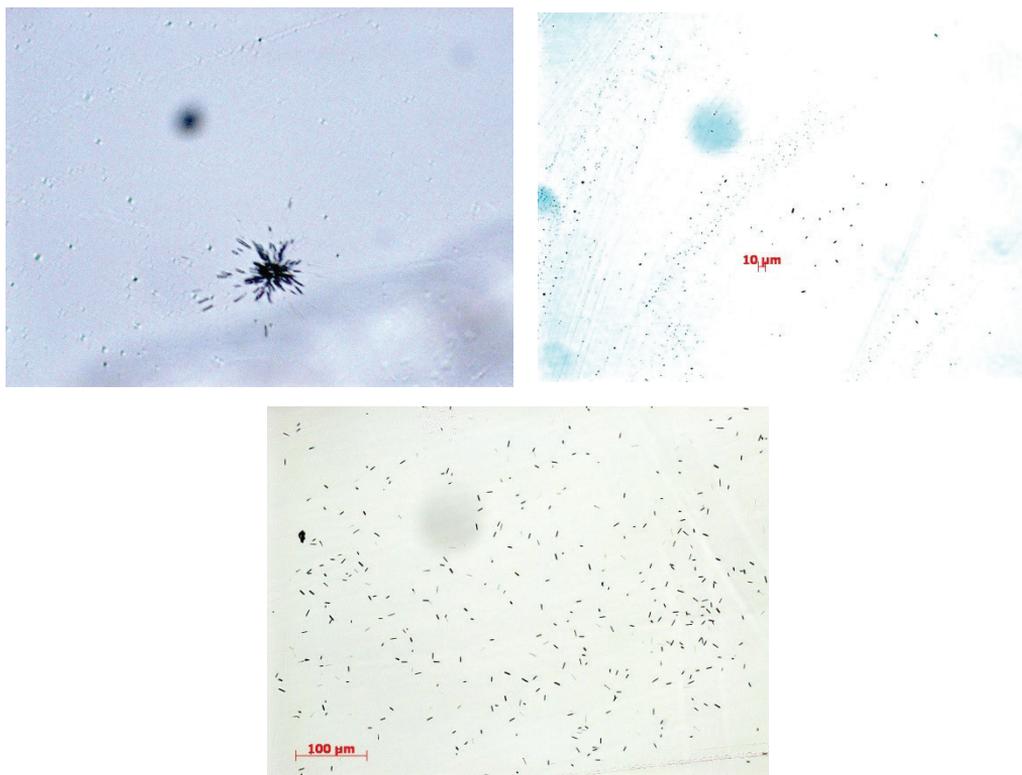


Рис. 11.1.10. Распределение треков на слюдяном детекторе от делящихся элементов в крови жителей г. Северска (верхний слева), г. Стрежевого (верхний справа) в сравнении с распределением треков от урана-235 в контрольном образце (нижний). Увеличение указано линейкой на рисунках

и не включившихся во время митоза в ядра дочерних клеток. Длительное воздействие радиации, особенно в малых дозах, лучше оценивать на относительно долгоживущих клетках крови, таких, как эритроциты периферической крови. Известно, что в норме количество микроядр (МЯ) в нормохромных эритроцитах (НХЭ) у животных с участков, не подверженных антропогенному воздействию, колеблется от 0 до 0,1% (Биотест, 1993).

Микроядерный тест в силу своей простоты и возможности быстрого анализа стал также методом скрининга химических соединений на цитогенетическую активность *in vivo* (Бигалиев, 1989 и др.).

Проблема исследования генетических последствий воздействия химических соединений приобрела особую остроту из-за постоянного введения в окружающую среду все большего количества химических веществ. Значительная их часть обладает известным мутагенным и канцерогенным действием. Опасность особенно возрастает в силу того обстоятельства, что действию мутагенных химических соединений подвергаются не отдельные организмы, а большие группы и целые популяции. При таком массовом характере воздействия мутагенных факторов резко возрастает вероятность рождения детей с разнообразными наслед-

ственными заболеваниями, развития у людей злокачественных новообразований (Бигалиев, 1989 и др.).

При исследовании территории Северного промышленного узла г. Томска рядом авторов были выявлены патологии развития, вследствие мутагенного воздействия факторов окружающей среды, у растений, животных и человека (Москвитина, 1999, Ильинских, 2003, др.).

Так, анализ состояния генеративной системы горошка мышиноного сотрудниками ТГУ показал, что в связи с высокой антропогенной нагрузкой на данной территории в растениях возникли генетические повреждения, выражающиеся в первую очередь в увеличении числа растений с полной и высокой степенью стерильности (см. «Экология...», 1994).

Н.С. Москвитиной (1999) установлено изменение в цитогенетической картине крови мелких млекопитающих, обитающих на территории СПУ.

Н.Н. Ильинских (1997, 1998, 2001) выявлено увеличение количества микроядерных эритроцитов в крови язей и щук реки Томи по мере приближения к устью реки Ромашки, куда попадают сточные воды предприятий СХК. Тенденция уменьшения этих клеток им выявлена в крови сизых голубей в северо-восточном направлении, по основной розе ветров относительно предприятий СХК, по мере удаления от него.

Для установления взаимосвязи между уровнями накопления микроэлементов в крови и цитогенетическими показателями (количество микроядерных эритроцитов) нами был выполнен корреляционный и кластерный анализ. Были получены значимые величины корреляции данного цитогенетического показателя с содержанием Sr, Sc, Co в Челябинской области (по 27 пробам, в которых определялись цитогенетические изменения). Графики (рис. 11.1.11) показывают аналогию изменения содержания элементов с изменением количества микроядерных эритроцитов в крови жителей этого региона.

Высокое значение корреляционной связи зафиксировано со стронцием. Это еще раз подтверждает установленную ранее взаимосвязь между содержанием в крови человека стронция и количеством микроядерных эритроцитов (Ильинских, 1998). По данным ряда источников, для района Челябинска характерно избыточное поступление  $^{90}\text{Sr}$  в различные среды, что связано с работой предприятия «Маяк» (Degteva, 1994; Перемыслова и др., 2001; и др.).

Для Томской области значимое положительное значение коэффициента корреляции установлено с кобальтом и отрицательное с селеном.

Кривые изменения содержания микроядерных эритроцитов и кобальта в крови жителей юга Томской области показаны на рис. 11.1.12.

Избыточное поступление изотопа  $^{60}\text{Co}$  в районе СХК (г. Томск) установлено по данным исследования пылеаэрозольных выпадений (Меркулов и др., 1996; Рихванов, 1997). Избыточные количества кобальта установлены нами в волосах детей, проживающих в этой зоне, а также в крови населения некоторых находящихся в ней населенных пунктов.

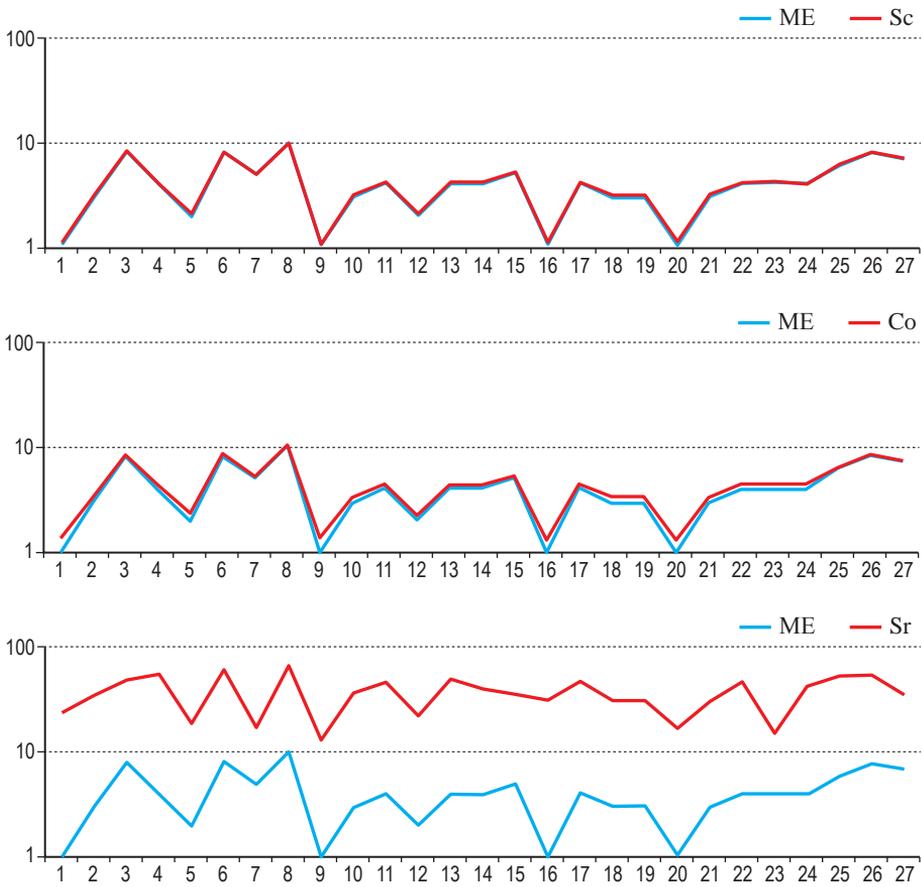


Рис. 11.1.11. Логарифмированные кривые изменения количества микроядерных эритроцитов (МЕ) и содержания элементов Sc, Co, Sr (мг/кг) в крови жителей Челябинской области. По оси абсцисс – номера проб

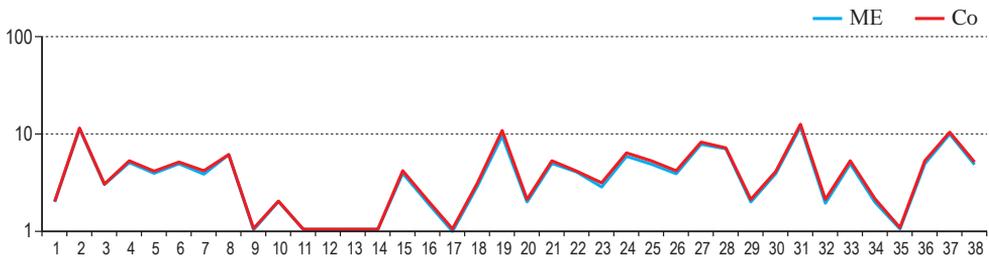


Рис. 11.1.12. Логарифмированные кривые изменения количества микроядерных эритроцитов (МЕ) и содержания Co, (мг/кг) в крови жителей юга Томской области. По оси абсцисс – номера проб

Дендрограмма Томской области, построенная по ограниченному числу проб (включались только те, в которых одновременно проводился цитогенетический анализ), показывает наличие взаимосвязи между комплексом элементов, включающих Sb, Zn, Co, Fe и количеством находящихся в крови микроядерных эритроцитов (рис. 11.1.13).

Таким образом, по результатам исследований, можно отметить наличие одного общего для исследованных регионов элемента, оказывающего влияние на количество генетически измененных эритроцитов. Таковым является кобальт.

Выявленная взаимосвязь между уровнем накопления некоторых химических элементов и количеством микроядерных эритроцитов позволяет предполагать наличие негативных последствий техногенного воздействия.

Как показывает опыт эколого-геохимических исследований, хорошими индикаторами состояния территории являются отношения элементов. Их изменение, как это уже было показано на примере живого вещества, ярко демонстрируют зоны влияния техногенных источников. В табл. 11.1.1 представлены некоторые значения отношений элементов в разных биологических объектах. Кровь человека и ее элементный состав также является индикатором изменения эколого-геохимического состояния территории.

Наши исследования, проводимые в районе размещения комплекса предприятий ядерно-топливного цикла, расположенного в непосредственной близости от г. Томска (Рихванов, 1997) свидетельствуют о формировании природно-техногенной геохимической субпровинции площадью в несколько тысяч км<sup>2</sup> (Рихванов, 1999, 2003), признаки которой проявляются во всех объектах окружающей среды, в том числе и в ЖВ (Рихванов, 1997, 2006, 2007, 2008; Барановская, Рихванов, 2002, 2004; Baranovskaja, Rikhvanov, 2002; Rikhvanov a.e., 2006; Baranovskaya, 2010). Анализ схем пространственного распределения элементов на территории Томской области, а также схем распределения отношений элементов, входящих в состав крови населения, позволяют выделить районы, наиболее подверженные трансформации под воздействием антропогенных факторов. Так, схема на рис. 11.1.14 демонстрирует, что показатели торий-уранового отношения выше 1 распространены не только на территории непосредственного влияния предприятий Северного промышленного узла г. Томска и прилегающей территории, но и на севере области.

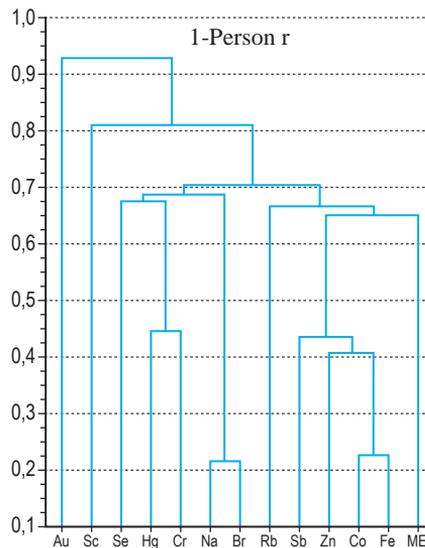


Рис. 11.1.13. Дендрограмма кластерного анализа элементного состава крови жителей юга Томской области (43 пробы) ( $1\text{-Pearson } r = 0,7$ ). Примечание: ME – микроядерные эритроциты

Таблица 11.1.1

## Индикаторные показатели отношений элементов в ЖВ

Отношения элементов	Зоны техногенного влияния	Волосы детей	Кровь человека*	Патологически измененная щитовидная железа человека*	Скорлупа яиц птиц ( <i>Turdus pilaris</i> )	Организм амфибий ( <i>Rana arvalis</i> )*
Na/Br	ближняя	29	244	3,5	1810	108
	дальняя	189	711	29	–	–
Br/U	ближняя	22	1060	138	8,6	182
	дальняя	72	70	165	–	–
Th/U	ближняя	2,5	1	0,002	0,25	0,1
	дальняя	0,2	0,07	0,04	–	–
La/Yb	ближняя	30	0,2	1	4	0,7
	дальняя	32	4,4	6,3	–	–
(La+Ce)/(Yb+Lu)	ближняя	22	0,5	2,5	7,8	0,8
	дальняя	30	8,4	6,9	–	–
La/Ce	ближняя	0,9	0,7	0,5	0,8	2,4
	дальняя	4	4	2,5	–	–

\* – сухое вещество.

В отличие от волос, в крови отношение брома к урану имеет обратную картину – высокие показатели этого отношения соответствуют зонам техногенеза. Вероятно, это связано с тем, что именно бром является элементом унаследованным кровью от морской воды, а следовательно с депонирующей средой (в данном случае волосы) будет наблюдаться обратная картина, как это происходит с морской водой и почвой. Необходимо отметить, что подобная закономерность зафиксирована нами для организма домашней свиньи. Схема распределения бром-уранового отношения, построенного по данным о содержании этих элементов в составе крови жителей, практически совпадает с картиной распределения торий-уранового отношения (рис. 11.1.14).

Иначе выглядит схема распределения лантан-иттербиевого отношения (11.1.15). Более высокие значения этого отношения определяются значительными поступлениями лантана на фоне низкого содержания иттербия. Источниками этого элемента могут быть как природные, так и техногенные структуры. В частности, высокие показатели лантана в крови и волосах соответствуют накоплению кобальта. Значительные концентрации этого элемента отмечены нами в организме животных территории воздействия СПУ. Высокое накопление лантана отмечается и в ряде других изученных природных сред этой территории (Рихванов и др., 2006).

Рассматриваемое нами ранее отношение урана к кальцию изменяется мало в крови жителей, проживающих в большинстве населенных пунктов Томской об-

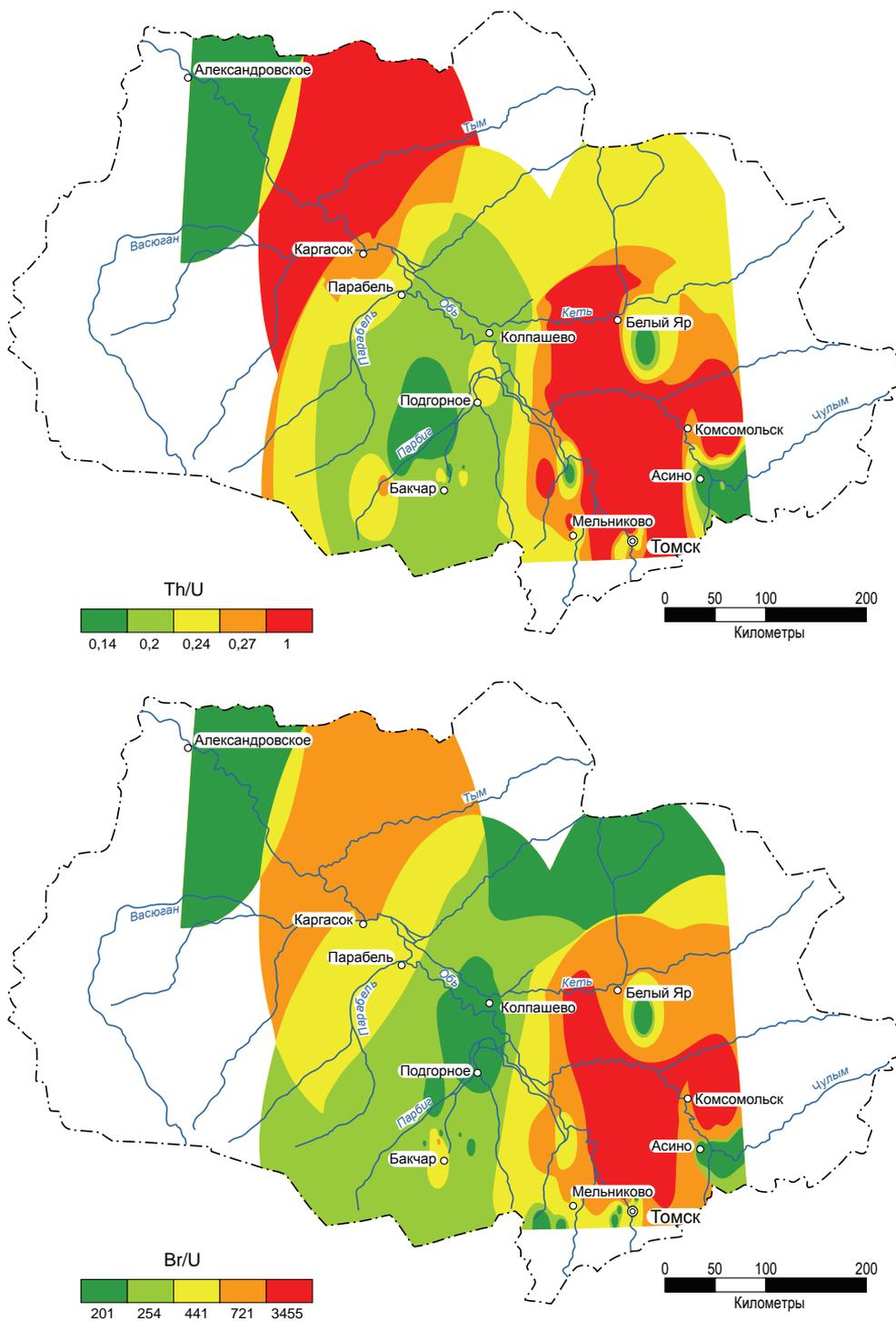


Рис. 11.1.14. Схема распределения торий-уранового (сверху) и бром-уранового (нижний) отношения на территории Томской области по данным изучения элементного состава крови населения

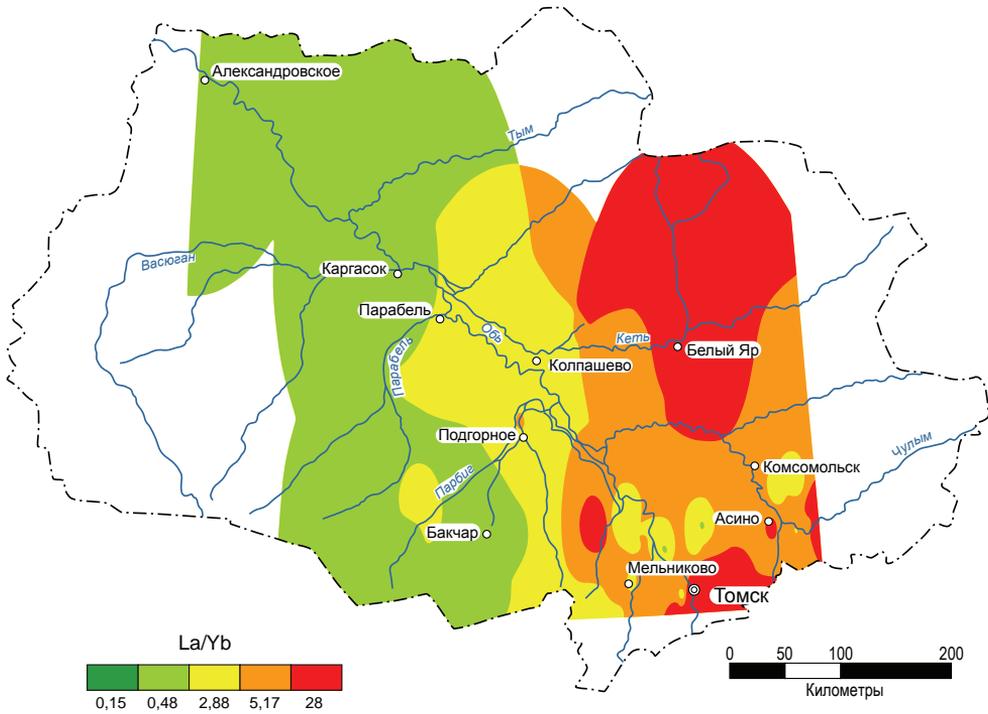


Рис. 11.1.15. Схема распределения лантан-иттербиевого отношения на территории Томской области по данным изучения элементного состава крови населения

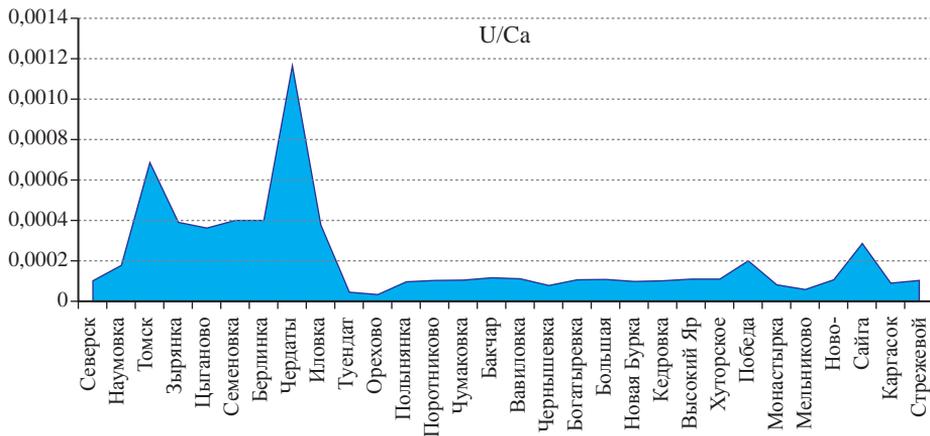


Рис. 11.1.16. Значение показателя отношения урана к кальцию в крови жителей разных населенных пунктов Томской области

ласти. Его более высокие показатели характерны для жителей г. Томска и п. Наумовка (зона влияния СПУ), а также для поселков Зырянского района (от с. Зырянское до п. Иловка включительно), а также характерно для детей из п. Сайга Верхнекетского района и с. Победа Шегарского (рис. 11.1.16). Показатели повышаются за счет привноса урана и снижения кальция.

Мы склонны считать, что этот показатель является весьма чувствительным индикатором изменения эколого-геохимической обстановки и может использоваться при изучении живых систем любого уровня организации для выявления территорий с наличием дополнительных источников поступления урана в организм.

Проведенные исследования по закономерностям формирования элементного состава крови человека показали, что в нем отражается эколого-геохимическая составляющая территории, проявляются геохимические аномалии природного и техногенного характера. Яркими индикаторами таких аномалий являются отношения элементов. Установлено, что в процессе ядерного техногенеза происходит формирование наноминералов в составе крови жителей, накапливаются элементы, которые являются потенциальными мутагенами, что приводит к увеличению количества микроядерных эритроцитов и может спровоцировать долговременные нарушения в этой ткани.

Таким образом, элементный состав крови является отражением региональной эколого-геохимической специфики и служит индикатором состояния как территории проживания населения, так и специфики формирующихся патологических состояний, связанных с влиянием факторов внешней среды.

## **11.2. Элементы-индикаторы техногенеза в волосах детей**

Ученые, занимающиеся изучением геохимических характеристик различных компонентов биосферы, отмечают значительные масштабы ее изменения в условиях техногенеза (Ермаков, 2003; Янин, 2003; Алексеенко, 2000 и др.).

По мнению Ю.Г. Покатилова (1992), биогеохимическое изучение всех объектов и компонентов биосферы является весьма актуальной задачей современности. По нашему мнению, локальные техногенные преобразования территорий, происходящие под влиянием комплекса разнородных техногенных источников и вызывающие спонтанные неравномерные поступления элементов в живые организмы, только усиливают эту актуальность.

На территории Томской области имеются различия в степени техногенного воздействия, обусловленные неравномерностью размещения предприятий, разнородностью поставляемых в окружающую среду химических компонентов. Отдельное место занимает в структуре Томской области Томский район. На его территории в зоне Северного промышленного узла (СПУ) сосредоточена основная масса промышленных предприятий, среди которых предприятия агропромышленного и топливно-энергетического комплексов, крупнейший в стране нефтехимический комбинат (ТНХК), предприятие ядерно-топливного цикла – Сибирь

ский химический комбинат. (Эколого-геохимические..., 2006). Наибольшему техногенному влиянию подвержены населенные пункты, находящиеся в северо-восточном направлении от СПУ (зона преимущественного ветрового переноса веществ) (Экология..., 1994; Varanovskaya et. al., 2009; Барановская, 2005).

Спецификой элементного состава волос детей, проживающих в Томском районе, является накопление очень широкого спектра элементов значимо выше среднеобластных показателей.

Основная доля изученных элементов в составе волос детей имеет достаточно большой разброс значений от минимума к максимуму, что косвенно подтверждает факт неоднородности геохимической обстановки на территории района, обусловленной наличием источников воздействия (рис. 11.2.1).

При сравнении данных, полученных по Томскому району со среднеобластными данными, достоверные различия (тест Колмогорова-Смирнова,  $p < 0,05$ ) отмечаются для Na, Ca, Sc, Cr, Fe, Sc, Br, Sb, La, Hf, Au (рис. 11.2.2).

К локальным факторам, формирующим состав волос в районе, относится как воздействие Томск-Северской промышленной агломерации, так и наличие месторождений полезных ископаемых и их проявлений.

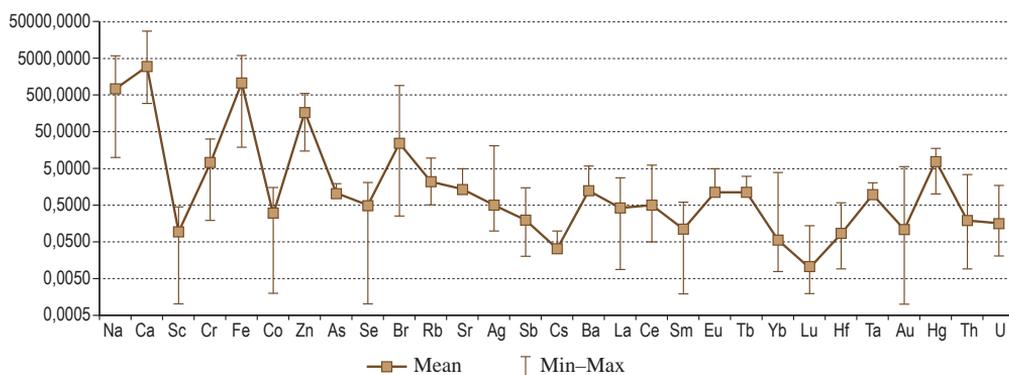


Рис. 11.2.1. Среднее содержание элементов в волосах детского населения Томского района (мг/кг сухого веса)

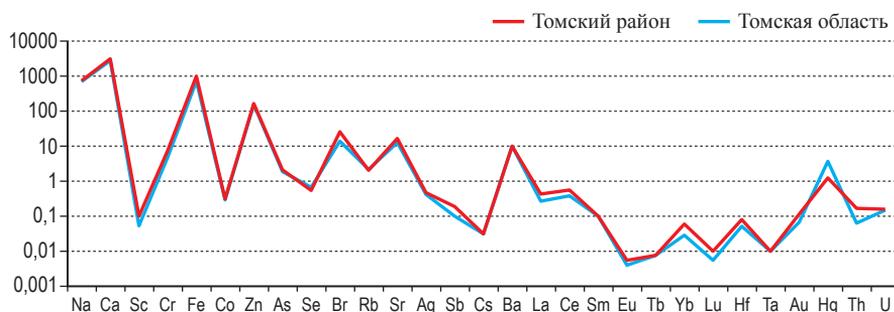


Рис. 11.2.2. Сравнительная диаграмма содержания элементов в волосах детского населения Томского района и Томской области (мг/кг сухого веса)

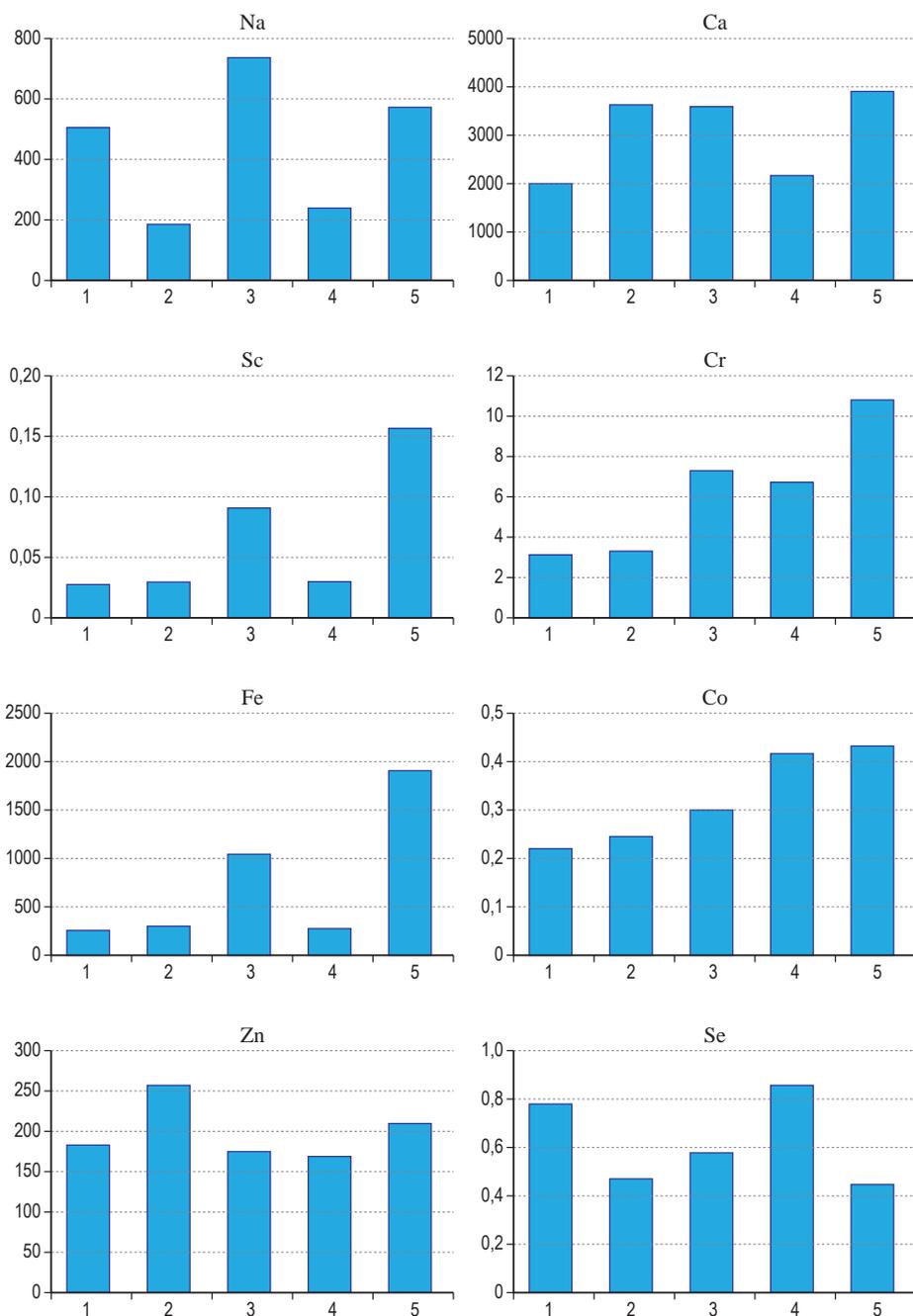
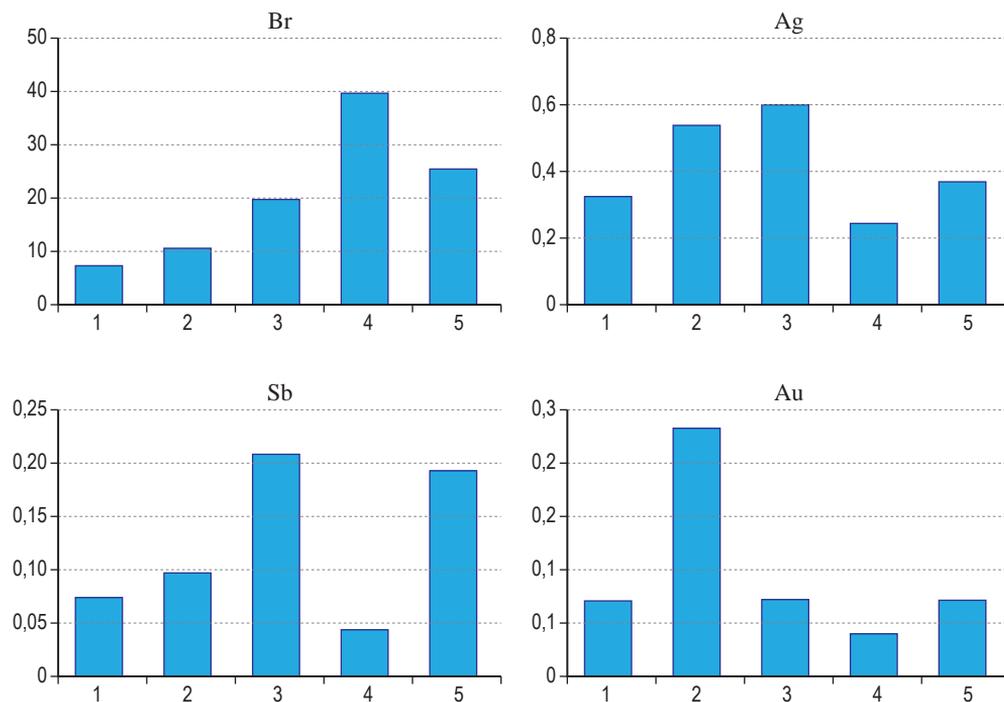


Рис. 11.2.3. Специфика распределения макро- и микроэлементов (мг/кг, сухой вес) на территории Томской области по данным микроэлементного состава волос детей. Здесь и на рис. 11.2.4 зоны области в зависимости от степени техногенной трансформации природных сред: 1 – территории с невысокой степенью техногенной трансформации природных сред; 2 – нефтегазодобывающие районы; 3 – Томский район; 4 – г. Северск; 5 – населенные пункты, находящиеся в северо-восточном направлении от СХК (зона преимущественного ветрового переноса веществ)



Окончание рис. 11.2.3.

Техногенному влиянию в наибольшей степени подвержены г. Северск и северо-восточный сектор района относительно г. Томска – это зона ветрового переноса веществ с территории Северного промышленного узла (предприятия СХК, ТНХК и ряд других) и от предприятий г. Томска, о чем свидетельствуют данные различных исследователей (Рихванов, 1997; Барановская, 2003; Язиков, 2006; Шатилов, 2001; Архангельский и др., 2001; Бояркина, 1993; Москвитина, 2002; Бабенко, 1998). Для данной территории характерна наибольшая концентрация большинства из изученных элементов в составе волос детского населения (рис. 11.2.3, 11.2.4).

Можно отметить специфику, проявленную в этом секторе, и выделить геохимические группы элементов: 1) Cr–Fe–Co–Sc – элементы, источником поступления которых, скорее всего, являются предприятия металлообработки г. Томска либо объекты теплоэнергетического комплекса (ТЭК); 2) Th–U – редкоземельные элементы – источником этой группы элементов могут служить как предприятия ЯТЦ, так и ТЭК. Высокие концентрации Sb характерны для выбросов ТНХК.

Удивительно поведение Br: максимальные его концентрации характерны для г. Северска (Baranovskaya et. al, 2009). Это является свидетельством того, что наряду с традиционными источниками поступления элемента – предприятиями нефтегазодобычи и переработки, могут иметь место иные – например, СХК (рис. 11.2.3).

Сравнение накопления химических элементов в волосах детей северо-вос-

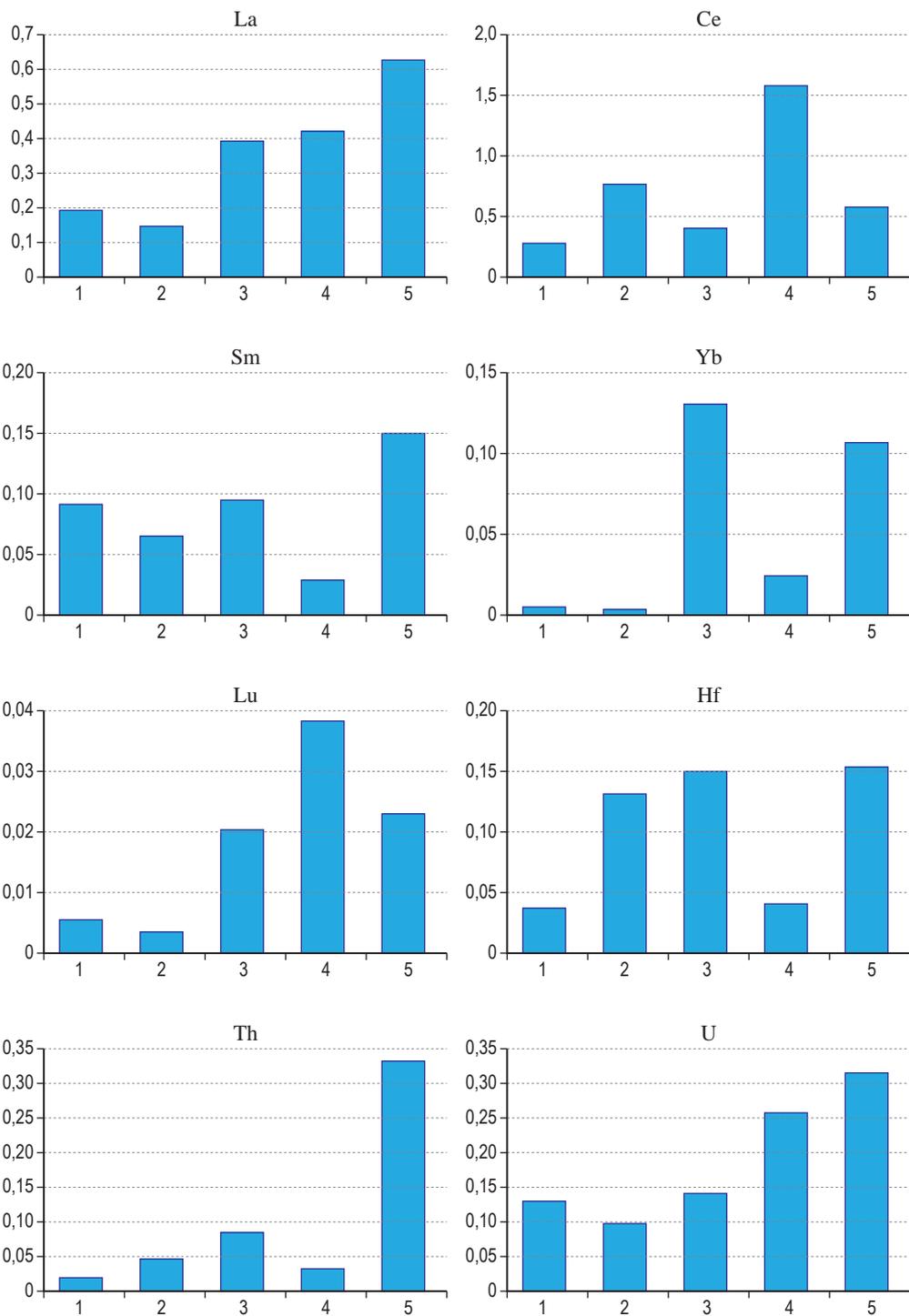


Рис. 11.2.4. Специфика распределения редкоземельных и радиоактивных элементов (мг/кг, сухой вес) на территории Томской области по данным микроэлементного состава волос детей

точного сектора влияния СПУ с территориями нефтегазодобычи и других видов деятельности позволяет также ярко видеть отмеченную выше специфику этой узколокальной территории. Так можно отметить, что значительные концентрации радиоактивных элементов (U, Th) встречаются именно в волосах детей, проживающих в населенных пунктах этой зоны (рис. 11.2.4). Кроме того, данная территория выделяется повышенным содержанием в волосах Fe, Sc, Co и редкоземельных элементов La, Sm.

Для ряда элементов в составе волос отмечается четкая тенденция увеличения концентрации от уровня ниже среднеобластного на территории с невысокой степенью техногенной трансформации природных сред к максимуму содержания в зоне преимущественного ветрового переноса веществ от Томск-Северской промышленной агломерации. Это такие элементы, как Co, La, U, с некоторой натяжкой – Cr, Sc. Таким образом, можно предположить преимущественно техногенные источники их поступления в окружающую среду и организм человека. На нефтегазоносных территориях в волосах детей высокий уровень Au.

Территория Томского района в целом характеризуется более высоким содержанием в волосах Na, Sb, Ag, Yb.

Сильное воздействие на природные среды в Томском районе оказывают предприятия топливно-энергетического комплекса, а также промышленные объекты г. Томска, что может приводить к повышенному относительно среднеобластных показателей содержанию в волосах Sc, Cr, Fe, Co, Hf. Именно с неоднородностью распределения связан факт присутствия в пробах на контрольных участках и более удаленных от промышленных предприятий территориях элементов в количествах, не превышающих пределы определения данным видом анализа. В то же время, импактные зоны дают в целом по району превышение над средним относительно области уровнем, составляющем минимально в 1,2 раза для Sm, а максимально – в 2,7 раз для Th. Природным источником, явившимся возможной причиной столь высоких концентраций тория и редкоземельных элементов на территории Томского района, могут быть расположенные здесь Туганское и Георгиевское месторождения циркон-ильменитовых россыпей, обогащенных к тому же радиоактивными элементами (Циркон-ильменитовые, 2001). Существование данной геохимической аномалии требует специального рассмотрения.

Проведенная сравнительная характеристика накопления химических элементов в волосах детей на близлежащих к СПУ территориях по секторам показала, что специфика северо-восточного сектора сохраняется. Это позволяет предполагать преимущественно аэрогенный путь поступления отдельных элементов. Так, он характерен, по всей видимости, для урана, тория, брома, цезия, гафния, а также лютеция и других редких земель (рис. 11.2.5).

Северск характеризуется максимальным накоплением Вг, Та и Се при сравнении с другими секторами. Южный сектор можно рассматривать как фоновый с низкими концентрациями большинства из изученных элементов (рис. 11.2.5).

Анализ специфики распределения радиоактивных элементов на территории

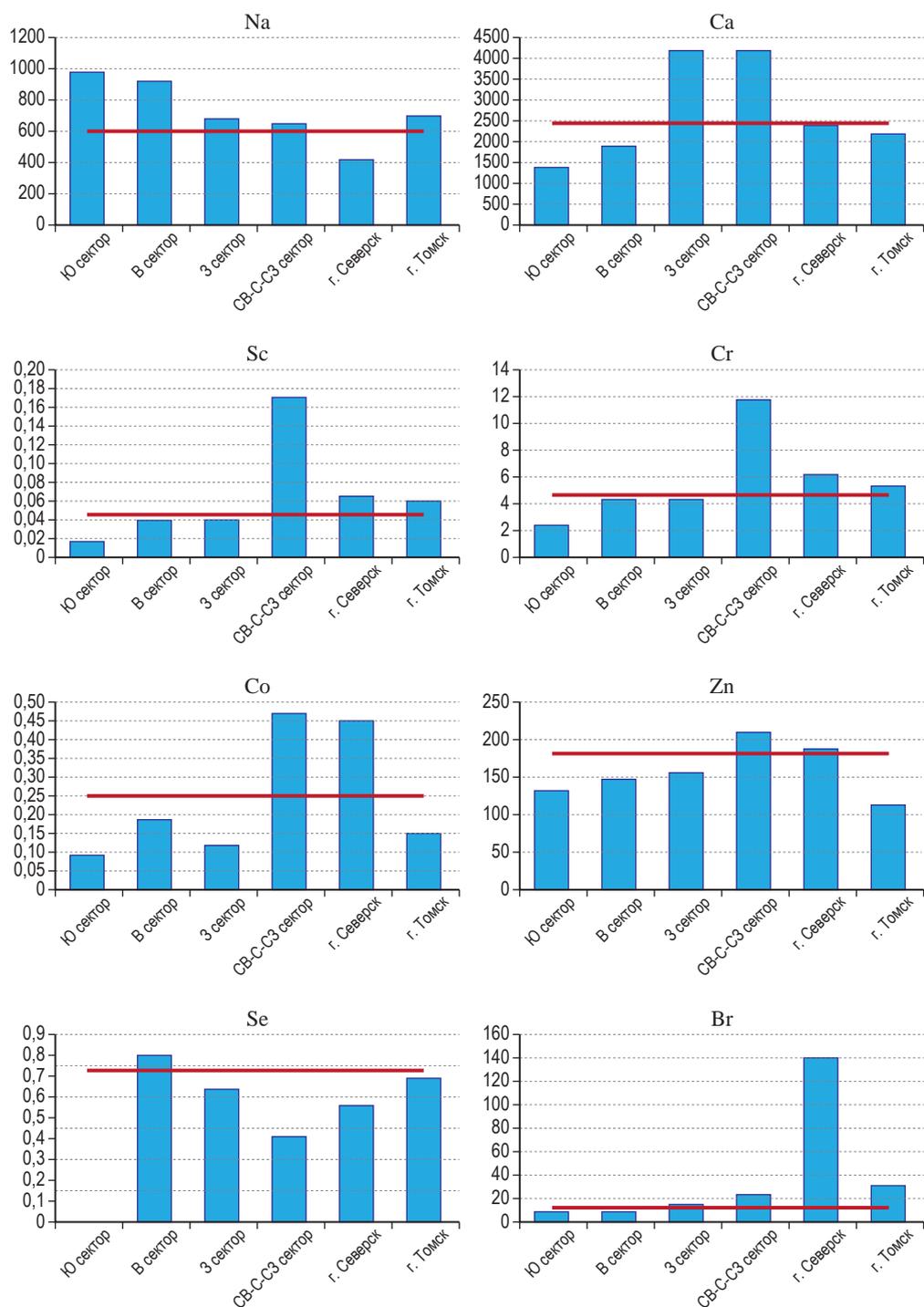
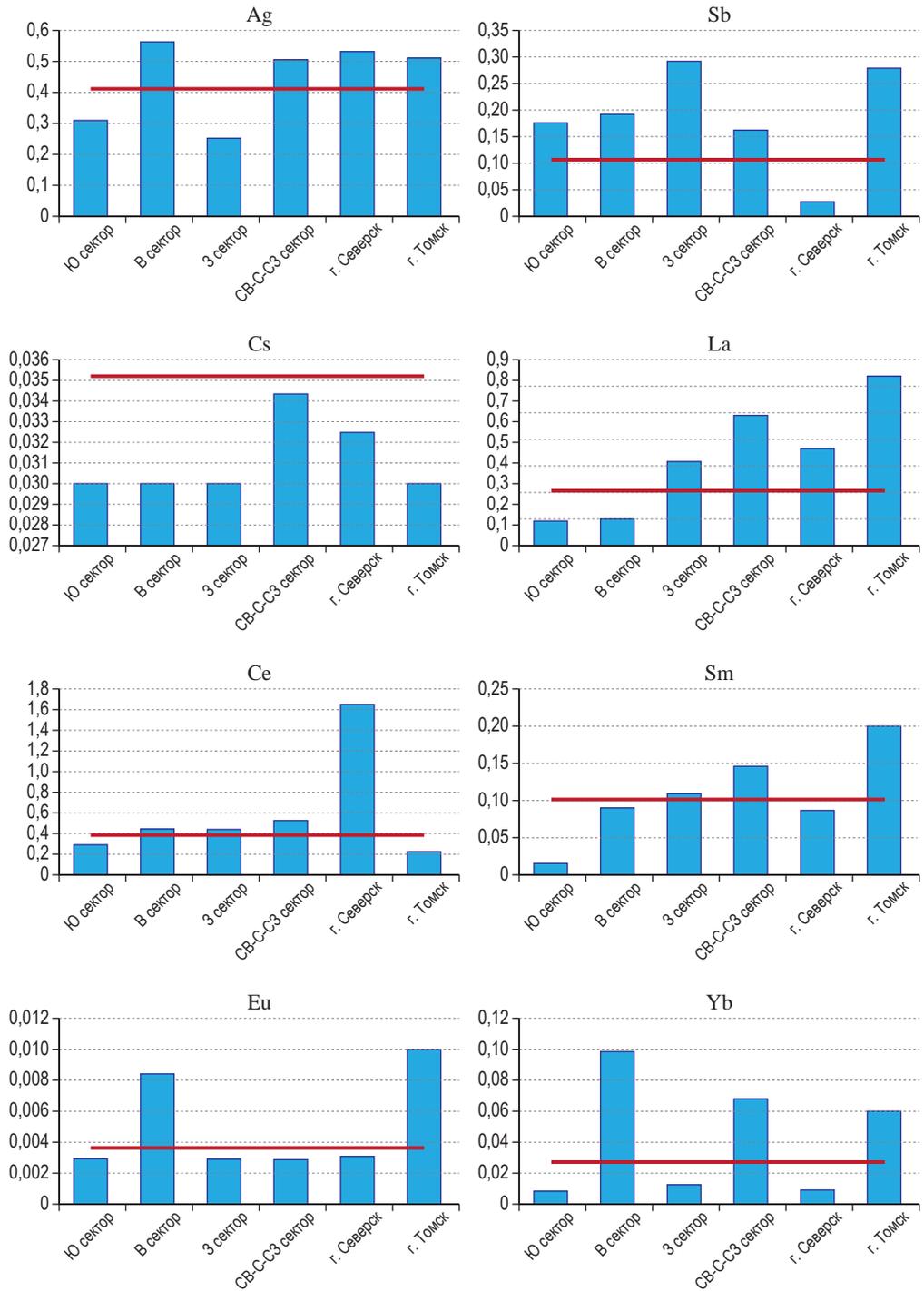
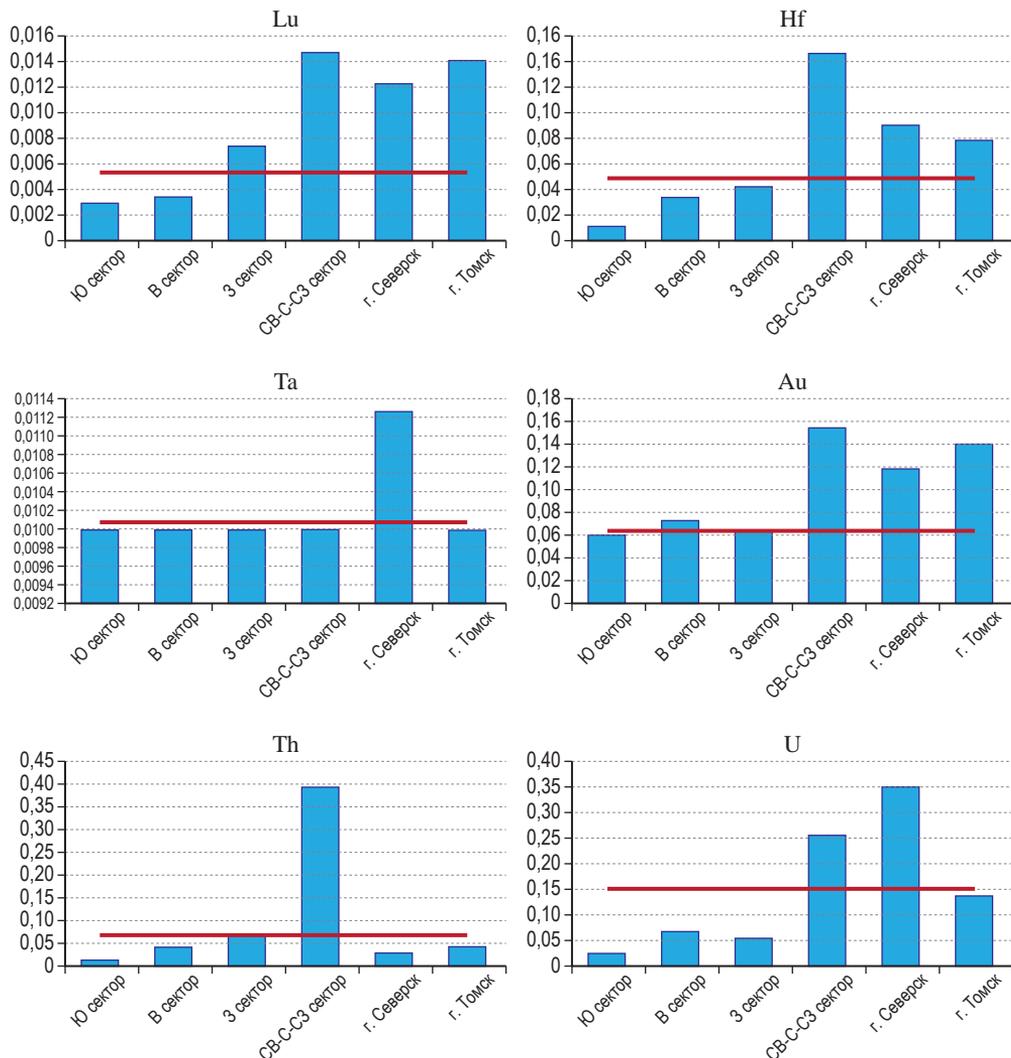


Рис. 11.2.5. Содержание химических элементов в волосах детского населения в разных секторах Томского района и гг. Северск и Томск



Продолжение рис. 11.2.5.



Окончание рис. 11.2.5.

Томского района позволил установить населенные пункты, где отмечаются максимальные тенденции к их накоплению.

Содержание тория в волосах на данной территории имеет максимум в п. Морьяковский Затон (рис. 11.2.6). Возможно, мы наблюдаем факт комплексного природно-техногенного влияния, обусловленного как проявлениями циркон-ильменитовых песков вблизи поселка, так и функционированием в данном населенном пункте стекольного завода, использовавшего для своей работы пески туганского типа. Содержание тория в волосах детей, проживающих в этом населенном пункте, достигает средних значений 2,4 мг/кг сухого веса. Следует отметить, что эта биогеохимическая специфика Морьяковского Затона отмечается по всем природным средам, изучаемым сотрудниками кафедры геоэкологии и геохимии ТПУ

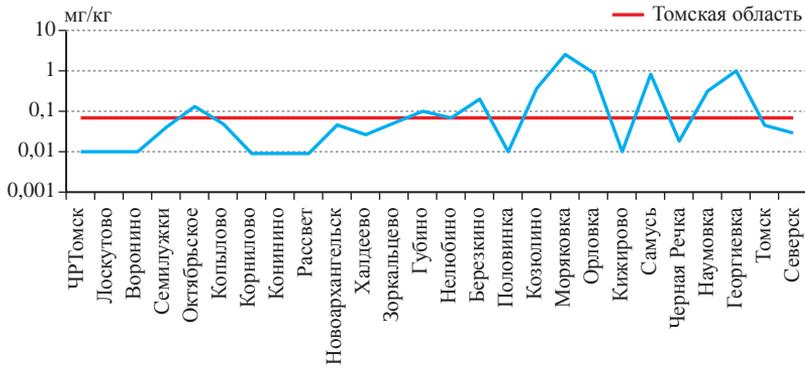


Рис. 11.2.6. Содержание Th в биосубстрате из различных населенных пунктов Томского района (логарифмическая шкала)

(накипь питьевых вод, пылеаэрозоли и др.). Существование данной геохимической аномалии требует специального рассмотрения.

Наибольшие концентрации урана в волосах детей установлены в п. Орловка, Самусь, Черная Речка (Юкса), Георгиевка и г. Северск – населенных пунктов, в той или иной степени подверженных влиянию Сибирского химического комбината (Baranovskaya et. al., 2009). Удивительным является факт накопления этого элемента в волосах детей поселка Новоархангельск (рис. 11.2.7). Возможно, мы наблюдаем факт влияния природных аномалий, имеющих место на данной территории.

Одинаковые уровни концентрации данного элемента в составе волос детей, проживающих в поселках непосредственно попадающих в зону техногенного воздействия и удаленных от таковой, показывает сложность в интерпретации данных и трудности однозначного выделения факторов техногенной и природ-

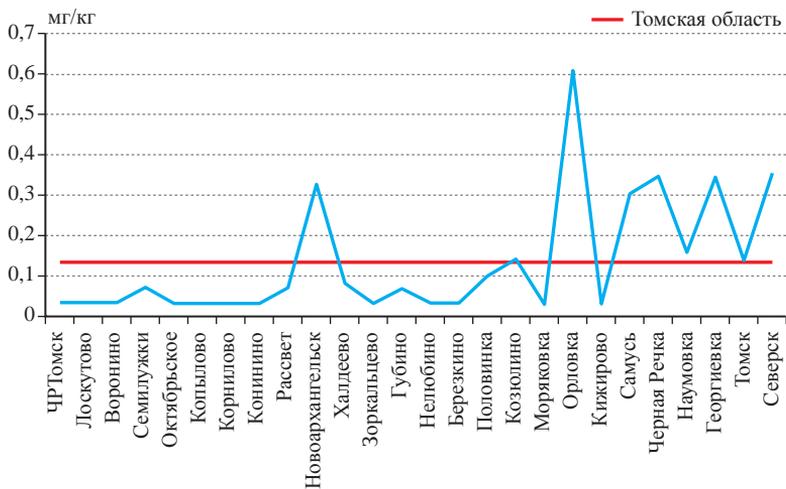


Рис. 11.2.7. Содержание U в биосубстрате из различных населенных пунктов Томского района

ной составляющей. Однако нами отмечено, что в зонах техногенного воздействия уровни среднего накопления элементов, как правило, выше, чем на территориях с природными аномалиями (рис. 11.2.4).

Для разделения природных и техногенных геохимических факторов влияния важным оценочным показателем является торий-урановое отношение, которое для волос изменяется в пределах от 0,03 до 0,9 единиц. Среди районов области Томский район имеет самый высокий показатель торий-уранового отношения (рис. 11.2.8).

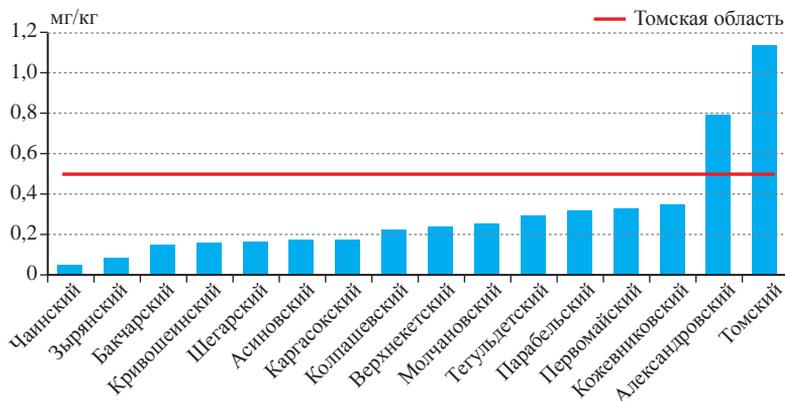


Рис. 11.2.8. Показатель Th/U в волосах детского населения в районах Томской области

При рассмотрении ситуации в Томском районе на более локальном уровне отчетливо видна неоднородность геохимического состава окружающей среды (рис. 11.2.9). Торий-урановое отношение на территории района колеблется от значений  $< 1$  до значений в десятки единиц. За счет аномально высоких концентраций тория, как отмечалось ранее, особняком смотрится п. Моряковка ( $Th/U = 80$ ). Населенный пункт Лоскутово можно рассматривать как фоновый, здесь содержания урана и тория находятся на уровне предела определения анализа. В п. Наумовка показатели содержания обоих элементов высокие.

Анализ накопления радиоактивных элементов в волосах детей всех изученных населенных пун-

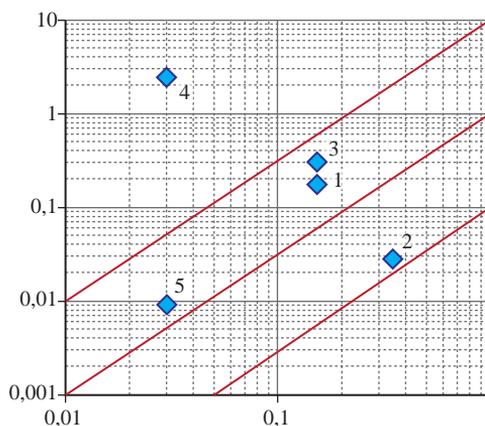


Рис. 11.2.9. Показатель Th/U в волосах детского населения в Томском районе: 1 – среднее в Томском районе; 2 – г. Северск; 3 – п. Наумовка; 4 – п. Моряковка; 5 – п. Лоскутово

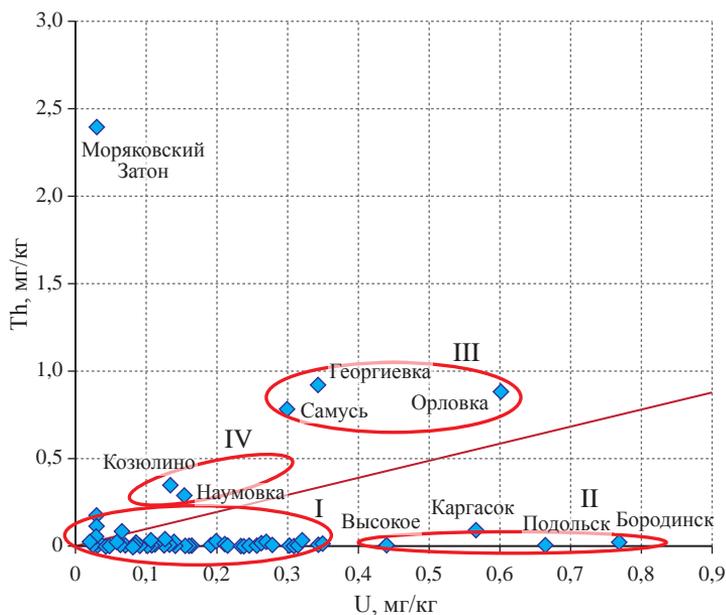


Рис. 11.2.10. Показатель  $Th/U$  в волосах детского населения населенных пунктов Томской области (линией отмечено  $Th/U = 1$ )

ктов Томской области показывает, что, как правило, эти элементы не характеризуются значительными концентрациями и торий-урановое отношение имеет низкий показатель (I группа населенных пунктов на рис. 11.2.10).

При этом четко выделяется ассоциация населенных пунктов, находящаяся в зоне воздействия СХК: поселки Орловка, Георгиевка, Самусь, Наумовка и Козюлино (группы III и IV, рис. 11.2.10). Для этих поселков характерна смешанная природа поступления радионуклидов.

Ториевая природа, как уже отмечалось ранее, характерна для волос детей из населенного пункта Моряковский Затон, а урановая специфика – для детей, проживающих в пос. Бородинск Бакчарского района, пос. Высокое и Подольск Зырянского района, пос. Каргасок Каргасокского района (II группа, рис. 11.2.10). Характер накопления радиоактивных элементов во второй группе поселков, вероятнее всего, отражает природные геохимические аномалии локального характера.

Так, на территории Бакчарского района накопление урана в составе волос детей происходит в западной части района на границе железорудного бассейна. Высокие концентрации урана также характерны для зоны контакта с нефтегазоносными структурами на севере Томской области (п. Каргасок) (Барановская, 2010).

Таким образом, данное отношение позволяет четко выделить населенные пункты, находящиеся в зоне непосредственного влияния техногенного фактора и на территориях, не имеющих такового.

Другими индикаторами смены геохимической ситуации в окружающей среде могут являться редкоземельные элементы. Анализ особенностей их накопления в составе волос детей в районах области (рис. 11.2.11) показывает, что более вы-

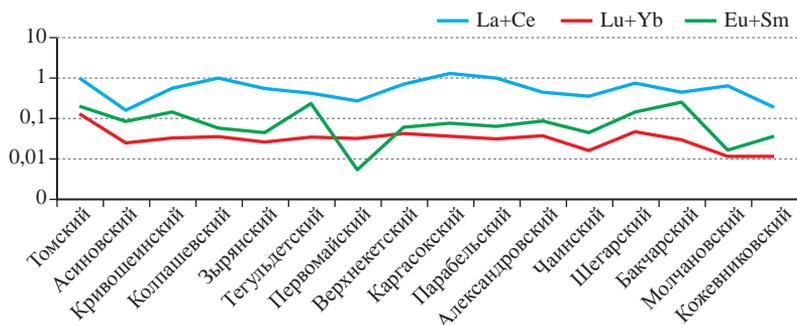


Рис. 11.2.11. Диаграмма распределения сумм легких, средних и тяжелых лантаноидов в составе волос детей в районах Томской области

сокий уровень концентрации имеют легкие лантаноиды. Для Томского района отмечено максимальное значение суммы тяжелых лантаноидов, обусловленное, в первую очередь, максимальными содержаниями лютеция (рис. 11.2.11).

Соотношение суммы редких земель с радиоактивными элементами (ураном и торием) хорошо демонстрирует тройная диаграмма (рис. 11.2.12). Анализ рисунка показывает, что, из более чем ста изученных населенных пунктов лишь

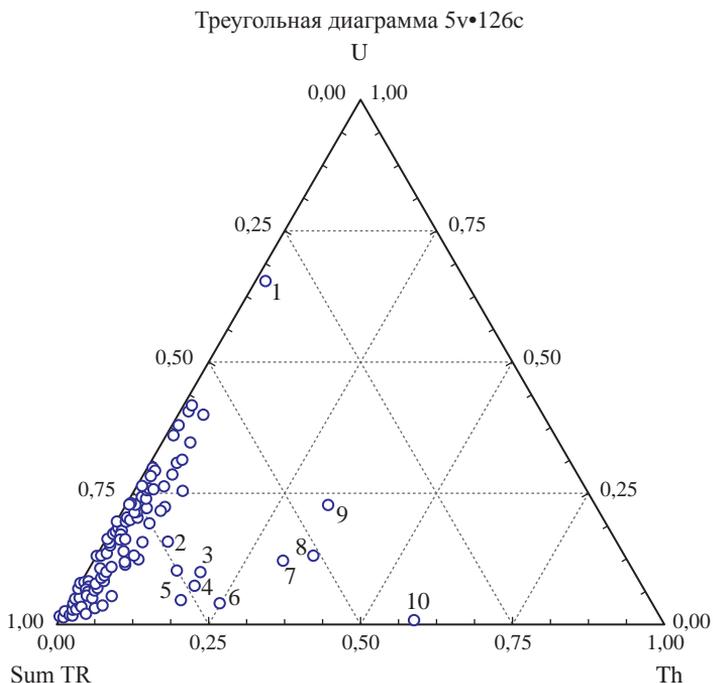


Рис. 11.2.12. Диаграмма распределения радиоактивных и суммы редкоземельных элементов по их накоплению в составе волос детей (Томская область): 1 – п. Санджик; 2 – п. Губино; 3 – п. Наумовка; 4 – п. Козюлино; 5 – п. Октябрьский; 6 – п. Березкино; 7 – п. Самусь; 8 – п. Георгиевка; 9 – Орловка; 10 – п. Моряковка

некоторые выделяются аномальными показателями соотношения этих групп элементов.

Подавляющая часть поселков на территории области характеризуется высоким и очень высоким процентным содержанием (50–90%) суммы редкоземельных элементов в волосах детского населения в соотношении к урану и торию (рис. 11.2.12). На фоне этого особняком расположен на диаграмме п. Санджик Верхнекетского района, где соотношение элементов TR/U/Th имеет значения в процентах 33/65/16 соответственно, то есть показатель суммы редких земель значительно ниже, чем в остальных поселках, основной вклад вносит уран.

Выделяются по соотношению данных групп элементов и населенные пункты зоны влияния Томск–Северской промышленной агломерации (пос. Наумовка, Козюлино, Самусь, Орловка, Георгиевка). В пробах волос детей здесь, наряду с высоким процентным содержанием суммы редкоземельных элементов, происходит увеличение доли тория при содержании урана не более 25%.

Таким образом, волосы детей, проживающих в зонах техногенного воздействия, характеризуются значительным накоплением специфических химических элементов, но наиболее показательными в плане индикации являются соотношения определенных групп химических элементов. Влияние техногенеза ярко фиксируется по соотношению элементов-индикаторов, которыми являются группы редкоземельных элементов, а также торий и уран.

### 11.3. Плутоний в волосах детей Томской области

Плутоний (Pu) – химический элемент, открытый Г.Т. Сиборгом в 1940-м году, ранее в биологических тканях практически не определялся из-за аналитических сложностей (Рихванов и др., 2011). На сегодняшний день концентрации Pu на уровне  $10^{-16}$ % обнаруживаются современными ядерно-физическими методами и уже нет необходимости утверждать, что Pu в природе не обнаруживается (Дж. Эмсли, 1991). Основная масса плутония поступила в природную среду в результате ядерного техногенеза, что ярко продемонстрировано по многочисленным данным в работе Л.П. Рихванова (2009). В качестве наиболее яркого примера присутствия Pu в органах и тканях людей (рис. 11.3.1) могут быть материалы по районам функционирования предприятий ядерно-топливного цикла (Уткин и др., 2004) или в зонах аварий АЭС (табл. 11.3.1).

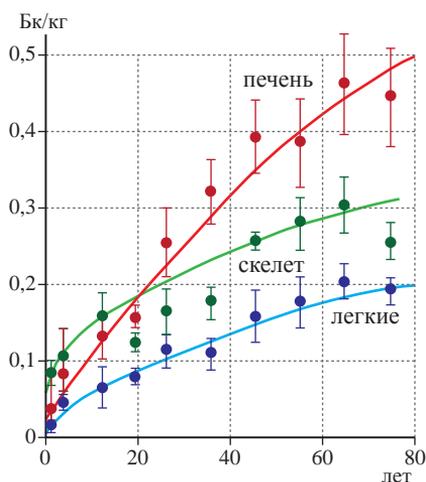


Рис. 11.3.1. Удельная активность плутония в различных органах основного депонирования в зависимости от возраста жителей г. Озёрска (по В.И. Уткину и др., 2004)

Таблица 11.3.1

**Удельная активность  $^{239}\text{Pu}$  (в Бк/кг) в волосах детей Минска и Гомельской области (1987 г.) (по А.Ф. Маленченко и др., 1997)**

ФИО	Минск			ФИО	Гомельская область		
	место жительства	год рождения	A ( $^{239}\text{Pu}$ ), Бк/кг		место жительства	год рождения	A ( $^{239}\text{Pu}$ ), Бк/кг
Б. И.	Минск	1982	0,3	К. О.	г. Хойники	учащийся	15,2
Н. И. Б.	“	1975	0,42	Е. Д.	“		12,6
К. Н. П.	“	1976	0,14	Ш. Г. П.	г. Брагин		22,9
Д. Т. В.	“	1975	0,21	Ш. Е. И.	“		16,4
Х. Л.	“	1974	0,18	К. С. Н.	“		25,6
И. С.	“	1975	0,22	Л. Н.	г. Хойники		8,5
М. Н.	“	1975	0,5	С. Т. М.	д. Шкураты, Брагинский р-н		28,0
				К. Л.	г. Жлобин		1,15
				Ф. Г.	д. Борисовщина, Хойникский р-н		4,57
				К. Е. С.	г. Жлобин		0,82
				Л. С. М.	г. Гомель		0,71

Данные по изучению уровней концентрации этого элемента в волосах детей крайне скудны и исследования, проведенные А.Ф. Маленченко с соавторами (1997) в районе Чернобыльской катастрофы, являются практически единичными. В то же время интерес к проблеме накопления этого элемента организмом человека растет с каждым годом, о чем в частности свидетельствуют данные, полученные японскими и казахскими учеными для ряда органов и тканей населения, проживающего в г. Семипалатинске (Yamamoto et. al., 2008, табл. 11.3.2).

Нами получены данные по содержанию двух изотопов плутония-238 и 239 в волосах детей населенных пунктов, находящихся в зоне влияния Сибирского химического комбината по преимущественной розе ветров (северо-восточное направление): в 30-километровой зоне – населенные пункты Козюлино, Самусь, Георгиевка, Орловка (объединенная проба) и Наумовка, в 50-ти километрах – Черная речка (Юкса). А так же определены эти изотопы у детей, проживающих в н.п. Зырянское в более чем 100 км от СХК в северо-восточном направлении и в г. Томске, расположенном в 12 км южнее.

Плутоний определялся альфа-спектрометрическим методом с радиохимическим выделением по методикам ВИМС в лаборатории экологической радиологии Института экологических проблем Севера УрО РАН, г. Архангельск.

Результаты показали, что преимущественное накопление как отдельных изо-

Таблица 11.3.2

Результаты концентрирования  $^{239,240}\text{Pu}$  (в мБк/кг<sup>-1</sup> на золу) и соотношение изотопов  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  в органах человека для 9 субъектов (по Yamamoto et. al., 2008 с изменениями автора)

№ п/п	Орган	Концентрация				
		$^{239}\text{Pu}$	$^{240}\text{Pu}$	$^{239,240}\text{Pu}$	$^{239,240}\text{Pu}$ (на сырую массу)	Изотопное соотношение ( $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ )
1.	Кость (позвонок)			0,08±0,003	8,2±0,3	0,113±0,012
	Легкие	1,56±0,04	0,27±0,03	1,83±0,19	10,9±1,2	0,051±0,004
	Печень	2,44±0,05	1,06±0,05	3,5±0,17	17,5±0,9	0,123±0,002
	Почки	0,25±0,01	Но			
2.	Кость (позвонок)			0,13±0,02	13,1±1,7	0,107±0,039
	Легкие	0,37±0,01	Но			
	Печень	2,1±0,03	0,98±0,05	3,08±0,17	20,2±1,1	0,133±0,002
3.	Легкие	0,044±0,003	Но			
	Печень	1,8±0,04	1,24±0,04	3,05±0,12	25,8±1	0,189±0,002
	Почки	0,047±0,006	Но			
4.	Легкие	0,62±0,02	0,13±0,03	0,75±0,15	7,8±1,5	0,067±0,005
	Печень	2,41±0,07	1,42±0,04	3,83±0,16	36,2±1,5	0,161±0,002
	Почки	0,069±0,004	Но			
5.	Легкие	0,91±0,02	0,17±0,03	1,08±0,22	11,5±2,3	0,061±0,002
	Печень	1,08±0,02	0,37±0,04	1,45±0,16	13,9±1,6	0,104±0,005
6.	Легкие	0,66±0,01	0,12±0,02	0,78±0,15	8,6±1,7	0,059±0,003
	Печень	4,83±0,06	2,74±0,02	7,57±0,12	46,8±0,7	0,155±0,003
	Почки	0,05±0,007	Но			
7.	Кость (позвонок)			0,049±0,007	5,1±0,7	0,145±0,008
	Легкие	0,21±0,005	Но			
	Печень	0,39±0,01	0,2±0,03	0,6±0,09	2,6±0,4	0,156±0,014
	Почки	0,023±0,006	Но			
8.	Легкие	0,12±0,01	Но			
	Печень	0,46±0,01	0,25±0,04	0,71±0,11	7,3±1,1	0,17±0,01
9.	Кость (позвонок)			0,051±0,005	5,3±0,5	0,135±0,008
	Легкие	0,22±0,01	0,43±0,02	0,26±0,12	1,2±0,6	0,078±0,005
	Печень	0,49±0,01	0,25±0,02	0,75±0,06	5±0,4	0,144±0,01
	Почки	0,084±0,01	Но			

Уровень  $^{239,240}\text{Pu}$  в образцах костей определялся методом  $\alpha$ -спектрометрии и ошибка среднего составляет одну  $\delta$ . Образцы тканей органов измерялись методом ICP – MS и ошибка составляет одно стандартное отклонение от трех измерений. Но – не обнаружен.

топов (рис. 11.3.2), так и их суммы (рис. 11.3.3) происходит в ближней зоне влияния, расположенной по преимущественному направлению ветрового переноса, в то время как с подветренной стороны и на значительном удалении происходит существенное снижение их содержания.

По данным Регионального управления №81 ФМБА России, в 2008 году наряду с высоким содержанием цезия-137 в пробах почвы северо-восточного направления зоны наблюдения СХК выявлен и более высокий уровень содержания плутония-239, что объясняется как штатными, так и аварийными выбросами СХК в прошлые годы. Несмотря на то, что содержание радионуклидов в почве в целом по зоне наблюдения имеет небольшой разброс, отмечено, что почва в населенных пунктах, расположенных с подветренной стороны (северное, северо-западное и северо-восточное направления) по отношению к комбинату более загрязнена, причем загрязнение носит неравномерный, «пятнистый» характер (Экологический..., 2009).

Схожая картина наблюдается при анализе концентрации в волосах урана (рис. 11.3.4). Этот элемент

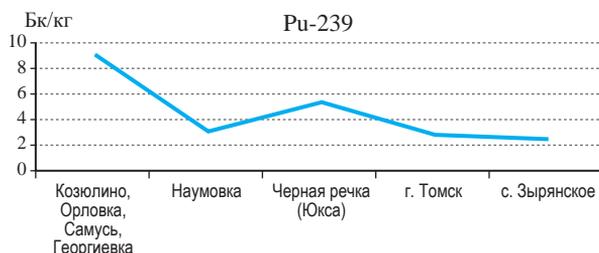
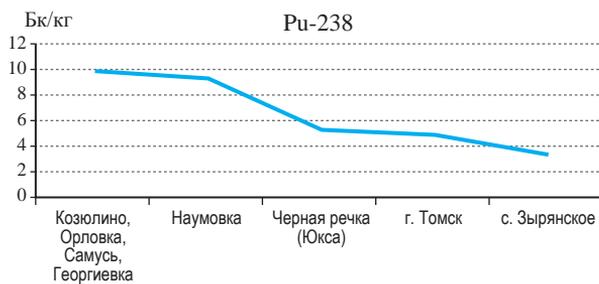


Рис. 11.3.2. Уровни накопления изотопов плутония (238 и 239) в волосах детей населенных пунктов Томской области

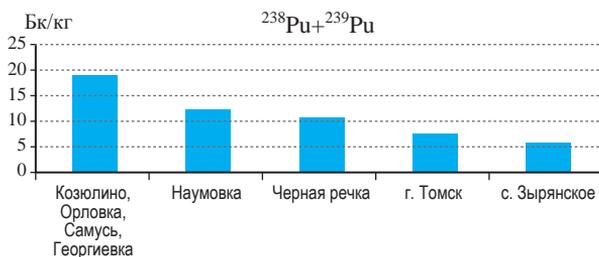


Рис. 11.3.3. Уровни накопления суммы изотопов плутония (238 и 239) в волосах детей населенных пунктов Томской области по степени удаления от техногенного источника

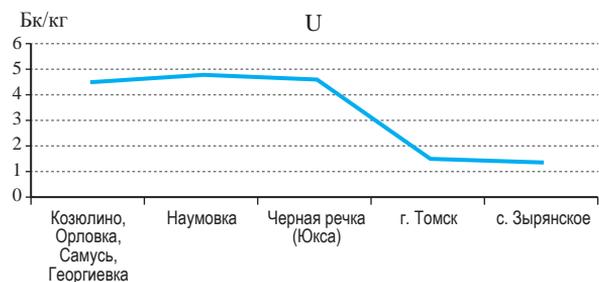


Рис. 11.3.4. Уровни накопления урана в волосах детей населенных пунктов Томской области от техногенного источника (Сибирского химического комбината)

входит в состав высоколетучего соединения – гексафторида урана, применяемого в технологических процессах на комбинате (Рихванов, 1997).

Анализ распределения населенных пунктов по значению соотношений изученных изотопов между собой и изотопа  $^{239}\text{Pu}$  к урану показал, что ближняя зона влияния четко выделяется относительно дальней и подветренной (рис. 11.3.5). По данным А.Ф. Маленченко (1997), в составе топливных частиц изотопы плутония обладают низкой миграционной способностью, источником же поступления этого радионуклида в организм по биологическим обменным цепочкам и аэрогенно является его растворимая форма.

Сравнительный анализ содержания плутония-239 в волосах детей Томской области с показателями для Гомельской и г. Минска показал, что в Томской области уровень накопления выше, чем в г. Минске и наполовину ниже по сравнению с зоной влияния Чернобыльской катастрофы (рис. 11.3.6).

Таким образом, можно констатировать факт накопления изотопов плутония в организме человека в зоне влияния предприятий ядерно-топливного цикла на уровнях, значительно превышающих значения, фиксируемые на более удаленных территориях. Кроме того, необходимо отметить весомый вклад в процесс накопления изученных изотопов в составе волос детей фактора расположения места их проживания относительно ветрового переноса воздушных масс.

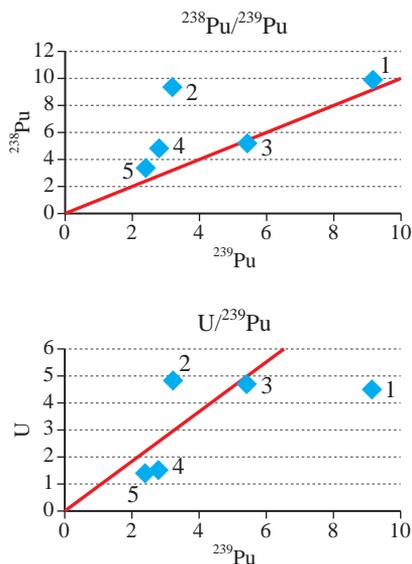


Рис. 11.3.5. Соотношение изотопов плутония ( $^{238}$  и  $^{239}$ ) и урана к плутонию-239 в волосах детей населенных пунктов Томской области: 1, 2, 3 – населенные пункты ближней зоны влияния (Самусь, Козюлино, Орловка, Георгиевка (1), Наумовка (2) и Черная речка (3), 4 – г. Томск, 5 – с. Зырянское

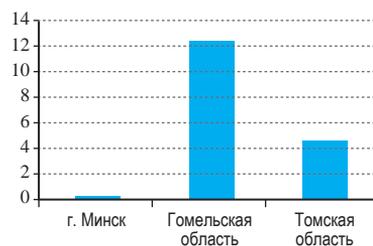


Рис. 11.3.6. Уровни накопления  $^{239}\text{Pu}$  (Бк/кг) в волосах детей г. Минска и Гомельской области (по А.Ф. Маленченко и др., 1997) по сравнению с проживающими в Томской области

## Очерк двенадцатый

# ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ЗОЛЬНОМ ОСТАТКЕ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА (ЗООЧ)

---

### 12.1. Общая геохимическая характеристика зольного остатка организма человека

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 функциональные особенности организма, происходит истощение адаптационных резервов, вызванных интенсивным и длительным влиянием комплекса неблагоприятных экологических факторов (Природные и антропогенные факторы..., 2003).

В.И. Вернадский отмечал, что «...химический состав организмов теснейшим образом связан с химическим составом земной коры и подчёркивал, что изучать биологические вопросы изучением только одного, во многом автономного организма нельзя, так как он нераздельно связан с земной корой и вне связи с ней в природе не существует». Установление взаимосвязей между геохимическим составом живого вещества, в том числе человека и среды и его обитания является актуальной и, в то же время достаточно сложной задачей.

В геохимии живого вещества до сих пор даже отсутствует полная количественная оценка элементного состава всего организма человека.

Ученик и последователь В.И. Вернадского в развитии учения о геохимии живого вещества А.П. Виноградов, врач по базовому образованию, в 1932 году писал: «если геохимия базируется на иссекаемых запасах фактов, накопленных в течение многих десятков и даже сотен лет, то геохимия живого вещества начинает свою историю заново, с первой страницы».

Биогеохимия, как наука имеет важное значение, прежде всего, потому что с одной стороны связано, с особой ролью геохимического состава среды на развитие и химический состав организмов, в том числе и человека, с другой – исключительной ролью живого вещества в формировании условий миграции химических элементов и поддержании гомеостаза биосферы.

По высказыванию В.И. Вернадского (1940), все организмы пропускают через себя «атомные вихри», а элементный состав их находится в тесной зависимости от земной коры. Важным является вопрос о потенциальной биологической опасности химических веществ.

Нами в настоящее время делается попытка установить региональные особенности накопления элементов в организме человека (Рихванов и др., 2008, 2009, 2010, 2013).

Сейчас уже 2010 год, а полный элементный состав организма человека до сих пор остается неизученным и по-прежнему актуальны слова великого ученого Владимира Ивановича Вернадского о том, что: *«Главным недостатком в настоящее время является отсутствие полного элементарного химического количественного анализа живого вещества...»* (В.И. Вернадский, 1960 С.148).

На современном этапе геохимических исследований природной среды становится чрезвычайно актуальной проблема количественного определения содержания максимально возможного количества химических элементов в организме человека.

Повышенное содержание ряда элементов в биосфере в условиях техногенеза является серьезным фактором нарушения химического состава биосферы планеты и вызывает безотлагательную необходимость познания закономерностей этих изменений и разработки мер по созданию для организма оптимальных геохимических условий, но для этого необходимо изучить количественное содержание элементов в организме жителей разных регионов. В настоящее время промышленные центры являются мощными источниками выбросов загрязняющих веществ, которые оказывают воздействие на окружающую среду, меняя ее химические и физические характеристики. Количество выбросов удваивается каждые 10 лет, ежегодно в атмосферу суммарно от всех антропогенных источников поступает 450 тыс. т. Pb, 7 тыс. т. Cd, 56 тыс. т. Cu (Гичев Ю.П., 2002).

Общеизвестно, что металлы, являются стойкими загрязнителями, не подвержены процессам быстрого и полного разрушения, а по отношению к отдельным элементам (Hg, Cd и др.) процессы самоочищения природных объектов практически невозможны (Мур, Рамамурти, 1987 и др.). Большинство элементов-загрязнителей (Cu, Pb, Zn, Fe, As, Cd, Hg, Sb и др.) токсично и вызывает у людей тяжелые онкологические, аллергические заболевания, болезни сердца, желудка, печени, нервной системы (Вредные химические вещества, 1988). Помимо прямого токсичного эффекта для металлов в природных средах установлены отдаленные последствия, выражающиеся в виде канцерогенных и мутагенных реакций.

В предыдущих очерках был рассмотрен элементный состав органов и тканей человека, проживающего в Томском регионе.

В данном очерке будут представлены первые обобщенные данные содержания 63 химических элементов в зольном остатке организма человека (ЗООЧ).

## 12.2. Материалы и методы исследования

Отбор проб зольного остатка организма человека (ЗООЧ) проводился в пяти городах России: Новосибирске, Новокузнецке, Ростове-на-Дону, Санкт-Петербурге, Екатеринбурге (рис. 12.1). Все города отличаются характером промышленного развития и спецификой действующих производств, разными источниками поступления химических элементов в природные среды, общей экологической обстановкой, но главное, данные города схожи в одном – у всех одинаково высокий уровень развития промышленности.

Зольный остаток организма человека (ЗООЧ) представляет собой материал, оставшийся после сжигания организма человека в газовой печи крематориев. Режимы работы крематориев одинаковы для всех городов и обусловлены едиными требованиями к работе, в первую очередь к температурному режиму. Отбор проб производился из не востребовавшего материала по официальному разрешению и согласованию с администрацией крематориев. По каждому объекту исследования была известна информация по половой принадлежности и возрасту. Каких-либо других данных, в том числе по заболеваемости, причинам смерти и т. д. не было известно. Соотношение мужчин и женщин в общей совокупности, примерно, было одинаково. Среднестатистический возраст материала оценивается в 50 лет. Выполнение инструкций при выполнении кремаций предполагает отсутствие в материале инородных металлических вещей (браслетов, цепочек, часов и т. д.). Технологии кремации во всех случаях идентичные и происходили в газовой среде при температуре 1000–1200 °С. Столь высокие температуры сжигания дают основание предполагать, что часть химических элементов, особенно летучих (хлор, бром, ртуть, висмут и многие другие) была потеряна, и эти потери на настоящий момент времени не могут быть нами оценены. Поэтому, полученная нами минералогическая и геохимическая информация относится только к зольному остатку, полученному при одинаковых условиях сжигания, *позволяющих проводить только сравнение различных территорий между собой, но не оценивать содержание элементов в организме человека.*

Зольный остаток, как нам представляется, может быть хорошим интегрирующим показателем элементного состава организма человека в целом. Хотя мы отдаём себе отчёт в том, что: 1) этот материал в большей степени отражает состав костной ткани человеческого организма, так как на её долю приходится до 70% массы тела человека; 2) при высокотемпературном сжигании тела, часть химических элементов улетучивается. Но, при всём при том, мы считаем, что остаточный материал будет свидетельствовать об особенностях элементного состава человека вообще и мы предполагаем, что состав ЗООЧ будет отражать геохимические особенности ландшафтно-геохимической обстановки проживания индивида и специфику особенностей геохимии техногенеза данной территории.

Изучение минералогического состава ЗООЧ осуществлялось методом рентгеноструктурного анализа с использованием порошкового дифрактометра D2 PHASER фирмы "Bruker", позволяющего обнаруживать присутствие минераль-

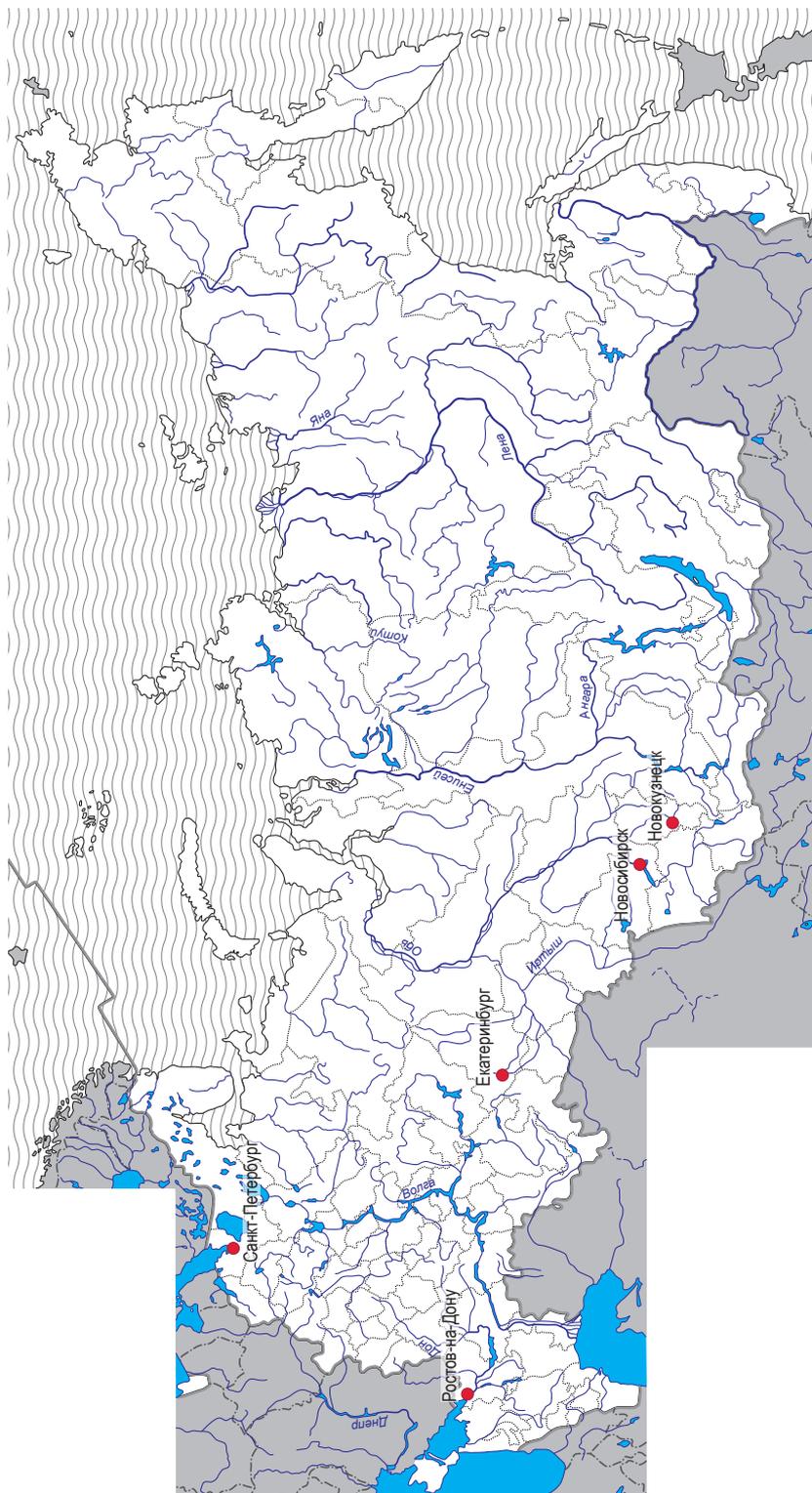


Рис. 12.1. Обзорная карта расположения мест отбора проб ЗООЧ (масштаб: 1 : 500000000)

ной фазы в исследуемой смеси на уровне 0,5 и более % (аналитик Путилин С.Н.). Морфология и элементный состав минеральных фаз исследовался на электронном микроскопе "Hitachi...", оснащённом энерго-дисперсионной приставкой фирмы "Bruker", позволяющей определять содержание химических элементов от Li до U на минимальном уровне 0,1–0,5% и выше, а также изучать характер их пространственного распределения в исследуемой матрице (аналитик Ильенок С.С.).

Для исследования минеральных фаз ЗООЧ на электронном микроскопе из проб были предварительно изготовлены таблетки. Исследуемый образец истирался в агатовой ступке до однородной массы, спрессовывался и склеивался с использованием сахарного раствора (сахар+вода в соотношении 1:2). Полученная таблетка высушивалась под крышкой при комнатной температуре в течение 1–2 суток и приполировывалась.

С помощью электронного микроскопа были проанализированы отдельные и смешанные пробы ЗООЧ г. Новосибирска, г. Ростова-на-Дону, г. Санкт-Петербурга, г. Екатеринбурга. Пробы из города Новокузнецка также были изучены, но из-за малого количества и плохого качества материала эти данные представлены в меньшем количестве по сравнению с другими.

Для количественной оценки содержания химических элементов в зольном компоненте использовались прежде всего два аналитических метода, принципиально отличающихся как по своей физической сущности, так и по способам пробоподготовки: инструментальный нейтронно-активационный (ИНАА) и метод индуктивно-связанной плазмы с масс-спектрометрическим окончанием. Для определения U, прежде всего для контроля двух других методов, использовался также лазерно-люминесцентный метод. Все пробы исследовались приближённо-количественным эмиссионным спектральным методом на 64 элемента, с целью возможного обнаружения аномальных содержаний некоторых элементов, не выявляемых ИНАА и ИСП-МС (Si, V, Sn). Таким образом, удалось количественно оценить 60 и приближённо-количественно 3 химических элемента, содержащихся в ЗООЧ. При составлении сводных таблиц (табл. 12.1, 12.2) предпочтение отдавалось результатам ИНАА, когда же предел обнаружения элементов этим методом был недостаточен или элемент не определялся, то использовались данные ИСП-МС. Информация по Si, V, Sn носит сугубо оценочный характер.

Инструментальный нейтронно-активационный представляет собой современный высокочувствительный, неdestructивный анализ. Общеизвестно, что он является одним из весьма эффективных методов определения в биосредах редких, редкоземельных и радиоактивных элементов, не требующий специфического химического разложения изучаемого материала. Именно полнота разложения вещества, гарантирующая перевод большей части химических элементов в анализируемый в дальнейшем раствор, прежде всего влияет на качественные показатели используемых других аналитических методик. ИНАА позволяет определять в различных пробах содержание многих элементов в широком диапазоне (от  $n \cdot 1\%$  до  $n \cdot 10^{-6}\%$ ). Облучение тепловыми нейтронами проводилось на исследовательском ядерном реакторе ИРТ-Т Национального исследователь-

Таблица 12.1

**Статистические параметры распределения элементов в выборке  
ЗООЧ для всей совокупности проб (106) для 5 городов России**

Элемент	N	$\frac{X \pm \lambda}{\max \dots \min'}$ мг/кг	V, %	Элемент	N	$\frac{X \pm \lambda}{\max \dots \min'}$ мг/кг	V, %
1	2	$\bar{3}$	4	5	6	7	8
Li	37	$\frac{3,46 \pm 0,39}{11,36 \dots 0,47}$	87	In	3	$\frac{0,002 \pm 0,0005}{0,003 \dots 0,002}$	5
Be	43	$\frac{0,03 \pm 0,007}{0,15 \dots 0,001}$	111	Sn	3	$\frac{1,68 \pm 0,05}{1,74 \dots 1,59}$	7
B	18	$\frac{2,35 \pm 0,057}{10,5 \dots 0,001}$	104	Sb*	103	$\frac{15,27 \pm 1,27}{76,8 \dots 0,01}$	4
Na	10	$\frac{21054 \pm 1141}{54000 \dots 600}$	55	Cs*	103	$\frac{0,27 \pm 0,02}{0,52 \dots 0,006}$	3
Mg	43	$\frac{3260 \pm 276}{6409 \dots 371}$	56	Ba*	103	$\frac{248 \pm 25}{1539 \dots 4}$	3
Al	43	$\frac{588 \pm 132}{3964 \dots 3}$	14	La*	103	$\frac{2,15 \pm 0,34}{26,6 \dots 0,03}$	58
Si	6	$\frac{2413 \pm 905}{5657 \dots 423}$	92	Ce*	103	$\frac{1,86 \pm 0,33}{18,95 \dots 0,1}$	81
P	43	$\frac{81879 \pm 8824}{166644 \dots 8093}$	70	Pr	43	$\frac{0,04 \pm 0,01}{0,36 \dots 0,001}$	68
K	43	$\frac{10846 \pm 1066}{23011 \dots 1611}$	64	Nd	43	$\frac{0,15 \pm 0,04}{1,26 \dots 0,0004}$	77
Ca*	103	$\frac{201582 \pm 3534}{400000 \dots 87000}$	18	Sm	103	$\frac{0,26 \pm 0,05}{2,88 \dots 0,003}$	89
Ti	43	$\frac{1085 \pm 119}{3197 \dots 135}$	72	Gd	43	$\frac{0,03 \pm 0,007}{0,23 \dots 0,0089}$	75
V	43	$\frac{1,7 \pm 0,25}{8,3 \dots 0,000005}$	97	Tb*	103	$\frac{0,06 \pm 0,02}{1,92 \dots 0,01}$	09
Cr*	103	$\frac{289 \pm 26}{1387 \dots 1,23}$	94	Dy	43	$\frac{0,02 \pm 0,006}{0,19 \dots 0,003}$	82
Fe*	103	$\frac{31650 \pm 2599}{122000 \dots 700}$	83	Er	43	$\frac{0,01 \pm 0,003}{0,12 \dots 0,01}$	88
Co*	103	$\frac{7 \pm 0,58}{41,5 \dots 1,1}$	83	Tm	43	$\frac{0,001 \pm 0,00005}{0,02 \dots 0,0003}$	53
Ni	43	$\frac{36 \pm 7,4}{236 \dots 4,1}$	135	Yb*	103	$\frac{0,27 \pm 0,03}{1,8 \dots 0,01}$	9
Cu	43	$\frac{247 \pm 95}{3579 \dots 13,9}$	252	Lu*	103	$\frac{0,05 \pm 0,005}{0,32 \dots 0,0009}$	0
Zn*	103	$\frac{2238 \pm 872}{84197 \dots 64,7}$	539	Hf*	103	$\frac{0,23 \pm 0,03}{1,55 \dots 0,009}$	12

Окончание табл. 12.1

1	2	3	4	5	6	7	8
Ga	43	$\frac{2,9 \pm 0,31}{6,12 \dots 0,04}$	71	Ta*	103	$\frac{0,24 \pm 0,02}{1,55 \dots 0,009}$	77
Ge	43	$\frac{0,23 \pm 0,07}{3,23 \dots 0,0001}$	215	W	43	$\frac{0,91 \pm 0,01}{2,88 \dots 0,08}$	8
As*	103	$\frac{0,48 \pm 0,09}{6,91 \dots 0,04}$	50	Pt	3	$\frac{0,02 \pm 0,01}{0,03 \dots 0,0001}$	20
Se	18	$\frac{2,5 \pm 1,05}{13,66 \dots 1,1}$	177	Au*	103	$\frac{2,19 \pm 0,64}{50,1 \dots 0,001}$	94
Rb*	103	$\frac{10,4 \pm 0,83}{51 \dots 0,4}$	81	Hg	3	$\frac{0,03 \pm 0,005}{0,04 \dots 0,02}$	6
Sr*	103	$\frac{114 \pm 11}{780 \dots 11}$	101	Tl	43	$\frac{0,006 \pm 0,001}{0,04 \dots 0,002}$	35
Y	43	$\frac{0,17 \pm 0,06}{2,5 \dots 0,0003}$	243	Pb	43	$\frac{27 \pm 9}{327 \dots 0,96}$	18
Zr	43	$\frac{1,83 \pm 0,21}{7,35 \dots 0,01}$	76	Bi	43	$\frac{0,26 \pm 0,07}{224 \dots 0,001}$	87
Nb	43	$\frac{2,05 \pm 0,64}{28,3 \dots 0,22}$	205	Th*	103	$\frac{0,31 \pm 0,05}{3,87 \dots 0,016}$	73
Mo	43	$\frac{2,4 \pm 0,29}{1,43 \dots 0,02}$	79	U*	103	$\frac{0,22 \pm 0,05}{2,67 \dots 0,048}$	0
Ag*	103	$\frac{2,39 \pm 0,33}{20,4 \dots 0,1}$	140	Br	103	$\frac{4,3 \pm 0,7}{48 \dots 0,11}$	67
Cd	43	$\frac{0,13 \pm 0,03}{1,27 \dots 0,01}$	155				

Примечание: \* – элемент определен с помощью ИНАА; N – количество проб с достоверно оцененными содержаниями элементов, участвующих в расчёте среднего; X – значение среднего; λ – доверительный интервал средней оценки; V – коэффициент вариации, %; тах-тип-максимальные и минимальные значения. Аномальные (ураганные) значения элементов при расчёте средних не использовались.

ского Томского политехнического университета в аккредитованной лаборатории ядерно-геохимических методов исследования кафедры геоэкологии и геохимии (аналитики – с.н.с. Судыко А.Ф., Богутская Л.Ф.) по утверждённой в НСАМ методике. Высокие и устойчивые потоки тепловых нейтронов в реакторе давали возможность уверенно определять до 28 химических элементов с удовлетворительными метрологическими параметрами. Измерения производились на гамма-спектрометре фирмы «Камбера» с германий-литиевым детектором.

Правильность метода ИНАА, реализуемого в лаборатории, подтверждается результатами аттестации стандартных образцов состава как отечественных, так и зарубежных (МАГАТЭ, Россия и др.), и его качество является вполне удовлетворительным (рис. 12.2).

Для метода индуктивно-связанной плазмы с масс-спектрометрическим окончанием были оптимизированы условия разложения проб в автоклавном комплексе с резистивным нагревом фирмы «Анкон-АТ-2» (Россия) и микроволновой

Таблица 12.2

## Среднее содержание химических элементов в ЗООЧ (мг/кг) и некоторых их отношений различных городов России

Элемент	Города					
	Новокузнецк N = 37	Новосибирск N = 30	Екатеринбург N = 7	Санкт-Петербург N = 20	Ростов-на-Дону N = 12	Среднее по всем пробам
1	2	3	4	5	6	7
Li*	1,1±0,3	0,76±0,15	2,9±0,3	<b>4,7±0,5</b>	1,98±0,5	3,5±0,4
Be*	0,04±0,03	0,01±0,005	0,02±0,006	0,04±0,007	0,01±0,007	0,03±0,007
B*	< 0,001	<b>2,9±1,5</b>	н.д.	н.д.	2,6±0,6	2,4±0,006
Na	13648±714	21100±1843	27328±7191	<b>31295±2247</b>	23491±3942	21054±1141
Mg*	<b>5535±259</b>	1324±54,4	2442±275	4595±179	1035±229	3260±276
Al*	<b>2351±807</b>	629±154	387±241	338±164	650±349	592±142
Si**	<b>4214±921,5</b>	н.п.о	н.д.	н.д.	61±8165	2413±905
P*	<b>163255±2689</b>	10983±117,5	85057±1086	120783±5621	9688±450	81879±8824
K*	9016±2145	2037±158,4	<b>16673±1907</b>	15891±798	3084±554	10846±1060
Ca	<b>219757±5951</b>	186633±4573	176714±19883	209500±4196	182363±11493	201582±3534
Sc	0,28±0,06	0,41±0,06	0,44±0,09	0,25±0,04	<b>0,53±0,14</b>	0,35±0,03
Ti*	366±124	431±52	1019±242	<b>1708±132</b>	326±139	1085±120
V*	< 0,00005	0,95±0,1	<b>4,4±1,3</b>	2,3±0,3	0,81±0,16	1,7±0,25
Cr	73±18	477±54	322±98	290±38	<b>491±65</b>	289±26
Mn*	117±22	92,2±19,6	205±25	<b>634±51</b>	135±47	384±48
Fe	25724±2139	37120±5886	4088±1205	<b>42480±5604</b>	33491±10837	31650±2599
Co	5,3±0,2	<b>10±0,6</b>	2,5±0,37	7,4±1,0	3,6±0,7	7,0±0,58
Ni*	12,8±3,0	13,0±3,2	<b>89±50</b>	47±11	7,3±1,7	36±7,4
Cu*	49,1±29,9	30,7±6,4	119±70	<b>453±195</b>	26,6±1,5	247±95
Zn	3124±2293	289±20	560±108	<b>3480±951</b>	3250±1992	2238±872
Ga*	1,5±0,1	0,4±0,05	4,04±0,1	<b>4,7±0,1</b>	0,4±0,1	2,9±0,32
Ge*	< 0,0001	0,046±0,054	0,11±0,02	<b>0,24±0,02</b>	0,02±0,007	0,23±0,07
As	<b>1,2±0,3</b>	< 0,04	0,24±0,21	0,12±0,07	< 0,04	0,48±0,12
Se*	<b>11,9±1,8</b>	0,9±0,15	н.д.	н.д.	0,9±0,13	2,5±1,4
Br	2,5±0,2	< 0,11	<b>27,97±4,3</b>	4,1±0,8	< 0,11	4,3±0,7
Rb	3,15±0,56	2,4±1,5	<b>19,8±2,8</b>	10,9±1,1	18,15±5,15	10,4±0,8
Sr	134±16	28±8	<b>268±110</b>	96±27	< 20	114±11,0
Y*	<b>0,6±0,2</b>	0,16±0,04	0,014±0,002	0,014±0,001	0,2±0,08	0,17±0,06
Zr*	<b>4,1±1,6</b>	2,4±0,44	1,2±0,25	1,6±0,22	1,7±0,7	1,83±0,21
Nb*	0,7±0,2	0,7±0,09	<b>8,7±6,5</b>	2±0,17	0,5±0,16	2,1±0,64

Окончание табл. 12.2

1	2	3	4	5	6	7
Mo*	0,7±0,1	1,5±0,2	1,6±0,37	<b>4,5±0,3</b>	0,4±0,06	2,4±0,3
Ag	0,77±0,14	2,03±0,26	2,67±0,97	3,77±1,16	<b>5,05±1,74</b>	2,39±0,33
Sb	7,88±2,18	17,89±0,85	16,17±4,47	<b>25,3±3,62</b>	13,35±1,06	15,18±1,26
Cd*	0,02±0,003	0,015±0,0017	<b>0,6±0,23</b>	0,11±0,01	0,09±0,03	0,13±0,03
In*	0,002±0,0005	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	
Cs	0,04±0,007	< 0,006	<b>0,119±0,05</b>	0,087±0,03	< 0,006	0,035±0,008
Ba	59,11±14,34	350,6±43,01	<b>468±197</b>	301,65±48,91	314,09±75,47	242±26
La	0,99±0,19	2,52±0,89	2,3±0,36	1,43±0,24	<b>6,16±1,24</b>	2,14±0,33
Ce	1,39±0,38	0,33±0,09	2,44±1,06	3,42±1,21	<b>3,81±1,49</b>	1,79±0,33
Pr*	<b>0,2±0,06</b>	0,06±0,01	0,005±0,001	0,004±0,001	0,11±0,04	0,04±0,012
Nd	<b>2,51±1</b>	н.д.	0,5±0,2	2,06±0,71	н.д.	2,15±0,62
Sm	0,28±0,08	0,012±0,009	0,11±0,04	<b>0,43±0,19</b>	0,26±0,08	0,26±0,05
Eu	0,038±0,005	< 0,004	0,041±0,007	0,039±0,008	<b>0,179±0,057</b>	0,044±0,008
Gd*	<b>0,11±0,06</b>	0,04±0,01	0,004±0,0006	0,003±0,0005	0,06±0,03	0,027±0,008
Tb*	0,012±0,002	< 0,01	0,015±0,003	<b>0,125±0,095</b>	0,02±0,01	0,06±0,018
Dy*	<b>0,1±0,04</b>	0,03±0,009	0,004±0,0006	0,002±0,0004	0,04±0,015	0,02±0,006
Ho*	<b>0,02±0,01</b>	0,004±0,002	0,0007±0,00007	0,0005±0,0001	0,007±0,003	0,004±0,001
Er*	<b>0,05±0,03</b>	0,02±0,005	0,008±0,004008	0,002±0,0002	0,02±0,007	0,01±0,003
Tm*	<b>0,009±0,005</b>	0,002±0,0005	0,0001±0,00005	0,0004±0,0009	0,002±0,001	0,002±0,0005
Yb	0,043±0,009	< 0,026	0,015±0,003	0,052±0,013	<b>0,321±0,199</b>	0,068±0,022
Lu	0,005±0,002	0,011±0,01	0,005±0,003	0,024±0,008	< 0,01	0,05±0,003
Hf	0,156±0,027	0,144±0,038	0,372±0,147	0,193±0,028	<b>0,619±0,142</b>	0,23±0,03
Ta	0,041±0,006	0,184±0,03	0,143±0,062	0,175±0,081	<b>0,978±0,268</b>	0,24±0,02
Au**	0,02±0,008	<b>7,3±1,9</b>	0,1±0,074	0,02±0,008	0,25±0,11	2,2±0,6
W*	0,3±0,06	0,3±0,05	1,1±0,12	<b>1,4±0,13</b>	0,2±0,04	0,9±0,01
Pt*	0,02±0,01	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	
Tl*	0,007±0,002	н.д.	0,008±0,003	0,008±0,002	< 0,001	0,006±0,001
Pb*	1,1±0,09	3,9±0,6	<b>49±20</b>	27±15	47±29	27±9
Bi*	0,03±0,01	<b>0,7±0,36</b>	0,48±0,15	0,19±0,064	0,07±0,02	0,26±0,07
Th	0,3±0,037	0,2±0,038	0,5±0,146	0,2±0,042	<b>1,4±0,34</b>	0,3±0,053
U	<b>0,3±0,095</b>	< 0,1	0,1±0,007	0,3±0,081	< 0,1	0,2±0,04
Th/U	0,3	> 2	5	0,6	> 14	1,5
La/Ce	0,7	7,6	1,0	0,4	1,2	1,2
La/Yb	23	97	153	28	19	30,6
La/Th	3,3	12,6	0,5	7,1	4,4	7,1

Примечание: \* – элементы определены методом ICP-MS; Pt-субто оценочный уровень определения содержания элемента из-за низкой его встречаемости; цифры, выделенные жирным- максимальное среднее содержание из всех городов; \*\* – высокое среднее содержание Au в целом по выборке обусловлено его высокими концентрациями в 3004 г. Новосибирска.

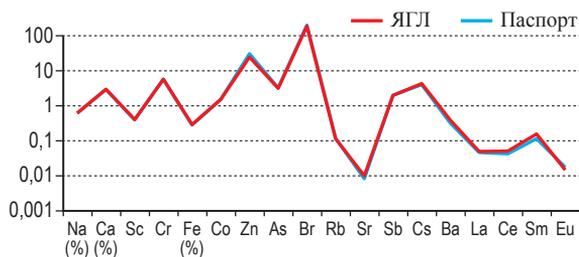


Рис. 12.2. Сходимость результатов ИНАА (мг/кг, Ca, Sc, Fe – %): а – принятые паспортные данные международного стандарта Эллодея Канадская, б – результаты, полученные в ядерно-геохимической лаборатории ТПУ



Рис. 12.3. Воспроизводимость повторных результатов (ЗООЧ) методом индуктивно-связанной плазмы

системы Multiwave «Anton Paar» (Австрия). Подобрана реакционная смесь «лефортовой водки» (смесь кислот HCl и HNO<sub>3</sub> в соотношении 1 : 3) и перекиси водорода. Автоклавное разложение проведено в течение 1,5 часов при t= 180–200 °С, а микроволновое разложение – в течение 15 мин при мощности 600–1000 W.

Анализ элементов методом ИСП-МС выполнялся в аккредитованном аналитическом центре Института геохимии имени А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск. Аналитики – Сандиминова Г.П., Пахомова Н.Н., Смирнова Е.В.

Определение массовых долей элементов выполнено на масспектрометре с магнитным сектором ELEMENT-2 (Finnigan MAT), обладающим двойной фокусировкой и позволяющим регистрировать сигнал в трех разрешениях. В качестве внутреннего стандарта выбран Rh с концентрацией 0,2 нг/л. Для градуирования при расчетах содержаний использованы сертифицированные мультиэлементные растворы CLNS 1-4 (SPEX, USA).

Правильность результатов ИСП-МС анализа контролировалась с помощью стандартных образцов БОК-2 (Байкальский окунь, Россия), DOLT-4 (печень акулы, Канада) и 1566 b (ткани устрицы, США). Всё это позволило получить достаточно достоверные результаты с хорошей воспроизводимостью (рис. 12.3).

### 12.3. Геохимические особенности ЗООЧ и факторы его определяющие

Геохимические особенности ЗООЧ сведены в таблицах-графиках, дающих общие представления о генерализованном элементном составе всего изученного материала, геохимической специфики представленных урбанизированных территорий и особенностях накопления элементов от пола и возраста.

Анализ табл. 12.1 показывает, что по величине значения коэффициента вариации все элементы могут быть разделены на ряд групп. 1) Элементы с  $V$  меньше 33% (Ca). Крайне однородно распределённый элемент основной матрицы. При этом, такие компоненты как In, Sn, Hg с малым показателем. Показатель объясняется крайне незначительным размером выборки (3 пробы). 2) Близкой к однородной группе распределения с коэффициентом вариации меньше 70%, можно считать такие элементы как Na, Mg, K, P. Они, также как кальций, относятся в организме человека к макроэлементам и, преимущественно, входят в состав матрицы. 3) Такие элементы как Li, Si, Sc, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ga, As, Rb, Zr, Mo, Sb, Cs, Ba, W, Lu, U со значениями коэффициента вариации 70–100%, образуют группу химических элементов с неоднородным характером распределения. 4) Остальные элементы с коэффициентом вариации больше 100% имеют крайне неравномерное распределение. Особенно это характерно для Zn, Cu, Pb, Y, Bi, Au, Ge, Nb, Tb, имеющим коэффициент вариации более 200%. О величине разброса частных значений изученных элементов и об общих закономерностях их средних величин можно судить по рис. 12.4.

Из анализа рис. 12.4 видно, что распределение элементов в зольном остатке организма человека подчиняется основным законам геохимии. Прежде всего чётко реализуется закон Кларка-Вернадского-Менделеева о распространённости химических элементов, а также выполняется правило Оддо-Гаркинса для четных и нечетных элементов, что было отмечено нами ранее, при изучении отдельных органов и тканей человека и живого вещества вообще (Рихванов и др., 2008; Рихванов и др., 2010; Рихванов и др., 2013).

Анализ табл. 12.1 и рис. 12.4 позволяет выделить несколько групп элементов, которые концентрируются в ЗООЧ в разных количествах:

- более 100000: Ca;
- от 1000 до 100000: Na, P, Mg, Si, K, Zn, Fe;
- от 100 до 1000: Al, Ti, Cr, Mn, Cu, Ba;
- от 10 до 100: Ni, Sr, Sb, Pb;
- от 1 до 10: Li, B, V, Co, Ga, As, Se, Rb, Zr, Nb, Mo, Ag, Sn, La, Ce, Au, Br, Bi;
- от 0,1 до 1: Sc, Cd, Ge, Y, Cs, Yb, Hf, Ta, W, Th, U, Nd, Sm;
- менее 0,1: Be, In, Pr, Eu, Gd, Tb, Dy, Er, Tm, Pt, Hg, Tl.

О причинах сильной изменчивости содержаний элементов в ЖВ мы неоднократно писали (Рихванов и др., 2008 и др.). На наш взгляд, такая высокая вариативность в уровнях накопления химических элементов в ЖВ определяется, прежде всего, следующими основными причинами:

1. **Неоднородностью состава самого исследуемого ЖВ**, изучаемого на различных структурных уровнях его организации: субклеточном (органеллы), клеточном, организменном, видовом, популяционном и т. д.
2. **Стадией физиологического развития и состояния ЖВ**, которые зависят от времени суток, сезона года, степени освещенности, возраста, пола и ряда других параметров, существенно определяющих уровень накопления элементов. Наиболее ярким примером изменения концентрации элементов от возраста биологического вида может служить К в организме человека, который определялся с использованием счетчиков импульса человека (СИЧ) по изотопу  $^{40}\text{K}$  непосредственно во всем теле. Общая когорта обследованных людей составила 2960 человек в возрасте от 1 до 79 лет. Установлено, что к 10–12 годам у женщин и к 18–20 годам у мужчин накапливается максимальное количество К, а затем его концентрация постепенно с возрастом понижается в 1,5–2 раза и к 60–70 годам у обоих полов («Человек. Медико-биологические данные», 1977).
3. **Патологическим состоянием организма** (предболезнь, болезнь различ-

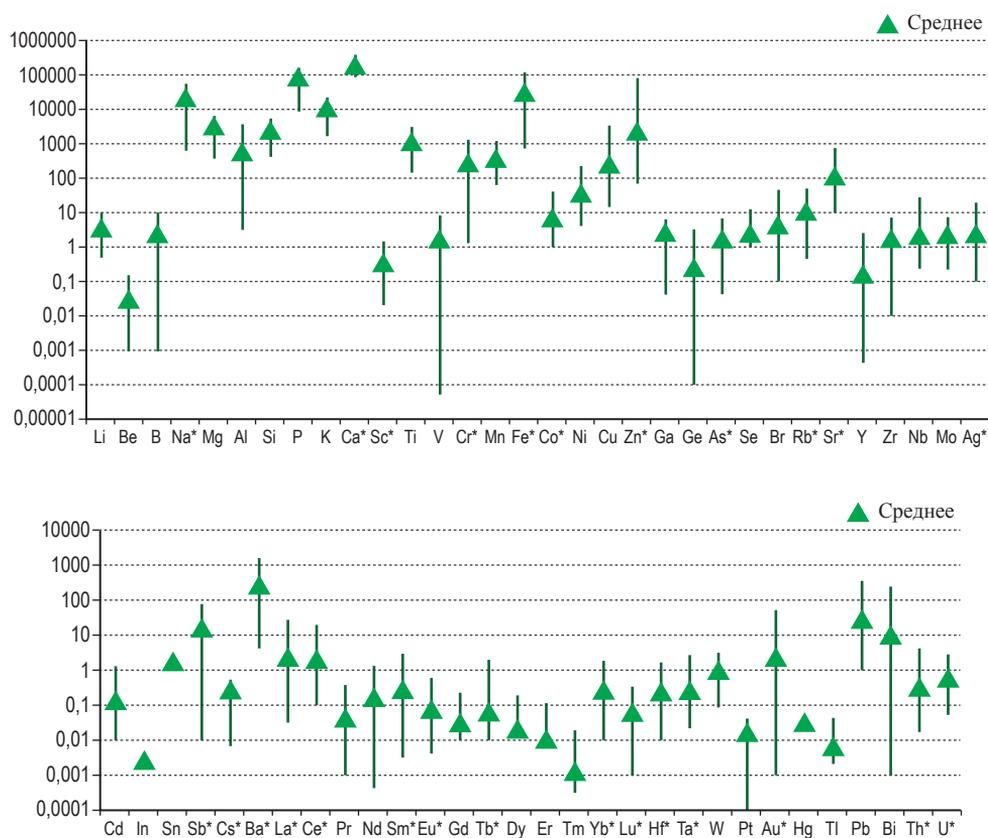


Рис. 12.4. Среднее содержание (мг/кг) и разброс частных значений химических элементов в зольном остатке организма человека. 106 проб из 5 городов России

ных стадий развития), которое во многом определяет уровень накопления химических элементов в органах и тканях ЖВ, в т.ч. человеке.

На существование взаимосвязи химии и медицины, как при возникновении заболеваний, так и их лечении обращал внимание уже Теофраст Парацельс (1493–1541), который утверждал, что все вещества яд и нет ничего чтобы не было ядом, но все определяет доза, которая делает вещество ядом или лекарством.

Исследование адаптивных сдвигов в содержании химических элементов при изменении внешних воздействий, прежде всего стрессового характера, роли химических элементов в этиологии и патогенезе различных заболеваний, индикаторных показателей и выработке корректирующих и лечебных мероприятий становятся предметом новых научных направлений и дисциплин под названием «Медицинская элементология» (Агаджанян и др., 2001, Зайчик и др., 2004; Скальный, 1999 и др.), «Микроэлементология» (Авцын и др., 1991), «Геохимическая экология здоровья» (Сусликов, 1999, 2001, 2002, 2003 ...).

Сегодня достаточно активно изучается вопрос о роли химических элементов в процессах метаболизма в ЖВ на разных структурных уровнях его организации (органелла, клетка, ткань и т.д.) и на этой проблеме накоплен большой материал, который позволяет предполагать причинно-следственные связи между уровнем накопления химических элементов и возникновением и развитием той или иной патологии (Неорганическая биохимия, 1977; Риш, 2003; Авцын и др., 1991; Ковальский, 1974; Кукушкин, 1998; Lindh, 2005 и др.).

В работах А.П. Авцына, Г.А. Бабенко, А.О. Войнар, А.А. Жаворонкова, М.Г. Коломийцевой, Л.Р. Ноздрюхиной, Л.И. Шук, А.А. Киста, Я.В. Пейве, В.Я. Шустова и др. показаны изменения тканей и органов человека при возникновении и протекании тех или иных патологий.

Именно на установлении нарушения баланса элементов в организме основана диагностика и лечение в широко практикуемых в настоящее время методах коррекции здоровья (метод А.В. Скального и др.).

Эта проблема чрезвычайно актуальна (Авцын и др., 1991 и др.), но она весьма сложна и неоднозначна, т.к. уровень элементов в ЖВ определяется чрезвычайно многими факторами. Она усложняется и тем, что по существу дела нет нормы для практически или условно здорового организма и ткани человека.

#### **4. Особенности химического состава естественной среды обитания** (ландшафтно-геохимические, климатические особенности местности, состав почв и их субстрата, наличие источников поступления аномально высоких концентраций химических элементов, формы нахождения элементов и др.), которые являются одним из основных факторов, определяющих общий химический состав ЖВ.

На это обращали и обращают внимание все без исключения исследователи, занимающиеся геохимией ЖВ. В.И. Вернадский (1960) на этом акцентировал особое внимание, отмечая, что химический элементарный состав организмов

теснейшим образом связан с химическим составом земной коры и приводил в своих статьях убедительные примеры. Он всегда подчеркивал, что изучать биологические вопросы изучением только одного, во многом автономного организма нельзя, т.к. он нераздельно связан с земной корой и вне связи с ней в природе не существует.

Эти основополагающие выводы великого ученого на зависимость химического состава ЖВ от среды обитания позднее были многократно подтверждены и логически развиты исследованиями А.П. Виноградова, В.В. Ковальского, А.И. Перельмана, В.А. Алексеенко и многими другими. Именно на этом постулате основаны биогеохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых (Н.И. Сафронов, А.П. Соловов, А.А. Сауков, Д.П. Малюга, С.М. Ткалич, Т.Т. Тайсаев, А. Левинсон и др.), создано учение о биогеохимических провинциях (А.П. Виноградов, В.В. Ковальский и др.) и о взаимосвязи этих провинций с проявлением эндемических заболеваний (А.П. Авцын, В.В. Ковальский, В.В. Ермаков, В.А. Ковда и др.), что способствовало становлению нового научного направления «Медицинская геология», активно развиваемого в настоящее время Olle Selinus (Швеция) и другими, появлению учения об микроэлементозах (Авцын и др., 1991; Москалев, 1984).

Взаимосвязь здоровья человека с геологическими факторами, в том числе геохимическими, весьма обстоятельно рассмотрены в серии публикаций, в том числе в монографии “Essentials of Medical Geology” (2005).

Следует отметить, что в составе ЖВ довольно отчетливо проявляются глобальные, региональные и локальные геохимические особенности, отражающие специфику геохимических фонов, в том числе аномально высоких. Например, Исыкульская урановая, Тувинская кобальтовая, засоленные полупустыни Южной Азии и др.

Сегодня во многих регионах закартированы йодные и безйодные, селеновые и безселеновые, мышьяковые и без такового области и провинции (рис. 12.5).

В этих, геохимически специализированных районах, областях и провинциях ЖВ, в том числе человек, чувствует себя дискомфортно и в них наиболее ярко наблюдается зависимость реакции организмов от концентрации и соотношения макро- и микроэлементов в среде его обитания, графическое представление которой в том или ином виде (рис. 12.6), широко стало известно благодаря публикации Н.Д.М. Bowen (1966) со ссылкой на Р.Е. Smith (1962), приводится практически во всех современных публикациях, в которых обсуждается проблема взаимосвязи химического состава природной среды и реакций.

- 5. Факторами среды обитания человека и ЖВ в целом, обусловленными спецификой геохимии техногенеза (Ферсман, 1937).** Уже в начале XX века В.И. Вернадский подчеркивал, что «...появление культурного человека начинает менять химический лик нашей планеты» (Вернадский 1960, С.158), тем самым предвидя те геохимические изменения в биосфере, которые произошли за последние 100–120 лет в результате техногенеза.

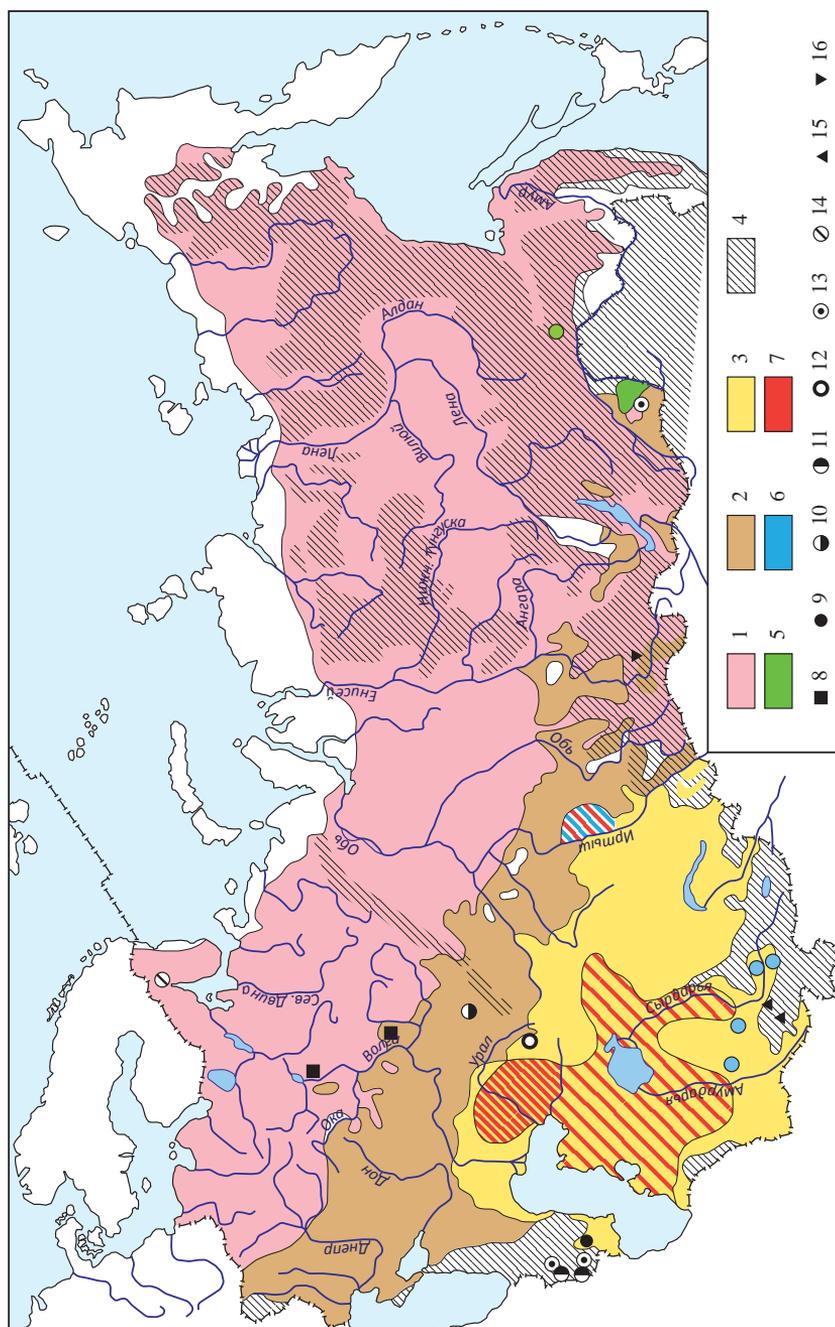


Рис. 12.5. Схематическая карта биогеохимического районирования СССР (Составил В.В. Ковальский)

Зоны: 1 – таежно-лесная нечерноземная; 2 – лесостепная и степная черноземные; 3 – сухостепная, пустынная и полупустынная; 4 – горные; 5–8: зональные биогеохимические провинции: 5 – обогатленные Sr, бедные Ca; 6 – бедные Cu, богатые Mo и сульфитами; 7 – богатые V; 8 – бедные J и Co; азональные биогеохимические и (некоторые горные) провинции: 9–16: 9 – богатые Co; 10 – богатые Cu; 11 – богатые Mo; 12 – богатые Ni; 13 – богатые Pb; 14 – богатые F; 15 – богатые Ca и Sr; 16 – богатые Se [7]

Эти вопросы, ставшие объектом обсуждения в последние годы в работах Ю.Е. Саета, А.И. Перельмана, Н.С. Касимова, Б.А. Ревича, Е.П. Янина, Л.Н. Белан и многих других, чрезвычайно сложны, но тем не менее, имеющийся материал свидетельствует о несомненном влиянии геохимической деятельности человека на химический состав всех объектов природной среды и ЖВ.

Вокруг крупных промышленных предприятий, производственных комплексов и мегаполисов формируются устойчивые природно-техногенные геохимические районы, области и провинции. К таковым на территории России и СНГ могут быть отнесены «медные» (Южный Урал), «никелевые» (Норильск, Мончегорск), «фторные» (Братск, Джамбул и др.) и др. провинции (Ермаков и др., 2003).

Так, наши исследования, проводимые в районе размещения комплекса предприятий ядерно-топливного цикла, расположенного в непосредственной близости от г. Томска) свидетельствуют о формировании природно-техногенной геохимической субпровинции площадью в несколько тысяч км<sup>2</sup> (Рихванов, 1997 и др.), признаки которой проявляются во всех объектах окружающей среды, в том числе и в ЖВ (Рихванов, 1997; Барановская, 2011 и др.). Это выражается не только в изменении геохимического спектра элементов изучаемых объектов, находящихся в разных зонах влияния предприятий, уровнях их накопления, но и в отношениях элементов между собой.

#### **6. Несовершенство аналитических методов определения химических элементов в ЖВ** может быть одной из причин существенных колебаний их содержаний.

Эта проблема касается не только анализа ЖВ, но и всех природных объектов, характеризующихся крайне неоднородным строением и распределением химических компонентов, их слагающих. Достаточно вспомнить несколько афоризмов Дэни М. Шоу (1969), известного канадского геохимика, таких как: «всякая аналитическая методика даёт хорошие результаты лишь в той лаборатории, где она была разработана» или «Геохимия это компиляция анализов неточных, невозпроизводимых и не согласующихся» (Шоу. 1969), чтобы понять, что проблема воспроизводимости, точности и достоверности применяемых аналитических методов анализа всегда была сложной проблемой и получение достоверных результатов всегда является мечтой каждого исследователя.

Для решения этой проблемы разработаны специальные процедуры оценки качества используемых методов, контроля качества анализов и т. д. В том числе

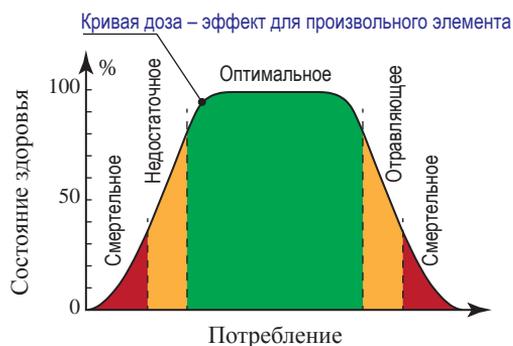


Рис. 12.6. Зависимость реакции организма от концентрации веществ в пище (Bowen N.J.M., 1966)

широко применяются методы внутреннего и внешнего контроля, интерколибровки.

Для оценки качества анализов и получения сопоставительных результатов широко используются стандартные образцы сравнения (СОС). На сегодняшний день созданы многие десятки СОС, в том числе почв, растительности, многих биологических материалов. Следует отметить, что создание подобных стандартов весьма сложная процедура, требующая прежде всего получения гомогенного по составу материала и тщательной аттестации СОС на содержание химических компонентов.

Использование СОС показало, что различные методы и лаборатории для одних и тех же стандартов могут давать результаты, отличающиеся на математические порядки, как, например, это показал В.Е. Зайчик и др. (2004) по СОС биологических материалов (волосы и др.). Исходя из этого, соответственно предъявляют особые методические подходы к отбору, подготовке и анализу проб ЖВ.

Именно через призму этих причин, определяющих концентрацию химических элементов и их вариации в ЗООЧ, мы должны рассматривать полученные результаты, представленные в таблицах и рисунках данного очерка

Первые три условно выделенные группы элементов, а их 14, относятся к III–V декадам элементов, выделенных В.И. Вернадским (1960). В I–II группы он включал O, H, C (нами они не исследовались, за исключением C, который фиксировался при энергодисперсионном анализе на электронном микроскопе). Эти элементы позднее В.В. Ковальским (1974) были включены в число, так называемых, незаменимых элементов, в число которых им были добавлены и другие 10 элементов, встречающихся в концентрациях  $10^{-1}$ – $10^{-2}\%$  – Mg,  $10^{-2}$ – $10^{-3}$  – Zn, Fe и др. (БСЭ, Т.3, 1970, С.328), а также S и N, которые нами не изучались в силу специфики используемых аналитических методов. Перечень этих элементов весьма сходен с таковым, состоящим из 19 элементов, выделенных Н.М. Bowen (1966).

Согласно нашей бигеохимической классификации химических элементов таблицы Д.И. Менделеева значительная часть из них относятся к главным и второстепенным структурообразующим элементам (см. очерк второй). Именно эти элементы чаще всего рассматриваются как «металлы жизни» (Уильямс, 1975 и др.). Их количество в структурах может быть чрезвычайно изменчиво, вплоть до того, что они могут отсутствовать.

В процессе их замещения другими металлами или с изменением их валентности могут происходить конформационные изменения биополимеров, например, переход гемоглобина в метгемоглобин при изменении валентности Fe ( $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$ ) с совершенно иными биохимическими и физиологическими свойствами (Барашков, 2011).

Ещё более контрастные вариации в содержаниях элементов и выраженность основных геохимических законов просматриваются при анализе полученной информации по отдельным городам. Приводятся данные только по тем выборкам, в которых в расчётах участвуют 30 и более проб (рис. 12.7; рис. 12.8).

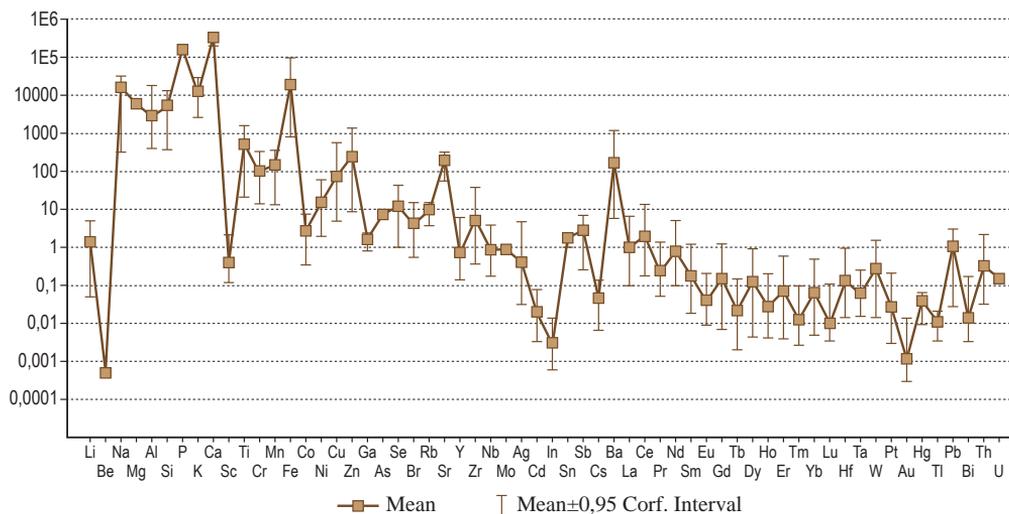


Рис. 12.7. Распределение химических элементов в ЗООЧ (мг/кг) жителей г. Новокузнецка (37 проб)

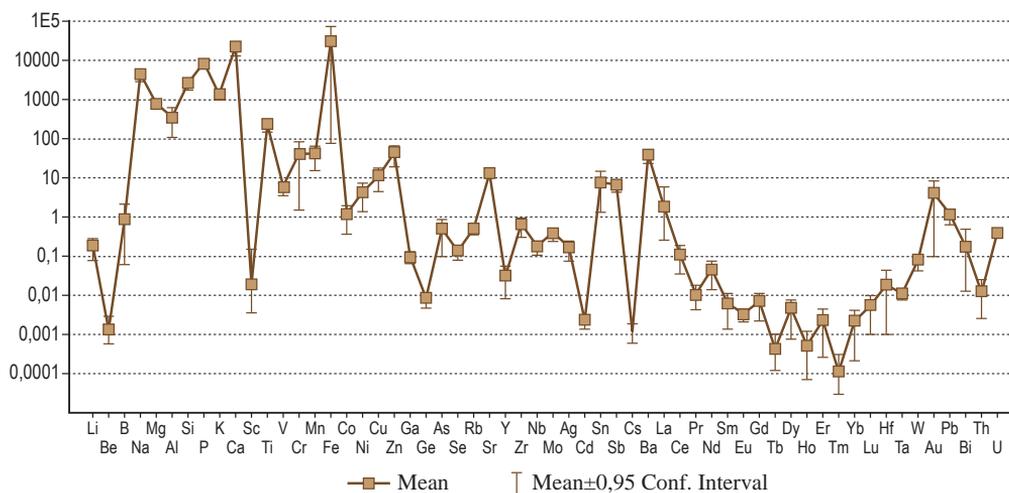


Рис. 12.8. Распределение химических элементов в ЗООЧ (мг/кг) жителей г. Новосибирска (30 проб)

Анализ кривых распределения элементов в зольном остатке организма мужчины и женщины по всей совокупной выборке (рис. 12.9) показывает, что уровни накопления элементов в них практически мало отличаются, за исключением Zn, Ce, Sr, Tb, Ag, Au, содержание которых несколько выше у мужчин, тогда как Nd, Eu, Lu, Hf, Ta, Th накапливаются более существенно у женщин. Возможно, высокое накопление цинка, стронция, церия и тербия в организме мужчины может быть результатом воздействия производственных факторов. Это можно видеть при рассмотрении аналогичных графиков, но построенных по отдельным выборкам городов (рис. 12.10., рис. 12.11).

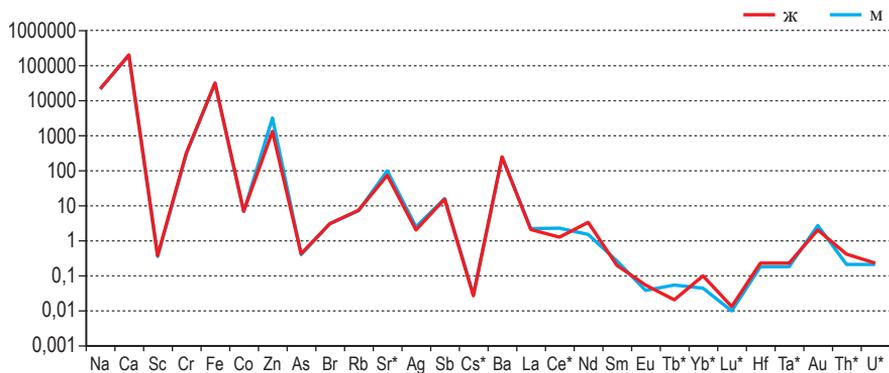


Рис. 12.9. Кривая распределения средних содержаний элементов в ЗООЧ (мг/кг) по половому признаку. Использованы только данные ИНАА, размер выборки 100 проб; соотношение полов 50/50)

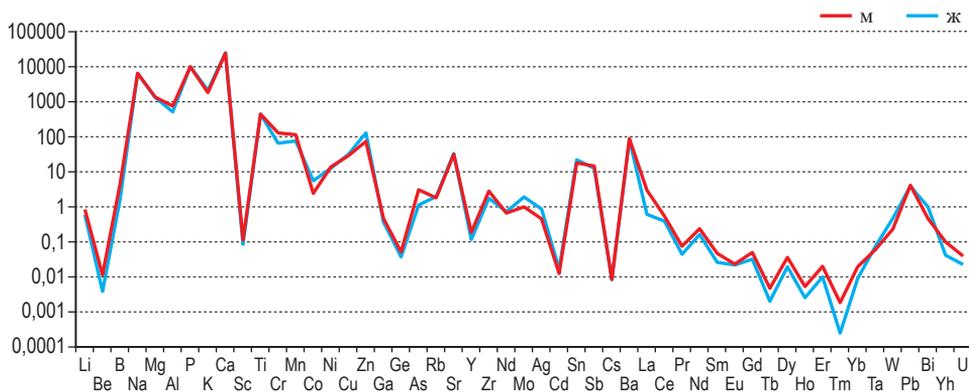


Рис. 12.10. Кривая распределения средних содержаний элементов в ЗООЧ (мг/кг) жителей г. Новокузнецка в зависимости от пола

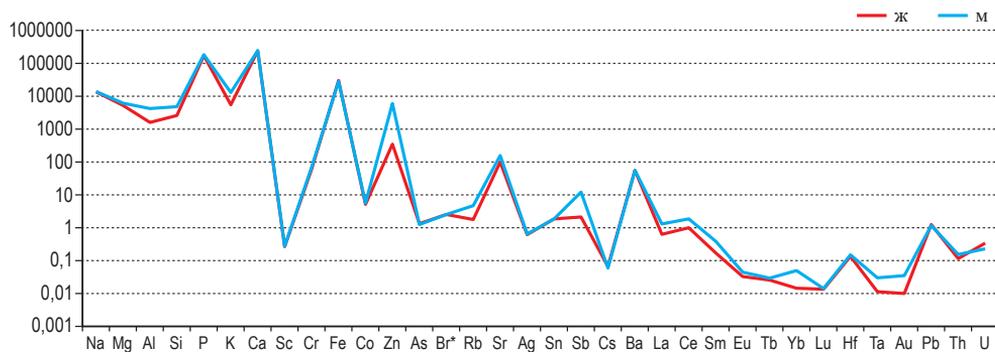


Рис. 12.11. Кривая распределения средних содержаний элементов в ЗООЧ (мг/кг) жителей г. Новосибирска в зависимости от пола

Так, у женщин г. Новокузнецка содержание редких земель, радиоактивных элементов ниже чем у мужчин, а Zn, Mo и Ag выше. У женщин г. Новосибирска содержание в ЗООЧ Al, Si, K, Rb, , Sb, Ta, Au и редких земель ниже чем у мужчин. На наш взгляд, это отражает прежде всего факторы производства и ,по-видимому, курения.

Примерно такие же закономерности отмечаются и для ЗООЧ других, изученных нами городов, за исключением материала из г.Ростова-на-Дону, в котором в зольном остатке женщин концентрации многих химических элементов, включая редкие и радиоактивные выше чем в таковом у мужчин. Исключение составляют Pb, Ag, Bi. Но, к сожалению выборка для данного населённого пункта мала (12 проб), и эта проблема должна рассматриваться после получения новых материалов.

Анализ графиков распределения содержания элементов по возрасту (рис. 12.12) показывает, что в основном элементы в зольном остатке различных возрастных групп накапливаются идентично.

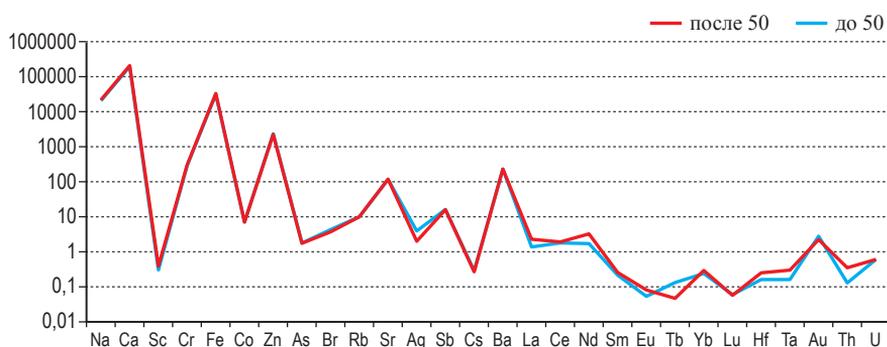


Рис. 12.12. Кривые распределения средних содержаний элементов в ЗООЧ (мг/кг) по возрастам. Приведены данные только по ИНАА; размер выборки: 100 проб; соотношение возрастных групп 19/81

Однако некоторые элементы (La, Hf, Ta, Th, Nd) концентрируются больше в возрастной группе старше 50 лет, что может указывать на их аккумулятивный эффект. Ag, Tb, Au имеют тенденцию к накоплению в более молодой когорте.

Особенности региональных различий в химическом составе ЗООЧ начинают хорошо просматриваться при анализе полученных данных по городам (табл. 12.2).

#### 12.4. Уровни и характер распределения химических элементов в зольном остатке организма человека

Даже самый общий анализ табл. 12.2 показывает, что ЗООЧ изученных городов отличаются по количеству максимально концентрирующихся элементов в данной матрице. Так, по этому показателю может быть построен следующий ряд урбанизированных территорий(в скобках указано количество максимально

встречающихся элементов): Новокузнецк (16) – Санкт-Петербург (14) – Екатеринбург (11) – Ростов-на-Дону (10) – Новосибирск (4).

На наш взгляд, это косвенно может свидетельствовать о степени эколого-геохимической нагрузки на ту или иную урбанизированную территорию.

О геохимической специфике этих изученных городов можно судить и по коэффициенту концентрации, рассчитанному как отношение содержания элемента в ЗООЧ данного города к его содержанию во всей совокупной выборке (по 106 пробам). Эти показатели приведены в табл. 12.3.

Таблица 12.3

## Геохимические ряды ЗООЧ различных городов

Город	Геохимические ряды
Новокузнецк	$Tm_{5,8} - Y_{5,75} - Ho_{5,44} - Er_{4,5} - Dy_{4,5} - Gd_{4,1} - Pr_{4,0} - Se_{3,9} - Al_{3,9} - As_{2,5} - Zr_{2,1} - P_{1,9} - Si_{1,7} - Mg_{1,6} - U_{1,5} - Sr_{1,5} -$
Новосибирск	$Au_{3,4} - Cr_{1,6} - Co_{1,5} - Bi_{1,5} -$
Екатеринбург	$Br_{7,8} - Cd_{4,5} - Nb_{4,1} - Cs_{3,4} - Sr_3 - Rb_{2,8} - Ni_{2,5} - V_{2,4} - Ba_{1,9} - Pb_{1,8} - Hf_{1,7} - Th_{1,7} - K_{1,5} - Na_{1,5} - Ti_{1,5} -$
Санкт-Петербург	$Tb_{3,6} - Cs_{2,4} - Lu_{2,3} - Sm_{1,9} - Ce_{1,9} - Cu_{1,8} - Ge_{1,7} - Sb_{1,6} - Mn_{1,6} - Ag_{1,6} - Mo_{1,6} - Ga_{1,6} - Zn_{1,5} - Ti_{1,5} - W_{1,5} - Na_{1,5} - Li_{1,5} -$
Ростов-на-Дону	$Bi_{5,5} - Yb_{4,6} - Ta_{4,6} - Th_{4,4} - Eu_{4,1} - Tb_{3,8} - La_{2,8} - Hf_{2,8} - Rb_{2,6} - Pr_{2,4} - Ag_{2,2} - Ce_{2,1} - Dy_{2,1} - Er_2 - Ho_{1,8} - Pb_{1,7} - Cr_{1,6} - Sc_{1,5} - Y_{1,5} -$

Примечание: приведены элементы с коэффициентом концентрации 1,5 и выше.

Анализ этой таблицы и круговых диаграмм, построенных по этим коэффициентам (рис.12.13), показывает, что ЗООЧ каждого города имеет свои специфические геохимические особенности.

Геохимические особенности ЗООЧ изученных городов просматриваются не только по уровням накопления изученных элементов и их ассоциациям (рис. 12.14, 12.15), но и по характеру корреляционных связей между собой и их отношениям (табл.12.2).

Так, например, по величине Th/U отношения в ЗООЧ все изученные территории могут быть разделены на две группы: территории с урановой (Новокузнецк, Санкт-Петербург) и ториевой (Екатеринбург, Ростов-на-Дону) природой радиоактивности. И этому надо давать объяснение. В качестве рабочей гипотезы можно предположить, что в г. Новокузнецке используются на металлургических заводах руда с уран-железорудных объектов Горной Шории, например месторождение Таштагол и др (Рихванов, 2002 и др.), а под городом Санкт-Петербургом и в его окрестностях известны комплексные урановые проявления (Машковцев и др., 2010). Возможно существуют и другие причины, но их надо исследовать. Это касается и других отношений, имеющих резкое различие от природных, отличающихся на порядки между собой и природных отношений, например в континентальных осадках (Тейлор,Мак-Ленано, 1988), особенно в достоверно значимых выборках (г. Новокузнецк, Новосибирск).

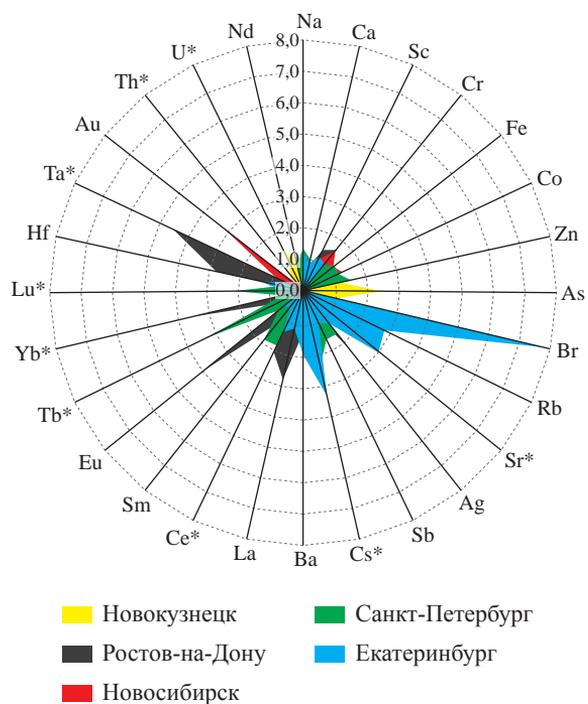
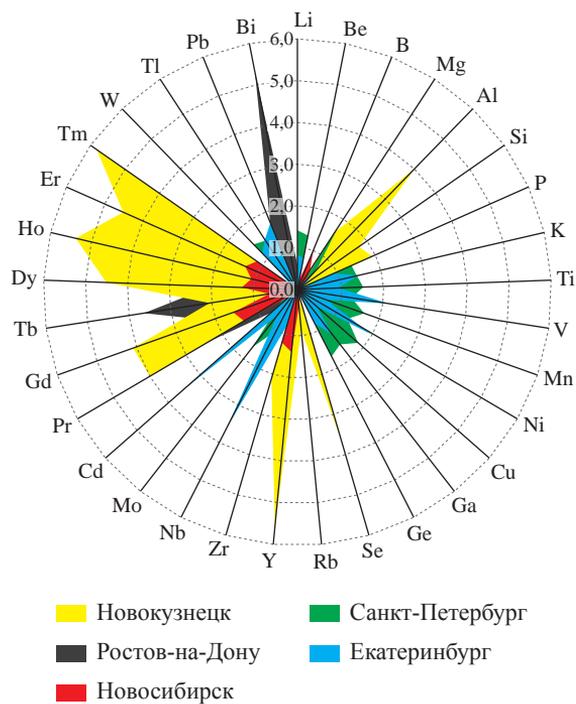


Рис. 12.13. Круговая диаграмма коэффициентов концентрации элементов в 3004 различных городов по данным ИСП-МС (а) и ИНАА (б)

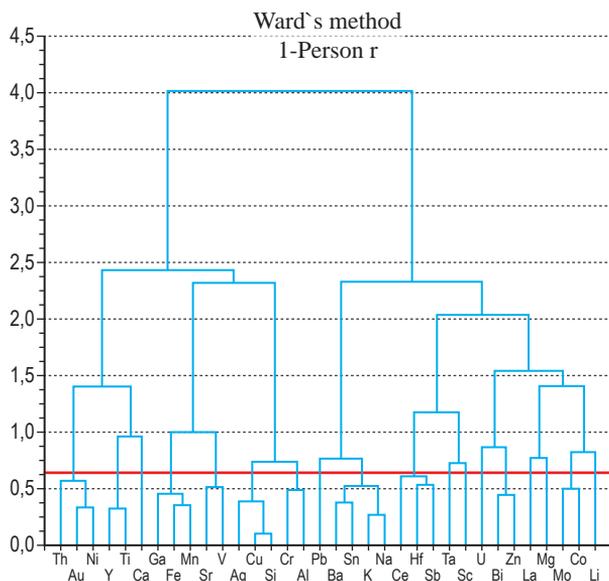


Рис. 12.14. Дендрограмма корреляционной матрицы геохимического спектра элементов в зольном остатке организма человека – жителей г. Новосибирска ( $1\text{-Person } r_{0,05} = 0,64$ ; объем выборки – 30 проб)

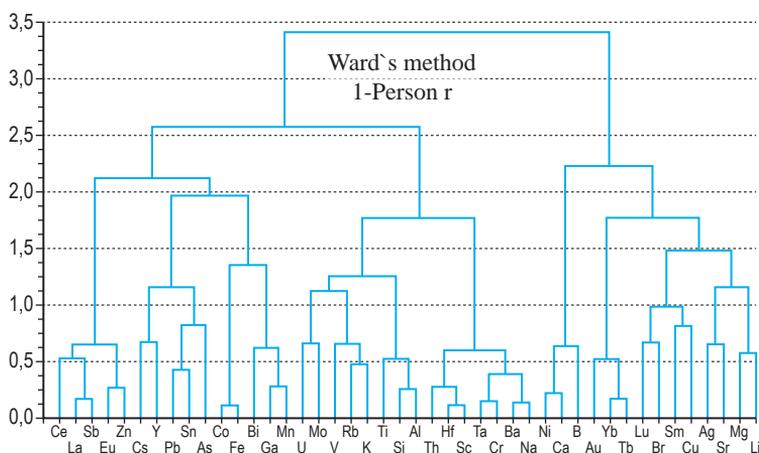


Рис. 12.15. Дендрограмма корреляционной матрицы геохимического спектра элементов в зольном остатке организма человека – жителя г. Новокузнецка ( $1\text{-Person } r_{0,05} = 0,77$ ; объем выборки – 37 проб)

Установлено, что в ЗООЧ из г. Новосибирска отмечается 15 значимых ассоциаций элементов (рис. 12.14), а для зольного остатка жителей г. Новокузнецка их насчитывается уже 27 (рис. 12.15).

Анализ диаграммы парных корреляций, построенной только по данным ИНАА для всей выборки из 106 проб, позволяет выделить ярко выраженную группу химических элементов, которую условно можно отнести по своему про-

исхождению к металлургической, которая через Cr связана с группой элементов угольно-энергетического характера (рис. 12.16).

Элементы из одной группы могут заменять друг друга, так как обладают схожими химическими свойствами, например, такой связью обладают в организме человека кальций и стронций [36]. Следует обратить внимание, что связи золото-хром и золото-кобальт, очень четко прослеживаются в Новосибирске.

Зольный остаток организма человека из города Новокузнецка характеризуется повышенным содержанием редко определяемой подгруппы редкоземельных элементов, к которым относятся Tm, Ho, Er, Dy, Gd, Pr, а так же Y, Se, Al, As, Zr (кларк концентрации больше 2). Кроме того, с кларком концентрации больше 1,5 в ЗООЧ жителей этого города отмечают P, Si, Mg, U, Sr. Обращает на себя внимание, что P, Si, Mg, U в таких количествах концентрируется только в ЗООЧ этого города.

По результатам расчета коэффициентов парной корреляции Пирсона выявлено, что значимые взаимосвязи между парами элементов в ЗООЧ из г. Новокузнецка находятся в пределах значений коэффициентов от 0,32 до 0,88. Наибольший интерес представляют следующие ассоциации элементов: 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 воздействием ОАО «Новокузнецкий алюминиевый завод», который в своем производстве использует криолит ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ). Наличие ассоциаций Br с Ba, Lu, Hf, Th ( $r \approx 0,33-0,5$ ), вероятно, можно объяснить наличием месторождений углей с функционирующими на их базе добычными предприятиями.

Обращает на себя внимание существование прямой значимой корреляционной связи Fe и Co (рис. 12.17).

Известно, что лантаноиды широко используют в качестве добавок к чугунам и сталям для повышения их жаропрочности, механической и коррозионной устойчивости.

Возможно это отнести также к Y, Zr. Таким образом, в геохимической специфике проявляется влияние металлургического комплекса города, которое подтверждается и высокими концентрациями других элементов. Так высокие концентрации Al могут быть результатом деятельности алюминиевого производства. Кроме того, по данным МАГАТЭ плавильное производство характеризуется вы-

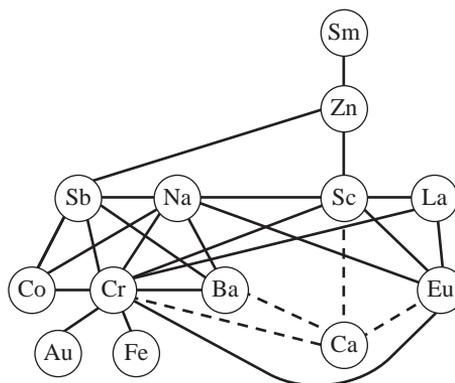


Рис. 12.16. Диаграмма парных корреляционных связей для всей выборки ЗООЧ (пунктиром показаны отрицательные связи)

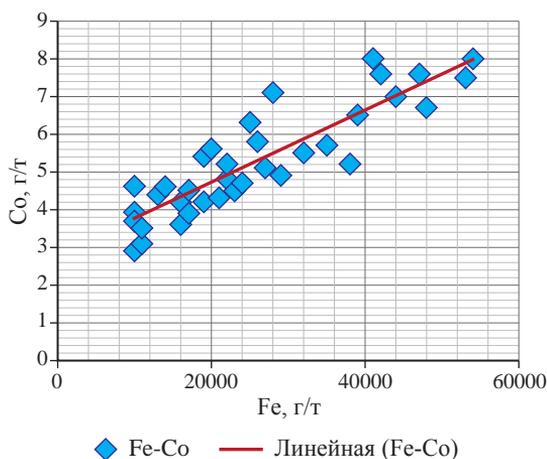


Рис. 12.17. График корреляционной зависимости железа и кобальта в ЗООЧ из г. Новокузнецка

Возможно предположить, что геохимическая специфика ЗООЧ в г. Новокузнецке в какой-то мере определяется геохимической спецификой геологических формаций, пользующихся развитием в данном районе, в т.ч. редкометалльно специализированными углями (Арбузов и др., 2000).

Абсолютно своей геохимической спецификой отличается ЗООЧ г. Новосибирска. Наибольший коэффициент концентрации в ЗООЧ данного города имеет Au ( $K_k=3,4$ ). Его максимальная концентрация обнаружена в зольном остатке мужчины 57 лет (50,1 мг/кг) и у женщины 45 лет (35 мг/кг. Минимальное значение для Au установлено у женщины 45 лет (0,71 мг/кг), но оно также превышает значения для данного элемента в ЗООЧ других городов. С кларком концентрации 1,5 и выше отмечаются также Cr, Co, Bi. Кроме того, по данным эмиссионного спектрального анализа в материале из данного города отмечено существенное (до 0,н%) присутствие Sn (в таблицы не включен).

Специфика г. Новосибирска, как и Новокузнецка, весьма чётко отражается и на тройных диаграммах (рис. 12.18).

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

На наш взгляд, основными источниками поступления химических элементов в организм человека – жителя г. Новосибирска, зафиксировавшимися в его зольном остатке могут быть: прежде всего, аффинажный завод (Au, Ag), Оловокомбинат (Sn, Bi, Sb), а также ТЭЦ и ГРЭС, работающие на угле (Cr, Ti, V, Co, TR и др.), завод химконцентратов (U, Li), (Девятова, 2006). Известно, что в качестве исходного сырья на оловокомбинате используются оловянные концентраты, свинцово- и оловосодержащие минералы, помимо олова в исходном сырье содержатся Pb, As, S, Zn, In, Fe, Sb и др. (Папуга, 2002, «Экогеохимия...», 1996). Девятова А.Ю. (2006) отмечает, что почвы, воды и донные отложения г. Новосибирска загрязне-

бросами следующих элементов: As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Se, Sb, Zn (Фронтасьева, 2011).

Многие из этих элементов концентрируются в ЗООЧ г. Новокузнецка, например, мышьяк, селен, цинк, что вновь указывает на металлургическую специфику ЗООЧ. Однако следует обратить внимание и на низкую концентрацию таких элементов как Cr, Cd, Cu, Ni, а также Mn и V по сравнению с другими городами, несмотря на то, что эти элементы широко используются промышленностью города.

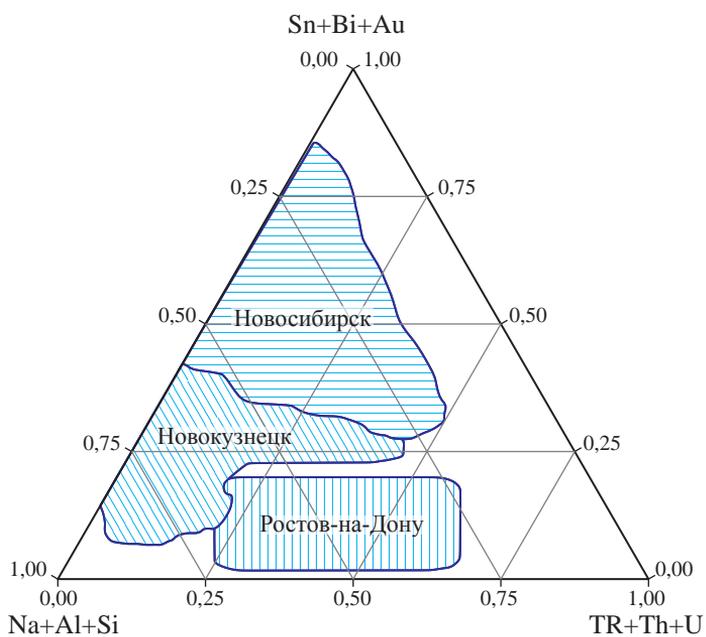
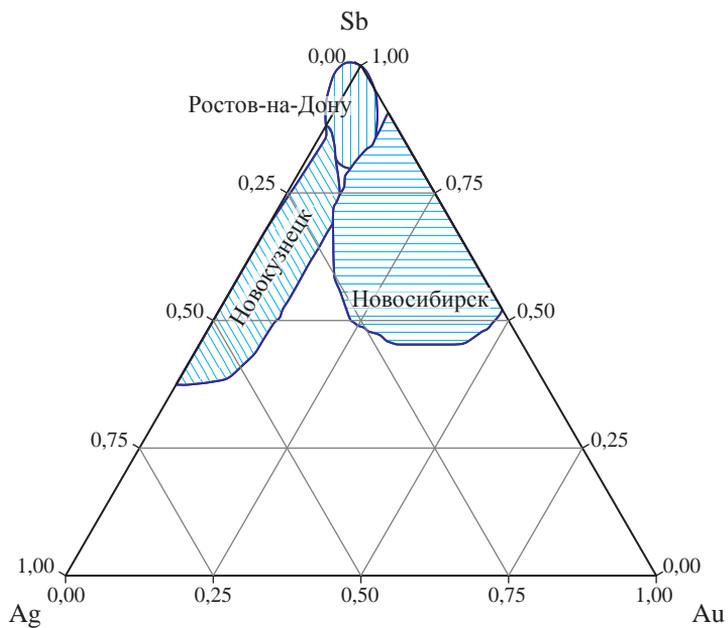
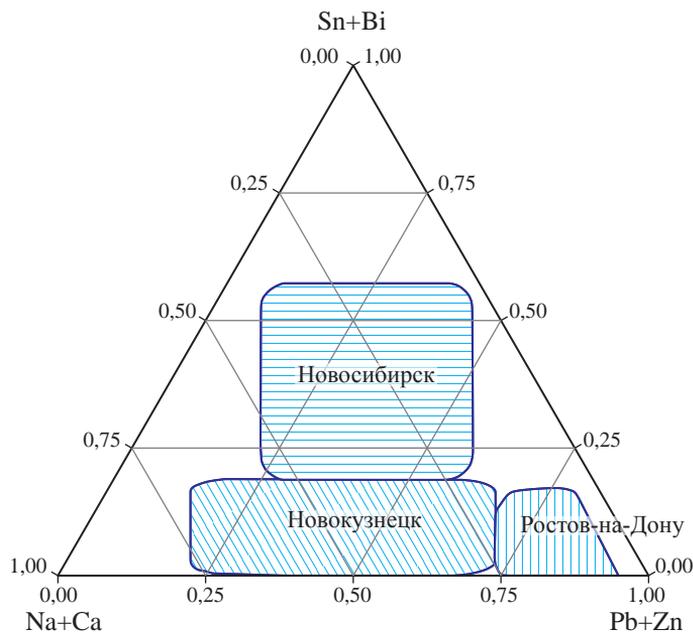


Рис. 12.18. Тройная диаграмма некоторых специфических химических элементов в зольном остатке организма человека трёх городов России: Новокузнецк, Новосибирск, Ростов-на-Дону (по 11 пробам), демонстрирующая их геохимическую индивидуальность



Окончание рис. 12.18.

ны элементами As, Ni, Cu, Zn, Cd, Te, Br, Sb, Th, U, Sn, Ag, Pb, это свидетельствует о комплексном характере загрязнения многих компонентов природной среды. Выбросы НОК имеют максимальную концентрацию загрязняющих веществ среди всех предприятий, такие элементы как: As, Sn, Sb, Cd, Se, Te, Ag, имеют повышенные концентрации, как в реках, так и почвах г. Новосибирска, характерны для выбросов Оловокомбината (Артамонова и др., 2007, 2012).

Кроме этого, НОК может являться источником загрязнения городской среды As, Tl, Cd, Hg. Эколого-геохимическая съемка г. Новосибирска (1989–1991 гг.) выявила повышенные содержания Sn в почвах Ленинского, Октябрьского районов, а в ряде случаев вблизи НОК в листьях тополя содержание Sn составило 0,2% (по устному сообщению главного геолога СФ «Березовгеология» г. Новосибирска Г.М. Комарницкого).

Выбросы ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 практически идентичны по химическому составу: Sb, Ge, Ni, Nb, V, Cr, Ti, Se, U, Th, это связано с оборудованием и используемым сырьем на данных предприятиях. Высота трубы ТЭЦ-5 в 2,5 раза больше, чем у ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3, поэтому аэрозольные выбросы разносятся на более дальние расстояния и загрязнение происходит на большей площади, с меньшими концентрациями. Элементы, преобладающие в выбросах Nb, Mo, Fe, Sr, Th, U, Se, Br, I (Девятова, 2006).

Золотая специфика ЗООЧ жителей г. Новосибирска в какой-то мере, вероятно, может быть обусловлена общей геохимической специализацией региона, которая зафиксирована при изучении углей Западной Сибири и торфов Томского региона, характеризующейся наличием ярко выраженной ассоциацией и по-

вышенными содержаниями Au, Sb и ряда других компонентов (Арбузов, 2005, Межибор, 2009). Более того, вблизи г. Новосибирска известны многочисленные месторождения Au в корах выветривания (Росляков и др., 2001).

Но наиболее вероятным источником его поступления является аффинажный завод, находящийся в городской черте и функционирующий много десятков лет, на котором производится доочистка золота со всех месторождений Сибири и Дальнего Востока. По-видимому, при существовавшей технологии происходили потери Au и было его поступление в среду обитания человека. Косвенным подтверждением этого являются данные о том, что при реконструкции аффинажного завода из почв заводской территории, строительных и отделочных материалов после их переработки было получено 630 кг золота и 4,5 тонны серебра.

Следует обратить внимание и на низкую концентрацию цинка и меди в ЗООЧ г. Новосибирска. Пониженное содержание данных элементов наблюдается в ЗООЧ многих новосибирцев. Это может быть связано с большим количеством Sn в организме человека, которое по данным Реброва В.Г. и др. (2008) может препятствовать накоплению цинка и меди в организме человека.

ЗООЧ из г. Екатеринбурга также характеризуется повышенным содержанием некоторых элементов с кларком концентрации больше 3, таких как Br, Cd, Nb, Cs, Sr, а также Rb, Ni, V, кларк концентрации которых больше 2. Наибольшим коэффициентом концентрации обладает бром ( $K=7,8$ ). Несмотря на то, что бром – летучий элемент, он, тем не менее, концентрируется в ЗООЧ г. Екатеринбурга в большом количестве. Наибольшее значение данного элемента обнаружено в зольном остатке женщины 78 лет (48 мг/кг) и в ЗООЧ у малолетнего ребёнка (39 мг/кг). Данный элемент, наряду со стронцием, может быть результатом воздействия нефтехимического производства, выбросы которого содержат данные элементы (Языков, 2006). В геохимическом ряду ЗООЧ этого города отмечается кадмий ( $K_k=4,5$ ). Кадмий, как и другие элементы, является спутником многих видов промышленности, к числу которых относятся черная и цветная металлургия, производство удобрений и т. д. Металлургический комплекс на территории Екатеринбурга развит, но кадмий – элемент, поступающий в организм, в том числе с курением (Нестеров, 2011), поэтому говорить об источнике поступления данного элемента сложно, так как более точной информацией о ЗООЧ, чем пол и возраст, мы не располагаем.

В медицинской литературе (Барашков, 2011) описан механизм нарушения метаболизма металлов, в том числе железа и кальция при избыточном поступлении кадмия. В ЗООЧ г. Екатеринбурга наблюдается действие данного механизма, так как коэффициент концентрации кальция равен 0,9, а железа – 0,1. Количество железа в данном населённом пункте чрезвычайно низкое (4088 мг/кг, что почти в 8 раз ниже его среднего содержания в исследуемом материале), и это требует своего отдельного изучения и рассмотрения.

Содержание Au в исследуемом материале из этого города (0,1 мг/кг) выше чем в таковом из г. Новокузнецка и Санкт-Петербурга и в отдельных пробах достигает 0,5 мг/кг.

Кроме того, в геохимическом ряду г. Екатеринбурга как и в Санкт-Петербурге вновь прослеживается высокая концентрация цезия Cs ( $K=3,4$ ). Екатеринбург находится в 30-км зоне влияния Белоярской АЭС, а в регионе функционировали и функционируют предприятия ядерно-топливного цикла, в том числе на которых происходили аварийные ситуации с поступлением радионуклидов, например  $^{90}\text{Sr}$ , в окружающую среду.

В ЗООЧ из Санкт-Петербурга с кларком концентрации больше 1,5 отмечено 17 элементов (табл. 12.3). При этом, 14 из них отмечаются в максимальных количествах. К ним в первую очередь относится тербий ( $K=3,6$ ) и цезий ( $K=2,4$ ), Lu ( $K=2,3$ ). Так как Санкт-Петербург отличается чрезвычайно широкой специализацией промышленности, то в данном случае чрезвычайно сложно говорить о возможных источниках поступления в ЗООЧ данных элементов. Так, например, высокое содержание германия в окружающей среде, с одной стороны, характерно для производства полиэтилена (Нестеров, 2011), с другой, для оптического производства. Такие предприятия имеются на территории Санкт-Петербурга. Кроме того, германий и другие элементы: тербий, лютеций, самарий, церий и т. д. – широко используются в оптико-шлифовальном производстве (Барашков, 2011). Также следует обратить внимание на концентрации меди ( $K=1,8$ ) и марганца ( $K=1,6$ ) в ЗООЧ исследуемого города. При ежегодном мониторинге состояния окружающей среды в реках города выявлены значительные концентрации данных элементов с превышением ПДК до 34 раз (Доклад..., 2013). Концентрации меди и марганца могут быть связаны с воздействием металлургического комплекса города, наряду с молибденом, цинком, вольфрамом и железом. Сегодня трудно даже предположительно говорить о возможных источниках их поступления, но то что они существуют это несомненно.

Зольный остаток организма человека из г. Ростова-на-Дону характеризуется в первую очередь высокой, по сравнению с другими городами, концентрацией Вi. Висмут – элемент, широко применяющийся в металлургии для создания легкоплавких соединений, химической – для производства красок и других видов промышленности (Барашков, 2011). Определенное количество висмута поступает в организм женщины с косметикой, прежде всего губной помадой (Нестеров, 2011), однако, в ЗООЧ мужчины данный элемент концентрируется в большем количестве, чем у женщины. Высокие концентрации висмута, вероятно, могут быть связаны с деятельностью завода по производству эмалей и красок в Ростове-на-Дону. Кроме того, имеются данные о значительном превышении содержания цинка в почвах данного предприятия, так как одним из направлений является производство цинковых белил. ЗООЧ также характеризуется относительно высоким содержанием цинка ( $K=1,4$ ). Золотоносность зольного остатке в данном объекте составляет 0,25 мг/кг.

Кроме того, в ЗООЧ данного города обнаруживаются самые высокие концентрации редкоземельных и радиоактивных элементов: La, Ce, Yb, Eu, Tb, Pr, Dy Ta, Hf, Sc, Th, и другие. Именно эти элементы представляют яркую геохимическую особенность ЗООЧ этой урбанизированной территории. Источник их поступле-

ния в ЗООЧ неясен, по данным мониторинга в почве и воздухе города не обнаружены избыточные концентрации данных элементов (О состоянии..., 2013). Возможно, что они и не определялись, т.к. не относятся к числу обязательных для мониторинга химических элементов. Ярко выраженная Th-Nf – редкоземельная специализация ЗООЧ из Ростова-на-Дону может быть обусловлена как техногенными факторами: деятельностью многочисленных предприятий города, использующих эти компоненты в своих производствах, а также работой ТЭЦ (Кизильштейн, 2002 и др.). Можно также предположить, что в районе Ростова-на-Дону в осадочных толщах локализуются титан-циркониевые россыпи, являющиеся продолжением Северо-Кавказской провинции титан-циркониевых песков. Если это действительно так, то эта геохимическая специализация должна отразиться в таких природных средах как почва, вода, растения. Об этом косвенно может свидетельствовать тот факт, что в г. Ростове-на-Дону отмечается повышенное содержание радона в зданиях и помещениях (удельная активность до 200 Бк/м<sup>3</sup>). Кроме того, отмечается, что концентрация радона в почвенном воздухе повышается с глубиной (Государственный доклад..., 2013). Решение о такой геохимической специфике ЗООЧ из г. Ростова-на-Дону требует постановки специальных исследований.

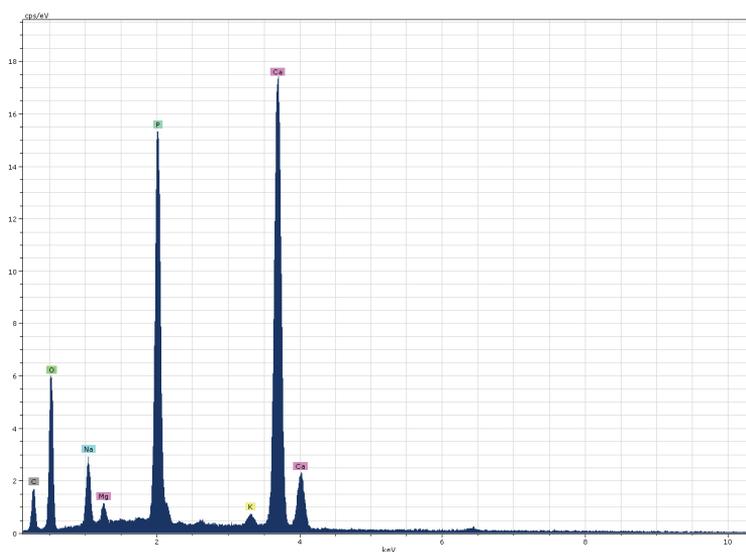
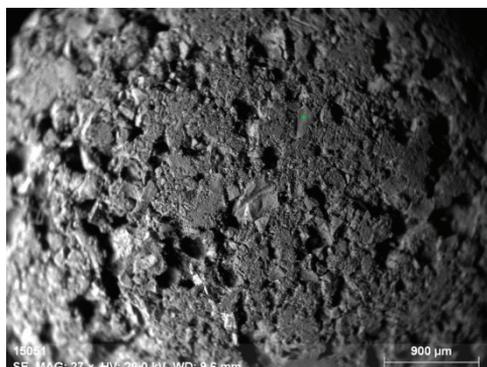
### **12.5. Формы нахождения химических элементов в зольном остатке организма человека**

В природе существует большое количество форм нахождения элементов в природных материалах. В первом приближении они могут быть разделены на две группы: структурообразующие, в том числе главные и второстепенные и неструктурообразующие (сорбированные, захваченные в процессе роста, аквакомплексы и т.д.) элементы. Первые образуют собственные минеральные фазы, в которых могут находиться элементы в виде изоморфных примесей, согласно правил изоморфизма В. Гольдшмидта, тогда как вторые рассеяны по всей массе.

Основная масса исследованных проб представлена порошком серого цвета с размером фракции меньше 0,01 мм. Основная масса зёрен имеет изометричный, коротко- и длинно-призматического облик или неправильную формы (рис. 12.19). Зачастую наблюдаются слипшиеся между собой агрегаты. Размеры отдельных зёрен колеблются от первых до первых сотен микрон, при средней величине первые десятки микрон.

Следует отметить, что ЗООЧ представляет собой преобразованный под действием высоких температур материал, поэтому он не может в полной мере отражать минералогический состав организма человека, которых на сегодняшний день насчитывается около нескольких десятков. Основным минералом в организме человека является гидроксилapatит, так как из него в большей степени состоят кости и другие органо-минеральные агрегаты организма человека.

Минеральный состав матрицы по данным порошковой дифрактометрии практически во всех пробах идентичен и по основным линиям соответствует



Element	AN	series	Net	[wt. %]	[norm. wt. %]	[norm. at. %]	Error in %
Carbon	6	K-series	2695	3,956889	3,735535	6,87584	1,186912
Oxygen	8	K-series	17246	45,95984	43,38879	59,95507	6,020862
Sodium	11	K-series	8236	3,859309	3,643414	3,503693	0,283988
Magnesium	12	K-series	2422	0,795341	0,750849	0,682982	0,075212
Phosphorus	15	K-series	65808	14,55675	13,74243	9,808929	0,593193
Potassium	19	K-series	3028	0,804919	0,759891	0,42968	0,054973
Calcium	20	K-series	103024	35,99256	33,97909	18,74381	1,08135
			Sum:	105,9256	100	100	

Рис. 12.19. Общий вид матрицы ЗООЧ (а), её энергодисперсионный спектр в точке, отмеченной крестиком (б) и элементный состав данной минеральной фазы (в)

структуре гидроксилapatита (рис. 12.20). Некоторое усложнение дифрактограмм было отмечено в пробах из города Ростова-на-Дону, но установить присутствие в них новых фаз не удалось. По видимому, в данном случае наблюдается искажение структуры гидроксилapatита зольного остатка за счёт изоморфного вхождения в него редких земель и тория, которые весьма характерны для данного материала из г. Ростова-на-Дону. Но их содержание в основной матрице ниже предела обнаружения энергодисперсионным спектрометром (менее 0,1 %).

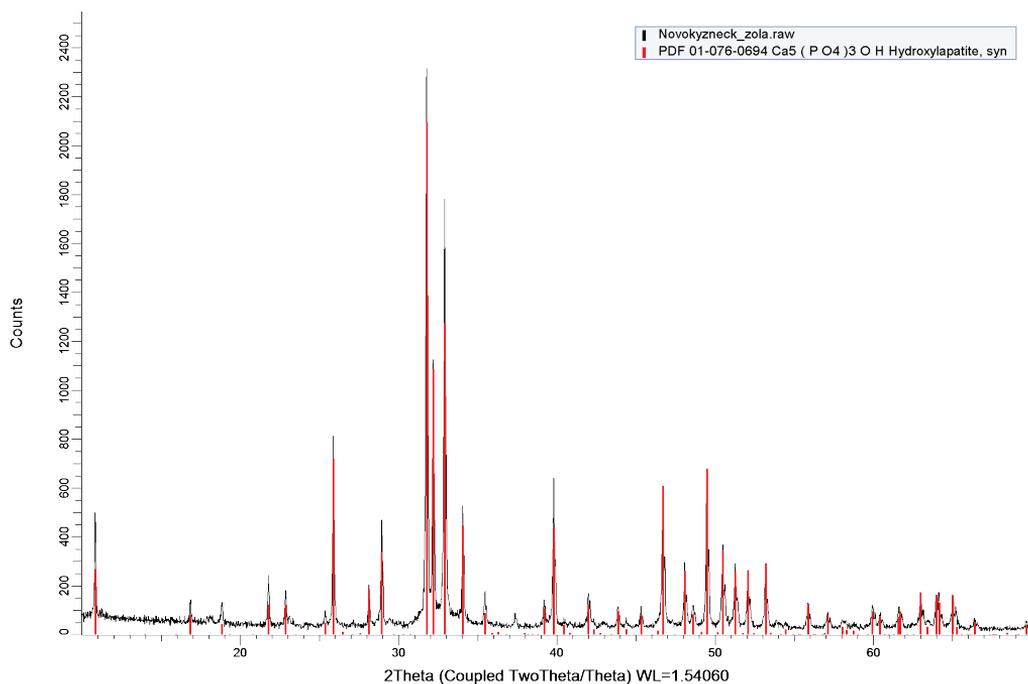


Рис. 12.20. Дифрактограмма ЗООЧ. Съёмка выполнена на порошковый дифрактометре D2 PHASER фирмы "Bruker". Аналитик С.Н. Путилин. Красными линиями показано положение пиков, соответствующих синтетическому гидроксилapatиту

Изучение химического состава минеральных агрегатов матрицы без видимых включений с помощью электронного микроскопа (табл. 12.4) показало, что их состав соответствует составу гидроксилapatита с примесью Na, Mg, K, иногда S, Si, Cl.

Этот состав близок к таковому (Ca – 36,06–37,44%; P – 3,3–6,4; Na – 0,67–0,83; Mg – 0,30–1,11), приводимому для костной ткани человека LeGeros (Петровская и др., 2011), Скоблиным и др., 1968. Исследуемый нами материал содержит более низкие концентрации P, но более высокие – Na и K.

Распределение главных 5 структурообразующих элементов в фазах гидроксилapatита равномерное и однородное (рис. 12.21 а, б, в). Распределение K, Na близко к однородному. Такой характер распределения этих элементов может говорить о их вхождении в структуру гидроксилapatита. Но иногда они образуют

Таблица 12.4

## Содержание элементов в ЗООЧ по данным анализа минеральных фаз основной матрицы

Элемент	Среднее с ошибкой, %
O	40,3±2,8
Ca	26,8±7,1
C	13,6±9,06
P	10,3±2,3
Na	4,4±0,8
K	1,9±0,7
Mg	1,3±0,5
Сумма	98,6

Примечание: Элементный состав получен по данным энергодисперсионного анализа на на приставке "Bruker" к электронному микроскопу Hitachi... Аналитик С.С. Ильенко.

собственные минеральные фазы, которые имеют точечный, локальное характер распределения (рис. 12.21 г, д).

В гидроксилapatитовой матрице ЗООЧ отмечается присутствие разнообразных микрофаз химических элементов, образующих крайне неоднородно распределённые образования размером от первых микрон до первых десятков микрон.. Данные включения имеют разнообразный состав. Точная диагностика минеральных фаз проведена из-за отсутствия технических средств. В табл. 12.5 представлен перечень химических элементов, для которых установлены собственные минеральные формы в ЗООЧ, и их встречаемость по городам.

Из анализа табл. 12.5 видно, что для 26 из изученных 61 химического элемента в ЗООЧ установлены собственные минеральные фазы. При этом, одни из них присутствуют повсеместно во всех изученных городах (гидроксилapatит, оксиды железа), тогда как другие наблюдаются спорадически (микроминеральные фазы Si, Cu, Ba, Cl, S и др.) или крайне редко (самородное золото и др.).

Некоторая информация о морфологии, размерах и составе встреченных микроминеральных формах элементов представлена на рис. 12.22–12.32.

Минеральные фазы, найденные в пробах зольного остатка организма человека г. Санкт-Петербурга: ниобиевая с железом и титаном (рис. 12.22), серебро-содержащая (рис. 12.23) ниобиевая с титаном, стронцием, железом (рис. 12.24).

Минеральные фазы, найденные в зольном остатке организма человека г. Новосибирска, представлены торий-редкоземельной (La, Ce, Nd) (рис. 12.25), церий-железосодержащей (рис. 12.26), цинксодержащей (рис. 12.28) фазами, а также минеральной фазой самородного золота (рис. 12.27).

Минеральные фазы, найденные в зольном остатке организма человека г. Ростова-на-Дону, представлены в основном интерметаллическими соединениями (Ti-Zn, Fe-Al-Zn и др.), также Fe с серой (рис. 12.29), калий-хлорсодержащими с многочисленными примесями (рис. 12.30) и барий-серосодержащими минеральными фазами.

Минеральные фазы, найденные в зольном остатке организма человека г. Екатеринбург, представлены калий-хлорсодержащими фазами с примесью меди, алюминия, железа и т. д., барий-серосодержащими (рис. 12.31) и т. д.

При этом, практически во всех пробах отмечаются минеральные фазы железа (вероятно оксидная форма), бария, вероятно, в форме барита (рис. 12.31), цинка с Fe (рис. 12.32), интерметаллические соединения Zn (рис. 12.33). Практически повсеместное присутствие бария возможно связано с тем, что до 70% бария, поступившего в организм с едой, уходит в костную ткань (Авцын, 1991).

Выявление микроскопических фаз минерального вещества в ЗООЧ, нередко экзотического по своему составу, свидетельствует о сложной трансформации вещества при высокотемпературном озолении, об интенсивном перераспределении химических элементов с образованием большого количества микроминеральных фаз.

Состав минеральных фаз, в какой-то мере, наследует геохимические особенности озольяемого материала, что особенно характерно для ЗООЧ г. Новосибирска (золото).

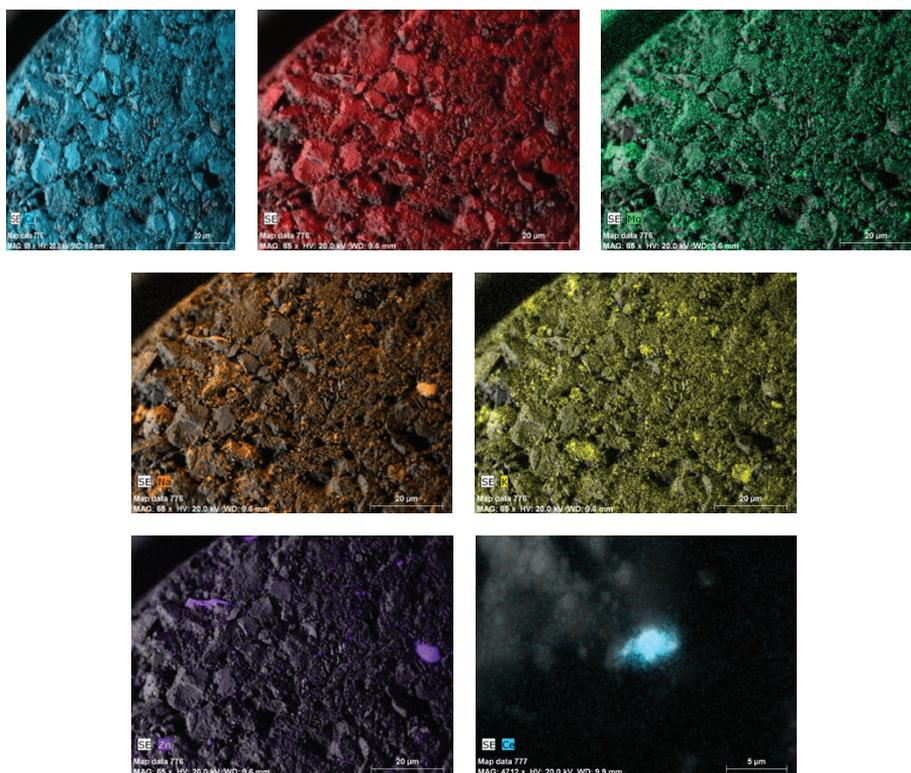


Рис. 12.21. Характер распределения элементов в матрице ЗООЧ. Наблюдается повсеместно две основные формы нахождения химических элементов в гидроксилapatитовой основной массе. 1. Главные структурообразующие равномерно распределённые элементы матрицы ЗООЧ (а – Ca, б – P, в – Mg); 2. Структурообразующие элементы матрицы как равномерно распределённые, так и, образующие собственные микрофазы в матрице (г – Na, д – K); 3. Элементы, образующие только собственные минеральные микрофазы: е – Zn, ж – Cu

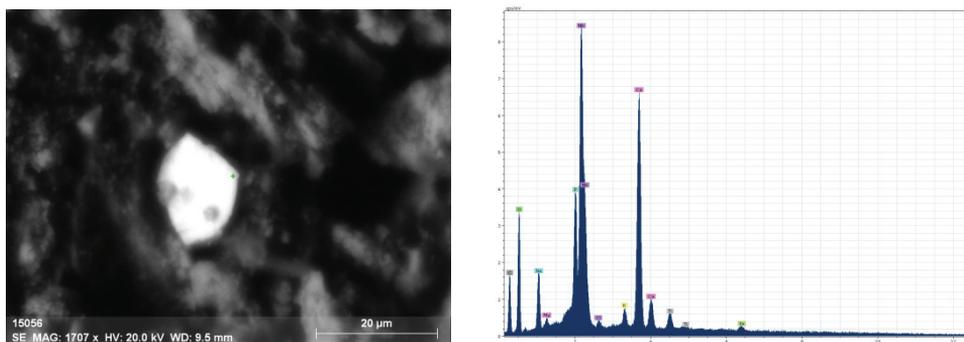
Таблица 12.5

## Химические элементы, минеральные формы которых обнаружены в зольном остатке человека по данным электронно-микроскопического анализа

Город Элемент	Новокузнецк	Новосибирск	Екатеринбург	Ростов-на-Дону	Санкт-Петербург
C	○	○	○	○	○
O	○	○	○	○	○
Na	○	○	○	○	○
Mg	○	○	○	○	○
P	○	○	○	○	○
K	○	○	○	○	○
Ca	○	○	○	○	○
Cl		+	+	+	+
Si		+	+	+	
Fe	+	+	+	+	+
Zn				+	+
Al		+		+	+
Cu			+	+	
S		+	+	+	+
Ba		+	+	+	
Ti				+	+
Nb					X
Mn				+	+
Pb			X		
Co			X		
Sr					X
Ag		+			+
Au		X			
La		X			
Ce		X			
Th		X			

Примечание: ○ – матричные элементы, + – элементы, встреченные в пробах двух и более городов, X – специфичные элементы.

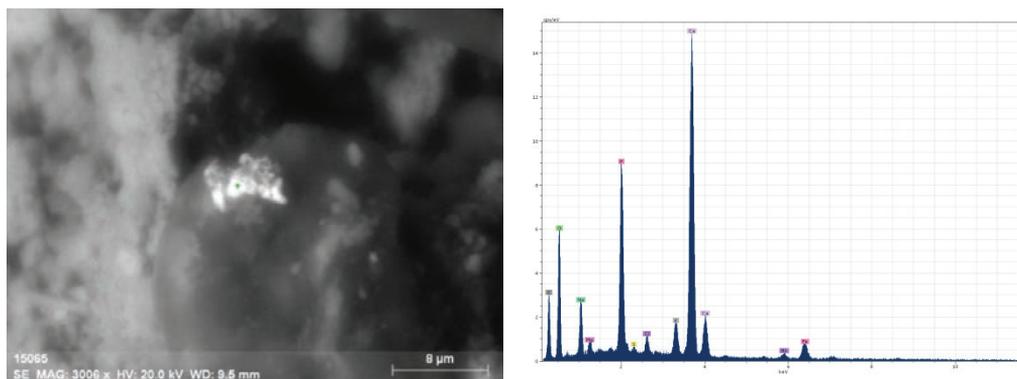
Итак, материалы, представленные в данном очерке дают наглядное представление о том, что в ЗООЧ фиксируется в тех или иных количествах весь спектр изученных элементов, что подтверждает мысль В.И. Вернадского, о том, что в любом материальном объекте мы найдём все химические элементы, известные в таблице Д.И. Менделеева. Существуют только ограничения в их количественном определении. Но это дело времени.



Element	AN	series	Net	[wt. %]	[norm. wt. %]	[norm. at. %]	Error in %
Carbon	6	K-series	6467	5,251244	5,193735	12,6244	1,462431
Oxygen	8	K-series	15747	27,15492	26,85754	49,00864	19,06011
Sodium	11	K-series	8070	4,216614	4,170435	5,296109	0,308196
Magnesium	12	K-series	961	0,362619	0,358648	0,430807	0,051316
Phosphorus	15	K-series	26568	5,785426	5,722067	5,393481	0,380306
Chlorine	17	K-series	2011	0,670708	0,663363	0,546276	0,056712
Potassium	19	K-series	5961	1,716906	1,698103	1,267991	0,083447
Calcium	20	K-series	61926	18,32536	18,12467	13,20305	0,565738
<b>Titanium</b>	22	K-series	3876	<b>1,246748</b>	1,233095	0,751887	0,066457
<b>Iron</b>	26	K-series	1789	<b>0,831245</b>	0,822142	0,429791	0,056092
<b>Niobium</b>	41	L-series	94356	<b>35,54548</b>	35,1562	11,04756	1,401966
			Sum:	101,1073	100	100	

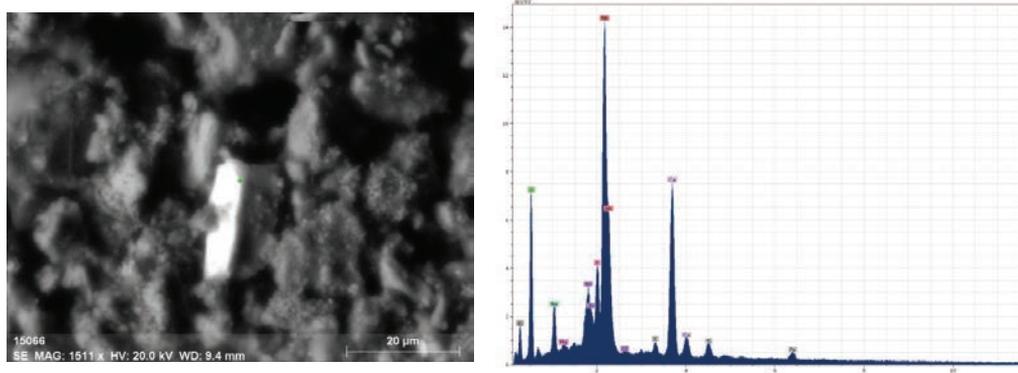
Рис. 12.22. Ниобиевая фаза с титаном, железом в фосфатной матрице ЗООЧ г. Санкт-Петербурга: а – общий вид; б – её энерго-дисперсионный спектр; в – химический состав

Здесь и далее в таблицах состава выделены элементы минеральной фазы и их содержания. Все остальные элементы являются элементами матрицы.



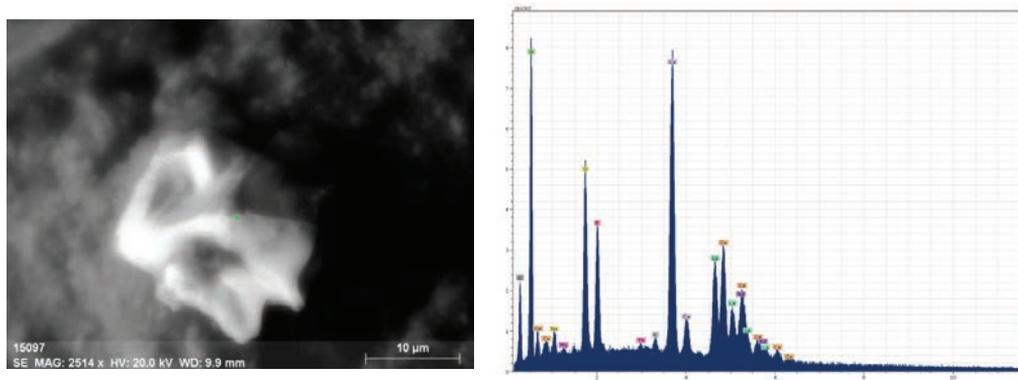
Element	AN	series	Net	[wt. %]	[norm. wt. %]	[norm. at. %]	Error in %
Carbon	6	K-series	11912	9,587492	9,676922	20,88454	2,279528
Oxygen	8	K-series	12839	31,0445	31,33408	50,76684	4,228247
Sodium	11	K-series	7275	2,219956	2,240663	2,526439	0,174749
Magnesium	12	K-series	509	0,122887	0,124033	0,132284	0,03523
Phosphorus	15	K-series	17988	3,743098	3,778013	3,161814	0,174728
Sulfur	16	K-series	25729	<b>5,219567</b>	5,268254	4,258815	0,216391
Chlorine	17	K-series	10194	2,254717	2,275749	1,663956	0,177481
Potassium	19	K-series	6189	1,602035	1,616979	1,072046	0,095552
Calcium	20	K-series	31133	11,56289	11,67074	7,548477	0,372997
Iron	26	K-series	1791	1,289428	1,301456	0,604083	0,073218
<b>Silver</b>	47	L-series	85088	<b>30,42927</b>	<b>30,71311</b>	7,380707	1,310507
			Sum:	99,07583	100	100	

Рис. 12.23. Серебросодержащая фаза в фосфатной матрице 3004 г. Санкт-Петербурга; а – общий вид; б – её энергодисперсионный спектр; в – химический состав



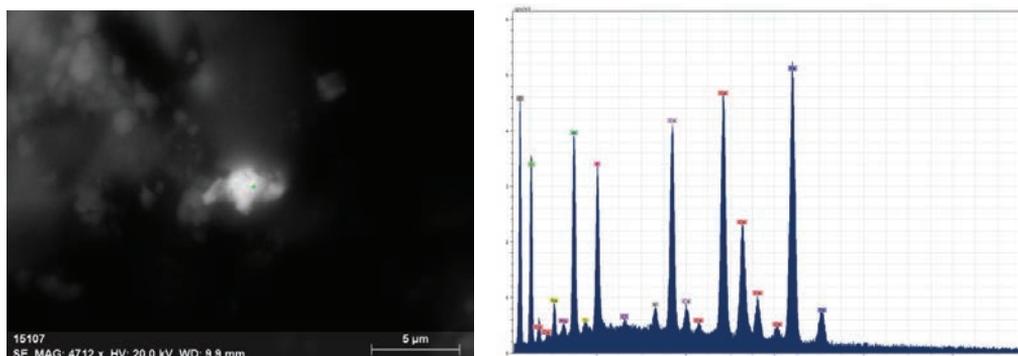
Element	AN	series	Net	[wt. %]	[norm. wt. %]	[norm. at. %]	Error in %
Carbon	6	K-series	4075	2,732108	3,01148	7,179735	0,819991
Oxygen	8	K-series	25917	31,53601	34,76072	62,21466	17,18868
Sodium	11	K-series	8272	2,249852	2,479911	3,088937	0,175955
Magnesium	12	K-series	197	0,037026	0,040812	0,048084	0,004018
Phosphorus	15	K-series	19523	2,848425	3,139691	2,902689	0,233282
Chlorine	17	K-series	1358	0,307652	0,33911	0,273905	0,04159
Potassium	19	K-series	4266	0,867445	0,956146	0,700284	0,055709
Calcium	20	K-series	55310	12,65475	13,94876	9,966375	0,39901
<b>Titanium</b>	22	K-series	5301	1,551074	<b>1,709679</b>	1,022511	0,074422
<b>Iron</b>	26	K-series	3078	1,274777	<b>1,405129</b>	0,720484	0,067525
<b>Strontium</b>	38	L-series	21796	5,155124	<b>5,682261</b>	1,857058	0,246973
<b>Niobium</b>	41	L-series	118276	29,50887	<b>32,5263</b>	10,02528	1,221742
			Sum:	90,72311	100	100	

Рис. 12.24. Ниобиевая фаза с титаном, стронцием, железом в фосфатной матрице 3004 г. Санкт-Петербурга: а – общий вид; б – её энергодисперсионный спектр; в – химический состав



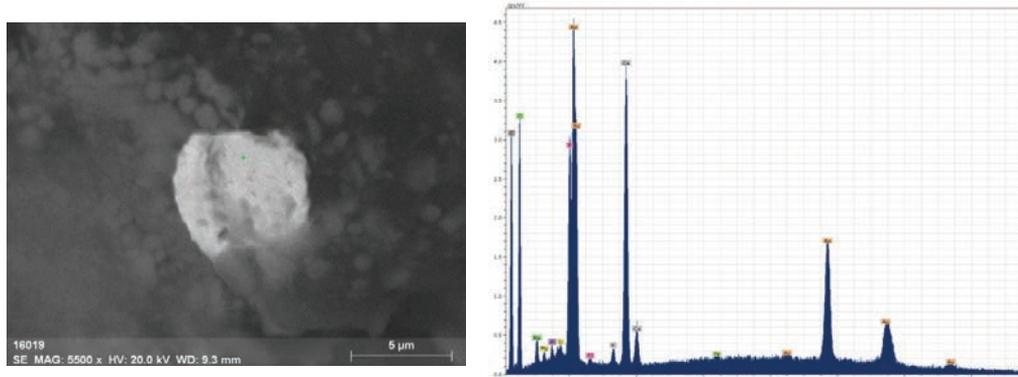
Element	AN	series	Net	[wt. %]	[norm. wt. %]	[norm. at. %]	Error in %
Carbon	6	K-series	4952	6,132285	5,98133	13,61523	1,277271
Oxygen	8	K-series	24876	37,53942	36,61533	62,5699	4,730983
Sodium	11	K-series	1831	0,729382	0,711428	0,846062	0,093943
Magnesium	12	K-series	357	0,119447	0,116506	0,131057	0,036226
Silicon	14	K-series	22659	4,564574	4,452211	4,334109	0,22411
Phosphorus	15	K-series	16009	3,567145	3,479335	3,071203	0,168262
Potassium	19	K-series	3575	0,694584	0,677486	0,473749	0,050222
Calcium	20	K-series	52728	11,93258	11,63885	7,93981	0,377934
<b>Lanthanum</b>	57	L-series	35326	<b>15,14855</b>	14,77565	2,908261	0,572155
<b>Cerium</b>	58	L-series	38874	<b>17,29919</b>	16,87334	3,292359	0,720357
<b>Neodymium</b>	60	L-series	7885	<b>3,816758</b>	3,722803	0,705652	0,251509
<b>Thorium</b>	90	M-series	2381	<b>0,979852</b>	0,955732	0,112612	0,064873
			Sum:	102,5238	100	100	

Рис. 12.25. Торий-редкоземельная фаза в фосфатной матрице 3004 г. Новосибирска: а – общий вид; б – её энергодисперсионный спектр; в – химический состав



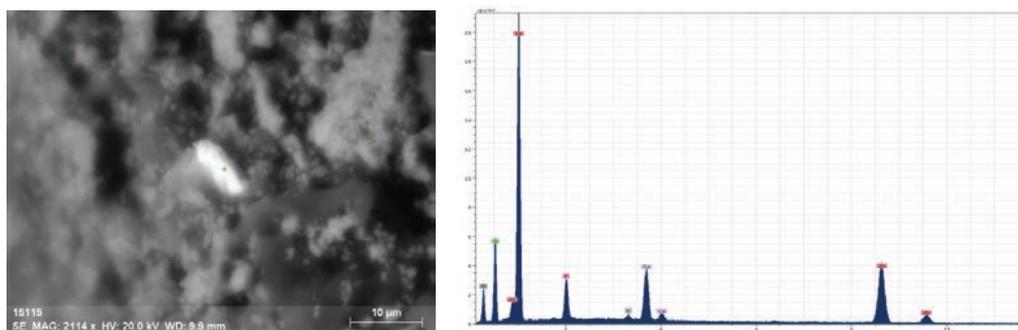
Element	AN	series	Net	[wt. %]	[norm. wt. %]	[norm. at. %]	Error in %
Carbon	6	K-series	14312	15,45339	13,06967	32,27621	3,383869
Oxygen	8	K-series	13178	19,11049	16,16265	29,96444	2,601941
Sodium	11	K-series	3194	2,635225	2,228735	2,875552	0,213969
Magnesium	12	K-series	1439	0,774928	0,655394	0,799842	0,077472
Aluminium	13	K-series	18754	7,571082	6,403224	7,039296	0,395731
Silicon	14	K-series	1398	0,378257	0,31991	0,337865	0,046162
Phosphorus	15	K-series	16732	4,509427	3,813837	3,652291	0,205822
Chlorine	17	K-series	1191	0,263514	0,222866	0,186463	0,03782
Potassium	19	K-series	3628	0,791298	0,669239	0,507715	0,053651
Calcium	20	K-series	30740	7,631358	6,454203	4,776764	0,253218
<b>Iron</b>	26	K-series	49298	25,90683	<b>21,91064</b>	11,6373	0,727388
<b>Cerium</b>	58	L-series	70782	33,2128	<b>28,08964</b>	5,946252	0,943344
			Sum:	118,2386	100	100	

Рис. 12.26. Железо-цериевая фаза в ЗООЧ г. Новосибирска: а – общий вид; б – её энергодисперсионный спектр; в – химический состав



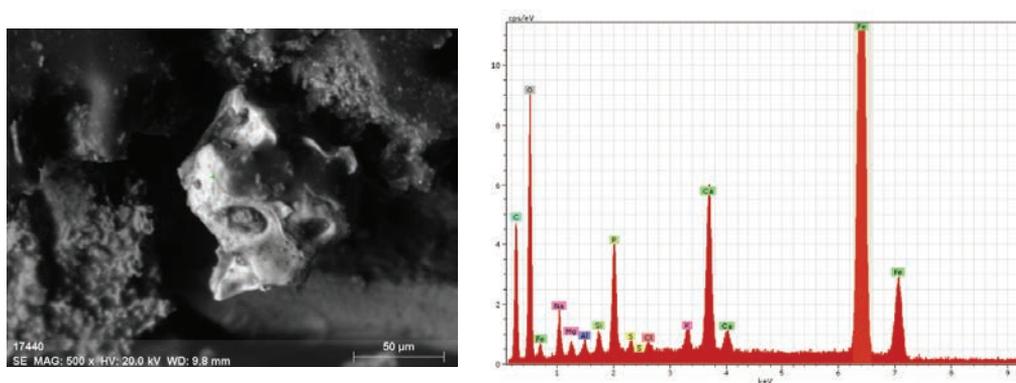
Element	AN	series	Net	[wt. %]	[norm. wt. %]	[norm. at. %]	Error in %
Carbon	6	K-series	11972	8,444767	6,811739	20,82751	1,840679
Oxygen	8	K-series	14676	17,73531	14,3057	32,83704	2,38413
Sodium	11	K-series	1879	2,155591	1,738748	2,777541	0,18625
Magnesium	12	K-series	584	0,467592	0,37717	0,569902	0,062674
Aluminium	13	K-series	919	0,598907	0,483092	0,657539	0,06468
Silicon	14	K-series	1194	0,577372	0,465721	0,608979	0,128854
Phosphorus	15	K-series	19264	11,05233	8,915057	10,57034	0,783082
Chlorine	17	K-series	688	0,617464	0,49806	0,51593	0,078149
Potassium	19	K-series	1858	1,352378	1,090859	1,024635	0,080238
Calcium	20	K-series	37062	29,14254	23,50703	21,54023	0,892616
Iron	26	K-series	1419	0,724681	0,584544	0,384393	0,05375
<b>Gold</b>	79	L-series	38466	51,10479	<b>41,22228</b>	7,685961	1,513188
			Sum:	123,9737	100	100	

Рис. 12.27. Минеральная фаза самородного золота в гидроксилapatитовой матрице: а – общий вид; б – энергодисперсионный спектр; в – элементный состав



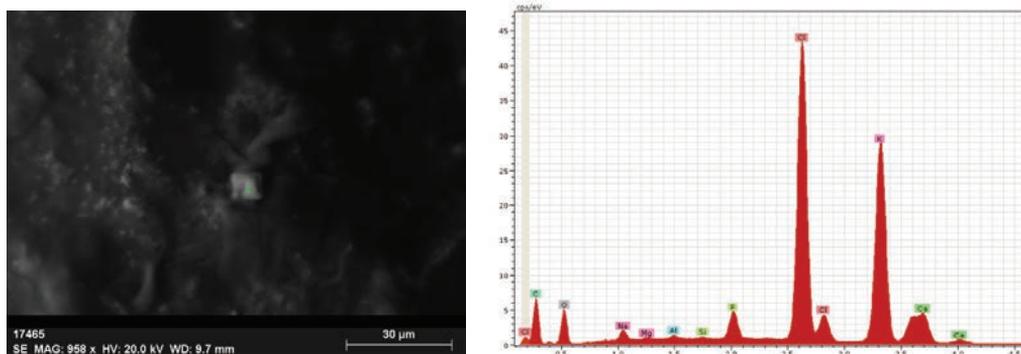
Element	AN	series	Net	[wt. %]	[norm. wt. %]	[norm. at. %]	Error in %
Carbon	6	K-series	4190	6,856718	7,369741	17,5739	1,499622
Oxygen	8	K-series	12686	25,32928	27,22443	48,73604	3,457451
Phosphorus	15	K-series	9560	4,636283	4,983172	4,607944	0,215643
Potassium	19	K-series	1412	0,589887	0,634022	0,464453	0,050663
Calcium	20	K-series	16975	8,171508	8,782905	6,276642	0,274477
Zinc	30	K-series	27842	47,45511	51,00573	22,34101	1,344637
			Sum:	93,03878	100	100	

Рис. 12.28. Zn-содержащая фаза в фосфатной матрице 3004 г. Новосибирска: а – общий вид; б – энергодисперсионный спектр; в – элементный состав



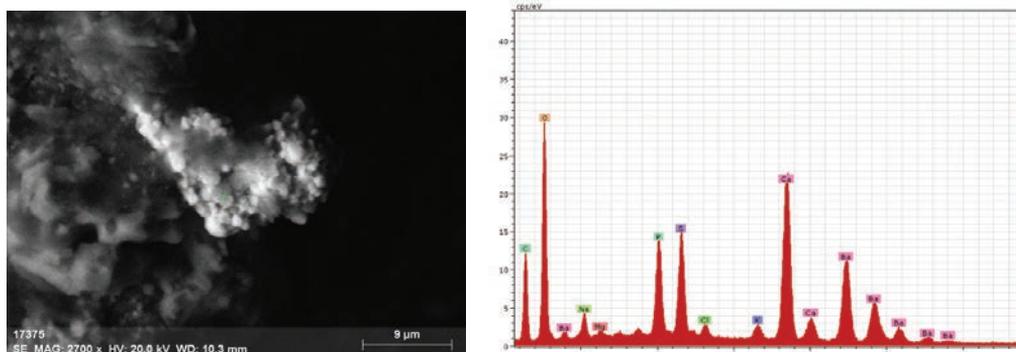
Element	AN	series	Net	[wt. %]	[norm. wt. %]	[norm. at. %]	Error in %
Carbon	6	K-series	5998	6,040969	6,383721	16,55364	1,448671
Oxygen	8	K-series	13010	15,39851	16,27218	31,67678	2,104868
Sodium	11	K-series	2570	4,113688	4,34709	5,889288	0,322678
Magnesium	12	K-series	619	0,615997	0,650947	0,834159	0,073989
Aluminium	13	K-series	525	0,3796	0,401138	0,463048	0,053724
Silicon	14	K-series	963	0,462342	0,488574	0,54181	0,052959
Phosphorus	15	K-series	7461	3,805297	4,021202	4,043531	0,183931
<b>Sulfur</b>	16	K-series	479	0,226652	<b>0,239511</b>	0,232638	0,03987
Chlorine	17	K-series	667	0,318976	0,337074	0,296125	0,043192
Potassium	19	K-series	2538	1,104501	1,167168	0,929768	0,067404
Calcium	20	K-series	17641	8,207976	8,673678	6,740562	0,275164
<b>Iron</b>	26	K-series	80953	53,95635	<b>57,01771</b>	31,79865	1,467888
			Sum:	94,63085	100	100	

Рис. 12.29. Железосодержащая фаза с серой в ЗООЧ г. Ростова-на-Дону



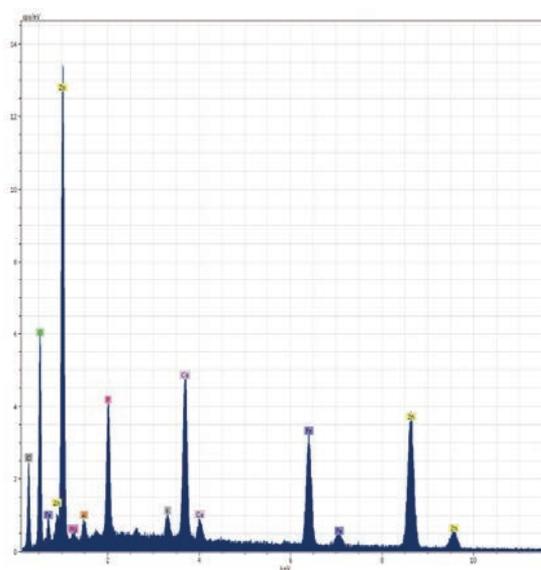
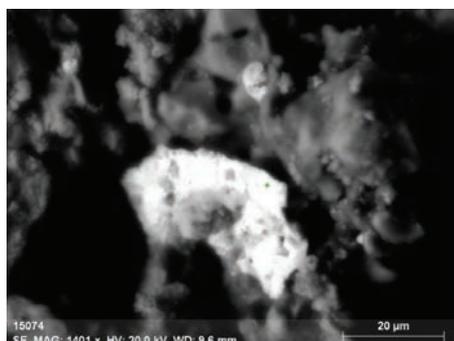
Element	AN	series	Net	[wt. %]	[norm. wt. %]	[norm. at. %]	Error in %
Carbon	6	K-series	44610	13,24186	13,37368	25,8184	1,909298
Oxygen	8	K-series	37139	24,01588	24,25497	35,15237	2,925064
Sodium	11	K-series	12415	0,774398	0,782107	0,788841	0,08072
Magnesium	12	K-series	596	0,02652	0,026784	0,025553	0,002127
Aluminium	13	K-series	4068	0,158445	0,160022	0,137521	0,033412
Silicon	14	K-series	2050	0,061558	0,062171	0,051329	0,028222
Phosphorus	15	K-series	52181	1,684743	1,701515	1,273795	0,090924
<b>Chlorine</b>	17	K-series	701290	24,94434	<b>25,19266</b>	16,47716	0,860061
<b>Potassium</b>	19	K-series	528747	27,85523	<b>28,13254</b>	16,68432	0,867945
Calcium	20	K-series	80402	5,963621	6,02299	3,484686	0,200429
<b>Copper</b>	29	K-series	1311	0,287696	<b>0,29056</b>	0,106024	0,036728
			Sum:	99,01429	100	100	

Рис. 12.30. Калий-хлорсодержащая минеральная фаза с медью в гидроксилapatитовой матрице: а – общий вид; б – её энергодисперсионный спектр; в – элементный состав



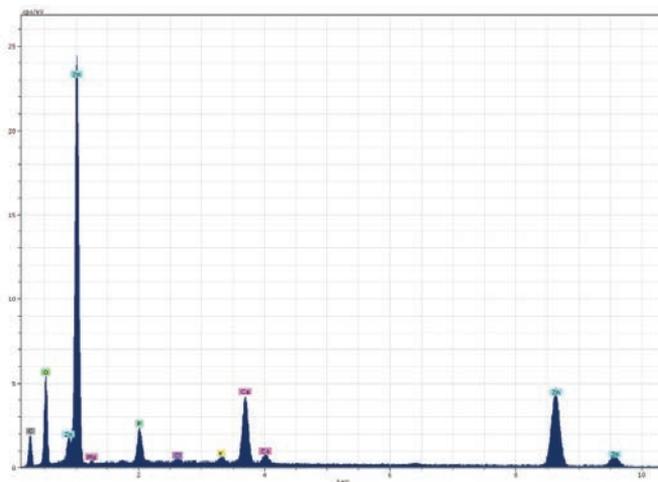
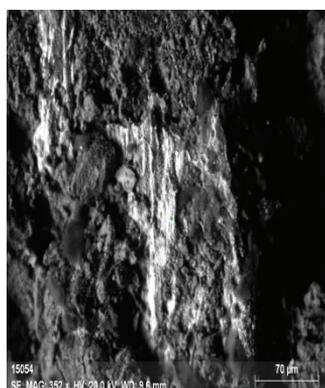
Element	AN	series	Net	[wt. %]	[norm. wt. %]	[norm. at. %]	Error in %
Carbon	6	K-series	593	11,38407	10,67176	19,04232	6,081892
Oxygen	8	K-series	2052	52,25942	48,98951	65,62394	9,865959
Sodium	11	K-series	217	1,695261	1,589187	1,481506	0,967975
Magnesium	12	K-series	139	0,738833	0,692604	0,610734	0,114871
Phosphorus	15	K-series	1255	2,61437	2,450787	1,6958	0,164214
<b>Sulfur</b>	<b>16</b>	K-series	1843	3,835764	<b>3,595758</b>	2,403303	0,20305
Chlorine	17	K-series	132	0,308386	0,28909	0,174762	0,056727
Potassium	19	K-series	281	0,863749	0,809703	0,443845	0,088153
Calcium	20	K-series	3044	10,42157	9,769484	5,224305	0,402754
<b>Barium</b>	56	L-series	3896	22,55329	<b>21,14212</b>	3,299483	0,770767
			Sum:	106,6747	100	100	

Рис. 12.31. а – барий-серосодержащая минеральная фаза с примесями в гидроксилapatитовой матрице; б – её энергодисперсионный спектр, в – элементный состав



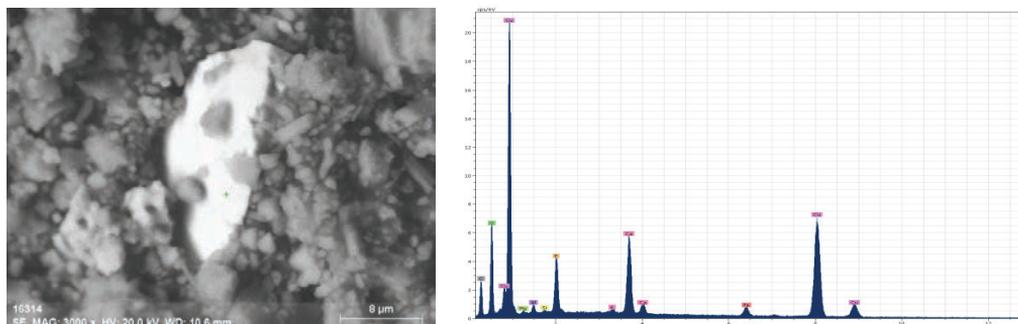
Element	AN	series	Net	[wt. %]	[norm. wt. %]	[norm. at. %]	Error in %
Carbon	6	K-series	4201	6,506367	7,063726	17,31124	1,420681
Oxygen	8	K-series	11515	21,83312	23,70342	43,60946	3,022178
Magnesium	12	K-series	758	0,75813	0,823074	0,99682	0,08286
Aluminium	13	K-series	1698	1,206636	1,310001	1,429152	0,09634
Phosphorus	15	K-series	10980	4,705494	5,108584	4,854897	0,217063
Potassium	19	K-series	2454	0,936035	1,01622	0,765073	0,061161
Calcium	20	K-series	18869	8,480325	9,20678	6,761999	0,282731
<b>Iron</b>	26	K-series	15130	11,58711	<b>12,57971</b>	6,630466	0,349723
<b>Zinc</b>	30	K-series	21878	36,09635	<b>39,18849</b>	17,64089	1,037188
			Sum:	92,10957	100	100	

Рис. 12.32. Цинк-железосодержащая фаза в фосфатной матрице ЗООС: а – общий вид; б – энергодисперсионный спектр; в – элементный состав



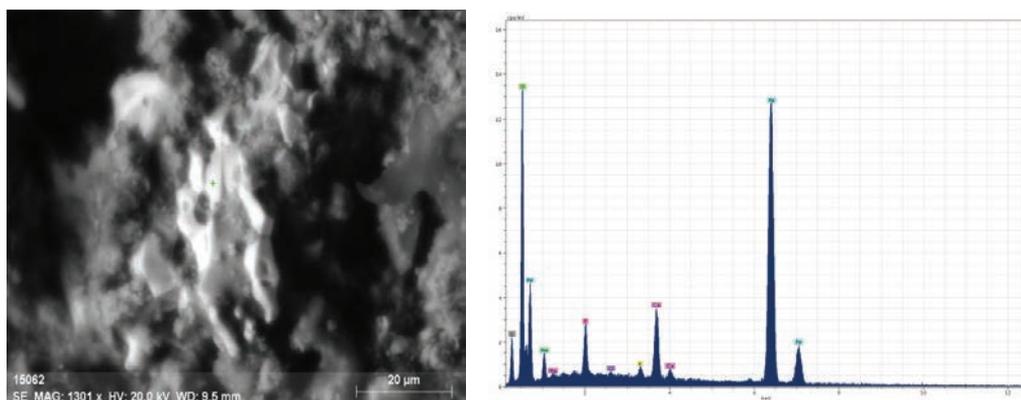
Element	AN	series	Net	[wt. %]	[norm. wt. %]	[norm. at. %]	Error in %
Carbon	6	K-series	2595	5,632691	5,771488	15,10882	2,147927
Oxygen	8	K-series	8412	22,20958	22,75685	44,72296	3,21457
Magnesium	12	K-series	219	0,279201	0,286081	0,370097	0,054681
Phosphorus	15	K-series	4997	3,578773	3,666958	3,722494	0,179438
Chlorine	17	K-series	698	0,447881	0,458917	0,407012	0,050189
Potassium	19	K-series	1164	0,732037	0,750076	0,603211	0,058452
Calcium	20	K-series	14136	10,22046	10,4723	8,215956	0,339836
<b>Zinc</b>	30	K-series	22333	54,49452	<b>55,83733</b>	26,84944	1,551893
			Sum:	97,59514	100	100	

Рис. 12.33. Цинковая микрофаза: а – общий вид; б – её энергодисперсионный спектр; в – элементный состав



Element	AN	series	Net	[wt. %]	[norm. wt. %]	[norm. at. %]	Error in %
Carbon	6	K-series	10308	4,247436	4,449628	12,11897	0,797161
Oxygen	8	K-series	40483	19,63365	20,56828	42,05477	2,378689
Magnesium	12	K-series	958	0,212806	0,222936	0,300058	0,040454
Aluminium	13	K-series	3313	0,554431	0,580824	0,704205	0,055032
Silicon	14	K-series	508	0,060016	0,062873	0,073233	0,029274
Phosphorus	15	K-series	37777	5,097361	5,340013	5,639873	0,225366
Potassium	19	K-series	4411	0,564474	0,591344	0,49477	0,044897
Calcium	20	K-series	72585	10,59678	11,10122	9,061201	0,337069
Iron	26	K-series	10153	2,246818	2,353774	1,378751	0,089623
<b>Copper</b>	29	K-series	128163	52,2422	<b>54,72911</b>	28,17417	1,428193
			Sum:	95,45597	100	100	

Рис. 12.34. Медьсодержащая фаза в гидроксилapatитовой матрицы ЗООЧ: а – общий вид; б – энергодисперсионный спектр; в – элементный состав



Element	AN	series	Net	[wt. %]	[norm. wt. %]	[norm. at. %]	Error in %
Carbon	6	K-series	2452	3,12938713	3,03971528	7,484244539	1,320628563
Oxygen	8	K-series	22832	28,45923411	27,64374147	51,09605327	3,624303553
Sodium	11	K-series	2624	3,014207512	2,927836107	3,766225897	0,242692291
Magnesium	12	K-series	524	0,377168898	0,366361212	0,445767181	0,056178585
Phosphorus	15	K-series	5915	2,414142926	2,34496623	2,238911326	0,127629613
Chlorine	17	K-series	455	0,167731934	0,162925615	0,135904639	0,03580205
Potassium	19	K-series	1566	0,640593336	0,622237285	0,470643847	0,052186974
Calcium	20	K-series	11266	5,23097687	5,081084462	3,749251748	0,188289612
Iron	26	K-series	58779	59,51656548	57,81113234	30,61299755	1,623388026
			Sum:	102,9500082	100	100	

Рис. 12.35. Железосодержащая фаза: а – общий вид; б – её энергодисперсионный спектр; в – элементный состав

*Распределение химических элементов в ЗООЧ подчиняется всем известным основным законам геохимии.*

*Материал каждого из представленных в исследованиях регионов, имеет свою ярко выраженную геохимическую специфику. Эта специфика отражается в уровнях накопления химических элементов, их ассоциациях и отношениях между собой. Состав минеральных фаз в ЗООЧ, в какой-то мере, наследует геохимические особенности озоляемого материала*

*Геохимическая специфика ЗООЧ отражает факторы, влияющие на живое вещество как природного (ландшафтно-геохимические, климатические и др.), так и техногенного характера, прежде всего видов промышленных производств.*

*Выявленные геохимические особенности ЗООЧ, на наш взгляд, должны найти своё отражение на структуре и особенностях протекания тех или иных заболеваний в исследованных городах.. Но это уже проблема медико-биологического характера, и она должна уже решаться соответствующими специалистами.*

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

---

В данной работе авторы попытались восполнить главный недостаток в изучении геохимии живого вещества, отмеченный в начале XX века В.И. Вернадским о том, что «отсутствует полный элементный химический количественный анализ живого вещества», через изучение человека.

Исследования, выполненные нами по геохимическому изучению органов, тканей и их систем, биосубстратов человека и его зольного остатка подтвердили предположение великого русского естествоиспытателя Владимира Ивановича Вернадского о том, что в составе человека присутствуют все химические элементы мироздания, зафиксированные в виде таблицы ещё одним русским гением Дмитрий Ивановичем Менделеевым, в том числе и те, которые массово образовались в результате ядерного техногенеза (плутоний, америций и др.) и нахождение их в нём «закономерно и не случайно».

Нами количественно оценено около 60 химических элементов, присутствующих в человеке в разных концентрациях, в том числе из группы редких, редкоземельных и радиоактивных элементов и их перечень мог бы быть существенно увеличен, но пока имеются определённые технико-экономические ограничения обнаружения всех компонентов, хотя, принципиально это уже возможно.

В работе подтверждено, что распределение изученных химических элементов в человеке подчиняется известным общим законам геохимии: Кларка-Вернадского-Менделеева о их распространённости и правилу Оддо-Гаркинса о распределении чётных и нечётных элементов. Любые отклонения от этих законов, особенно в живом веществе, свидетельствуют о наличии каких-то причин природного или техногенного характера, патологических процессов в организме, изменивших установленный порядок.

Человеческий организм представляет собой сложнейшую, первоначально хорошо отрегулированную биогеохимическую систему, в которой реализуются известные физико-химические процессы и закономерности распределения химических элементов по органам и тканям человека, определяются известными физико-химическими факторами.

Чрезвычайно важно отметить, что в процессе своего развития человеческий организм создаёт систему геохимических барьеров, которые поддерживают нормальный уровень гомеостаза и обеспечивают механизмы его адаптации. Установлено, что главными барьерными органами являются: органы дыхания, печень, селезенка, надпочечники, яичники, кожа. По-видимому, чрезвычайно велика у женщин барьерная роль плаценты, но материалы по этому вопросу находятся в

стадии изучения. И как тут не вспомнить народную присказку жителей Алтая о том, что «природа она мудра и знает, что делает».

Изменение уровня накопления, их ассоциаций и соотношения химических элементов между собой в тех или иных органах человека определяется протеканием тех или иных патологических процессов в организме человека. Для каждого вида патологии характерна своя специфика элементного состава, уровней концентрирования, в том числе максимальных содержаний и изменение суммарного показателя их накопления.

На особенности элементного состава человека большое значение оказывают геохимические особенности среды его обитания: состав геологического субстрата и почв, химического состава воды и атмосферы. Существенное значение оказывают ландшафтно-геохимические и природные условия проживания человека, социально-экономические факторы (сбалансированность питания, образ жизни и т. д.).

На современном ноосферном этапе развития человеческого общества, когда человек и его научная мысль, по образному выражению В.И. Вернадского, становятся главной геологической и геохимической силой, одним из важнейших факторов, определяющих геохимический облик человека, как об этом можно судить по представленным очеркам, становится техногенез в понимании А.Е. Ферсмана.

Наиболее яркими индикаторами особенностей геохимии техногенеза в тех или иных регионах являются геохимические особенности биосубстратов человека: кровь, волосы, а также его зольный остаток. Эта специфика отражается в уровнях накопления химических элементов, их изотопном составе и их отношениях между собой, в том числе закономерно изменяющихся по мере приближения к источнику воздействия, формирование определённых ассоциаций химических элементов, а также в формах нахождения элементов и составе их минеральных фаз.

Сегодня однозначно можно утверждать, что на современном этапе развития биогеохимии, учения, созданного В.И. Вернадским и развитым А.П. Виноградовым, исследование по изучению геохимического состава человека (по существу дела геохимического кларка человека), становится чрезвычайно актуальной проблемой, как в плане определения содержания максимально возможного количества химических элементов, так и исследования по установлению их соотношений в органах, тканях и в целом в организме человека, как в норме, так и при патологии с учетом разнотипного характера техногенного воздействия, проявляющегося на территориях разных регионов и ландшафтно-геохимических условий.

Решение этого одного из краеугольных камней биогеохимии является чрезвычайно актуальной, сложной, но вполне реализуемой задачей. Этому будет способствовать появление новых аналитических возможностей (развитие методов масс-спектрометрии, в том числе JCP-MS, электронной микроскопии и др.), а также активного развития международного сотрудничества, в том числе в рамках реализации комплексных международных программ. Одной из таких программ

могла бы стать программа «Геохимия живого вещества» с подпрограммой «Геохимия человека».

Знание геохимических особенностей патологически измененных тканей и органов животных и человека, исследование динамики изменения элементного состава на разных стадиях развития болезни может стать одним из возможных диагностических признаков развития патологий, их профилактики и лечения. Отсутствие же полноценных данных об элементном составе человека с учётом региональных условий его проживания и факторов техногенеза ставят под сомнение возможность использования индикаторной роли химических элементов для установления нарушения минерального обмена и развития патологий у человека.

Авторы понимают, что поднятая проблема чрезвычайно трудна. Но нам хотелось бы найти активную поддержку в продвижении идей, изложенных в очерках, прежде всего со стороны биологов, медиков и, конечно геологов-геохимиков. Мы будем рады каждому факту, который будет получен при изучении геохимии человека, каждой пробе системно отобранного материала, которую можно использовать для исследования и каждой новой мысли, подсказке, критическому замечанию и пожеланию, которые могли бы скорректировать далеко несовершенные наши работы по изучению геохимии человека.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

---

1. Авцын А.П. Введение в географическую патологию.– М.: Медицина, 1972.– 328 с.
2. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Строчкова Д.С. Принципы классификации заболеваний биогеохимической природы // Архив патологии, 1983.– №9.– С.3–10.
3. Авцын А.П. Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология / А.П. Авцын, А.А.Жаворонков, М.А. Риш, Л.С. Строчкова.– М.: Медицина, 1991.– 496 с.
4. Агаджанян Н.А. Человек в условиях Севера / Н.А. Агаджанян, П.Г. Петрова.– М.: КРУК, 1996.– С.20–87.
5. Агаджанян Н.А. Эколого-биогеохимические факторы и здоровье человека / Н.А. Агаджанян, В.Л. Сусликов, Н.В. Ермакова, А.Ш. Капланова // Экология человека, 2000.– №1.– С.3–5.
6. Агаджанян Н.А., Велданова М.В., Скальный А.В. Экологический портрет человека и роль микроэлементов.– М., 2001.– 236 с.
7. Агаджанян Н.А. Химические элементы в среде обитания и экологический портрет человека / Н.А. Агаджанян, А.В. Скальный.– М.: Изд-во КМК, 2001.– 83 с.
8. Адам А.М. Состояние окружающей среды Томской области. // Проблемы взаимодействия природы и общества: Сборник научных трудов.– Томск, 1995.– С.15–22.
9. Адам А.М. Управление природопользованием на уровне субъекта федерации.– М.: ТИССО, 2002.– 148 с.
10. Адам А.М. Природные ресурсы и экологическая безопасность Западной Сибири / А.М. Адам, Р.Г. Мамин.– М.: Изд-во НИА-Природа, 2001.– 172 с.
11. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях / Ю.В. Алексеев.– Л.: Агропромиздат, 1987.– 142 с.
12. Алексеенко В.А. Жизнедеятельность и биосфера / В.А. Алексеенко.– М.: Логос, 2005.– 232 с.
13. Аллер Л. Распространенность химических элементов / Л. Аллер.– М.: Недра, 1963.– 254 с.
14. Акаева Т.В. Метод вегетативного резонансного теста в диагностике и коррекции нарушений элементного обмена: автореферат дисс. ... канд. мед. наук / Татьяна Владиславовна Акаева.– М., 2010.– 29 с.
15. Активационные методы в биологических науках / А.А. Кист, Л.И. Жук, И.И. Орестова, Ш. Хатамов // Активационный анализ в науке и технике.– Ташкент: «ФАН», 1980.– С.35–56.
16. Акулов А.И., Мингазов И.Ф. Состояние окружающей среды и заболеваемости населения в Новосибирске.– Новосибирск: ВО Наука, 1993.– 96 с.
17. Алексеенко В.А. Экологическая геохимия / В.А. Алексеенко.– М.: Логос, 2000.– 627 с.
18. Александрова Т.Д. Нормирование антропогенно-техногенных нагрузок на ланд-

- шафты как научная задача. // Научные подходы к определению норм нагрузок на ландшафты.– М., 1988.– С.4–15.
19. Алексеева Т.И. Географическая среда и биология человека.– М.: Мысль, 1977.– 300 с.
  20. Алябьев Г.А., Дмитриченко М.М. О роли иода, Mn, и Co в развитии эндемического зоба. // Доклады III Сибирской конференции 1–4 июля, 1969 г., г. Омск.– Улан-Уде: АН СССР, 1971.– С.447–449.
  21. Аминокислотный и минеральный состав надземной части *Atragene speciosa* Weinm. / И.В. Шилова, Е.А Краснов, А.И. Пяк, и др. // Химико – фармацевтический журнал, 2002.– №11.– С.36–38.
  22. Андервуд Э. Микроэлементы у животных. // Микроэлементы: Сб. / Под ред. Каталымова М.В.– М.: Изд-во иностранной литературы, 1962.– С.51–66.
  23. Андреева О.С. и др. Редкоземельные элементы. Радиационно-гигиенические аспекты.– М.: Атомиздат, 1975.– 152 с.
  24. Арбузов С.И. Геохимия редких элементов в углях Центральной Сибири: авторефер. дис. ...д.г.-м.н. / Арбузов Сергей Иванович.– Томск, 2005.– 48 с.
  25. Арбузов С.И., Ершов В.В., Поцелуев А.А., Рихванов Л.П. Редкие элементы в углях Кузнецкого бассейна.– Кемерово, 1999.– 248 с.
  26. Арбузов С.И., Геохимия радиоактивных элементов: учебное пособие / С.И. Арбузов, Л.П. Рихванов.– Томск: Изд-во ТПУ, 2009.– 320 с.
  27. Арнаутов Н.В. Стандартные образцы химического состава природных минеральных веществ. Методические рекомендации.– Новосибирск: АН СССР, Сиб. отд-ние, Институт геологии и геофизики, 1990.– 220 с.
  28. Артамонова С.Ю. Уран в техногенных аэрозолях промышленных районах Новосибирска // Химия в интересах устойчивого развития, 2012.– Т.20.– №5.– С.507–513.
  29. Артамонова С.Ю., Лапухов А.С., Мирошниченко Л.В. Минерально-геохимические индикаторы техногенных источников аэрозольного загрязнения // Химия в интересах устойчивого развития, 2007.– №15.– С.643–652.
  30. Архангельский В.В., Рихванов Л.П. Уран, торий и редкоземельные элементы как индикаторы антропогенного воздействия на почвы юга Томской области // Горно-геологическое образование в Сибири. 100 лет на службе науки и производства: Материалы Международной научно-технической конференции.– Томск, 2001.– С.124–127.
  31. Архангельский В.В. Уран и торий в почвах юга Томской области. // Молодежь и проблемы геологии: Тезисы докладов 1 Междун. науч. симпозиума.– Томск, 1997.– С.186–187.
  32. Архангельская Л.Н. Сумма редкоземельных элементов иттриевой группы / Л.Н. Архангельская, Т.А. Быстрова, С.С. Спасский // В кн. Новые данные по токсикологии редких металлов и их соединений / под ред. З.И. Израэльсона.– М.: Медицина, 1967.– 271 с.
  33. Атмосферные загрязнения Томска и их влияние на здоровье населения. / А.И. Воробьева, М.А. Медведев, Л.П. Волкотруб, Н.В. Васильев.– Томск: Изд-во Томского ун-та, 1992.– 192 с.
  34. Бабенко А.С. Экология стафилинид (Coleoptera, Staphylinidae) лесных и антропогенно трансформированных экосистем Юга Западной Сибири: автореферат дисс. ...д.б.н. / Андрей Сергеевич Бабенко.– Новосибирск, 1998.– 39 с.
  35. Бабенко А.С. Использование стафилинид (Coleoptera, Staphylinidae) как индикаторов химического загрязнения среды на техногенных территориях // Экология и ра-

- циональное природопользование на рубеже веков. Итоги и перспективы: Материалы науч. конф.– Томск, 2000.– Т.2.– С.16–18.
36. Бабенко Г.А., Решеткина Л.П. Применение микроэлементов в медицине / Г.А. Бабенко, Л.П. Решеткина.– Киев: «Здоров'я», 1971.– 468 с.
  37. Бабилова Ю.Ф. Микроэлементный состав волос населения как индикатор загрязнения природой и производственной сред. / Ю.Ф. Бабилова, В.В. Колесник, Н.П. Росляков, А.В. Горбунов, Б.А. Ревич, Ю.П. Сотсков // В кн.: Активационный анализ. Методология и применение.– Ташкент: Изд-во ФАН, 1990.– С.209–214.
  38. Бабушкина Н.П., Москвитина Н.С., Цитленок С.И. Оценка природных популяций красной полевки на территории с антропогенной нагрузкой с помощью микроядерного теста // Проблемы эволюционной цитогенетики, селекции и интродукции: материалы научных чтений, посвященных 100-летию проф. В.П. Чехова.– Томск: изд-во ТПУ, 1997.– С.65–66.
  39. Баганева Н.Г. Вопросы правовой охраны окружающей среды городов. Социально-экологические проблемы Кубани / Н.Г. Баганева.– Краснодар, 1991.– С.5–6.
  40. Бала Ю.М., Лифшиц В.М. Микроэлементы в гематологии и кардиологии.– Воронеж, 1960.– 175 с.
  41. Балабуха В.С. Проблема выведения из организма долгоживущих радиоактивных изотопов / В.С. Балабуха, Л.М. Разбитная, Н.О. Разумовский, Л.И. Тихонова.– М.: Госатомиздат, 1962.– 168 с.
  42. Балабуха В.С. Накопление радиоактивных элементов в организме и их выведение / В.С. Балабуха, Г.Е. Фрадкин.– М.: Государственное издательство медицинской литературы – Медгиз, 1958.– 184 с.
  43. Балашов Ю.А. Геохимия редкоземельных элементов.– М.: Наука, 1976.– 267 с.
  44. Банаева Ю.А. Шлемник байкальский (экология, биология, интродукция): Автореф. дис. ... канд. биол. наук.– Новосибирск, 1994.– 13 с.
  45. Барабой В.А. Ионизирующая радиация в нашей жизни / В.А. Барабой.– М.: Наука, 1991.– 224 с.
  46. Барабошкина Т.А. Геологические факторы экологического риска. 48 с. // Геоэкологические исследования и охрана недр. Обзор ЗАО «Геоинформмарк».– Библиогр.: М., 2001.– С.41–48.
  47. Баранов А.А. Состояние здоровья детей и подростков в современных условиях: проблемы, пути решения / А.А. Баранов // Российский педиатрический журнал, 1998.– №1.– С.6–10.
  48. Барановская Н.В. Геохимические исследования состава волос жителей Томской области // Геохимическая экология и биогеохимическое изучение таксонов биосферы: Материалы 3-й Российской биогеохимической школы, Горно-Алтайск, 4–8 сентября 2000 г.– Новосибирск, 2000.– С.152–153.
  49. Барановская Н.В. Геохимический состав биоты как индикатор особенностей природной среды. // Гидрогеология и инженерная геология. Геоэкология и мониторинг геологической среды: Материалы международной научно-технической конференции Горно-геологическое образование в Сибири. 100 лет на службе науки и производства. / Отв. Редакторы С.Л. Шварцев, Л.П. Рихванов.– Томск: Изд-во ТПУ, 2001.– С.131–132.
  50. Барановская Н.В., Рихванов Л.П. Проявленность предприятий ядерно-топливного цикла при исследовании микроэлементного состава волос человека // Тяжелые металлы, радионуклиды и элементы-биофилы в окружающей среде: Доклады 2 Меж-

- дународной научно-практической конференции 16–18 октября 2002 г.– Т.2.– Семипалатинск – Казахстан, 2002.– С.445–448.
51. Барановская Н.В. Элементный состав биологических материалов и его использование для выявления антропогенно-измененных территорий (на примере южной части Томской области): автореферат дисс. ...канд. биол. наук / Наталья Владимировна Барановская.– Томск, ТГУ, 2003.– 24 с.
  52. Барановская Н.В. Содержание Fe, Cr, Co, Sc, Hf в волосах населения Томской области / Н.В. Барановская // Проблемы геологии и географии Сибири: Вестник ТГУ.– Серия «Науки о Земле» (геология, география, метеорология, геодезия), 2003.– Приложение №3(V).– С.126–128.
  53. Барановская Н.В. Радиоактивные элементы (U, Th) в волосах детей юга Томской области, как показатель техногенного воздействия / Н.В. Барановская, Л.П. Рихванов // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы II Международной конференции.– Томск: Изд-во «Тандем-Арт», 2004.– С.66–69.
  54. Барановская Н.В. Оценка экологического состояния юга Томской области по комплексу природных сред / Н.В. Барановская, Л.П. Рихванов, Е.Г. Языков // Актуальные проблемы геохимической экологии: Труды V Междунар. биогеохимической школы.– Семипалатинск, Казахстан, 2005.– С.412–415.
  55. 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.
  56. 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.
  57. 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.
  58. Барановская Н.В., Рихванов Л.П. Элементный состав органов и тканей домашних животных (*Susscrofadoesticus* (*Artiodactila*, *Mammalia*)) как индикатор среды обитания // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии, 2011.– №3(17).– С.78–84.
  59. Барановская Н.В. Региональная специфика элементного состава волос детей, проживающих на территории Томской области / Н.В. Барановская, Д.В. Швецова (Наркович), А.Ф. Судыко // Известия Томского политехнического университета, 2011.– Т.319.– №1.– С.212–220.
  60. Барановская Н.В. Закономерности накопления и распределения химических элементов в организмах и распределения химических элементов в организмах природных и природно-антропогенных экосистем: автореферат дисс. ...д.б.н. / Наталья Владимировна Барановская.– Томск, 2011.– 46 с.
  61. Барашков Г.К. Медицинская бионеорганика. Основы, аналитика, клиника.– М.: БИНОМ, 2011.–512 с.
  62. Барбье М. Введение в химическую экологию: пер. с француз. / М. Барбье.– М.: Мир, 1978.– 230 с.
  63. Бацевич В.А. Медико-антропологические аспекты исследования микроэлементного

- состава волос / В.А. Бацевич, О.В. Ясина // В кн.: Антропология – медицине.– М.: Изд-во МГУ, 1989.– С.198–220.
64. Башкин В.Н., Касимов Н.С. Биогеохимия / В.Н. Башкин.– М.: Научный мир, 2004.– 648 с.
65. Безель В.С. Экологическая экотоксикология: популяционный и биоценотический аспекты / В.С. Безель; под ред. Е.Л. Воробейчика.– Екатеринбург: Изд-во «Голицинский», 2006.– 280 с.
66. Безель В.С. Экотоксикология: учебник для вузов / В.С. Безель, М.С. Панин; под ред. А.Г. Сармурзиной.– Алматы: Раритет, 2008.– 344 с.
67. Безель В.С. Учение В.И. Вернадского о биохимических циклах и роль трофической структуры биоценоза в их стабилизации в фоновых условиях и при химическом загрязнении среды / В.С. Безель, Е.А. Бельский, Т.В. Жуйкова, С.В. Мухачева, А.В. Нестерков // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии, 2008.– №4(8).– С.16–20.
68. Бгатов А.В., Куценогий К.П., Ковальская Г.А., Савченко Т.И., Чанкина О.В. Экологическое состояние водоемов Горного Алтая, опосредуемое через шерсть диких животных // Экология пойм Сибирских рек и Арктики: Тезисы докладов II совещания.– Томск, 2000.– С.17.
69. Бгатов А.В. Биогенная классификация химических элементов / А.В. Бгатов // Журнал «Философия науки», 1999.– №2(6).– С.12–24.
70. Безель В.С. Популяционная экотоксикология / В.С. Безель, В.Н. Большаков, Е.Л. Воробейчик.– М., 1994. – 80 с.
71. Безвредность пищевых продуктов: пер. с англ. / под ред. Г.Р. Робертса.– М.: Агропромиздат, 1986.– 287 с.
72. Белан Л.Н. Геоэкологические основы природно-техногенных экосистем горнорудных районов Башкортостана: автореф. дис. ... докт. геол.-минерал. наук.– М.: ВИМС, 2007.– 46 с.
73. Белякова Т.М., Дианова Т.М., Крамкова Т.В. Медико-биогеохимические проблемы экологической безопасности населения России // Техногенез и ...– С.275–288.
74. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы / М.Е. Берлянд.– Л.: Гидрометеоздат, 1975.– 448 с.
75. Бернатонис В.К., Архипов В.С., Тихомиров Н.О. Подвижные формы элементов в торфах месторождения Чистое.// Известия Томского политехнического университета, 2002.– Т.305.– Вып.6.– С.166–176.
76. Бернатонис В.К. Геохимия растений и торфов Большого Васюганского болота / В.К. Бернатонис, В.С. Архипов, М.А. Здвижков и др. // Сб. «Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития» / под общ. ред. М.В. Кабанова.– Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН, 2002.– С.204–215.
77. Бигалиев А.Б., Абилов С.К. Генетика и окружающая среда: учебное пособие.– Караганда: Изд. КарГУ, 1989.– 112 с.
78. Биккулова А.Т., Ишмуратова Г.М. Биоэлементология s-, p-, d-элементов.– СПб: «Наука», 1999.– 256 с.
79. Биогеохимические основы экологического нормирования / В.Н. Башкин, Е.В. Евстафьев, В.В. Снакин и др.– М.: Наука, 1993.– 304 с.
80. Биогеохимические ореолы рассеяния химических элементов в экосистемах Дальнего Востока: Сб.ст. / Акад. наук СССР, Дальневосточ. отд-е, Ин-т вод. и экол. проблем; Отв. ред. П.В. Ивашов.– Владивосток, 1991.– 168 с.

81. Биогеохимическая оценка состояния природной среды (опыт разработки методики регионального анализа) / В.В. Батоян, В.С. Вшивцев, Н.С. Касимов, др. // Природные и антропогенноизмененные биохимические циклы: Труды биогеохимической лаборатории.– М.: Наука, 1990.– Т.21.– С.108–125.
82. Биогеохимические методы при изучении окружающей среды: Сб. науч. ст. / Под редакцией Э.К. Буренкова, Н.Ф. Челищева.– М.: ИМГРЭ, 1989.– 159 с.
83. Биоиндикация и экологическое нормирование на примере радиоэкологии. / Д.А. Криволицкий, Ф.А. Тихомиров, Е.А. Федоров, Е.Г. Смирнов // Журнал общ. биол., 1986.– Т.47.– №4.– С.468–478.
84. Биоиндикация радиоактивных загрязнений / Под ред. Криволицкого Д.А.– М.: Наука, 1999.– 384 с.
85. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем: Пер. с нем. / Под ред. Р. Шуберга.– М.: Мир, 1988.– 350 с.
86. Биологическая роль микроэлементов.– М.: Наука, 1983.– 238 с.
87. Бисон К. Влияние почв на содержание микроэлементов в растениях и на питание животных // Микроэлементы.– М.: изд-во иностр. лит-ры, 1962.– С.95–113.
88. Боуэн Г., Гиббонс Д. Радиоактивационный анализ.– М.: Атомиздат, 1968.– 360 с.
89. Бонашевская Т.И. Задачи медико-биологических исследований в гигиене окружающей среды // Гиг. и сан., 1993.– №4.– С.4–7.
90. Булатов В.И. Россия радиоактивная.– Новосибирск: ЦЭРИС, 1996.– 272 с.
91. Бурцева Т.И. Особенности питания и элементный состав волос учащихся колледжей Оренбургского государственного университета: автореферат дисс. ...канд. биол. наук / Татьяна Ивановна Бурцева.– Москва, 2005.– 137 с.
92. Василенко О.Н. Радиационная экология / О.Н. Василенко.– М.: Медицина, 2004.– 216 с.
93. Вернадский В.И. Записка об изучении живого вещества с геохимической точки зрения / В.И. Вернадский // Тр. Ин-та растений АН СССР. Сер.6., 1921.– Т.15.– С.1–18.
94. Вернадский В.И. Химический состав живого вещества в связи с химией земной коры / В.И. Вернадский.– Пг.: Время, 1922.– 48 с.
95. Вернадский В.И. Биосфера / В.И. Вернадский.– Л.: Гостехиздат, 1926.– 146 с.
96. Вернадский В.И. Общие соображения к изучению химического состава живого вещества / В.И. Вернадский // Тр. Биогеохим. лаб., 1930.– Т.1.– С.5–32.
97. Вернадский В.И. О некоторых фундаментальных проблемах биогеохимии (в связи с работами лаборатории биогеохимии АН СССР) / В.И. Вернадский // Тр. Биогеохим. лаб., 1939.– Т.5.– С.5–18.
98. Вернадский В.И. Заметки о распространении химических элементов в земной коре.– Избр. Соч.– М.: АН СССР, 1954.– Т.1.– 624 с.
99. Вернадский В.И. Биосфера // Избранное собр. сочинений.– М., Изд-во АН СССР, 1960.– Т.V.– С.7–102.
100. Вернадский В.И. Живое вещество в химии моря // Избранное собр. сочинений.– М.: Изд-во АН СССР, 1960.– Т.V.– С.160–183.
101. Вернадский В.И. Об условиях проявления жизни на Земле // Избранное собр. сочинений.– М., Изд-во АН СССР, 1960.– Т.V.
102. Вернадский В.И. О новых задачах в химии жизни // Избранные собрания сочинений.– М., 1960.– Т.V.– С. 213–224.
103. Вернадский В.И. Океанография и геохимия // Избранное собр. сочинений.– М., Изд-во АН СССР, 1960.– Т.V.– С.217–288.

104. Вернадский В.И. Очерки геохимии / В.И. Вернадский.– М., 1983.– 368 с.
105. Вернадский В.И. Труды по биохимии и геохимии почв / В.И. Вернадский.– Москва: Наука, 1992.– 434 с.
106. Вернадский В.И. Живое вещество // Живое вещество и биосфера.– М.: «Наука», 1994.– С.19–314.
107. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера / сост. Н.А. Костяшкин, Е.М. Гончарова.– М.: Айрис-пресс, 2004.– 576 с.
108. Верховская И.Н. Бром в живом организме и механизм его действия.– М.: АН СССР, 1962.– 602 с.
109. Видяйкина Н.В. Обеспечение экологической безопасности при использовании сельским населением подземных вод для питьевых целей (на примере Томской области и Ханты-Мансийского автономного округа): автореф. дис. ...канд. геол.-мин. наук / Наталья Викторовна Видяйкина.– Томск, 2010.– 21 с.
110. Виноградов А.П. Геохимия живого вещества / А.П. Виноградов.– Ленинград: АН СССР, 1932.– 67 с.
111. Виноградов А.П. Химический элементарный состав организмов моря / А.П. Виноградов // Тр. Биогеохим. лаб., 1935.– Т.3.– С.63–278.
112. Виноградов А.П. Химический элементарный состав организмов и Периодическая система Д.И. Менделеева / А.П. Виноградов // Тр. Биогеохим. лаб., 1935.– Т.3.– С.5–30.
113. Виноградов А.П. Биогеохимические провинции и эндемии // Докл. АН СССР, 1938.– Т.18.– №4–5.– С.483–486.
114. Виноградов А.П. Биогеохимические провинции / А.П. Виноградов // Труды юбилейной сессии, посвященной 100-летию со дня рождения В.В. Докучаева.– М.: АН СССР, 1949.– 364 с.
115. Виноградов А.П. Поиски рудных месторождений по растениям и почвам. // Труды биогеохимической лаборатории.– М.: АН СССР, 1954.– Т.10.– С.3–5.
116. Виноградов А.П., Малюга Д.П. Биогеохимические методы поисков рудных месторождений. Геохимические поиски рудных месторождений в СССР.– М.: Госгеолтехиздат, 1957.
117. Виноградов А.П. Биогеохимические провинции и их роль в органической геохимии // Геохимия, 1963.– №3– С.199–211.
118. Виноградов А.П. Геохимия изотопов и проблемы биогеохимии: Избранные труды / А.П. Виноградов.– Москва: Наука, 1993.– 234 с.
119. Витамины, травы, минералы и пищевые добавки. Справочник. / В. Гриффит; пер. с англ. К. Ткаченко.– М.: Изд. «Фаир-пресс», 2002.– 1056 с.
120. Власюк П.А. Химические элементы и аминокислоты в жизни растений, животных и человека / П.А. Власюк.– М.: Наука, 1997.– С.38–42.
121. Войнар А.И. Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека / А.И. Войнар.– М.: Высшая школа, 1960.– 544 с.
122. Войткевич Г.В. Краткий справочник по геохимии / Г.В. Войткевич, А.Е. Мирошников, А.С. Поваренных.– М.: Недра, 1970.– 280 с.
123. Волков В.Т. Биоминерализация в организме человека и животных / Волков В.Т., Волкова Н.Н. и др.– Томск: Издат. дом «Тандем-Арт», 2004.– 498 с.
124. Волкотруб Л.П., Егоров И.М., Лазарев А.Ф. Онкогигиеническая ситуация в Барнауле.– Барнаул, 1994.– 141 с.
125. Волкотруб Л.П. Совершенствование методов мониторинга техногенных загрязне-

- ний в целях выявления территорий промышленного онкологического риска: автореферат дисс. ...д.м.н. / Л.П. Волкотруб.– Москва, 1995.– 53 с.
126. Волкотруб Л.П. Состояние здоровья и микроэлементный статус детей / Л.П. Волкотруб, О.В. Сафронова, Ю.П. Колмогоров, Г.А. Леонова // Вестник Оренбургского государственного университета. Приложение «Биоэлементология», 2004.– №4(29).– С.26–27.
  127. Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень).– Екатеринбург: УИФ «Наука», 1994.– 281 с.
  128. Вредные химические вещества. Неорганические соединения элементов I–IV групп: Справочник / А.Л. Бадман, Г.А. Гудзовский, Л.С. Дубейковская; под ред. В.А. Филова.– Л.: Химия. Ленинградское отделение, 1988.– 512 с.
  129. Вредные химические вещества. Радиоактивные вещества: Справочник. / Под ред. Л.А. Ильина, В.А. Филатова.– Л.: Химия, 1990.– 464 с.
  130. Вредные химические вещества. Неорганические соединения элементов V–VIII групп: Справочник./ Под ред. В.А. Филова.– Л.: Химия, Ленинградское отделение, 1989.– С.386–393.
  131. Галлберг Р.О. Биогеохимия / Р.О. Галлберг // Энциклопедия систем жизнеобеспечения. Знания об устойчивом развитии.– М.: Издат. дом «Магистр-Пресс», 2005.– Т.1.– С.38–56.
  132. Гарусевич Г.А. Основы общей геохимии / Г.А. Гарусевич.– М.: Высшая школа, 1968.– 363 с.
  133. Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов. Геохимия редких элементов / под ред. К.А. Власова.– М.: Наука, 1964.– Т.1.– 689 с.
  134. Геохимия почв и здоровье детей Томска / Л.П. Рихванов, С.Г. Нарзулаев, Е.Г. Языков и др.– Томск. Изд-во ТГУ, 1993.– 141 с.
  135. Геоэкологическая характеристика городов Сибири (Экология городов) / А.Н. Антипов, А.В. Васянович, А.Р. Батуев, Л.И. Гизетдинова; отв. ред.-сост. А.Н. Антипов.– Иркутск: АН СССР. Сиб. отд-ние. Ин-т географии, 1990.– 224 с.
  136. Гичев Ю.П. Загрязнение окружающей среды и здоровье человека / Ю.П. Гичев.– Новосибирск: СО РАМН, 2002.– 230 с.
  137. Гичев Ю.П. Экологическая обусловленность основных заболеваний и сокращения продолжительности жизни.– Новосибирск: СО РАМН, 2000.– 90 с.
  138. Гинзбург И.И. Опыт разработки теоретических основ геохимических методов поисков.– М.: Госгеолтехиздат, 1957.– 299 с.
  139. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР.– М.: Высш.шк., 1988.– 328 с.
  140. Глазовская М.А., Касимов Н.С., Теплицкая Т.А., др. Ландшафтно-геохимические основы фонового мониторинга природной среды.– М., 1989.– 210 с.
  141. Глазовский Н.Ф. Техногенные потоки вещества в биосфере / Н.Ф. Глазовский // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем.– М.: Наука, 1982.– С.7–28.
  142. Глазовский Н.Ф. Строение и функционирование окружающей среды: Компоненты Земли // Энциклопедия систем жизнеобеспечения. Знания об устойчивом развитии.– М.: Издат дом «Магистр-Пресс», 2005.– Т.1.– С.1–8.
  143. Голованова О.А. Биоминералогия мочевых, желчных, зубных и слюнных камней из организма человека: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора

- геолого-минералогических наук / О.А. Голованова.– Томск: Б.И., 2008.– 39 с.
144. Гольдберг Е.Д. Справочник по гематологии с атласом микрофотограмм.– Томск: Изд-во Томского ун-та, 1989.– 364 с.
  145. Гончарук Е.И., Сидоренко Г.И. Гигиеническое нормирование химических веществ в почве (руководство).– М.: Медицина, 1986.– 403 с.
  146. ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения.– М.: Госстандарт СССР.
  147. ГОСТ 26927-86 – ГОСТ 26935-86. Сырье и продукты пищевые: Методы определения токсичных элементов.– М.: Изд-во стандартов, 1986.– 85 с.
  148. Государственный доклад О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2012 году: Государственный доклад.– М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2013.–176 с.
  149. Грабеклис А.Р. Половые, возрастные и эколого-географические различия в элементном составе волос у детей 7–14 лет, проживающих в различных регионах России: автореферат дисс. ...канд. биол. наук. / А.Р. Грабеклис.– Санкт-Петербург, ОГУ, 2009.– 24 с.
  150. Грабовская Л.И., Астрахан Е.Д. Геология месторождений редких элементов. / Биогеохимические и геоботанические исследования при поисках редкометальных месторождений.– М.: Гос. научно-технич. изд-во литературы по геологии и охране недр, 1963.– Вып.19.– 64 с.
  151. Грибовский Г.П., Грибовский Ю.Г., Плохих Н.А. Биогеохимические провинции Урала и проблемы техногенеза // Техногенез и биогеохимическая эволюция таксонов биосферы (Тр. Биогеохим. лаб.; Т.24).– М.: Наука, 2003.– Т.24.– С.174–187.
  152. Григорьева Е.С. Природа и природные ресурсы Ростовской области, их охрана и использование.– Ростов на/Д., 1988.– 209 с.
  153. Громова О.А. Нейрохимия макро- и микроэлементов. Новые подходы к фармакотерапии / О.А. Громова, А.В. Кудрин.– М.: Алиев-В, 2001.– 272 с.
  154. Гублер Е.В., Генкин А.А. Применение непараметрических критериев статистики в медико-биологических исследованиях / Е.В. Гублер, А.А. Генкин.– М.: Медицина, 1973.– 141 с.
  155. Гусев Н.Г., Дмитриев П.П. Радиоактивные цепочки (справочник).– М.: Энергоатомиздат, 1988.– 200 с.
  156. Давыдова С.А. Тяжелые металлы / С.А. Давыдова // Зеленый мир, 1994.– №3.– С.11.
  157. Девятова А.Ю. Тяжелые металлы в депонирующих средах и прогнозная модель переноса примесей от стационарных техногенных источников (на примере г. Новосибирска): авторефер. дис. ...к.г.-м.н. / Девятова Анна Юрьевна.– Новосибирск, 2006.– 22 с.
  158. Действие ионизирующей радиации на биогеоценоз / Д.А. Криволицкий, Ф.А. Тихомиров, Е.А. Федоров и др.– М.: Наука, 1988.– 239 с.
  159. Денисова О.А. Изучение элементного состава патологических образований щитовидной железы у населения Томской области / О.А. Денисова, Н.В. Барановская, Л.П. Рихванов, А.Ф. Судыко // Материалы V Международной биогеохимической школы «Актуальные проблемы геохимической экологии».– Семипалатинск: Семипал. ГУ, 2005.– С.289–292.
  160. Денисова О.А. Микроэлементы внешней среды и тиреоидная патология населения Томской области: авторефер. дис. ...к.м.н. / Денисова Ольга Александровна.– Томск,

- 2007.– 22 с.
161. Добровольский В.В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние.– М.: Мысль, 1983.– 265 с.
  162. Докучаев В.В. Учение о зонах природы.– М.: Географгиз, 1948.– 365 с.
  163. Дроздов В.Н. Эффективность всасывания железа при раздельном и одновременном приеме с кальцием // Дроздов В.Н., Носкова К.К., Петраков А.В.– Терапевт, 2007.– №9.– С.47–51.
  164. Дубинская Н.А., Пелекис Л.Л., Костенко И.В. Применение инструментального нейтронно-активационного анализа для определения ртути в волосах человека в условиях возможного профессионального загрязнения. // Труды 1 Всесоюзного совещания Ташкент, 23–26 октября 1979 г.– Ленинград: Гидрометеиздат, 1980.– С.180–184.
  165. Дубинин Н.П. Радиационный и химический мутагенез.– М.: Наука, 2000.– 465 с.
  166. Дэвис Дж.С. Статистический анализ данных в геологии: Пер. с англ. В 2 кн./пер. В.А. Голубевой, под ред. Д.А. Родионова. Кн. 2.– М.: Недра, 1990.– 427 с.
  167. Ермаков В.В. Проблемы и перспективы развития учения о биогеохимических провинциях // Микроэлементы в биологии и их применение в сельском хозяйстве и медицине: Тезисы докл. XI Всесоюзной конф.– Самарканд, 1990.– С.22–25.
  168. Ермаков В.В. Биогеохимическая эволюция таксонов биосферы в условиях техногенеза / В.В. Ермаков // Техногенез и биогеохимическая эволюция таксонов биосферы. Тр. Биогеохим. лаб.– М.: Наука, 2003.– Т.24.– С.5–22.
  169. Ермаков В.В. Геохимическая экология животных / В.В. Ермаков, С.Ф. Тютиков ; отв. ред. В.Т. Самохин.– М.: Наука, 2008.– 315 с.
  170. Ермаков В.В. Микроэлементозы: локальные и глобальные аспекты // Геохимия живого вещества: материалы Международной молодежной школы-семинара, Томск, 2–5 июня 2013 г.– Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013.– С.64–76.
  171. Жорняк Л.В. Эколого-геохимическая оценка территории г. Томска по данным изучения почв: авторефер. дис. ...к.г.-м.н. / Жорняк Лина Владимировна.– Томск, 2009.– 22 с.
  172. Жук Л.И., Кист А.А. Картирование элементного состава волос./ В кн.: Активационный анализ. Методология и применение.– Ташкент: ФАН Узбекской ССР, 1990.– С.190–201.
  173. Жук Л.И., Хаджибаева Г.С., Кист А.А. и др. О влиянии выбросов алюминиевого комбината на элементный состав биосубстратов человека. // Гигиена и санитария, 1991.– №10.– С.12–15.
  174. Журавлев В.Ф. Токсикология радиоактивных веществ / В.Ф. Журавлев.– М.: Энергоатомиздат, 1990.– 336 с.
  175. Зайчик В.Е., Багиров Ш.П. Химический состав слюны человека как индикатор качества окружающей среды. // Ядерно-физические методы анализа в контроле окружающей среды: Труды 3 Всесоюзного совещания, Томск, 21–23 мая 1985 г.– Ленинград: Гидрометеиздат, 1987.– С.61–67.
  176. Зайчик В.Е. Медицинская и биологическая элементология как новые научные дисциплины: состояние и перспективы // Геохимия живого вещества: материалы Международной молодежной школы-семинара, Томск, 2–5 июня 2013 г.– Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013.– С.76–82.
  177. Зайчик В.Е. Агаджанян Н.А. Некоторые методологические вопросы медицинской элементологии / В.Е. Зайчик, Н.А. Агаджанян // Вестник восстановительной меди-

- цины, 2004.– №3(9).– С.19–23.
178. Захаров В.М., Кларк Д.М. Биотест. Интегральная оценка здоровья экосистем и отдельных видов.– Москва: Международный Фонд «Биотест» и его Московское отделение., Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ, РАН, 1993.– 68 с.
  179. Иванов В.В Экологическая геохимия элементов: справочник в 6 кн. / Под ред. Э.К. Буренкова.– М.: Экология, 1997.– Кн.6: Редкие f-элементы.– 607 с.
  180. Иванова И.Е. Содержание макро-, микроэлементов в волосах у здоровых детей Чувашской республики / И.Е. Иванова, В.А. Родионов // Здравоохранение Чувашии, 2011.– №4.– С.44–50.
  181. Игнатова Т.Н. Уран, торий и редкоземельные элементы в природных объектах и тканях человека на территории Томской области / Т.Н. Игнатова // Труды X Международного научного симпозиума студентов, аспирантов и молодых ученых им. академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр».– Томск, 2006.– С.514–515.
  182. 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.
  183. 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.
  184. 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 V Международной научно-практической конференции.– Семипалатинск, Казахстан, 2010.– С.29–34.
  185. Игнатова Т.Н., Барановская Н.В., Рихванов Л.П., Судыко А.Ф. Региональные биогеохимические особенности накопления химических элементов в зольном остатке организма человека // Известия Томского политехнического университета, 2010.– Т.317.– №1.– С.178–183.
  186. Игнатова Т.Н. Элементный состав организма человека и его связь с факторами среды обитания: авторефер. дис. ...к.г.-м.н. / Татьяна Николаевна Игнатова.– Томск, 2010.– 24 с.
  187. Израэль Ю.А., Семенов С.Н., Кунина И.М. Экологическое нормирование: методология и практика // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем.– Л., 1991.– Т.13.– С.10–24.
  188. Ильин В.Б. Тяжёлые металлы в системе почва-растение / В.Б. Ильин.– Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991.– 151 с.
  189. Ильин В.Б. Мониторинг тяжелых металлов применительно к крупным промышленным городам / В.Б. Ильин // Агрохимия, 1997.– №4.– С.81–86.
  190. Ильин В.Б. Оценка буферности почв по отношению к тяжелым металлам / В.Б. Ильин // Агрохимия, 1995.– №10.– С.109–113.
  191. Ильин С.Ю. Роль вируса Эпштейн-Бара в цитогенетических изменениях клеток крови у людей, подвергшихся действию ионизирующей радиации.– Автореф. дис. ... канд. мед. наук.– Томск, 1995.– 24 с.
  192. Ильинский Б.В. Содержание некоторых микроэлементов в крови и органах при ате-

- росклерозе / Б.В. Ильинский, С.Н. Бабаджанов // Кардиология, 1975.– Т.15.– №10.– С.142–145.
193. Ильинских Н.Н., Юркин А.Ю. Микроядерный анализ эритроцитов крови голубей, обитающих в населенных пунктах, расположенных в зоне влияния СХК // Генетические последствия чрезвычайных ситуаций.– М., 2002.– С.56–57.
194. Ильинских Н.Н. Оценка уровня цитогенетических нарушений в тканях щук (*Esox lucius*), отловленных в р. Томь в местах сброса радиоактивных отходов СХК // Экогенетика Сибири и Урала.– Екатеринбург, 1997.– С.123–129.
195. Ильинских Н.Н., Юркин А.Ю. Результаты гамма-спектрометрических, нейтронно-активационных и цитогенетических исследований голубей, отловленных в радиационно загрязняемой местности вблизи от СХК // Актуальные проблемы экологии.– Тюмень, 1998.– С.84–92.
196. Ильинских Н.Н., Юркин А.Ю., Ильинских Е.Н. Мониторинг цитогенетических и клинических последствий аккумуляции в организме человека радиостронция и радиоцезия. // Материалы конференции.– Москва, 2001.– С.529.
197. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений / М-во геологии СССР.– М.: Недра, 1983.– 191 с.
198. Иржак Л.И. Состав и функции крови / Л.И. Иржак // Сорос. образов. журн., 2001.– Т.7.– №2.– С.11–19.
199. Использование текущей дозы облучения населения для обоснования реабилитации части территории ВУРСа / Л.М. Перемылова, В.А. Костюченко, М.О. Дегтева и др. // Вопросы радиационной безопасности, 2001.– №2.– С.50–54.
200. Исследование вопросов подготовки шерсти и волос к нейтронно-активационному анализу / К. Мансуров, Ш. Хатамов, А.А. Кист, Л.И. Жук // Ядерно-физические методы анализа в контроле окружающей среды.– Ленинград: Гидрометеиздат, 1980.– С.238–242.
201. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях.– М.: Мир, 1989.– 439 с.
202. Казначеев В.П. Выживание населения России. Проблемы «Сфинкса XXI века» / В.П. Казначеев, А.И. Акулов, А.А. Кисельников, И.Ф. Мингазов.– Новосибирск: Изд-во НГУ, 2002.– 461 с.
203. Карпинский А.П. Могут ли живые растения быть указателями горных пород и формаций, на которых они встречаются и заслуживают ли местопрозябания их особого внимания.– С.1841.
204. Карпин В.А. Гигиенические проблемы урбанизированного Севера (обзор). // Гиг. и сан., 2001.– №4.– С.7–11.
205. Карташев А.Г. Биоиндикация экологического состояния окружающей среды.– Томск: издательство «Водолей», 1999.– №2.– 192 с.
206. Катон, Варрон, Колумелла, Плиний. О сельском хозяйстве.– М.: Государственное изд-во сельскохозяйственной литературы, 1957.
207. Кизильштейн Л.Я. Экогеохимия элементов-примесей в углях / Л.Я. Кизильштейн.– Ростов н/Д.: СКНЦ ВШ, 2002.– 296 с.
208. Киприянов Н.А. Контроль содержания тяжелых металлов при оценке качества сырья и пищевых продуктов / Н.А. Киприянов, Г.П. Устюгов, С.С. Фролова.– М.: АгроНИИТЭИПП, 1990.– Вып.1.– С.1–28.
209. Киприянов Н.А. Состояние и перспективы контроля содержания тяжелых металлов в питьевой воде, сырье, пищевых продуктах и атмосферном воздухе / Н.А. Киприя-

- нов, Г.П. Устюгов, Н.И. Киприянова.– М.: АгроНИИТЭИПП, 1991.– Вып.2.– С.1–32.
210. Кирби Р. Основы биологии / Р. Кирби // Энциклопедия систем жизнеобеспечения. Знания об устойчивом развитии.– М.: Издат. дом «Магистр-Пресс», 2005.– Т.1.– С.403–423.
211. Кирющенко А.П. Влияние лекарственных средств на плод / А.П. Кирющенко, М.П. Тараховский.– М.: Медицина, 1990.– 272 с.
212. Кист А.А. Феноменология биогеохимии бионеорганической химии.– Ташкент, ФАН, 1987.– 236 с.
213. Кист А.А. Применение нейтронно-активационного анализа в биологии // Автореферат дисс. на соискание уч. ст. кандидата химических наук.– Ташкент, 1964.– 24 с.
214. Кист А.А. Исследование по нейтронному активационному анализу объектов биосферы // Автореферат дисс. на соискание уч. ст. доктора химических наук.– Ленинград, 1969.– 26 с.
215. Кист А.А. Современное состояние и перспективы применения ядерно-физических методов анализа в контроле окружающей среды // Труды 1 Всесоюзного совещания Ташкент, 23–26 октября 1979 г.– Ленинград: Гидрометеиздат, 1980.– С.4–20.
216. Ковалевский А.Л. Биогеохимия урановых месторождений и методические основы их поисков / А.Л. Ковалевский, О.М. Ковалевская; научн. ред. А.М. Плюсин.– Новосибирск: Изд-во «Гео», 2010.– 362 с.
217. Ковалевский А.Л. Основные этапы формирования биогеохимических методов // Проблемы биогеохимической и геохимической экологии: Труды биогеохимической лаборатории.– М.: Наука, 1999.– Т.2.– С.68–79.
218. Ковалевский А.Л. Биогеохимические поиски рудных месторождений.– М.: Недра, 1984.– 145 с.
219. Ковальский В.В. Геохимическая экология – основа системы биогеохимического районирования. // Биогеохимическое районирование метод. изучения экологического строения биосферы: Труды биогеохимической лаборатории.– М.: Наука, 1978.– Т.XV.– 196 с.
220. Ковальский В.В. Геохимическая экология. Очерки.– М.: Наука, 1974.– 299 с.
221. Ковальский В.В., Андрианова Г.А. Микроэлементы в почвах СССР.– М.: Наука, 1970.– 178 с.
222. Ковальский В.В. Биогеохимическое районирование и геохимическая экология / Академия наук СССР (АН СССР), Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского (ГЕОХИ РАН); под ред. В.В. Ковальского.– Москва: Наука, 1980.
223. Ковальский В.В. Проблемы биогеохимии микроэлементов и геохимической экологии. Избранные труды / В.В. Ковальский; отв. ред., авт. вступ. ст. Л.К. Эрнст, сост. Ю.В. Ковальский.– М.: Россельхозакадемия, 2009.– 357 с.
224. Ковалевский В.В. Геохимическая среда и жизнь.– М.: Наука, 1982.– 76 с.
225. Колесник В.В., Росляков Н.П., Самонов А.М., др. Инструментальный нейтронно-активационный анализ биоматериалов и аэрозольных частиц. // Ядерно-физические методы анализа в контроле окружающей среды: Труды 3 Всесоюзного совещания, Томск, 21–23 мая 1985 г.– Ленинград: Гидрометеиздат, 1987.– С.68–73.
226. Коломийцева М.Г., Гобович Р.Д. Микроэлементы в медицине.– М.: Медицина, 1970.– 286 с.
227. Комаров В.И. Проблемы безопасности пищевых продуктов / В.И. Комаров // Пищ. Пром-сть., 1996.– №2.– С.26–27.
228. Комплексная оценка состояния растительности и животного мира как средство

- определения степени воздействия агропромышленной агломерации на природу./ Н.С. Москвитина, С.С. Москвитин, А.С. Бабенко и др. // Проблемы экологии Томской области: Тезисы докладов региональной конференции 22–24 апреля 1992 г.– Томск, 1992.– Т.2.– С.42–45.
229. Кораго А.А. Введение в биоминералогии / А.А. Кораго.– СПб. : Недра, 1992.– 280 с.
230. Кохонов Е.В. Изменчивость содержания химических элементов в организме *Clethrionomys rutilus* юга Западной Сибири // Териофауна России и сопредельных территорий: Материалы международного совещания.– М., 2003.– С.178.
231. Крайнов С.Ф., Швец В.М. Гидрогеохимия.– М.: Недра, 1992.
232. Краснокутская О.Н. Хром в объектах окружающей среды / О.Н. Краснокутская, М.А. Кузьмич, Л.П. Выродова // Агрохимия, 1990.– №2.– С.128–140.
233. Кривоуцкий Д.А., Федоров Е.А. Принципы экологического нормирования. // Влияние промышленных предприятий на окружающую среду: Тез. докл.– Пушкино, 1984.– С.104–106.
234. Кривоуцкий Д.А., Ильенко А.И. Радиоэкология.– М.: Знание, 1971.– 32 с.
235. Кроуз Г.Р. Стабильные изотопы и живые существа / Г.Р. Кроуз // Природа, 1990.– №12.– С.18–21.
236. Кувина В.Н. Экологически обусловленная патология опорно-двигательной системы детей Восточной Сибири.– Иркутск: Изд-во ИГУ, 1991.– 233 с.
237. Кузубова Л.И. Элементы-этоксиканты в пищевых продуктах. Гигиенические характеристики, нормативы содержания в пищевых продуктах, методы определения: аналит. обзор ГПНТБ СО РАН, Ин-т неорг. Химии, Объед. Ин-т геологии, геофизики и минералогии СО РАН / Л.И. Кузубова, О.В. Шуваева, Г.Н. Аношин.– Новосибирск, 2000.– 67 с.
238. Кузубова Л.И. Токсиканты в пищевых продуктах: аналит. обзор / Л.И. Кузубова.– Новосибирск: ГПНТБ СО АН СССР, 1990.– 127 с.
239. Кукушкин Ю.Н. Химические элементы в организме человека // Соросовский образовательный журнал, 1998.– №5.– С.54–58.
240. Куранов Б.Д. результаты биоиндикационных исследований птиц в Северске и санитарно-защитной зоне СХК // Экологическая оценка территории ЗАТО Северск и 30-км зоны СХК: Материалы научно-практической экологической конференции.– Томск: Изд-во Томского государственного университета, 2000.– С.138.
241. Куранова В.Н. Биоиндикационные показатели амфибий. // Экология промышленного города.– Томск, 1992.– С.48–51.
242. Кубасов Р.В. Элементный профиль у детей различных зобно-эндемичных районов Архангельской области / Р.В. Кубасов, Е.Д. Кубасова, А.Л. Горбачев // Гигиена и санитария, 2008.– №1.– С.27–29.
243. Куценогий К.П. Элементный состав крови и волос коренных жителей Севера России с разной биогеохимической средой обитания / К.П. Куценогий, Т.И. Савченко, О.В. Чанкина, Э.Я. Журавская, Л.А. Гырголькау // Химия в интересах устойчивого развития, 2010.– Т.18.– С.51–61.
244. Ламанова Л.М. Внеклеточные минеральные зерна в тканях сердечно-сосудистой системы, методы их обнаружения и диагностики [Электронный ресурс] / Л.М. Ламанова, Н.Н. Борозновская.– URL: <http://sun.tsu.ru/mminfo/000063105/339/image/339-193.pdf>, свободный.– Яз. рус., Дата обращения: 07.06.2014.
245. Ламанова Л. М. Минералообразование в жировой ткани человека [Электронный ресурс] / URL: <http://www.minsoc.ru/FilesBase/2008-2-87-0.pdf>, свободный.– Яз. рус.,

- Дата обращения: 07.06.2014.
246. Левина Э.Н. Редкоземельные элементы / Э.Н. Левина // Вредные вещества в промышленности. Ч.II. Неорганические и металлоорганические соединения / под ред. Н.В. Лазарева.– Изд. 5-е.– М.: Химия, 1965.– С.429.
  247. Левинсон А. Введение в поисковую геохимию.– М.: Мир, 1976.– 365 с.
  248. Ленинджер А. Основы биохимии / А. Ленинджер.– М.: Мир, 1985.– Т.1.– 367 с.
  249. Леонова Г.А. Геохимическая роль планктона континентальных водоемов Сибири в концентрировании и биоседиментации микроэлементов: авторефер. дис. ... д.г.-м.н. / Леонова Галина Александровна.– Новосибирск, 2009.– 44 с.
  250. Летувнинкас А.И. Антропогенные геохимические аномалии и природная среда: учебное пособие.– Томск: Изд-во НТЛ, 2002.– 290 с.
  251. Летунова С.В., Ковальский В.В. Геохимическая экология микроорганизмов.– М.: Наука, 1978.– 127 с.
  252. Лобус Н.В. Содержание и миграция ртути в абиотических и биотических компонентах водных экосистем центрального и Южного Вьетнама: автореферат дисс. ... канд. биол. наук. / Николай Васильевич Лобус.– Борок, 2012.– 24 с.
  253. Луковенко В.П., Подрушняк А.Е. Содержание свинца и кадмия в волосах как показатель воздействия их на организм. // Гиг. и сан., 1991.– №11.– С.56–58.
  254. Лутц Б.Г. Химический состав континентальной коры и верхней мантии Земли / Б.Г. Лутц.– М.: Недра, 1976.– 152 с.
  255. Любченко П.Н. Скрининговые методы для выявления групп повышенного риска среди рабочих, контактирующих с токсичными химическими элементами / П.Н. Любченко, Б.А. Ревич, И.И. Левченко / Метод, реком. Утв. МЗ СССР 28.11.1988 г.– М., 1988.– 24 с.
  256. Лялин В.Г., Куранова В.Н. Животный мир, его использование и охрана // Новосибирск: Наука. Сиб. Отд-ние, 1991.– С.136–145.
  257. Маймулов В.Г. Современные подходы к донозологической диагностике и метаболической коррекции преморбидных состояний у детей / В.Г. Маймулов, Г.А. Баскович, В.А. Дадали, и др. // Вестник Санкт-Петербургской гос. мед. академии им. И.И. Мечникова, 2003.– №4(4).– С.46–54.
  258. Маленченко А.Ф. Содержания плутония и некоторых микроэлементов в волосах жителей Беларуси, проживающих на территории, пострадавшей при аварии на Чернобыльской АЭС / А.Ф. Маленченко, Н.Н. Бажанова, Н.В. Канаш, И.В. Жук, Е.М. Булыга, С.Ф. Ломоносова // Гигиена и санитария, 1997.– №5.– С.19–21.
  259. Малюга Д.П. Биогеохимический метод поисков рудных месторождений.– М.: Изд-во АН СССР, 1963.– 264 с.
  260. Мак-Леннан С.М. Геохимия: разделы, процессы, явления // Энциклопедия систем жизнеобеспечения. Знания об устойчивом развитии Том 1.– М., Издат. дом «Магистр-Пресс», 2005.– Т.1.– С.145–159.
  261. Материалы по токсикологии радиоактивных веществ.– М., 1964.– С.58–72.
  262. Матковская Т.В. Здоровье детей в зоне радиационного следа // После холодной войны: разоружение, конверсия и безопасность: материалы II международной радиологической конф.– Красноярск, 1995.– С.243–250.
  263. Машковцев Г.А. Константинов А.К., Мигута А.К. и др. Уран российских недр.– М.: ВИМС, 2010.– 850 с.
  264. Межибор А.М. Экогеохимия элементов-примесей в верховых торфах Томской области: авторефер. дис. ... канд.геол.-мин. наук / Антонина Михайловна Межибор.–

- Томск, 2009.– 22 с.
265. Медико-экологические риски современного города / Н.В. Ефимова [и др.]; Братский государственный университет (БрГУ).– Братск: Изд-во БрГУ, 2008.– 200 с.
  266. Мезенцева Н.В. Окись самария и окись европия / Н.В. Мезенцева // В кн.: Новые данные по токсикологии редких металлов и их соединений / под ред. З.И. Израэльсона.– М.: Медицина, 1967.– С.207.
  267. Меркулов В.Г., Глухов Г.Г., Резчиков В.И. Использование пылеаэрозольных выпадений для радиационного мониторинга окружающей среды. // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы Межд. конф., Томск, 22–24 мая 1996 г.– Томск: Изд-во ТПУ, 1996.– С.464–467.
  268. Мешков Н.А. Медико-социальные последствия ядерных испытаний: монография / Н.А. Мешков, Е.А. Вальцева, Г.М. Аветисов, В.К. Иванов, С.В. Казаков.– М.: Воентехиздат, 2003.– 398 с.
  269. Мжельская Т.И., Ларский Э.Г. Исследование содержания микроэлементов и ферментов в волосах как новый подход к изучению метаболизма на тканевом уровне. // Лаб. дело, 1983.– №1.– С.3–10.
  270. Микроэлементы в питании человека: Докл. Комис. экспертов ВОЗ.– М.: Медицина, 1975.– 74 с.
  271. Микроэлементозы человека / А.П. Авцын, А.А. Жаворонков, М.А. Риш, Д.С. Строчкова.– М.: Медицина, 1991.– 496 с.
  272. Микроэлементный состав волос населения как индикатор загрязнения природной и производственной сред. / Ю.Ф. Бабилова, В.В. Колесник, Н.П. Росляков и др. // Активационный анализ (методология и применение).– Ташкент: «ФАН», 1990.– С.209–214.
  273. Микроэлементы в питании человека / Доклады комиссии экспертов ВОЗ.– М.: Медицина, 1975.– 74 с.
  274. Микроэлементы и патология щитовидной железы в Томской области / О.А. Денисова, Н.В. Барановская, Л.П. Рихванов, Г.Э. Черногорюк, Ю.И. Сухих.– Томск: СТТ, 2011.– 190 с.
  275. Минералогическая энциклопедия: пер. с англ. / под ред. К. Фрея.– Л.: Недра, 1985.– 512 с.
  276. Мойкин Д.Ю. К обоснованию гигиенического норматива содержания самария в воде. // Гигиена и санитария, 1993.– №1.– С.24–25.
  277. Могилевская О.Я. О токсичности окислов РЗЭ: церия, неодима, лантана, иттрия, диспрозия / О.Я. Могилевская // Итоги научной сессии гигиенической кафедры 1-го МОЛМИ. Тезисы докл.– М.: МОЛМИ, 1962.– С.9.
  278. Могилевская О.Я. Редкоземельные элементы / О.Я. Могилевская, Н.Т. Райхлин // В кн.: Токсикология редких металлов / под ред. З.И. Израэльсона.– М.: Медицина, 1963.– С.195.
  279. Можаяев Е.А., Литвинов А.Н. Биомониторинг металлов. // Гиг. и сан., 1988.– №7.– С.53–56.
  280. Моисеев А.А. Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене / А.А. Моисеев, В.И. Иванов.– 3-е изд., перераб. и доп.– М.: Энергоатомиздат, 1984.– 296 с.
  281. Моисеев А.А., Иванов В.Н. Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене.– 3-е изд., перераб. и доп.– М.: Энергоатомиздат, 1984.– 296 с.
  282. Мойкин Д.Ю. К обоснованию гигиенического норматива содержания самария в воде. // Гиг. и сан., 1993.– №1.– С.24–25.

283. Монголина Т.А. Геохимические особенности солевых отложений (накипи) питьевых вод как индикатора природно-техногенного состояния территории: автореферат дисс. ...канд.геол.-мин. наук / Татьяна Александровна Монголина.– Томск, 2011.– 21 с.
284. Москалев Ю.И. Минеральный обмен / Ю.И. Москалев.– М.: Медицина, 1985.– 287 с.
285. Москвитина Н.С. Популяционная экология мелких млекопитающих юго-востока Западной Сибири: Автореф. дисс. в виде научного доклада на соискание ученой степени доктора биологических наук (на правах рукописи).– Томск, 1999.– 70 с.
286. Москвитина Н.С., Кохонов Е.В., Строителей А.Д. Биологическое накопление химических элементов как показатель состояния среды // Тяжелые металлы, радионуклиды и элементы-биофилы в окружающей среде: Доклады 2 Международной научно-практической конференции 16–18 октября 2002 г.– Семипалатинск: Казахстан, 2002.– С.422–425.
287. Мур Дж. Тяжелые металлы в природных водах контроль и оценка влияния / Дж. Мур, С. Рамамурти.– М.: Мир, 1987.– 286 с.
288. Мюллер Ф., Геккель Э. Основной биогенетический закон / Ф. Мюллер, Э. Геккель.– М.: Изд-во АН СССР 1940.– С.149.
289. Назаров А.Д., Шварцев С.Л. Подземные воды и их использование. // Природные ресурсы Томской области.– Новосибирск: Наука. Сиб. Отд-ние. 1991.– С.114–136.
290. Наркович Д.В. Проявление природных аномалий в составе волос детей / Д.В. Наркович, Н.В. Барановская // Биокостные взаимодействия в природных и антропогенных системах.– СПб: ВВМ, 2011.– С.304–307.
291. Наркович Д.В. Элементный состав волос детей как индикатор природно-техногенной обстановки территории (на примере Томской области): автореферат дисс. ...канд.геол.-мин. наук / Дина Владимировна Наркович.– Томск, 2012.– 21 с.
292. Наумов Г.Б. Геохимия биосферы / Г.Б. Наумов.– М.: Academia, 2010.– 384 с.
293. Недра России: в 2 т. Экология геологической среды / под ред. Н.В. Межеловского, А.А. Смыслова.– Санкт-Петербург: Горный ин-т. Межрегион. центр по геол. картографии, 2002.– Т.2.– 662 с.
294. Некоторые вопросы токсичности ионов металлов: пер. с англ. / ред. Х. Зигель.– М.: Мир, 1993.– 366 с.
295. Новиков Ю.В. Гигиенические вопросы изучения содержания урана во внешней среде и его влияния на организм / Ю.В. Новиков.– М.: Медицина, 1974.– 232 с.
296. Ноздрюхина Л.Р., Гринкевич Н.И. Нарушение микроэлементного обмена и пути его коррекции.– М.: Наука, 1980.– 280 с.
297. Ноздрюхина Л.Р. Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека.– М.: Наука, 1977.– 184 с.
298. Нотова С.В. Необходимость учета региональных особенностей в моделировании процессов межэлементных взаимодействий в организме человека / С.В. Нотова, С.А. Мирошников, И.П. Болодурина, Е.В. Дидикина // Вестник ОГУ, 2006.– №2 (Биоэлементология).– С.59–63.
299. Нотова С.В. Взаимосвязь между выраженностью изменений элементного состава волос человека и показателями неспецифической реакции адаптации / С.В. Нотова, А.Т. Быков // Экология человека, 2005.– №6 (Медицинская экология).– С.15–17.
300. О суточном постоянстве элементного состава крови человека. / А.А. Кист, Н.А. Крышенкова, Е.М. Лобанов и др. // Активационный анализ биологических объектов.– Ташкент: «ФАН», 1967.– С.73–87.

301. Окина О.И. Влияние техногенного загрязнения окружающей среды на микроэлементный состав биосубстратов человека (на примере г. Гусь-Хрустальный Владимирской области и Подольск Московской области): автореферат дисс. ...канд. тех. наук. / Ольга Ильинична Окина.– Москва, 2011.– 24 с.
302. Олигер Т.А., Юрьев В.С., Олигер А.И. Применение эколого-геохимического картографирования в области гигиены окружающей среды // Гигиена и санитария, 1994.– №1.– С.23–25.
303. Олихова С.В., Табачников М.М., Геворгян А.М. др. Содержание кадмия, свинца и меди в организме жителей Ташкента и Ташкентской области // Гигиена и санитария, 2000.– №3.– С.11–12.
304. Оптимизация системы лабораторного контроля, гигиенического биомониторинга и ранней неинвазивной диагностики. / Т.В. Юдина, Н.Е. Федорова, М.В. Егорова и др. // Гигиена и санитария, 1997.– №2.– С.45–48.
305. Оценка уровней поступления и содержания плутония в организме с использованием в качестве тест-ткани волос./ Н.Н. Бажанова, А.Ф. Маленченко, Н.В. Канаш и др. // Радиактивность при ядерных взрывах и авариях: Тезисы докладов на международной конференции 24–26 апреля 2000 г., Москва.– Санкт- Петербург: Гидрометиздат, 2000.– С.327.
306. Оценка состояния здоровья рабочих, занятых разделкой и утилизацией атомных подводных лодок на судоремонтном заводе «Нерпа» / В.В. Довгуша, В.М. Баранова, А.Н. Кагарлицкий, М.Н. Тихонов // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов (обзорная информация).– М.: ВИНТИ, 1997.– №4.– С.68–113.
307. Павловская Н.А. Торий-232 и продукты его распада. Биологические и гигиенические аспекты / Н.А. Павловская, М.Р. Зельцер.– М.: Энергоиздат, 1981.– 70 с.
308. Памяти первых российских биогеохимиков.– М.: Наука, 1994.– 222 с.
309. Параллельная оценка здоровья населения и биоты как средство индикации экологического риска / Н.С. Москвитина, Л.П. Волкотруб, Ю.А. Козлов и др. // Материалы международной конференции 14–17 марта 2000 г.– Томск, 2000.– Т.П.– 260 с.
310. Паранько Н.М., Белицкая Э.Н., Землякова Т.Д. и др. Роль тяжелых металлов в возникновении репродуктивных нарушений // Гигиена и санитария, 2002.– №1.– С.28–30.
311. Пат. 2256401 Российская Федерация, МПК7 А61В5/103, А61В5/00. Способ оценки состояния здоровья детей 1 группы здоровья / Транковская Л.В. [и др.]; заявитель и патентообладатель Владивостокский гос. мед. университет. №2003122300/14, заявл. 16.07.2003; опубл. 10.01.2005 [Электронный ресурс].– URL:[http://ntpo.com/patents\\_medicine/medicine\\_14/medicine\\_214.shtml](http://ntpo.com/patents_medicine/medicine_14/medicine_214.shtml) (дата обращения: 11.05.12).
312. Пахомова Н.Н. Сравнение результатов определения микрокомпонентов в золе биологических материалов методами ИНАА и ИСП-МС / Н.Н. Пахомова, А.Ф. Судыко, Л.П. Рихванов, Н.В. Барановская, Г.П. Сандмирова, Е.В. Смирнова, И.Н. Мысовская, В.И. Ложкин //Аналитика Сибири и Дальнего Востока: Материалы VIII Научной конференции, Томск, 13–18 окт. 2008.– Томск: Изд-во ТПУ, 2008.– С.194–195.
313. Перельман А.И. Очерки геохимии ландшафта.– М.: Географиздат, 1955.
314. Перельман А.И. Геохимия биосферы / А.И. Перельман.– М.: Наука, 1973.– 166 с.
315. Перельман А.И. Биокосные системы земли / А.И. Перельман.– М.: Наука, 1977.– 150 с.
316. Перельман А.И. Геохимия ландшафта и проблема эволюции нервной системы // Вестник московского ун-та. Серия география, 1979.– №2.– С.20–26.

317. Перельман А.И. Геохимия.– М.: Высшая школа, 1989.– 528 с.
318. Пейве Я.В. Микроэлементы и ферменты.– Рига: Издательство АН Латвийской ССР, 1960.– 260 с.
319. Петровская Т.С. Биоматериалы и имплантанты для травматологии и ортопедии / Петровская Т.С. и др.– Томск, изд-во ТПУ, 2011.– 307 с.
320. Петровский К.С. Гигиена питания: учебник / К.С. Петровский, В.Д. Ванханен.– 3-е изд., перераб. и доп.– М.: Медицина, 1982.– 528 с.
321. Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах.– М.: Минздрав СССР, 1986.– 11 с.
322. Петрунина Н.С. Проблемы геохимической экологии растений в условиях техногенеза биосферы. // Техногенез и биогеохимическая эволюция таксонов биосферы (Тр. Биогеохим. лаб.; Т.24).– М.: Наука, 2003.– Т.24.– С.195–205.
323. Пищевой статус учащихся современного общеобразовательного учреждения нового типа: монография. / Л.Г. Климацкая, К.Г. Громов, С.В. Куркатов и др.– Красноярск: ГОУ ВПО «Красноярская гос. мед. акад.», 2003.– 163 с.
324. Покатилов Ю.Г. Биогеохимия элементов, нозогеография юга Средней Сибири.– Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1992.– 168 с.
325. Покатилов Ю.Г. Биогеохимия биосферы и медико-биологические проблемы / Ю.Г. Покатилов.– Новосибирск: Наука, 1993.– 168 с.
326. Полиенко А.К. Онтогенез уролитов / А.К. Полиенко, Г.В. Шубин, В.А. Ермолаев; Томский политехнический университет.– Томск: Пресс-Интеграл, 1997.– 128 с.
327. Поликарпочкин В.В., Поликарпочкина Р. Г. Биогеохимические поиски месторождений полезных ископаемых.– М.: Наука, 1964.
328. Польшов Б.Б. Геохимические ландшафты: Вопросы минералогии, геохимии и петрографии.– М.: Изд-во АН СССР, 1946.– 174 с.
329. Полянский Н.Г. Аналитическая химия элементов. Бром.– М.: Наука, 1980.
330. Попов А.Я. Медико-социальные и экологические аспекты сохранения здоровья населения административного района крупного промышленного центра Сибири: автореферат дис. ... канд. мед. наук. / А.Я. Попов.– Кемерово, 2000.– 22 с.
331. Попов А.Я. Сравнительная характеристика заболеваний среди населения, проживающего в сельской местности на территориях, расположенных в северо-восточном и северо-западном направлениях от города Томска // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы Междунар. конф., Томск, 22–24 мая 1996 г.– Томск: Изд-во ТПУ, 1996.– С.334–337.
332. Потапов В.П. Геоэкология угледобывающих районов Кузбасса / В.П. Потапов, В.П. Мазикин, Е.Л. Счастливцев, Н.Ю. Вашлаева.– Новосибирск: Наука, 2005.– 660 с.
333. Прасолов Л.И. Генетические типы почв и почвенные области Европейской части СССР.– М.: Изд-во АН СССР, 1939.– 164 с.
334. Преображенский В.Н. Активационная терапия в системе медицинской реабилитации лиц опасных профессий / В.Н. Преображенский, И.Б. Ушаков, К.В. Лядов.– М., Паритет Граф, 2000.– 320 с.
335. Привес М.Г. Анатомия человека / М.Г. Привес, Н.К. Лысенков, В.И. Бушкович.– СПб: Гиппократ, 2001.– 704 с.
336. Применение ядерно-физических методов анализа в мониторинге окружающей среды. / А.П. Бояркина, Н.В. Васильев, С.И. Шелудько, др. // Труды 1 Всесоюзного совещания Ташкент, 23–26 октября 1979 г.– Ленинград: Гидрометеоздат, 1980.– С.53–60.

337. Природные и антропогенно измененные биохимические циклы. // Труды Биогеохимической лаборатории.– М.: Наука, 1990.– Т.ХХI.– 175 с.
338. Природные и антропогенные факторы, влияющие на состояние здоровья населения Республики Алтай.– Томск: Изд-во Сиб. мед. ун-та, 2003.– 150 с.
339. Пронина Н.Б. Экологические стрессы (причины, классификация, тестирование, физиолого-биохимические механизмы) / Н.Б. Пронина.– М.: Изд-во МСХА, 2000.– 312 с.
340. Радиоактивность и пища человека / под общей ред. Р. Рассела; пер. с англ. под ред. Акад. ВАСХНИЛ В.М. Ключковского.– М.: Атомиздат, 1971.– 376 с.
341. Радиационная экогенетика России. / Н.Н. Ильинских, В.И. Булатова, А.М. Адам и др.– Новосибирск: Издательство «Крокус», 1998.– 253 с.
342. Рапопорт И.А., Шигаева М.Х., Ахматуллина Н.Б. Химический мутагенез (проблемы и перспективы).– Алма-Ата: «Наука» КазССР, 1980.– 320 с.
343. Рапута В.Ф. Анализ аэрозольного загрязнения в районе Новосибирского оловокомбината / В.Ф. Рапута, О.В. Шуваева, В.В. Коковкин, С.Г. Шурухин, О.А. Воробьева // Химия в интересах устойчивого развития, 2002.– №10.– С.691–697.
344. Распределение селена в природных средах в связи с болезнью Кашина-Бека (на примере ряда районов Китая). / Ли Джиюн, Рен Шаньсун, Чэнь Дайзон и др. // Проблемы биогеохимической и геохимической экологии: Труды биогеохимической лаборатории.– М.: Наука, 1999.– Т.2.– С.107–114.
345. Рашевская А.М., Зорина Л.А. Профессиональные заболевания системы крови химической этиологии.– М.: Медицина, 1968.
346. Ребров В.Г. Витамины, макро- и микроэлементы / Ребров В.Г., Громова О.А.– М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008.– 960 с.
347. Реваян Р.Г. Биогеохимическая цикличность как функциональный критерий устойчивости экосистем: Автореф. дисс. ... д-ра геогр. наук.– Ереван, 2002.– 23 с.
348. Ревич Б.А. Окружающая среда и здоровье населения / Б.А. Ревич, С.Л. Авилиани, Г.И. Тихонова.– М.: Центр экологической политики, 2003.– 149 с.
349. Ревич Б.А. Химические элементы в волосах человека как индикатор воздействия загрязнения производственной и окружающей среды. // Гигиена и санитария, 1990.– №3.– С.55–59.
350. Ревич Б.А. Биомониторинг микроэлементов в организме человека. // Тезисы докл. 2 Всесоюзного совещания «Геохимия техногенеза».– Минск, 1991.– С.254–256.
351. Ревич В.А. Популяционное здоровье и химическое загрязнение среды обитания в России / Б.А. Ревич.– М.: Медицина, 1996.– 105 с.
352. Ревич Б.А. Загрязнение окружающей среды и здоровье населения.– М., 2001.– 212 с.
353. Ревич Б.А. Химические вещества в окружающей среде городов России: опасность для здоровья населения и перспективы профилактики / Б.А. Ревич // Вестн. Рос. акад. мед. наук, 2002.– №9.– С.45–49.
354. Региональные и локальные проблемы химического загрязнения окружающей среды и здоровья населения / Б.А. Ревич, Е. Гурвич, Ю. Прокопенко, Б. Прохоров.– М.: Изд-во Евразия, 1995.– 197 с.
355. Рейли К. Металлические загрязнения пищевых продуктов / К. Рейли.– М.: Агропромиздат, 1985.– 183 с.
356. Решетник Л.А. Клинико-гигиеническая оценка микроэлементных дисбалансов у детей Прибайкалья: Автореф. дисс. ... доктора мед. наук.– Иркутск, 2000.– 43 с.
357. Рихванов Л.П., Язиков Е.Г., Сарнаев С.И. Содержание тяжелых металлов в почвах.–

- Томск: Изд-во ТПУ, 1993.– 85 с.
358. Рихванов Л.П. Оценка состояния территории, прилегающей к СХК, радиогеохимическими методами. // После холодной войны: разоружение, конверсия и безопасность: Материалы II Международной радиоэкол. конф.– Красноярск, 1995.– С.134–139.
359. Рихванов Л.П. Структура и признаки природно-техногенного биогеохимического района в зоне влияния ядерных производств // Геохимическая экология и биогеохимическое районирование биосферы: Вторая Российская школа «БИОГЕЛ».– М., 1999.– С.79–80.
360. Рихванов Л.П. Общие и региональные проблемы радиоэкологии.– Томск: Изд. ТПИ, 1997.– 384 с.
361. Рихванов Л.П. Радиогеохимическая типизация рудно-магматических образований.– Новосибирск: Изд-во СО РАН филиал «Гео», 2002.– 536 с.
362. Рихванов Л.П. К геохимии живого вещества / Л.П. Рихванов, Н.В. Барановская, Т.Н. Игнатова // Актуальные проблемы геохимической экологии: сборник докладов IV Международной научно-практической конференции.– Семипалатинск, 2006.– С.19–40.
363. Рихванов Л.П. Геохимический отклик природных сред на техногенез / Л.П. Рихванов // Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде: материалы V Международной научно-практической конференции, Семипалатинский государственный педагогический институт, 15–18 октября 2008 г.– Т.1.– Семипалатинск.– С.54–61.
364. 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.
365. 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.– Семипалатинск.– Т.2.– С.26–36.
366. Рихванов Л.П. Элементный состав органов и тканей человека / Л.П. Рихванов, Н.В. Барановская, Т.Н. Игнатова, А.Ф. Судыко, Г.П. Сандиминова, Н.Н. Пахомова // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии.– Республика Казахстан, г. Семипалатинск, 2009.– №1(9).– С.67–77.
367. 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. Сандиминова, Н.Н. Пахомова // Геохимия, 2011.– №7.– С.779–784.
368. Рихванов Л.П. Химические элементы в организме человека как основа для реализации идей медицинской геологии / Рихванов Л.П., Барановская Н.В., Судыко А.Ф. и др. // Горный журнал, 2013.– №3.– С.37–41.
369. Рихванов Л.П. Состояние компонентов природной среды Томской области по данным эколого-геохимического мониторинга и здоровья населения / Рихванов Л.П. и др. // Безопасность жизнедеятельности, 2008.– №1(85).– С.29–37.
370. Риш М.А. Наследственные микроэлементозы. // Техногенез и биогеохимическая эволюция таксонов биосферы (Тр. Биогеохим. лаб.; Т.24).– М.: Наука, 2003.– Т.24.–

- С.301–348.
371. Розен Б.Я. Геохимия брома и йода.– М.: Недра, 1970.– 143 с.
372. Рощин И.В. Действие на организм пыли фторида редких земель / И.В. Рощин // Гигиена труда и проф. заболеув., 1961.– №7.– С.41.
373. Рощин И.В. Фторид редких земель / Рощин И.В. // В кн.: Новые данные по токсикологии редких металлов и их соединений / под ред. З.И. Израэльсона.– М.: Медицина, 1967.– С.223.
374. Рябчиков Д.И. Аналитическая химия редкоземельных элементов и иттрия: монография / Д.И. Рябчиков, В.А. Рябухин.– М.: Наука, 1966.– 381 с.
375. Савченко Т.И., Чанкина О.В., Ковальская Г.А., Осипова Л.П. Определение многоэлементного состава крови и волос тундровых ненцев методом рентгенофлуоресцентного анализа с использованием синхронного излучения (РФА СИ) // Сибирский экологический журнал, 2000.– №1.– С.85–91.
376. Саенко Г.Н. Металлы и галогены в морских организмах.– М.: Наука, 1992.– 200 с.
377. Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды.– М.: Недра, 1990.– 335 с.
378. Город как техногенный субрегион биосферы // Биогеохимическое районирование и геохимическая экология (Тр. Биогеохим. лаб., т. 20).– М.: Наука, 1985.– С.133–166.
379. Самойлов Я.В. Биолиты : посмертный сборник статей / Я.В. Самойлов; авт. предисл. акад. В.И. Вернадский и акад. А.Е. Ферсман.– Ленинград: Научное химико-техническое издательство: Научно-техническое управление ВСНХ, 1929.– 140 с.
380. Стайлс В. Микроэлементы в жизни растений и животных.– М.: Мир, 1949.– 359 с.
381. Селиванов Л.С. Геохимия и биогеохимия рассеяного брома. 1. Бром в растениях и пресных водах. 3. Бром в наземных растениях. // Тр. биогеохимической лаборатории.– М.; Л., 1939.– Т. 5.– С.113–122, 145–149.
382. Селиванов Л.С. Геохимия и биохимия рассеяного брома. // Тр. Биогеохим. лаб.– М.; Л., 1946.– Т.8.– С.5–72.
383. Семенов Н.В. Биохимические компоненты и константы жидких сред и тканей человека / Н.В. Семенов.– М.: Медицина, 1971.– 151 с.
384. Сергеева Е.М. Редкоземельные элементы как индикаторы состояния природной среды (на основе анализа зарубежных публикаций) // Проблемы геологии и освоения недр: труды 6 Международного научного симпозиума им. академика М.А. Усова студентов, аспирантов и молодых ученых.– Томск, 2002.– С.461–462.
385. Сидельникова Л.И., Цветкова М.Р. Промышленное загрязнение среды и здоровье населения. // Экология промышленного производства: науч.-техн. сб.– М., 1994.– №3.– С.32–35.
386. Скальная М.Г. Гигиеническая оценка влияния минеральных компонентов рациона питания и среды обитания на здоровье населения мегаполиса: автореферат дисс. ...докт. мед. наук. / Маргарита Геннадиевна Скальная.– М., 2004.– 303 с.
387. Скальный А.В. Микроэлементозы человека (диагностика и лечение).– М.: Изд-во КМК, 1999.– 96 с.
388. Скальный А.В. Микроэлементозы человека: гигиеническая диагностика и коррекция / А.В. Скальный // МЭ в медицине, 2000.– Т.1.– С.2–8.
389. Скальный А.В. Установление границ допустимого содержания химических элементов в волосах детей с применением центильных шкал / А.В. Скальный. // Вестник СПб ГМА им. И.И. Мечникова, 2002.– №1–2.– С.62–65.
390. Скальный А.В. Референтные значения концентрации химических элементов в во-

- лосах, полученные методом ИСП-АЭС (АНО Центр биотической медицины) / А.В. Скальный // Микроэлементы в медицине, 2003.– Т.4. Вып.1.– С.55–56.
391. Скальный А.В. Медико-экологическая оценка риска гипермикроэлементозов у населения мегаполиса / А.В. Скальный, А.Т. Быков, Е.П. Серебрянский, М.Г. Скальная.– Оренбург, РИК ГОУ ОГУ, 2003.– 134 с.
392. Скальный А.В. Эколого-физиологический аспект применения макро- и микроэлементов в восстановительной медицине / А.В. Скальный, А.Т. Быков.– Оренбург: РИК ГОУ ОГУ, 2003.– 198 с.
393. Скальный А.В. Биоэлементы в медицине / А.В. Скальный, И.А. Рудаков.– М.: «ОНИКС», 2004.– 272 с.
394. Скальный А.В. Биоэлементология: основные понятия и термины: терминологический словарь / А.В. Скальный.– Оренбург: ГОУ ОГУ, 2005.– 50 с.
395. Скальный А.В. Методология оценки эффективности коррекции элементного статуса человека / А.В. Скальный, Р.М. Дубовой, Е.В. Лакарова // Вестник восстановительной медицины, 2009.– №1(29).– С.36–40.
396. Скоблин А.П. Микроэлементы в костной ткани / А.П. Скоблин, А.М. Белоус.– М.: Медицина, 1968.– 232 с.
397. Смагина Т.А., Кизицкий М.И. Природа, население и хозяйство Ростовской области / Т.А. Смагина, М.И. Кизицкий.– Ростов на/Д.: Изд-во обл. ИУУ, 1994.– 151 с.
398. Смольянинов С.И. Микроэлементы в верховом торфе Томской области / С.И. Смольянинов., В.К. Бернатонис, В.С. Архипов, Д.Ю. Балабаев // Исследование свойств и технологии добычи торфа. Сб. научн. тр.– Л.: Изд-во ВНИИП, 1990.– Вып.65.– С.15–21.
399. Смоляр В.И. Гипо- и гипермикроэлементозы / В.И. Смоляр.– Киев.: Здоровье, 1989.– 150 с.
400. Содержание плутония и некоторых микроэлементов в волосах жителей Беларуси, проживающих на территории, пострадавшей при аварии на Чернобыльской АЭС / А.Ф. Маленченко, Н.Н. Бажанова, Н.В. Канах и др. // Гиг. и сан., 1997.– №3.– С.19–21.
401. Спицын В.И. Неорганическая химии. Ч.1. / В.И. Спицын, Л.И. Мартыненко.– М.: Изд-во МГУ, 1991.– С.378–391.
402. Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых / А.П. Соловов, А.Я. Архипов, В.А. Богуров и др.– М.: Недра, 1990.– 335 с.
403. Степанов А.М. Методология биоиндикации и фонового мониторинга экосистем суши. // Экотоксикология и охрана природы: сб. науч. тр.– М.: «Наука», 1988.– С.28–108.
404. Страницы автобиографии В.И. Вернадского.– М.: Наука, 1981.– 352 с.
405. Стукс И.Ю. Экологические факторы риска артериальной гипертензии (по данным исследования в Тыве).– Томск: Изд-во Томского ун-та, 1997.– 126 с.
406. Судыко А.Ф. Определение урана и тория в природных объектах нейтронно-активационным методом / А.Ф. Судыко // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы II Международ. конф., 18–22 окт. 2004 г., Томск.– Томск: Изд-во «Тандем-Арт», 2004.– С.587–592.
407. Сусликов В.Л. Геохимическая экология болезней: Атомовитозы / В.Л. Сусликов.– М.: Гелиос АРВ, 2000.– Т.3.– 672 с.
408. Сухих Ю.И. Гигиенические аспекты здоровья населения в условиях антропогенного загрязнения окружающей среды (на примере Томского района): автореф. дисс.

- ...к.м.н. / Ю.И. Сухих.– Москва, 2005.– 24 с.
409. Сытник К.М., В.И. Вернадский: Жизнь и деятельности на Украине / К.М. Сытник, С.М. Стойко, Е.М. Апанович.– Киев: Наук. думка, 1984.– 235 с.
410. Таловская А.В. Оценка эколого-геохимического состояния районов г. Томска по данным изучения пылеаэрозолей: авторефер. дис. ...к.г.-м.н. / Таловская Анна Валерьевна.– Томск: Б.И., 2008.– 23 с.
411. Талипов Р.М. Биогеохимические поиски полиметаллических и медных месторождений в условиях Узбекистана.– Ташкент: «ФАН», 1988.– 105 с.
412. Теоретические основы биогеохимической экспертизы окружающей среды / П.В. Ивашов, С.Е. Сиротский, В.П. Шестеркин и др.: отв. ред. П.В. Ивашов: РАН, Дальневосточное отделение, Хабаровский научный центр, Ин-т водных и экол. проблем.– Владивосток: Хабаровск, 1998.– 158 с.
413. Техногенез и биогеохимическая эволюция таксонов биосферы / под ред. В.В. Ермакова.– М.: Наука, 2003.– 351 с.
414. Титаева Н.А. Геохимия природных радиоактивных рядов распада / Н.А. Титаева.– М.: ГЕОС, 2005.– 226 с.
415. Ткалич С.М. Практическое руководство по биогеохимическому методу поисков рудных месторождений.– М.: Государственный научно исследовательский институт литературы по геологии и охране недр, 1959.– 52 с.
416. Ткалич С.М. Фитогеохимический метод поисков месторождений полезных ископаемых.– Ленинград: Недр, 1970.– 175 с.
417. Трахтенберг Н.М. Тяжелые металлы во внешней среде: современные гигиенические и токсикологические аспекты / Н.М. Трахтенберг, В.С. Колесников, В.П. Луковенко.– Минск: Наука и техника, 1994.– 255 с.
418. Туркебаева Е.К. Эколого-физиологические особенности элементного статуса детей школьного возраста Республики Саха (Якутия): автореферат дис. ...канд. мед. наук. / Е.К. Туркебаева.– М., 2004.– 20 с.
419. Тэйлор С.Р., Мак-Леннан С.А. Континентальная кора. Её состав и эволюция.– М.: Мир, 1988.– 380 с.
420. Тэрыще К.В., Покаржевский А.Д. Методический подход к оценке влияния загрязняющих веществ на почвы (на примере мощных черноземов)// Биоиндикация и биомониторинг.– М., 1991.– С.247–263.
421. Тютиков С.Ф. Геохимическая экология диких животных Центрального Черноземья. // Техногенез и биогеохимическая эволюция таксонов биосферы (Тр. Биогеохим. лаб.; Т.24).– М.: Наука, 2003.– Т.24.– С.263–274.
422. Тяжелые металлы в окружающей среде и их влияние на организм. / Р.С. Гильденскильд, Ю.В. Новиков, Р.С. Хамидулин и др. // Гиг. и сан., 1992.– №5–6.– С.6–9.
423. Тяжелые металлы и мышьяк в дикорастущих лекарственных растениях Алтая / М.А. Мальгин, А.В. Пузанов, О.А. Ельчинова, Т.А. Горюнова // Сибирский экологический журнал, 1995.– №6.– С.510–514.
424. Тяжелые металлы в системе почва-растение-удобрение.– М.: Изд-во «Пролетарский светоч», 1997.– 290 с.
425. Уильямс Д. Металлы жизни / Д. Уильямс.– М.: Мир, 1975.– 236 с.
426. Уоррен Г.П., Делава Р.Б. Геохимические методы поисков в Британской Колумбии. // Реф. Журнал, 1954.– №4.– С.3988.
427. Уткин В.И., Чеботина М.Я., Евчигнеев Е.В., Любашевский Н.М. Особенности радиационной обстановки на Урале / В.И. Уткин, М.Я. Чеботина, Е.В. Евстигнеев,

- Н.М. Любашевский.– Екатеринбург, 2004.– 150 с.
428. Ушаков А.А. Использование центильного метода статистики в практике научных исследований / А.А. Ушаков // *Успехи современного естествознания*, 2008.– №5.– С.150–151.
429. Федоров В.Д. Проблема предельно допустимых воздействий антропогенного фактора с позиций эколога // *Всесторонний анализ окружающей природной среды: тр. II Сов.-амер. Симпозиума.– Л., 1976.– С.192–211.*
430. Ферсман А.Е. Геохимия.– Ленинград: ОНТИ-Химтеорет, 1934.– Т.II.– 354 с.
431. Ферсман А.Е. Геохимия. / А.Е. Ферсман.– Ленинград: ОНТИ-Химтеорет, 1937.– Т.III.– 503 с.
432. Физические методы анализа следов элементов / Пер. с англ. Ю.И. Беляева и Ю.В. Яковлева, под. ред. И.П. Алимарина.– М.: Мир, 1967.– 416 с.
433. Фортескью Дж. Геохимия окружающей среды / Дж. Фортескью.– М.: Прогресс, 1985.– 360 с.
434. Хазанов А.Т. Введение в секционный курс / А.Т. Хазанов, И.А. Чалисов.– Л.: Изд-во Медицина, 1969.– 190 с.
435. Хорн Р. Морская химия (структура воды и химия гидросферы) / Р. Хорн.– М.: Мир, 1972.– 380 с.
436. Целительная сила минералов, особых питательных веществ и микроэлементов / П. Бергенер; пер. с англ. У. Сапциной.– М.: изд. «Крон-пресс», 1998.– 286 с.
437. Циркон-ильменитовые россыпные месторождения – как потенциальный источник развития Западно-Сибирского региона / Л.П. Рихванов, С.С. Кропанин, С.А. Бабенко, А.И. Соловьев, В.М. Советов, Т.Ю. Усова, М.А. Полякова; отв. ред. Е.Н. Трибугский, М.С. Паровинчак.– Кемерово: ООО «Сарс», 2001.– 214 с.
438. Цыров Г.И., Столярова В.А., Герасимова О.А. Структура патологии щитовидной железы и ее взаимосвязь с особенностями геохимической структуры Томской области. // *Влияние загрязнения окружающей среды на здоровье человека: материалы 1-й Всероссийской научной конференции с международным участием (9–11 декабря 2002 г., Новосибирск)*. Под ред. Ю.П. Гичева.– Новосибирск, 2002.– С.157–158.
439. Человек медико-биологические данные (Доклад рабочей группы комитета II МКРЗ по условному человеку).– М.: Медицина, 1977.– 496 с.
440. Чернавина И.А. Физиология и биохимия микроэлементов.– М.: Высшая школа, 1970.– 283 с.
441. Черняева Т.К., Матвеева Н.А., Кузмичев Ю.Г., Грачева М.П. Содержание тяжелых металлов в волосах детей в промышленном городе. // *Гигиена и санитария*, 1997.– №3.– С.26–28.
442. Чернякина Т.С. Научное обоснование системы оздоровления детей в напряженных экологических и социально-гигиенических условиях: автореферат дис. ...докт. мед. наук. / Т.С. Чернякина.– Санкт-Петербург, 2006.– 48 с.
443. Чухловин А.Б., Ягунов А.С., Токалов С.В., др. Влияние экстрактов почв с различным содержанием тяжелых металлов на жизнеспособность изолированных клеток системы крови. // *Гигиена и санитария*, 1995.– №6.– С.11–13.
444. Чучалин А.Г. Патология органов дыхания у ликвидаторов аварии на Чернобыльской АЭС / А.Г. Чучалин, А.Л. Черняев, К. Вуазен.– М.: Грантъ, 1998.– 272 с.
445. Шабалин В.Н. Морфология биологических жидкостей человека / В.Н. Шабалин, С.Н. Шагохина.– М.: Хризостом, 2001.– 304 с.
446. Шатилов А.Ю. Вещественный состав и геохимическая характеристика пылевых

- атмосферных выпадений на территории Обского бассейна: Автореф. дис. ...канд. геол.-минерал. наук.– Томск, 2001.– С.23.
447. Шашель В.А. Экологические и медицинские проблемы Черноморского побережья Кавказа / В.А. Шашель, А.П. Холопов, Ю.М. Перов.– Краснодар: Диапазон-В, 2006.
448. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза / С.Л. Шварцев.– Изд. 2-е, исправл. и доп.– М.: Недра, 1998.– 366 с.
449. Швецова Д.В. Ртуть в волосах детей Томской области / Д.В. Швецова, Н.В. Барановская, Н.П. Корогод // Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты: Материалы Международного симпозиума – Москва, Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, 7–9 сент. 2010.– М.: ГЕОХИ РАН, 2010.– С.330–333.
450. Шестаков Ю.Г. Математические методы в геологии: учебное пособие / Ю.Г. Шестаков.– Красноярск: Изд-во Красноярского ун-та, 1988.– 208 с.
451. Эколого-геохимические особенности природных сред Томского района и заболеваемость населения / Л.П. Рихванов, Е.Г. Язиков, Ю.И. Сухих и др.– Томск, 2006.– 216 с.
452. Щербаков В.А. Эликсир бессмертия – главный секрет Океана // Книга тайн.– М., 1991.
453. Шестаков Ю.Г. Математические методы в геологии: учебное пособие.– Красноярск: Изд-во Красноярского ун-та, 1988.– 208 с.
454. Шилова И.В. Исследование княжика сибирского как эффективного ноотропного средства: Автореф. дис. ...канд. фарм. наук.– Пермь, 2001.– 29 с.
455. Шоу Д.М. Геохимия микроэлементов кристаллических горных пород.– Л.: Недра, 1969.– 207 с.
456. Штреффер К. Радиационная биохимия / К. Штреффер; пер. с нем. под ред. Е.Ф. Романцева.– М.: Атомиздат, 1972.– 200 с.
457. Шустов В.Я. Микроэлементы в гематологии.– М.: Медицина, 1967.– 158 с.
458. Эйхгорн Г.Л. Комплексы нуклеозидов и нуклеотидов // Неорганическая биохимия.– Москва: Мир, 1978.– Т.2.– С.662–682.
459. Экогеохимия Западной Сибири. Тяжелые металлы и радионуклиды / науч. ред. чл.-кор. РАН Г.В. Поляков.– Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГТМ, 1996.– 248 с.
460. Экология Северного промышленного узла города Томска: проблемы и решения / Под ред. А.М. Адама.– Томск: Изд-во томского ун-та, 1994.– 260 с.
461. Экологический мониторинг. Состояние окружающей природной среды Томской области в 1999 г. Обзор.– Гос. Ком. по охране окружающей среды Томской области.– Томск, 2000.– 250 с.
462. Экологический мониторинг: Состояние окружающей среды Томской области в 2005 году. Обзор.– Департамент природн. ресурсов и охраны окружающей среды Администрации Томской области.– Томск: Графика, 2006.– 148 с.
463. Элементный состав надземной части *Atragene sibirica* L. / И.В. Шилова, Е.А. Краснов, А.И. Пяк и др. // Растительные ресурсы.– Санкт-Петербург: РАН, 2002.– Т.38.– Вып.4.– С.69–74.
464. Эммануэль Н.М. Организм и физико-химические факторы окружающей среды // Город, природа, человек.– М.: Мысль, 1982.– С.164–180.
465. Эмсли Дж. Элементы / Пер. с англ. Е.А. Краснушкиной.– М.: Мир, 1993.– 256 с.
466. Эпидемиологическая генотоксикология тяжелых металлов и здоровье человека / Е.Н. Ильинских, Л.М. Огородова, П.А. Безруких, др.– Томск: Сибирский госмедуниверситет, 2003.– 301 с.

467. Юданова Л.А. Промышленные выбросы и аллергия / Л.А. Юданова; отв. ред. акад. Д.Г. Кнорре.– Новосибирск, 1990.– 126 с.
468. Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Мерц А.В. Элементы-примеси в ископаемых углях.– Ленинград: Наука, 1985.– 240 с.
469. Юдина Т.В., Гильденскиольд Р.С., Егорова М.В. Определение тяжелых металлов в волосах. // Гигиена и санитария, 1988.– №2.– С.50–52.
470. Юшкин Н.П. Биоминеральные взаимодействия // 42-е чтение им. В.И. Вернадского. 12 марта 2002 г.– М.: Наука, 2002.– 59 с.
471. Язиков Е.Г. Геохимическая оценка почвенного покрова в районе Томского нефтехимического комбината / Е.Г. Язиков, С.А. Грязнов // Актуальные вопросы геологии и географии Сибири: материалы научн. конф.– Томск: Изд-во ТГУ, 1998.– Т.3.– С.304–306.
472. Язиков Е.Г., Рихванов Л.П., Шатилов А.Ю. Методика комплексной эколого-геохимической оценки территорий для решения геологических задач. // Материалы региональной конференции геологов Сибири, Дальнего востока и Северо-востока России, 2000.– Т.2.– С.246–248.
473. Язиков Е.Г. Разработка методологии комплексной эколого-геохимической оценки состояния природной среды (на примере объектов юга Западной Сибири) // Известия ТПУ, 2001.– Вып.1.– Т.304.– С.325–336
474. Язиков Е.Г. Экогеохимия урбанизированных территорий юга Западной Сибири: дис. ...докт. геол.-минер. наук. / Егор Григорьевич Язиков; Том. политехн. ун-т.– Томск, 2006.– 423 с.
475. Язиков Е.Г. Оценка эколого-геохимического состояния территории г. Томска по данным изучения пылеаэрозолей и почв: монография / Е.Г. Язиков, А.В. Таловская, Л.В. Жорняк.– Томск: Изд-во ТПУ, 2010.– 264 с.
476. Янин Е.П. Экологическая геохимия и проблемы биогенной миграции химических элементов 3-го рода // Техногенез и биогеохимическая эволюция таксонов биосферы (Тр. Биогеохим. лаб.; Т.24).– М.: Наука, 2003.– Т.24.– С.37–75.
477. Ярмоненко С.П. Радиобиология человека и животных / С.П. Ярмоненко, А.А. Вайнсон.– М.: Высшая школа, 2004.– 549 с.
478. Яцык Г.В. Влияние окружающей среды на здоровье новорожденных / Г.В. Яцык, Ю.С. Акоев // Экология и здоровье детей / Под ред. М.Я. Студеникина, А.А. Ефимовой.– М.: Медицина, 1998.– С.153–187.
479. Aggett P.J. Physiology and Metabolism of Essential Trace Elements: An Outline / P.J. Aggett // Clin. Endocrinol. Metab., 1985.– V.14.– №3.– P.513–543.
480. Anke M. Trace elements intake and balance of adults in Central Europe / M. Anke // ТЕМА-10. Evian. 3–7 of May, 1999.– Evian., 1999.– P.33.
481. Anke M., Arnhold L., Angelow L. Essentiality of Arsenic, Bromine, Fluorine and Titanium for Animal and Man. // Proceedings Book 3<sup>rd</sup> International symposium on trace elements in human: new perspectives.– Greece, 2001.– P.204–228.
482. Baranovskaja N., Rikhvanov L. Trace elements in composition of biosubstrates of people living in a district of the nuclear plant of Russia. // Macro and Trace Element: 21 Workshop.– Friedrich Schiller University Jena, 2002.– P.1266–1270.
483. Baranovskaya N.V. Element content in children hair samples (Tomsk Region, Russia) / N.V. Baranovskaya, D.V. Shvetsova, L.P. Rikhvanov // Trace Elements in Human: New Perspectives: Proc. of the 7<sup>th</sup> Intern. Symp.– Athens, Greece, 2009.– P.290–303.
484. Baranovskaya N.V. Element composition of human organs and tissue / N.V. Baranovskaya,

- L.P. Rikhvanov, T.N. Ignatova, I.A. Matveenکو // Proceedings 7<sup>th</sup> International symposium on trace elements in human: new perspectives, October 13–15<sup>th</sup> 2009.– Athens, Greece, 2009.– P.212–222.
485. Behaviour of trace element concentration in human organs in dependence of age and environment / M. Persigehl, H. Schicha, K. Kasperek, L.E. Feinendegen. // *J. of Rad. Chem.*– Vol.37 (1977).– P.611–615.
486. Bertrand D. Survey of contemporary knowledge of biogeochemistry / D. Bertrand // *Bull. Amer. Museum Nat. History*, 94, 1950.– P.403–450.
487. Björnberg K.A. Methyl mercury exposure in Swedish women with high fish consumption / K.A. Björnberg, M. Vahter, K. Petersson-Grawé, M. Berglund // *Science of The Total Environment*, 2005.– Vol.341.– I.1–3.– P.45–52.
488. *Biogeochemistry* / edited by W.H. Schlesinger.– Amsterdam-Boston-Heidelberg-London-New York-Oxford-Paris-San Diego-San Francisco-Singapore-Sydney-Tokyo: Elsevier, 2005.– V.8.– P.702.
489. Biological behavior, effects, and decorporation of uranium / L. Gmelin.– *Gmelin handbuch der anorganischen chemie.*– Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg-New York, 1982.– P.300–351.
490. *Biological Monitoring of Metals.* / C.G. Elinder, L. Freiberg et al.– Geneva : WHO, 1990.– P.80.
491. Bowen N.J.M. Trace elements in biochemistry.– London-New York: Academic Press, 1966.– P.241.
492. Bowen N.J.M. Environmental chemistry of the elements.– L.etc.: Academic Press, 1979.– P.333.
493. Chemical elements in the environment: factsheets for the geochemist and environmental scientist / Clemens Reimann, Patrice de Caritat.– Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1998.– P.399.
494. Cannon H.L. Botanical prospecting for ore deposits.– *Science*, 1960.– V.132.– №3427.
495. Capasso A. Potentially toxic elements, pollution and hair / A. Capasso, A. Loizzo, S. Caroli // *Handbook of hair in health and disease. Human Health Handbooks*, 2012.– №1.– Vol.1.– P.294–315.
496. Carneiro M.F.H. Assessment of Trace Elements in Scalp Hair of a Young Urban Population in Brazil / M.F.H. Carneiro, M. Moresco, G.R. Chagas, V. C. Oliveira Souza, C. Rhoden, F. Barbosa Jr // *Biological Trace Element Research*, 2011.– Vol.143.– I.2.– P.815–824.
497. Caroli S. Assessment of reference values for elements in hair of urban normal subjects / S. Caroli, O. Senofonte, N. Violante, L. Fornarelli, A. Powar // *Microchem. J.*, 1992.– Vol.46.– P.174–183.
498. Caroli S. The assessment of reference values for elements in human biological tissues and fluids: a systematic review / S. Caroli, A. Alimonti, E. Coni, F. Petrucci, N. Senofonte, N. Violante // *Crit Rev Anal Chem.*, 1994.– Vol.24.– P.363–398.
499. Clemente G.F., Cigna Rossi L., Santaroni G.P. Trace element intake and excretion in the Italian population // *J. of Radioan. Chem.*, 1977.– Vol.37.– P.549–558.
500. Degteva M.O., Kozheurov V.P. Agedependent Model for Strontium Retention in Human Bone. *Radiation Protection Dosimetry*, 1994.– №1–4.– P.229–233.
501. Element analysis of biological materials. Current problems and techniques with special reference to trace elements. Appendix II. Technical reports series.– Vienna: IAEA, 1980.– №197.– P.351–367.
502. Elemental blood composition of the inhabitants of Uzbekistan. / L.I. Zhuk, A.A. Kist,

- I.N. Mikholskaya et al. // *J. of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Articles*, 1988.– Vol.120.– №2.– P.369–377.
503. Ermakov V. Se-migration in the biogeochemical food chains of Russia landscapes / V. Ermakov // *Проблемы биогеохимии и геохимической экологии*, 2008.– №2(6).– С.3–10.
504. *Essentials of Medical geology. Impacts of the Natural Environment on Public Health / edited-in-Chief: Olle Selinus.*– Elsevier Academic Press, 2005.– P.812.
505. *Environmental geochemistry / edited by B. Sherwood Lollar.*– Amsterdam-Boston-Heidelberg-London-New York-Oxford-Paris-San Diego-San Francisco-Singapore-Sydney-Tokyo: Elsevier, 2005.– V.9.– P.630.
506. Eschnauer H.R. Essentielle mineralstoffe, Spurenelemente und Ultraspurenelemente in Wein. // *Mengen und Spurenelemente: 18 Arbeitstagung, 4 und 5 Dez., 1998 in der Aula der Friedrich-Schiller-Uni Jena.*– Leipzig: Schubert, 1998.– P.804–810.
507. External doses of residents near Semipalatinsk nuclear test site /Jun Takada, Manaharu Hoshi, Tsuneto Nagatomo, et.al. // *Radiat. Res.*, 1999.– №40.– P.337–444.
508. Fabbiaani G. Thrombohemorrhagic Lesions induced by combined treatment with, rare earth metals and epinephrine / G. Fabbiaani, M.Z. Jacgmin, H. Selys // *J. Pharmacol. Exp. Ther.*, 1966.– V.152.– №2.– P.275.
509. Faghihian H. Determination of trace elements in hair of some local population in Iran by instrumental neutron activation analysis / H. Faghihian, H. Rahbarnia // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2002.– Vol.251.– I.3.– P.427–430.
510. Feng W.Y., A new neutron activation technique for simultaneous determination of inorganic and total mercury contents in human hair / W.Y. Feng, C.F. Chai, Q.F. Qian // *Radioanal. Nucl. Chem.*, 1996.– Vol.212.– №1.– P.61–68.
511. Graca J.G. Comparative Toxicity of Stable Rare Earth Compounds. I. Effect of Citrate Complexing on Stable Rare Earth chloride Toxicity / J.G. Graca, E.L. Garst, W.E. Lowry // *Arch. Industr. Health.*, 1957.– V.15.– №1.– P.9.
512. Guidotti T.L. / *Essential of Medical geology impacts of the natural environment on public health / T.L. Guidotti // Toxicology.*– Amsterdam-Boston-Heidelberg-London-New York-Oxford-Paris-San Diego-San Francisco-Singapore-Sydney-Tokyo: Elsevier, 2005.– P.595–608.
513. Hoffman J. U in human thyroid gland and dog testicle and pancreas / J. Hoffman // *Naturwissenschaften*, 1942.– №30.– P.279–280.
514. Hoffman J. Bioelement uranium in plants and animals as well as in human organism / J. Hoffman // *Biochem. Ztschr.*, 313, 1943.– №5/6.– P.377–387.
515. Hutchinson G.E. The biogeochemistry of aluminium and certain related elements / G.E. Hutchinson // *Quart. Rev. Biol.*, 1943.– 18.– P.1–29, 129–262.
516. 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 // *Material 7<sup>th</sup> International symposium on trace elements in human: new perspectives.*– Greece, Athens, 13–15 October 2009.– P.223–227.
517. 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.
518. International Commission on Radiological Protection // *Health Phys.*, 1966.– V.12.– P.173–205.
519. Iyengar G.V. The elemental composition of human tissues and body fluids / G.V. Iyengar,

- W.E. Kollmer, H.J.M. Bowen.– Weinheim-New York: Verlag Chemie, 1978.– P.151.
520. Iyengar G.V., Kollmer W.E., Bowen H.J.M. The elemental composition of human tissues and body fluids.– Weinheim-New York: Verlag Chemie, 1978.– P.7.
521. Jee W.S.S. Assessment of radioactivity of man / W.S.S. Jee.– Vienna: IAEA., 1964.– P.369.
522. Jee W.S.S. Distribution and toxicity of  $^{239}\text{Pu}$  in bone / W.S.S. Jee. // *Health Physics.*, 1972.– V.22.– P.583–595.
523. Kabata-Pendias A. Trace Elements from Soil to Human / A. Kabata-Pendias.– Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007.– P.519.
524. Katz S.A. Hair analysis: applications in the biomedical and environmental sciences / S.A. Katz, Chatt A.– Weinheim: VCH Verlags-gesellschaft, 1988.– P.133.
525. Ketris M.P. Estimations of Clarkes for Carbonaceous biolithes: World averages for trace element contents in black shales and coals / M.P. Ketris, Ya.E. Yudovich // *International Journal of Coal Geology*, 2009.– №78.– P.135–148.
526. Kist A.A. Human hair composition and the problems of global ecology / A.A. Kist, L.I. Zhuk.– Tashkent, USSR: Institute of Nuclear Physics of the Uzbek Academy of Sciences, 1991.– P.60.
527. Kist A.A., Zhuk L.I. Human hair composition and the problems of global ecology.– Tashkent: Institute of Nuclear Physics of the Uzbek Academy of Sciences, 1991.– P.67.
528. Kuranova V.N., Baranovskaja N.V., Rihvanov L.P. Chemical elements in the organism of Anura, Amphibia as an indicator of the environment condition. // 12<sup>th</sup> Ordinary General Meeteng.– Saint-Petersburg, 2003.– P.92–93.
529. Lindh U. Biological functions of the elements / U. Lindh // *Essentials of Medical Geology.*– Elsevier, 2005.– P.115–160.
530. Lindenbaum A. Deposition patterns and toxicity of plutonium and americium in liver / A. Lindenbaum, M.W. Rosenthal // *Health Physics*, 1972.– V.22.– P.597–605.
531. Lindenbaum A. Diagnosis and treatment of deposited radionuclides / A. Lindenbaum, C. Lund, M. Smoler, M.W. Rosenthal // *Excerpta medica foundation.*– Amsterdam. – 1968.– P.56.
532. Lyon T.D.B. Stable carbon isotopes in human tissues / T.D.B. Lyon, M.S. Baxter // *Nature*, 1978.– 273.– P.750–751.
533. M. Baku S.B., Parr R.M.J. Interlaboratory study of trace and other elements in the IAEA powdered human hair reference material HH-1.// *J. Radioanal. Chem.*, 1982.– Vol.69.– P.171–181.
534. Man and the Geosphere / editors: Igor V. Florinsky (Inst. of Mathematical Problems of Biology, Russian Academy of Science, Moscow, Russia). Series: Earth Sciences in the 21<sup>st</sup> Century.– New York: Nova Science Publishers, 2010.– P.351.
535. Mango P.J., Plutonium environment and biological media / P.J. Mango, P.E. Kauffman, B. Shleien // *Health Physics*, 1967.– V.13.– P.1325–1330.
536. Mason B. Principles of geochemistry. New York: Wiley, 1958.– P.310.
537. Mazumder D.N.G., Chronic arsenic toxicity from drinking water in rural West Bengal / D.N.G. Mazumder, A.K. Chakraborty, A. Ghose, J.D. Gupta, D.P. Chakraborty et al. // *Bull. World Health Org.*, 1988.– Vol.66.– P.499–506.
538. McDowell M.A. Hair mercury levels in U.S. children and women of childbearing age: reference range data from NHANES 1999–2000 / M.A. McDowell, C.F.J. Dillion Osterloh, P.M. Bolger, E. Pellizzari, R. Fernando et al. // *Environmental Health Perspectives*, 2004.– Vol.112(11).– P.1165–1171.

539. Mertz W. Clinical and public health significance of chromium / W. Mertz // Current topics in nutrition a. disease.– New York, 1982.– P.315–323.
540. Miekeley N. How reliable are human hair reference intervals for trace elements? / N. Miekeley, MTWD. Carneiro, C.L. Porto da Silveira // Science of The Total Environment, 1998.– Vol.218.– P.9–17.
541. Mohagheghi A.H. A survey of uranium and thorium background levels in water, urine, and hair and determination of uranium enrichments by ICP-MS / A.H. Mohagheghi, S.T. Shanks, J.A. Zigmond, G.L. Simmons, S.L.A. Ward // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 2005.– Vol.263.– №1.– P.189–195.
542. Nanomedicine, Volume I: Basic Capabilities / Robert A. Freitas Jr.– Landes Bioscience: Georgetown, TX, 1999.– P.509.
543. Nanomedicine, Volume IIA: Biocompatibility / Robert A. Freitas Jr.– Landes Bioscience: Georgetown, TX, 2003.– P.330.
544. Underwood E.J. Trace elements in human and animal nutrition.– N.Y. etc.: Acad. Press, 1977.– P.245.
545. Peach D.F. A Preliminary Study of Geographic Influence on Arsenic Concentrations in Human Hair / D.F. Peach, D.W. Lane // Environmental Geochemistry and Health, 1998.– Vol.20.– P.231–237.
546. Pereira R. Scalp hair analysis as a tool in assessing human exposure to heavy metals (S. Domingos mine, Portugal) / R. Pereira, R. Ribeiro, F. Gonçalves // Science of the Total Environment, 2004.– Vol.327.– I.1–3.– P.81–92.
547. Report on Second Research Coordination Meeting of IAEA.– Neuherberg, 1985.– P.231–237.
548. Rodushkin I. Application of double focusing sector field ICP-MS for multielemental characterization of human hair and nails. Part II. A study of the inhabitants of northern Sweden / I. Rodushkin, Mikael D. Axelsson // The Science of the Total Environment, 2000.– Vol.262.– P.21–36.
549. Ryabukhin Yu. S. Activation analysis of hair as an indicator of contamination of men by environmental trace element pollutants.– RL/50. Vienna: IAEA., 1978.– P.134.
550. Sabbioni E. Trace elements reference values in tissues from inhabitants of the European Community / E. Sabbioni, C. Minoia, R. Pietra et al. // J. Sci. Total Environ., 1992.– Vol.120.– P.49–62.
551. Samanta G. Arsenic and other elements in hair, nails, and skin-scales of arsenic victims in West Bengal, India / G. Samanta, R. Sharma, T. Roychowdhury, D. Chakrabortic // Science of The Total Environment, 2004.– Vol.326.– I.1–3.– P.33–47.
552. Sarmani S. A study of trace element concentrations in human hair of some local population in Malaysia // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 1987.– Vol.110.– №2.– P.627–632.
553. Schepers G.W., Delahant A.B., Redlin A.J. An experimental study of the effects of rare earths on animal lung / G.W. Schepers, A.B. Delahant, A.J. Redlin // Arch. Industr. Health, 1955.– V.12.– №3.– P.297.
554. Silbergeld E.K. The International Dimentions of Lead Exposure. // Int. Occupational Environmental Health, 1995.– Vol.1.– №4.– P.336.
555. Sturaro A. The influence of color, age, and sex on the content of zinc, copper, nickel, manganese and lead in human hair / A. Sturaro, G. Parvoli, L. Doretti, G. Allegri, C. Costa // Biological Trace Element Research, 1994.– Vol.40.– P.1–7.
556. Suzuki T. Hair and nails: advantages and pitfalls when used in biological monitoring.

- Biological monitoring of toxic metals / T. Suzuki.– New York: Plenum Press, 1988.– P.623–641.
557. Thies T.H. Cer als Anticoagulant / T.H. Thies // Therapie der Vegenwart., 1957.– №3.– P.411.
558. Tjoe P.S., De Goeij J.J.M., Houtman J.P.W. Extended automated separation techniques in destructive neutron activation analysis; Application to various biological materials, including human tissues and blood. // J. of Rad. Chem., 1977.– Vol.37.– P.511–522.
559. Toxicology of metals / edited by Louis W. Chang.– Boca Raton-New York-London-Tokyo: Elsevier, 2005.– P.1198.
560. Trace element analysis of human blood serum by neutron activation analysis. / H. Nakahara, Y Nagame, Y Yoshizowa at oth. // J. of Radioan. Chem., 1979.– Vol.54.– №1–2.– P.183–190.
561. Trace element intake and balance in adults in Central Europe. / M. Anke, M. Glei, Muller W. et al. // Trace elements in Man and Animals 10.– New York, 2000.– P.209–214.
562. Underwood E.J. Trace elements in human and animal nutrition / E.J. Underwood.– N.Y. etc.: Acad. Press, 1977.– P.245.
563. Ward J.H. Hierarchical grouping to optimize an objective function // J. Am. Statist. Assoc., 1963.– Vol.58.– P.236–244.
564. Ward N.I. Study of hair element content from an urban Bulgarian population using NAA assessment of environmental status / N.I. Ward, N.M. Spyrou, A.A. Daymanova // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 1987.– Vol.114.– №1.– P.125–135.
565. Wirkung des Neodyms auf einige Fermente des intermediären Koh-lenhydratstoffwechsels / E. Vinche // Therapie der Vegenwart, 1961.– №10.– P.513.
566. Welford G.A. Uranium levels in human diet and biological materials / G.A Welford, R. Baird // Health Physics, 1967.– V.13.– P.1321–1324.
567. Yamomoto M., Determination of  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  isotopic rations in human tissues collected from areas around the Semipalatinsk nuclear test site by sector-field high resolution ICP-MS / M. Yamomoto, S. Oikawa, A. Sakaguchi, J. Tomita, M. Hoshi, K.N. Apsalnikov // Health Physics, 2008.– Vol.95.– №3.– P.291–299.
568. Zaichick S. The effect of age and gender on 37 chemical element contents in scalp hair of healthy humans / S. Zaichick, V. Zaichick // Biol Trace Elem Res., 2010.– Vol.134(1).– P.41–54.
569. Zhuk L.I., Human hair neutron activation analysis: analysis on population level and mapping / L.I. Zhuk, A.A. Kist // Czechoslov. J. Phys., 1999.– Vol.49.– S.1.– P.339–346.

# СОДЕРЖАНИЕ

---

Введение .....	5
<i>Рихванов Л.П., Барановская Н.В.</i>	
<b>Очерк первый.</b> Краткий экскурс в историю изучения химического состава человека .....	11
<i>Барановская Н.В., Игнатова Т.А., Рихванов Л.П.</i>	
1.1. У истоков исследования .....	11
1.2. Поступление и содержание химических элементов в организме человека .....	20
<b>Очерк второй.</b> К вопросу о классификации химических элементов в организме человека .....	38
<i>Рихванов Л.П., Игнатова Т.А., Барановская Н.В.</i>	
<b>Очерк третий.</b> Особенности распределения элементов по органам и тканям человека на примере исследования жителей Томского региона .....	50
<i>Игнатова Т.А., Барановская Н.В., Рихванов Л.П.</i>	
<b>Очерк четвертый.</b> Распределение элементов по функциональным системам организма человека .....	69
<i>Барановская Н.В., Игнатова Т.А., Рихванов Л.П.</i>	
4.1. Сравнительная оценка элементного состава организма человека .....	69
<b>Очерк пятый.</b> Редкоземельные элементы в органах и тканях человека .....	82
<i>Барановская Н.В., Игнатова Т.А., Рихванов Л.П.</i>	
5.1. Общие сведения по геохимии и биогеохимии редкоземельных элементов .....	82
5.2. Распределение редкоземельных элементов в органах и тканях жителя Томского региона .....	90
5.3. Редкоземельные элементы в функциональных системах жителя Томского региона .....	102
<b>Очерк шестой.</b> Особенности распределения радиоактивных элементов в органах и тканях человека .....	112
<i>Барановская Н.В., Игнатова Т.А., Рихванов Л.П.</i>	
<b>Очерк седьмой.</b> К вопросу о создании биогеохимической модели человека ...	130
<i>Игнатова Т.А., Рихванов Л.П., Барановская Н.В.</i>	
<b>Очерк восьмой.</b> Геохимические особенности органов и тканей человека при наличии патологических состояний .....	147
<i>Барановская Н.В., Денисова О.А., Рихванов Л.П., при участии Ламановой Л.М.</i>	

---

8.1. Накопление и распределение элементов в ткани щитовидной железы при разных видах патологии .....	150
8.2. Особенности накопления элементов в структурах кардиоваскулярной системы с разной степенью кальцинации .....	174
<b>Очерк девятый.</b> Элементный состав крови человека, проживающего в Томском регионе .....	184
<i>Барановская Н.В., Рихванов Л.П.</i>	
9.1. Изменение элементного состава крови населения различных регионов .....	185
9.2. Накопление элементов и их соотношение в крови человека на территориях с разной степенью природно-техногенной трансформации .....	193
9.2.1. Проявление эколого-геохимических обстановок территории Томской области в элементном составе крови человека .....	193
<b>Очерк десятый.</b> Геохимические особенности состава волос детей .....	213
<i>Наркович Д.В., Барановская Н.В., Рихванов Л.П.</i>	
10.1. Оценка уровней накопления химических элементов в волосах детей, проживающих в Томском регионе .....	213
10.2. Региональные особенности элементного состава волос детей Томской области .....	223
10.3. Специфика накопления химических элементов в волосах детского населения административных единиц Томской области .....	230
10.4. Формирование элементного состава волос человека на территориях с природными геохимическими аномалиями .....	242
<b>Очерк одиннадцатый.</b> Техногенез и его отражение в элементном составе крови и волос человека .....	256
<i>Барановская Н.В., Рихванов Л.П., Наркович Д.В.</i>	
11.1. Отражение техногенеза в элементном составе крови населения .....	256
11.2. Элементы-индикаторы техногенеза в волосах детей .....	271
11.3. Плутоний в волосах детей Томской области .....	284
<b>Очерк двенадцатый.</b> Химические элементы в зольном остатке организма человека (ЗООЧ) .....	289
<i>Рихванов Л.П., Игнатова Т.А., Барановская Н.В., при участии Дериглазовой М.А.</i>	
12.1. Общая геохимическая характеристика зольного остатка организма человека .....	289
12.2. Материалы и методы исследования .....	291
12.3. Геохимические особенности ЗООЧ и факторы его определяющие .....	299
12.4. Уровни и характер распределения химических элементов в зольном остатке организма человека .....	308
12.5. Формы нахождения химических элементов в зольном остатке организма человека .....	318
Заключение .....	339
Список литературы .....	342

# CONTENTS

---

Introduction.....	5
<i>Rikhvanov L.P., Baranovskaya N.V.</i>	
<b>The Essay One.</b> A brief excursus to the history of the study of human chemical composition.....	11
<i>Baranovskaya N.V., Ignatova T.N., Rikhvanov L.P.</i>	
1.1. At the origins of the study.....	11
1.2. Income and content of chemical elements in the human body.....	20
<b>The Essay Two.</b> Towards the classification of chemical elements in the human body.....	38
<i>Rikhvanov L.P., Ignatova T.N., Baranovskaya N.V.</i>	
<b>The Essay Three.</b> Peculiarities of elements distribution in human organs and tissues on the example of Tomsk region residents.....	50
<i>Ignatova T.N., Baranovskaya N.V., Rikhvanov L.P.</i>	
<b>The essay Four.</b> Elements distribution on the human body functional systems.....	69
<i>Baranovskaya N.V., Ignatova T.N., Rikhvanov L.P.</i>	
4.1. Comparative assessment of human body element composition.....	69
<b>The Essay Five.</b> Rare-earth elements in human organs and tissues.....	82
<i>Baranovskaya N.V., Ignatova T.N., Rikhvanov L.P.</i>	
5.1. General information on the geochemistry and biogeochemistry of rare earth elements.....	82
5.2. Rare-earth elements distribution in organs and tissues of Tomsk region residents.....	90
5.3. Rare-earth elements in functional systems of Tomsk region residents.....	102
<b>The Essay Six.</b> Peculiarities of radioactive elements distribution in human organs and tissues.....	112
<i>Baranovskaya N.V., Ignatova T.N., Rikhvanov L.P.</i>	
<b>The Essay Seven.</b> Towards the creation of a biogeochemical model of man.....	130
<i>Ignatova T.N., Rikhvanov L.P., Baranovskaya N.V.</i>	
<b>The Essay Eight.</b> Geochemical peculiarities of human organs and tissues by diseased conditions.....	147
<i>Baranovskaya N.V., Denisova O.A., Rikhvanov L.P., with contributions from Lamanova L.M.</i>	

8.1. Accumulation and distribution of elements in the thyroid tissues by different kinds of pathobiology.....	150
8.2. Peculiarities of element accumulation in cardiovascular system structures with varying calcification degrees.....	174
<b>The Essay Nine. Element composition of human blood of Tomsk region residents.....</b>	<b>184</b>
<i>Baranovskaya N.V., Rikhvanov L.P.</i>	
9.1. The change of blood element composition of residents from different regions .....	185
9.2. The accumulation of elements and their relationship in the human blood in areas with varying degrees of natural and technogenic transformation.....	193
9.2.1. The display of ecological and geochemical environments of Tomsk region in human blood element composition.....	193
<b>The Essay Ten. Geochemical peculiarities of hair content of children .....</b>	<b>213</b>
<i>Narkovich D.V., Baranovskaya N.V., Rikhvanov L.P.</i>	
10.1. Assessment of accumulation levels of chemical elements in hair of children living in Tomsk region.....	213
10.2. Regional peculiarities of element composition of hair of children living in Tomsk region.....	223
10.3. Specificity of accumulation of chemical elements in the hair of the child population in the administrative units of Tomsk region .....	230
10.4. Forming of element composition of hair in areas with natural and geochemical anomalies .....	242
<b>The Essay Eleven. Technogenesis and its reflection in the element composition of blood and human hair .....</b>	<b>256</b>
<i>Narkovich D.V., Baranovskaya N.V., Rikhvanov L.P.</i>	
11.1. Reflection of technogenesis the element composition of human blood.....	256
11.2. Tracer elements of technogenesis in hair of children.....	271
11.3. Plutonium in hair of children living in Tomsk region .....	284
<b>The Essay Twelve. Chemical elements in ash residue of human body .....</b>	<b>289</b>
<i>Rikhvanov L.P., Ignatova T.N., Baranovskaya N.V., with contributions from Deriglazova M.A.</i>	
12.1. General geochemical characteristics of ash residue of human body .....	289
12.2. Research data and methods.....	291
12.3. Geochemical peculiarities of ash residue of human body and its determining factors .....	299
12.4. Levels and character of distribution of chemical elements in ash residue of human body .....	308
12.5. Occurrence modes of chemical elements in ash residue of human body.....	318
Conclusions.....	339
References.....	342

Научное издание

БАРАНОВСКАЯ Наталья Владимировна  
РИХВАНОВ Леонид Петрович  
ИГНАТОВА Татьяна Николаевна  
НАРКОВИЧ Дина Владимировна  
ДЕНИСОВА Ольга Александровна

## ОЧЕРКИ ГЕОХИМИИ ЧЕЛОВЕКА

Монография

Издано в авторской редакции

Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии  
с качеством предоставленного оригинал-макета

Подписано к печати 14.07.2015. Формат 60x84/8. Бумага «Снегурочка».  
Печать XEROX. Усл. печ. л. 43,97. Уч.-изд. л. 39,76.  
Тираж 100 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Система менеджмента качества  
Издательства Томского политехнического университета  
Сертифицирована в соответствии с требованиями ISO 9001:2008



**ИЗДАТЕЛЬСТВО**  **ТПУ**. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, [www.tpu.ru](http://www.tpu.ru)

